

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة العربي التبسي-تبسة

كلية العلوم الدقيقة وعلوم الطبيعة والحياة

قسم: علوم المادة



مذكرة ماستر

الميدان: علوم المادة

الشعبة: فيزياء

التخصص: فيزياء المادة المكثفة

دراسة تأثير التصغير على خصائص بعض أنماط المواد الخارقة:
دراسة بالمحاكاة.

من اعداد: مساعدي مارية و قحايرية أسماء

أمام لجنة المناقشة:

رئيسا	جامعة تبسة	أستاذ محاضر ب	فردى عبد الحميد
مؤظرا	جامعة تبسة	أستاذ محاضر أ	زيار توفيق
ممتحنا	جامعة تبسة	أستاذ محاضر ب	صوان عز الدين

تاريخ المناقشة: 2021/06/22

Déclaration sur l'honneur de non-plagiat

(à joindre obligatoirement au mémoire, remplie et signée)



Je soussigné(e),

Nom, Prénom : *Messaïdia Maria*
Régulièrement inscrit(e) en **Master** au département : *Science de la matière*
N° de carte d'étudiant : *151534021067*
Année universitaire : *2020/2021*
Domaine : *Science de la matière*
Filière : *Physique*
Spécialité : *Physique de matière condensée*
Intitulé du mémoire : *تأثير التغير على خواص ثوابت بلانك في المواد الخارجية*

Atteste que mon mémoire est un travail original et que toutes les sources utilisées ont été indiquées dans leur totalité. Je certifie également que je n'ai ni recopié ni utilisé des idées ou des formulations tirées d'un ouvrage, article ou mémoire, en version imprimée ou électronique, sans mentionner précisément leur origine et que les citations intégrales sont signalées entre guillemets.

Sanctions en cas de plagiat prouvé :

L'étudiant sera convoqué devant le conseil de discipline, les sanctions prévues selon la gravité du plagiat sont :

- L'annulation du mémoire avec possibilité de le refaire sur un sujet différent ;
- L'exclusion d'une année du master ;
- L'exclusion définitive.



Fait à Tébessa, le : *6/7/2021*

Signature de l'étudiant(e) :

Messaïdia Maria



Déclaration sur l'honneur de non-plagiat

(à joindre obligatoirement au mémoire, remplie et signée)



Je soussigné(e),

Nom, Prénom : GUEHAIRIA A. Dama

Régulièrement inscrit(e) en **Master** au département : Science de la matière

N° de carte d'étudiant : 15 15 34 09 1809

Année universitaire : 2020/2021

Domaine : Science de la matière

Filière : Physique

Spécialité : Physique de la matière condensée

Intitulé du mémoire : تأثير التغير على خصائص الجسيمات
انتمت في اوقات الفراغ

Atteste que mon mémoire est un travail original et que toutes les sources utilisées ont été indiquées dans leur totalité. Je certifie également que je n'ai ni recopié ni utilisé des idées ou des formulations tirées d'un ouvrage, article ou mémoire, en version imprimée ou électronique, sans mentionner précisément leur origine et que les citations intégrales sont signalées entre guillemets.

Sanctions en cas de plagiat prouvé :

L'étudiant sera convoqué devant le conseil de discipline, les sanctions prévues selon la gravité du plagiat sont :

- L'annulation du mémoire avec possibilité de le refaire sur un sujet différent ;
- L'exclusion d'une année du master ;
- L'exclusion définitive.

Fait à Tébessa, le : 6/7/2021

Signature de l'étudiant(e) :



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

شكر و عرفان

بعد أن من الله علينا بإنجاز هذا العمل، فإننا نتوجه إليه سبحانه وتعالى أولاً وأخيراً بجميع ألوان الحمد والشكر على فضله وكرمه الذي غمّرنا به فوفّقنا إلى ما نحن فيه راجين منه دوام نعمه وكرمه، وانطلاقاً من قوله صلى الله عليه وسلم: "من لا يشكر الناس لا يشكر الله"، فإننا نتقدم بالشكر والعرفان إلى الأستاذ المشرف

" زيار توفيق " لإشرافه على هذه المذكرة وعلى الجهد الكبير الذي بذله معنا، وعلى نصحته القيمة التي مهدت لنا الطريق لإتمام هذه الدراسة فله منا فائق التقدير والاحترام. كما لا ننسى الشكر الجزيل مع فائق الاحترام والتقدير لأعضاء لجنة المناقشة الأساتذة الكرام: الأستاذ فردي عبد الحميد أستاذ محاضر "ب" بجامعة تبسة رئيس لجنة المناقشة.

الأستاذ صوان عز الدين أستاذ محاضر "ب" بجامعة تبسة عضو لجنة المناقشة.

على تشريفهم لنا بقبول مناقشة المذكرة وتقديرنا منا لما بذلوه من وقت وجهد وما سيوجهون لنا من ملاحظات قيمة.

إهداء

أهدي هذا العمل إلى من قال فيهما تعالى:

"واخفض لهما جناح الذل من الرحمة وقل رب ارحمهما كما ربياني صغيرا "

سورة الإسراء الآية 24

الى من علمني ما لم اتعلمه من الكتب والمدارس والجامعة العطاء والثقة بالنفس والصبر
ابي العزيز أطال الله عمرك.

الى رمز العطاء وصدق الإيياء، إلى ذروة العطف والوفاء اليك يا أغلي جوهرة
وأجمل لؤلؤة اتزين بها إلى كل من في الوجود بعد الله ورسوله أمي الغالية
إلى من لم تبخلني بالدعاء يوما جدتي الغالية حفظهما الله واطال في عمرهما.
الى من اعتمد عليه في كل صغيرة وكبيرة اخي أسامة

الى زهرة المنزل اختي الوحيدة ايمان

إلى كل الأهل والأقارب، إلى جميع الأصدقاء

إلى من رفعوا رايات العلم والتعليم

أساتذتي الأفاضل.

قحايرية أسماء



إهداء

وصلت رحلتي الجامعية إلى نهايتها بعد تعب ومشقة...
وها أنا ذا أختتم مذكرة تخرجي بكل همّة ونشاط
وأمتن لكل من كان له فضل في مسيرتي.
إلى من وضع المولى -سبحانه وتعالى- الجنة تحت قدميها،
ووقّرها في كتابه العزيز (أمي الحبيبة).
إلى صاحب السيرة العطرة، والفكر المُستنير؛
الذي كان له الفضل الأوّل في بلوغي
التعليم العالي (والدي الحبيب) أطال الله في عُمره.
إلى أخواتي؛ من كان لهنّ بالغ الأثر في كثير من العقبات
والصعاب.
إلى جموع أصدقائي وأقاربي وأساتذتي الكرام.
أهدي لكم هذا العمل راجية من الله أن ينال اعجابكم.

مساعدة مارية



Résumé

Le but de ce mémoire de master est d'étudier l'effet de la miniaturisation sur les propriétés électromagnétiques de deux motifs planaires de metamatériaux connus: un réseau de quatre cellules de résonateur en anneau (SRR) et un réseau de tiges métalliques, utilisant une simulation numérique d'un guide d'ondes qui s'appuie sur une méthode itérative basée sur le concept de l'onde électromagnétique transverse connue sous l'abréviation (WCIP) tirée de l'anglais (Wave Concept Procédure itérative) pour extraire les paramètres S qui sont utilisés à leur tour pour extraire les caractéristiques constitutives du metamatériau et cela pour trois structures pour chaque motif : l'original a une surface de 60mmx60mm représentant la structure à 100 % le deuxième miniaturisé à 67% et le troisième miniaturisé à 34% .

Un programme de simulation numérique itératif a été conçu à l'aide du logiciel MATLAB basé sur la méthode (WCIP), pour la modélisation des matériaux et le calcul des paramètres S , couplé à une méthode d'extraction des caractéristiques électromagnétiques nommée NRW utilisée pour calculer et extraire les caractéristiques constitutives à savoir : la perméabilité, la permittivité, l'indice de réfraction pour chaque motif étudié et pour chaque étape de miniaturisation

Mots clés :Miniaturisation ,Metamatériau, perméabilité, permittivité, indice de réfraction, simulation, méthode NRW.

ملخص

الهدف من مذكرة الماستر هذه هو دراسة تأثير التصغير على الخواص الكهرومغناطيسية لنمطين مستويين من المواد الخارقة المعروفة على: شبكة من أربع خلايا للمرنان الحلقي بشق (SRR) وشبكة من السيقان المعدنية ، باستخدام محاكاة رقمية لموجه موجي يعتمد على الطريقة التكرارية ، التي تعتمد على مفهوم الموجة الكهرومغناطيسية المستعرضة ، و المعروفة بالاختصار (WCIP) المأخوذ من اللغة الإنجليزية (Wave Concept Iterative Procedure) لاستخراج الوسائط S التي يتم استخدامها بدورها لاستخراج الخصائص المكونة للمادة الخارقة وذلك لثلاثة هياكل لكل نمط: النمط الأصلي له سطح 60 مم × 60 مم والذي يمثل الهيكل بنسبة 100% ، والثاني مصغر بنسبة 67% والثالث مصغر بنسبة 34%.

تم تصميم برنامج محاكاة عديدة تكرارية ، باستخدام برنامج MATLAB ، قائم على الطريقة (WCIP) ، لنمذجة المواد وحساب الوسائط S ، إلى جانب طريقة استخراج الخصائص الكهرومغناطيسية المسماة NRW المستخدمة لحساب واستخراج الخصائص التأسيسية وهي: النفاذية ، السماحية ومعامل الانكسار لكل نمط تمت دراسته ولكل خطوة تصغير.

الكلمات المفتاحية : التصغير ، المواد الخارقة ، النفاذية ، السماحية ،
معامل الانكسار ، المحاكاة ، طريقة NRW .

Abstract

The aim of this master's dissertation is to study the effect of miniaturization on the electromagnetic properties of two planar patterns of known metamaterials: an array of four ring resonators (SRR) and the array of metal rods, using a numerical simulation of a waveguide which relies on an iterative method based on the concept of the transverse electromagnetic wave known by the abbreviation (WCIP) taken from the English (Wave Concept Iterative Procedure) to extract the parameters S which are used to extract the constitutive characteristics of the metamaterial and that for three structures for each pattern: the original has a surface of 60mmx60mm representing the structure at 100% the second miniaturized at 67% and the third miniaturized at 34%.

An iterative numerical simulation program was designed using MATLAB software based on the (WCIP), for the modeling of materials and the calculation of S parameters, coupled with an electromagnetic characteristic extraction method named NRW used for calculate and extract the constitutive characteristics namely: permeability, permittivity, refractive index for each pattern studied and for each miniaturization step

Keywords: Miniaturization, Metamaterials, permeability, permittivity, refractive index, simulation, NRW method.

الفهرس

ملخصات	I.ص
مقدمة عامة	01.ص
الفصل الأول: المواد الخارقة	
1.1 مقدمة الفصل الأول.....	04.ص
1. 2 تاريخ المواد الخارقة.....	04.ص
1. 3 تصنيف المواد الخارقة.....	05.ص
4.1 أنواع المواد الخارقة.....	06.ص
5. 1 مزايا المواد الخارقة.....	07.ص
1. 6 تطبيقات المواد الخارقة.....	07.ص
7.1 خاتمة الفصل الاول.....	9.ص
الفصل الثاني: تقديم الطريقة التكرارية وطريقة الاسترداد المستعملة في نمذجة وتخصيص المادة الخارقة	
1. 2 . مقدمة الفصل الثاني.....	11.ص
2. 2 . الطرق الأساسية المستخدمة في النمذجة.....	11.ص
2. 3. تعريف الطريقة التكرارية WCIP.....	12.ص
2. 3. 1. نبذة تاريخية:	12.ص
2. 3.2. تقديم طريقة المحاكاة: الطريقة التكرارية WCIP.....	12.ص
2. 4. تقديم المعادلة النظرية لطريقة الاسترداد	16.ص
2. 5. خاتمة الفصل الثاني.....	18.ص
الفصل الثالث : نتائج محاكاة تأثير التصغير على الخصائص الكهرومغناطيسية باستخدام الطريقة التكرارية.	
1.3 مقدمة الفصل الثالث	20.ص
2. 3 . دراسة بالمحاكاة لتأثير التصغير على هياكل لمواد خارقة	20.ص
3. 2. 1 . شبكة خلايا لمرنانات ذات الحلقة بشق (SRR).....	20.ص

25.ص.....	2.2.3. شبكة السيقان المعدنية.....
28.ص.....	3.2.3. خاتمة الفصل الثالث.....
29.ص.....	الخاتمة العامة.....
30.ص.....	المراجع.....

قائمة الأشكال

الصفحة	العنوان	شكل رقم
5	(أ) أول نموذج أولي للمواد الأولية اقترحه فريق سميث (ب) تحسين النموذج	شكل 1.1
6	تصنيف المواد الخارقة	شكل 2.1
9	هوائي المواد الخارقة على شكل Z	شكل 3.1
13	صورة توضيحية للعناصر المكونة لدارة مستوية.	شكل 1.2
15	مبدأ الطريقة التكرارية wcip	شكل 2.2
16	خط محوري مع قرص حلقي من المادة المراد قياس خصائصها	شكل 3.2
21	رسم ثلاثي الأبعاد لخطوات التصغير لهيكل نمط المادة الخارقة شبكة من أربعة خلايا لمرنان SRR	شكل 1.3
22	تغيرات وسيطي الإرسال و الانعكاس بدلالة التواتر للشبكة من أربع خلايا للمرنان ذو الحلقة بشق من أجل الأبعاد :	شكل 2.3
	(ب) 40mmx40mmx1.5 mm (ج) 20mmx20mmx1mm (أ) 60mmx60mmx2mm	
23	تغيرات السماحية بدلالة التواتر للشبكة من أربع خلايا للمرنان ذو الحلقة بشق من أجل الأبعاد :	شكل 3.3
	(ب) 40mmx40mmx1.5 mm (ج) 20mmx20mmx1mm (أ) 60mmx60mmx2 mm	
24	تغيرات النفاذية بدلالة التواتر للشبكة من أربع خلايا للمرنان ذو الحلقة بشق من أجل الأبعاد:	شكل 4.3
	(ب) 40mmx40mmx1.5 mm (ج) 20mmx20mmx1mm (أ) 60mmx60mmx2 mm	
24	تغيرات قرينة الانكسار بدلالة التواتر للشبكة من أربع خلايا للمرنان ذو الحلقة بشق من أجل الأبعاد :	شكل 5.3
	(ب) 40mmx40mmx1.5 mm (ج) 20mmx20mmx1mm (أ) 60mmx60mmx2 mm	
25	رسم ثلاثي الأبعاد لخطوات التصغير لهيكل نمط المادة الخارقة لشبكة السيقان المعدنية	شكل 6.3

26	تغيرات وسيطي الإرسال والانعكاس بدلالة التواتر لشبكة السيقان المعدنية من أجل الأبعاد: 20mmx20mmx1 mm (ج) 40mmx40mmx1.5 mm (ب) 60mmx60mmx2 mm(أ)	شكل 7.3
26	تغيرات السماحية بدلالة التواتر لشبكة السيقان المعدنية من أجل الأبعاد : 20mmx20mmx1 mm (ج) 40mmx40mmx1.5 mm (ب) 60mmx60mmx2 mm(أ)	شكل 8.3
27	تغيرات النفاذية بدلالة التواتر لشبكة السيقان المعدنية من أجل الأبعاد: 20mmx20mmx1 mm (ج) 40mmx40mmx1.5 mm (ب) 60mmx60mmx2 mm(أ)	شكل 9.3
28	تغيرات قرينة الانكسار بدلالة التواتر لشبكة السيقان المعدنية من أجل الأبعاد: 20mmx20mmx1 mm (ج) 40mmx40mmx1.5 mm (ب) 60mmx60mmx2 mm(أ)	شكل 10.3

قائمة الرموز و الاختصارات

الرمز أو الإختصار	التفسير
SRR	المرنانات ذات الحلقة بشق
WCIP	الطريقة التكرارية
S	مصفوفة وسائط التشتت
ϵ	السماحية المركبة
μ	النفاذية المركبة
S11	وسيط الانعكاس
S21	وسيط الإرسال
ϵ_0	السماحية في الفراغ
μ_0	النفاذية في الفراغ
\vec{H}	الحقل المغناطيسي العرضي
\vec{E}	الحقل الكهربائي
\vec{J}	كثافة التيار الكهربائي
LHM	مادة اليد اليسرى
ϵ_{ij}	مركبات السماحية
μ_{ij}	مركبات النفاذية
n	قرينة الانكسار للمادة
μ_r	الجزء الحقيقي للنفاذية الفعالة
ϵ_r	الجزء الحقيقي للسماحية الفعالة
ϵ_i	الجزء التخيلي للسماحية الفعالة
μ_i	الجزء التخيلي للنفاذية الفعالة
DNG	مادة ذات مؤشر مزدوج سالب

نفاذية سلبية	MNG
سماحية سلبية	ENG
موجبة مزدوجة	DPS
سلبية مزدوجة	DNG
طريقة العزوم	MOM
طريقة إستراداد الخواص الكهرومغناطسية	NRW

مقدمة عامة:

تعد المواد الخارقة - الهياكل المصممة لتكون لها خصائص كهرومغناطيسية غير موجودة في الطبيعة- بإحداث تقدم كبير في مجالات الإلكترونيات والبصريات. اقترح الباحثون مجموعة كبيرة من الأجهزة التي تستخدم المواد الخارقة ، بدءًا من النماذج المصغرة منخفضة الضوضاء للمكونات الموجودة مثل الموجات الموجيه والمصافي الإلكترونية والهوائيات إلى الأجهزة الجديدة تمامًا التي كانت موجودة سابقًا فقط في الخيال العلمي ، مثل عباءات الإخفاء والعدسات الفائقة التي يمكنها التغلب على حد الانعراج يغطي مصطلح "المواد الخارقة" مجموعة من المفاهيم ، بما في ذلك المواد المزدوجة السلبية ، الهياكل والموصلات المغناطيسية الاصطناعية الإلكترونية. يتكون جهاز المادة الخارقة النموذجي من مصفوفة من الرنانات بمقاس مليمترى أو مقياس مجهري ، مدمجة في بنية واحدة.

يمكن استخدام المحاكاة الكهرومغناطيسية للتحقق من النظريات و تطوير مفاهيم المواد الخارقة قبل إنشاء أي نماذج أولية. ومع ذلك هناك العديد من الاعتبارات الخاصة التي يجب على الباحث إدراكها عند نمذجة المواد الخارقة. المواد الخارقة بطبيعتها،تتضمن على عناصر ذات أطوال موجية دنيا، ولكن غالبًا ما يتم ترتيب هذه العناصر في مصفوفات كبيرة كهربائيًا. هذا يعني أن هناك حاجة إلى مجموعة متنوعة من تقنيات الحلول لتطوير هياكل المواد الخارقة بكفاءة. توجد عدة أدوات للنمذجة والمحاكاة الكهرومغناطيسية الكاملة نذكر منها: STUDIO® (CST MWS) CST MICROWAVE ،....

الهدف من هذه المذكرة هو دراسة تأثير التصغير على الخواص الكهرومغناطيسية لنمطي مادة خارقة مستوية معروفين : المرنان ذو الحلقة بشق (SRR) و شبكة السيقان المعدنية، العمل تم باستخدام المحاكاة العددية لموجه موجي يعتمد على الطريقة التكرارية المرتكزة على مفهوم الموجه الكهرومغناطيسية العرضية المعروفة ب (WCIP) اختصارا ل (Wave Concept Iterative Procedure) بالإنجليزية و ذلك لاستخراج الوسائط S التي تُستخدم بدورها لاستخراج الخواص التأسيسية للمادة الخارقة. من : سماحية ϵ ، نفاذية μ ، قرينة إنكسار n باستعمال طريقة استرداد معروفة هي: طريقة (NRW) .

تنظيم المذكرة:

في الفصل الأول، يتم تقديم تعريف شامل للمواد الخارقة مع ذكر تاريخها و تصنيفها و من ثم أنواعها .

في الفصل الثاني، يتم تقديم عرض للطريقة التكرارية المستخدمة في المحاكاة لنمذجة نمطي مادة خارقة داخل بيئة موجه موجي و كذا التعريف بطريقة الاسترداد المستعملة لاستخراج الخواص التأسيسية للمواد الخارقة والمعروفة ب طريقة (NRW) .

في الفصل الثالث، نقوم بتنفيذ برنامج المحاكاة لنموذجين لنمطي مادة خارقة مستوية معروفين هما : المرنان ذو الحلقة بشق (SRR) و شبكة السيقان المعدنية داخل بيئة موجه موجي . طريقة الاسترداد المستعملة لحساب الخواص التأسيسية الكهرومغناطيسية للمادة مكننتنا من مقارنة نتائج المحاكاة ومعرفة تأثير التصغير في كل مرحلة على هذه الخواص و أخيرًا نختم بخاتمة عامة.

الفصل الأول: المواد الخارقة

1.1: مقدمة الفصل الأول:

المواد الخارقة المعروفة في الإنجليزية بـ "ميتماتريال" Metamaterial وهي كلمة مركبة من "ميتم" وهي كلمة بادئة يونانية تعني "ما بعد" أو "ما وراء"، و "ماتريال" تعني "مادة" كما هو الحال في الكلمات الإنجليزية Metaphysic "ميتمافيزيقا" والتي تعني ما وراء الطبيعة أو Metalogic "ميتمالوجيكا" وتعني ما وراء المنطق، كما يوحي اسمها. تعتبر المواد الخارقة مواد من صنع الإنسان تتمتع بخصائص فيزيائية غير موجودة في مثيلاتها من المواد الطبيعية ولذلك فهي مواد ذات خصائص تتجاوز ما يتوقع المرء أن يلاحظه في المواد الطبيعية. يمكن تطبيق هذا المفهوم في جميع مجالات الفيزياء. بتعبير أدق في الكهرومغناطيسية والبصريات، تُظهر المواد الخارقة خصائص جديدة قد تثير خيال الباحثين والمهندسين، مثل قرينة انكسار سالبة أو تأثير دوبلر معكوس، على سبيل المثال. كما يمكن للمادة الخارقة أن تظهر سماحية سالبة، نفاذية سالبة أو قرينة انكسار صفرية.

إن مفهوم المادة الخارقة في الواقع قديم جداً لأن المواد الخارقة الأولى كانت عبارة عن زجاج بصري ملون تم العثور عليه في العصر الروماني، وفي الكاتدرائيات حيث تم استخدامها لصنع نوافذ زجاجية ملونة رائعة. سنبدأ هذا الفصل بالتعريف الذي اعتمدها في هذه المذكرة، ثم سنتطرق إلى تصنيف المواد الخارقة مع إبراز أنواعها، أخيراً سننتهي بالتطبيقات المختلفة لها. [1-3]

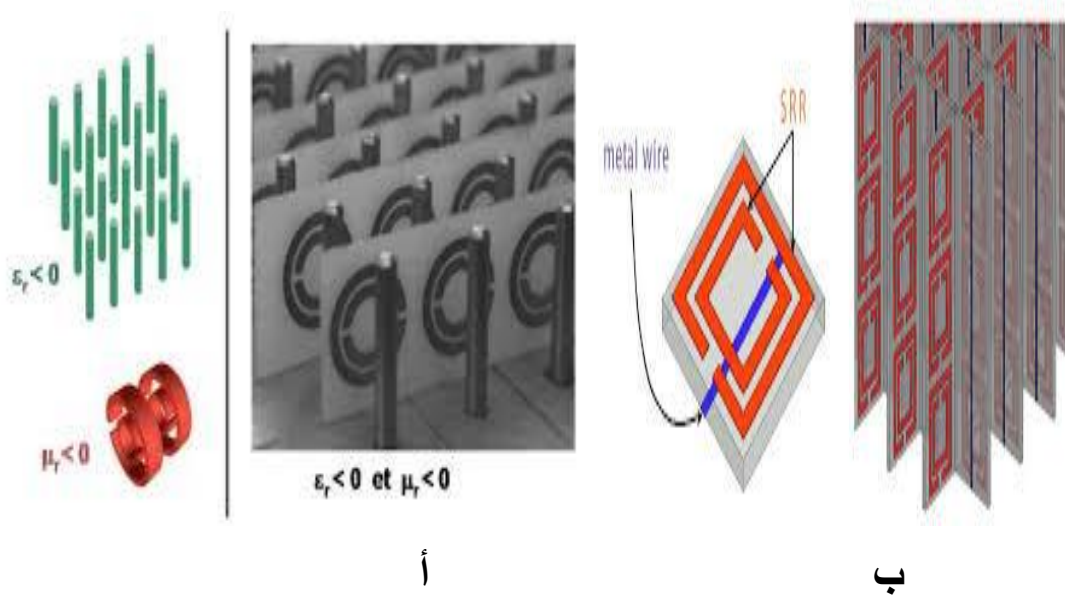
2.1 : تاريخ المواد الخارقة :

بدأ تاريخ المواد الخارقة في عام 1967 عندما تساءل الفيزيائي الروسي فيكتور فيزيلاجو Vector veslago، عن ماهية الخصائص التي ستكون للمادة إن كانت ذات سماحية سالبة ونفاذية سالبة في نفس نطاق التردد (التواتر). بعد الدراسة النظرية، تنبأ فيزيلاجو ببعض الخصائص في مقالته مثل انعكاس العديد من الخصائص الكلاسيكية مثل قانون سنيل ديكارت وتأثير دوبلر. لسوء الحظ تواجه هذه الدراسة واقعا فيزيائيا، أي أن مثل هذه المادة غير موجودة في الطبيعة، مما يجعل العرض التجريبي لخصائصها المتوقعة أمرا مستحيلا . وبسبب هذا لم تحظ مقالة فيزيلاجو باهتمام كبير عندما تم نشرها وذهب الموضوع أدراج الرياح لسنوات عديدة . [4-7]

في نهاية التسعينيات (1990) أثير الموضوع من جديد مع J.Pendry ومعاونيه الذين أنشأوا هيكلين:

شبكة من سلك معدني رفيع (Metal thin-wire) وشبكة رنان الحلقة المنقسمة (SRR: split-ring resonators)، يتيح هذان النوعان من الهياكل الحصول على سماحية ونفاذية سلبية في وقت واحد على التوالي في ظل ظروف معينة. [8,9]

في عام 2000 قام David R. Smith و معاونوه بدمج بنيتي بندري في هيكل مركب لصنع أول نموذج أولي من المواد ذات النفاذية والسماحية السلبية في وقت واحد شكل 1.1. تم إجراء التحقق التجريبي من معامل الانكسار السالب بواسطة د.سميث في جامعة كاليفورنيا في عام [10,11]. 2001

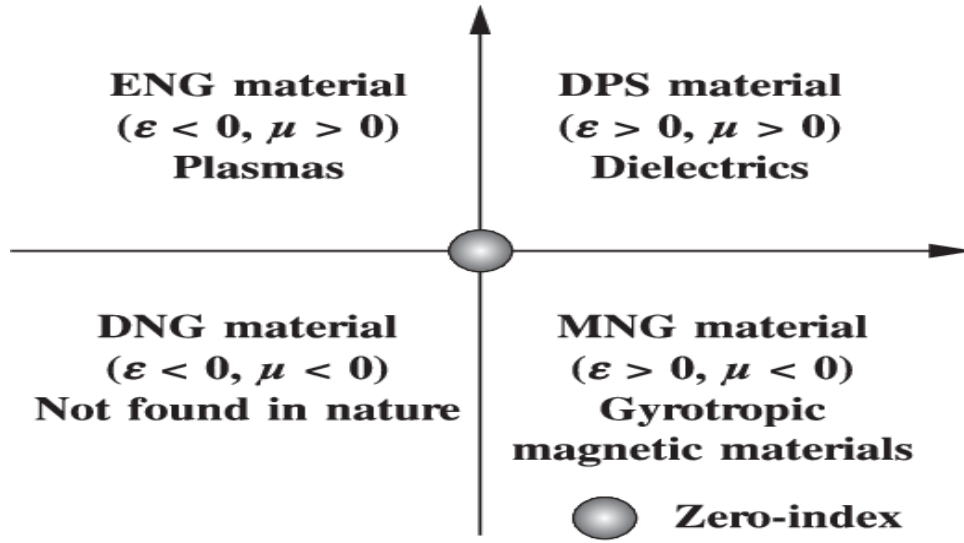


شكل 1.1: (أ) أول نموذج أولي للمواد الأولية اقترحه فريق سميث (ب) النموذج المحسن

3.1: تصنيف المواد الخارقة:

يتم تحديد المجال الكهرومغناطيسي من خلال خصائص المواد المعنية حيث تحدد هذه الخصائص كل من السماحية ϵ والنفاذية μ للمواد وفق إشاراتها. [12-14]

يتم تصنيف المواد الخارقة في أربع مجموعات كما هو موضح في الشكل 2.1:



شكل 2.1: تصنيف المواد الخارقة

أ/ مادة موجبة مزدوجة (DPS): المواد التي لها سماحية ونفاذية أكبر من الصفر ($\epsilon > 0, \mu > 0$) تسمى مواد موجبة مزدوجة. (DPS=double positive) تندرج معظم الوسائط الطبيعية (مثل العوازل) تحت هذا التصنيف.

ب/ مادة ذات سماحية سلبية (ENG): إذا كانت المادة ذات سماحية أقل من الصفر ونفاذية أكبر من الصفر ($\epsilon < 0, \mu > 0$) تسمى مادة ذات سماحية سالبة. (ENG=Epsilon negative) في أنظمة تردد معينة، تظهر العديد من البلازما هذه الخصائص.

ج/ مادة ذات نفاذية سلبية (MNG): إذا كانت المادة ذات سماحية أكبر من الصفر ونفاذية أقل من الصفر ($\epsilon > 0, \mu < 0$) تسمى مادة ذات نفاذية سالبة. (MNG=Mu negative) في بعض أنظمة التردد تعرض بعض المواد المدارية الميكروسكوبية هذه الخصائص.

د/ المواد السلبية المزدوجة (DNG): إذا كانت المادة ذات سماحية ونفاذية أقل من الصفر ($\epsilon < 0, \mu < 0$) ، تسمى مادة سالبة مزدوجة (DNG=double negative). لا يمكن إنتاج هذه الفئة من المواد إلا بشكل إصطناعي.

4.1 أنواع المواد الخارقة:

يوجد ثلاث فئات رئيسية من المواد الخارقة وهي المواد الخارقة الكهرومغناطيسية، المواد الخارقة الصوتية والمواد الخارقة الميكانيكية تعرف كما يلي:

✓ **المواد الخارقة الكهرومغناطيسية:** و تحتوي على تكوين جسيمات موصلة وأثارها في مصفوفة عازلة للكهرباء، هذه المواد الخارقة لها نفاذية و / أو سماحية صفرية أو سلبية، ومعامل انكسار سالب. تُستخدم هذه المواد في مجال الميكروويف والبصريات مثل توجيه الحزمة

والمُعَدَّلات، ومقرنات الميكروويف، والعدسات، ومرشحات تمرير النطاق. تؤثر هذه الأنواع من المواد الخارقة على الموجات الكهرومغناطيسية بامتلاكها أطوال موجية صغيرة تفوق الطول الموجي للإشعاع الكهرومغناطيسي.

✓ **المواد الخارقة الصوتية**: تتكون من مادتين أو أكثر مع معامل وكثافة كتلة مختلفة، وهذه الأنواع من المواد الخارقة لها كثافة كتلة فعالة سلبية و / أو معامل الكتلة. تعد جامعة ليفربول وجامعة هونغ كونغ للعلوم والتكنولوجيا الرائدتين حاليًا في مجال البحث عن المواد الخارقة الصوتية ولديهما اهتمام كبير بتطبيقاتهما المستهدفة مثل التخمين الاهتزازي ومقاومة السونار ونقل الطاقة اللاسلكي والحماية من الزلازل. هذه هي المواد الخارقة المصنعة والتي تم تصميمها لتوجيه الموجات الصوتية ومعالجتها والتحكم فيها في السوائل، والمواد الصلبة، والغازات. ويمكن التحكم في أي نوع من الموجات الصوتية عن طريق التحكم في كثافة الكتلة ومعامل الكتلة.

✓ **المواد الخارقة الميكانيكية**: هي مادة صناعية مركبة مكونة من أنواع مختلفة من الخواص الميكانيكية، وهذه الأنواع من المواد الخارقة لها معامل مرونة سالب وخصائص احتكاكية. تتكون هذه المواد من مواد ذات هيكل مسامي متحكم فيه أو تشتمل على مواد ثانوية.

5.1: مزايا المواد الخارقة:

تملك المواد الخارقة مزايا عدة من بينها تحسين الاتجاهية التي تتمتع بخاصية متأصلة وهي التحكم في اتجاه الإشعاع الكهرومغناطيسي من أجل تجميع الطاقة الناشئة في مجال زواي صغير حول المستوى الطبيعي للسطح. تعزز المادة المزدوجة السلبية DNG الخصائص التوجيهية للهوائيات كما يتم أيضا تعزيز عرض النطاق الترددي حيث يزيد هوائي المواد الخارقة من عرض النطاق الترددي بالمقارنة مع هوائي التصحيح التقليدي ويتحقق ذلك باستخدام طبقات فائقة من الفوتونات على الهوائي التقليدي أو عن طريق تحميل مواد اليد اليسرى LHM.

6.1 تطبيقات المواد الخارقة:

منذ أن تم اقتراح المواد التي صنعها الإنسان وتمييزها وإنتاجها، سعى المهندسون والعلماء إلى طرق مختلفة لدمجها في تطبيقات مختلفة.

تم العثور على تطبيقات المواد الخارقة في مختلف المجالات بما في ذلك السلامة العامة، واكتشاف المستشعرات، والاتصالات الميدانية عالية التردد، وتحسين أجهزة الاستشعار فوق الصوتية، وإدارة الطاقة الشمسية، والهوائيات عالية الكسب وتطبيقات الطيران عن بعد ونذكر ذلك في ما يلي:

• كاشفات أسلحة الدمار الشامل:

يستخدم باحث الجيش والقوات الجوية المواد الخارقة للكشف عن وجود متفجرات كيميائية وعوامل بيولوجية. يتم استخدام نفس الهيكل في البضائع وفحص الركاب.

• الغواصات غير المرئية:

تتعامل المواد الخارقة بسهولة مع الطول الموجي للصوت الذي يكون أكبر بكثير من الضوء. ولجعل الغواصة غير مرئية لسونار العدو، فإنها تنحني الصوت حولها ويتم تمويل هذا البرنامج من قبل البحرية للبحوث تستخدم الشركات الفرعية المدنية أيضا المواد الخارقة لإنتاج غرف عازلة للصوت ذات صوتيات مثالية.

• الإلكترونيات:

يستخدم مهندسو الإلكترونيات المواد الخارقة كجهاز تبديل لبناء معدات فوتونية سريعة وصغيرة لأن الدوائر المستقبلية تصنع باستخدام الضوء بدلا من الكهرباء لالتقاط الضوء، يمكن تشغيل وإيقاف تشغيل أشباه الموصلات مع المواد الخارقة في الجهاز. هذه الرقائق الضوئية أسرع بعشر مرات من الرقائق الحالية.

• ترشيح الضوء والصوت:

للتحكم في الإشارات الضوئية أو الصوتية التي تعمل على تحسين دقة الموجات فوق الصوتية وتغيير لون المادة، يتم استخدام تجاعيد النانو للمواد الخارقة. يمكن تصنيع هذه المواد بعملية ترسيب متعددة الطبقات وبدقة عالية. باستخدام جزء من الطول الموجي يمكن أن يكون سمك كل طبقة مراقبة. تعمل المبادعة الدقيقة بين التجاعيد على تشتيت الترددات المحددة الناتجة عن ضغط المواد. تستخدم هذه في التشخيص الطبي وإخماد الصوت واختبار المواد غير المدمرة.

• أجهزة الاستشعار الحيوي:

تعتبر المستشعرات الحيوية أدوات مهمة للغاية في العديد من المجالات، مثل المراقبة البيئية وسلامة الأغذية وتشخيص الأمراض و في التحقيق في الظواهر البيولوجية. في الماضي تم استخدام الأساليب القائمة على التآلق لإثبات ذلك، ولكن تم استخدام المواد الخارقة مؤخرا من قبل الباحثين في تقنيات الاستشعار الحيوي بسبب اكتشافها للجزيئات الحيوية بتكلفة أقل.

• ممتص المواد الخارقة:

يمتص ممتص المواد الخارقة الإشعاع الكهرومغناطيسي بكفاءة. تقدم ممتصات المواد الخارقة فوائد تفوق الممتصات التقليدية مثل التصغير التكميلي، والقدرة على التكيف على نطاق أوسع، وزيادة الفعالية. لإنشاء

نسبة عالية من امتصاص الإشعاع الكهرومغناطيسي، فإنه يتطلب تصميمًا متوسطًا فعالًا وسماحية ونفاذية مغناطيسية.

• هوائيات المواد الخارقة:

تستخدم هوائيات المواد الخارقة لزيادة كسب الهوائي لأنه يتميز بسمات فريدة من نوعها خاصة باستعمال فجوات النطاق والبنى الدورية. في الهوائيات التقليدية الصغيرة، يعكس معظم الطول الموجي الإشارة إلى المصدر، لكن هوائي المواد الخارقة له هيكل يخزن ويعيد إشعاع الطاقة مما يجعل حجمه صغيرًا ويتصرف كهوائي أكبر.



شكل 3.1: هوائي المواد الخارقة على شكل Z

7.1 خاتمة الفصل الأول :

المواد الخارقة هي مجال جديد للبحث، ولا شك أنها ستصبح مجال بحث مثير للغاية. ينجذب الباحثون من تخصصات متعددة نحو المواد الخارقة بسبب خصائصها الكهرومغناطيسية الفريدة. في هذا الفصل تمت مناقشة عرض قصير لتاريخ المواد الخارقة، وبعض السمات البارزة والأنواع المختلفة، والتطبيقات. أدت المواد الخارقة إلى تحسينات مفاجئة في وظائف الاستجابة الكهرومغناطيسية التي يمكن أن توفر إمكانيات مثيرة للتصميم المستقبلي للأجهزة الاستهلاكية الواسعة.

الفصل الثاني: تقديم الطريقة التكرارية

وطريقة الاسترداد المستعملة في نمذجة

وتخصيص المواد الخارقة

1.2. مقدمة الفصل الثاني:

تتطلب النمذجة الأكثر واقعية للهندسة والمواد المعقدة الدعوة إلى الطرق الرقمية. يعتمد اختيار الطريقة بشكل أساسي على طبيعة المشكلة التي يتعين حلها. هذه الطرق لا تستخدم أي تقريب وتعتبر دقيقة حيث لا يتم النظر في الافتراضات الأولية. أطلقت الطرق الرقمية في منتصف الستينات (1960) من أجل الحصول على حلول أكثر دقة. تتمتع الحلول الرقمية بميزة التقدم إلى جانب تقدم الحواسيب. من بين هذه الطرق الرقمية الدقيقة التي تلقت مؤخرًا اهتمامًا كبيرًا من الوسط العلمي الطريقة التكرارية التي تعتمد على مفهوم الموجة العرضية (WCIP).

2.2. الطرق الأساسية المستخدمة في النمذجة:

✓ **الطرق التحليلية:** تعتمد في البداية على طبيعة الظواهر الفيزيائية لإعطاء تقريبات من أجل إيجاد النموذج ثم محاكاته. من بين الطرق التحليلية نذكر: طريقة خط النقل، طريقة التجويف البسيط، طريقة الحقول شبه الثابتة ...

الطرق التحليلية قديمة جدًا فهي من الطرق الأوائل تاريخيًا، تستخدم لحل المشاكل المتعلقة بالبنى المتماثلة لبنية الدليل ضمن الحدود الموافقة لمحاور الإحداثيات المنحنية والتي تتطابق مع معظم أجهزة موجه الأمواج الكهرومغناطيسية.

✓ **الطرق العددية:** عند تطبيقها الصحيح يجب أن يكون النموذج الكهرومغناطيسي دقيق جدًا، مرنة للغاية ويعالج العناصر المعزولة وكذلك الشبكات المنتهية وغير المنتهية، الشبكات المكسدة، النماذج الكيفية للروابط وتعتبر نماذج جد معقدة. من بين الطرق العددية نذكر: طريقة العزوم MOM، طريقة العناصر المحدودة، طريقة الفروق المحدودة، طريقة الرنين العرضية، معادلة التكامل طريقة TLM، طريقة الخطوط، طريقة المربعات الصغرى و طريقة المربعات الصغرى المعدلة. من بين كل هذه الطرق العددية المختلفة نقوم بدراسة طريقة المحاكاة الكهرومغناطيسية المعروفة بالطريقة التكرارية (Wave Concept Iterative Procedure) (WCIP) التي تركز على مفهوم الموجة العرضية والتي لقيت رواجًا كبيرًا في العشريتين السابقتين في الأوساط العلمية.

3.2. تعريف الطريقة التكرارية WCIP:

الطريقة التكرارية المسماة WCIP هي طريقة تكاملية تعتمد على مفهوم الموجات العرضية، لحل مشاكل الانعراج الكهرومغناطيسي وتحليل الدارات المستوية. تعتمد هذه الطريقة على معالجة الموجات المنعكسة والواردة بدلا من المجال الكهرومغناطيسي، تحدد الطريقة عاملين أحدهما في المجال المكاني والآخر في المجال الطيفي. تختلف عن طرق التكامل الأخرى مثل طريقة العزوم MOM وطريقة العناصر المحدودة FEM، ولا تستخدم أيا من الضرب القياسي أو مقلوب المصفوفة. عند تطبيقها في الفضاء الموجي، فإنها تحدد الممانعة التي يراها مصدر الموجه الموجي المستطيل مع الانقطاعات المعدنية.

[15-17]

1.3.2. نبذة تاريخية :

في عام 1980 اقترح العالمين R. Mittra و berg Vanden , طريقة تكرارية تسمى (Spectral SIT Iterative Method) من أجل حل مشكل الانعراج الكهرومغناطيسي والمطبقة بنجاح في تحليل المساحات مزدوجة اللون، الهوائيات العاكسة ذات سطوح مصححة والانعراج على أجسام مختلفة، ثم قدمت طريقة (Congugate Gradient Spectral Iterative Technic) CGSIT كبديل فعال لتحليل الهوائيات المستوية الفعالة بسيطة أو متعددة الطبقات . في الأونة الأخيرة طورت طريقة تكرارية سريعة تعتمد أيضا على مبدأ الموجه FWCIP (Fast Wave Concept Iterative Process) . تعتمد على دراسة الدارات المستوية الفعالة البسيطة أو متعددة الطبقات. تتمثل ميزة هذه الطريقة في سهولة التنفيذ وسرعتها نظرا لاستخدام تحويل فورييه السريع للأنماط(FMT) وبالتالي فإن سلوك بنية بسيطة أو متعددة الطبقات يتلخص في الشروط الحدودية للمساحة الكلية .

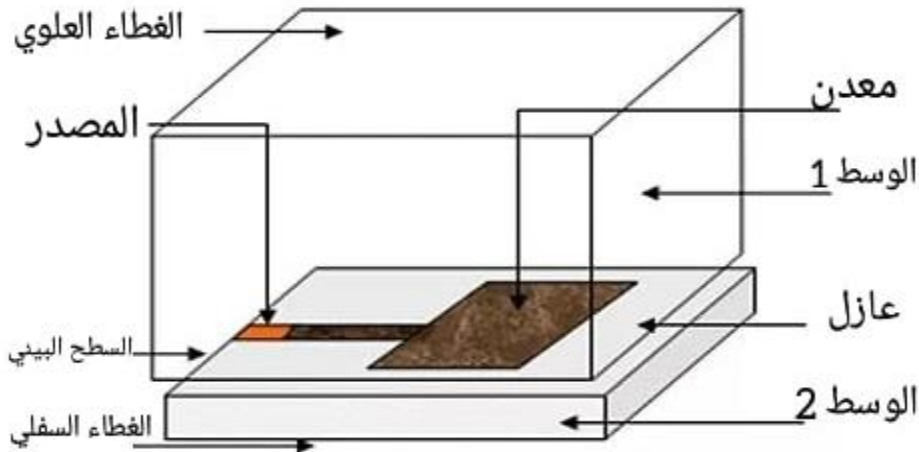
مفهوم الموجه ليس بجديد حيث تم تطبيقه لسنوات عديدة في التكافؤ بين الفضاء الذي تنتشر فيه الأمواج ودارات التوترات والتيارات ففي سنة 1987 تم حل المشاكل ثلاثية الأبعاد. [18-20]

2.3.2. تقديم طريقة المحاكاة: الطريقة التكرارية wcip [21-23]

• الدراسة النظرية للطريقة WCIP:

لتقديم معادلات الطريقة التكرارية المرتكزة على مفهوم الموجه العرضية، نفرض دائرة مسطحة غير نشيطة، مكونة من سطح بيني (Ω) بين وسطين عازلين بسما حيتين $\epsilon r1$ و $\epsilon r2$ على التوالي والمفروضين دون ضياع.

الشكل التالي يوضح دارة مستوية فعالة مسطحة على دعامة عازلة ومغلقة داخل علبة.



شكل 1.2: صورة توضيحية للعناصر المكونة لدارة مستوية.

الدارة المستوية عموما مكونة من منبع فعال مستو مرتبط بطبقة رقيقة جدا من المعدن، حيث يوضعان فوق طبقة من العازل يسمى دعامة ذات سماحية نسبية ϵ_r مختلفة عن السماحية النسبية للوسط في العلبة، هذا النوع من الدارات المستوية وحيدة الطبقات (ذات طبقة واحدة)، يوجد أيضا دارات مستوية متعددة الطبقات أين توضع الدارة على مجموعة من الحوامل العازلة. تتواجد الدارة المستوية إذن بين طبقة الحامل والوسط الحاوي الموافق للوسط العلوي المتمثل في اغلب الحالات في الهواء ونذكر بأن الهواء يملك سماحية نسبية قريبة جدا من الفراغ. تغلق بعد ذلك هذه الدارة داخل علبة رقيقة جدا لعزل كل التأثيرات الكهرومغناطيسية الخارجية، يمكن أن تكون هذه العلبة معدنية أو بلاستيكية أو أي مادة مخالفة للدعامة.

مفهوم الموجة يتعلق بالتعبير عن المتغيرات الكهرومغناطيسية للحقل الكهربائي وشدة التيار انطلاقا من الامواج الواردة والمنعكسة على السطح Ω حيث تعطى كثافة التيار الكهربائي بالجاء الشعاعي التالي:

$$\vec{j} = \vec{H} \wedge \vec{n} \quad (1)$$

\vec{n} شعاع الوحدة الناظم ل Ω_i موجه من سطح Ω الى الوسط $i=1,2$

\vec{H} الحقل المغناطيسي العرضي

نفرض:

$$\vec{A}_i = \frac{1}{2\sqrt{Z_{oi}}} (\vec{E}_i + Z_{oi} * \vec{H}_i \wedge \vec{n}) \quad (2)$$

$$\vec{B}_i = \frac{1}{2\sqrt{Z_{oi}}} (\vec{E}_i - Z_{oi} * \vec{H}_i \wedge \vec{n}) \quad (3)$$

نعبر عن سعة الأمواج الواردة A_i والمنعكسة B_i في مساحة السطح Ω_i بدلالة الحقول الكهربائية وكثافة التيار بالعلاقات التالية:

$$\vec{A}_i = \frac{1}{2\sqrt{Z_{oi}}} (\vec{E}_i + Z_{oi} * \vec{J}_i) \quad (4)$$

$$\vec{B}_i = \frac{1}{2\sqrt{Z_{oi}}} (\vec{E}_i - Z_{oi} * \vec{J}_i) \quad (5)$$

العبارات التحليلية للحقل الكهربائي \vec{E}_i وكثافة التيار \vec{J}_i معرفة إنطلاقاً من العلاقات السابقة كما يلي:

$$\vec{E}_i = \sqrt{Z_{oi}} (\vec{A}_i + \vec{B}_i) \quad (6)$$

$$\vec{J}_i = \frac{1}{\sqrt{Z_{oi}}} (\vec{A}_i - \vec{B}_i) \quad (7)$$

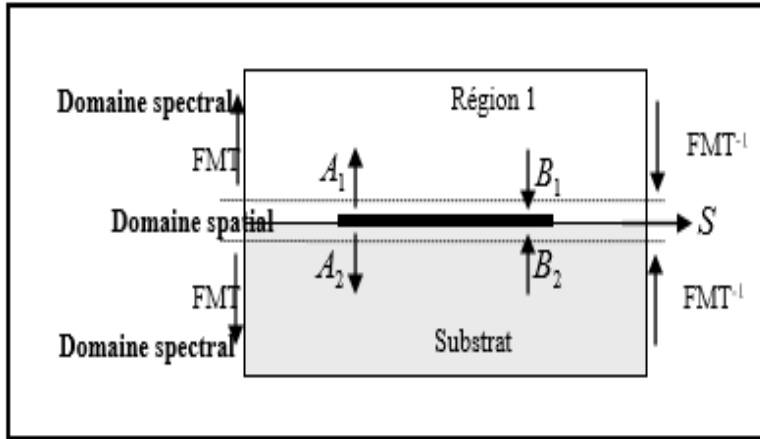
Z_{oi} الممانعة الذاتية للوسط i تعطى عباراتها التحليلية بالعلاقة:

$$Z_{oi} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0 \epsilon_{ri}}} \quad (8)$$

مع $Z_0 = \eta = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 377\Omega$ هي ممانعة الفراغ.

و ϵ_{ri} سماحية العازل النسبية للوسط i

• مبدأ الطريقة التكرارية WCIP :



شكل 2.2: مبدأ الطريقة التكرارية wcip

يعتمد مبدأ هذه الطريقة في تكرار المعادلات المقترحة إلى غاية الحصول على حلول المشكل المطروح لذلك يجب أن تكون كل المعادلات مرتبطة ببعضها وحل المعادلة الأخيرة يصبح معطى للمعادلة التالية :
نفرض في بداية الطريقة التكرارية أن الهدف معزول في الوسط الحر وتتواجد سوى الأمواج النسبية الناتجة عن التحريض المولد للأمواج الواردة A_1^0 و A_2^0 في مستوى السطح Ω . تعطي هذه الأمواج بالانعكاس على الأسطح العلوية والسفلية للعملية أمواج جديدة B_1^1 و B_2^1 حيث تمثل الأمواج المنعكسة للعملية الاولى. هذه الأخيرة تنعرج في الوسط الحر لإعطاء أمواج واردة تعرف بـ A_1^1 و A_2^1 لتغذية الأمواج الواردة للعملية المقبلة وتكرر العملية التكرارية إلى غاية N عملية .

يلخص المبدأ السابق بالمعادلات الأساسية التالية:

في الميدان الطيفي

$$\vec{B}_i = \hat{\Gamma} \vec{A} \quad (9)$$

في الميدان المكاني

$$\vec{A} = \hat{S} \vec{B}_i + \vec{A}_{0i} \quad (10)$$

• مؤثر الانعراج \hat{S} :

مؤثر الانعراج يعرف في الميدان المكاني (على مستوى السطح العازل)، يربط الأمواج الواردة بالأمواج المنعكسة. يعبر عن الشروط الحدودية ومعادلة الاستمرارية في مختلف الأوساط المشكلة لسطح البنية Ω .

• مؤثر الانعكاس $\hat{\Gamma}$:

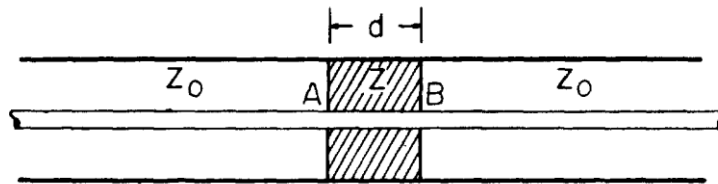
معامل الانعكاس يعرف في الميدان الطيفي، يربط الأمواج المنعكسة بالأمواج الواردة وهو يعبر عن طبيعة جدران العلبه والعازل الموجود في مختلف أوساط البنية.

الطريقة التكرارية تسمح بالمرور بين الميدان المكاني والميدان الطيفي، للمرور من ميدان لآخر نستخدم التحويل FMT (Fast Modal Transform) ومعاكسه.

4.2 تقديم المعادلات النظرية لطريقة الاسترداد NRW

1.4.2 المبدأ الأساسي: [22]

يفرض قرص حلقي من مادة معينة ذات نفاذية $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$ ، سماحيتها $\mu = \mu_0 \mu_r$ وسمكها d ، مثبت في خط محوري (coaxial cable) مملوء بالهواء مع مقاومة مميزة Z_0 كما هو مبين في الشكل 3.2 داخل المنطقة $0 \leq x \leq d$



الشكل 3.2: خط محوري مع قرص حلقي من المادة المراد قياس خصائصها

سوف يفترض للخط مقاومة جديدة مميزة $Z = \sqrt{\mu_r \varepsilon_r} \cdot Z_0$ ، حيث قد تكون ε_r و μ_r مركبة إذا كانت d لانهائي ، ثم معامل الانعكاس لورود موجة على واجهة الخط المملوء بالهواء قد تعطى ببساطة بالعلاقة

$$\Gamma = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} \quad (11)$$

بالنسبة ل d محدود ، يمكن كتابة معامل الإرسال بين الوجهين A و B للشريحة بالعلاقة

$$T = e^{-i\omega\sqrt{\mu\varepsilon}.d} = e^{-i\left(\frac{\omega}{c}\right)\sqrt{\mu_r\varepsilon_r}.d} \quad (12)$$

يمكن الحصول على وسائط الإرسال و الانعكاس بالعلاقات التالية:

$$S_{11} = \frac{(1-T^2)\Gamma}{1-\Gamma^2T^2} \quad (13)$$

$$S_{21} = \frac{(1-\Gamma^2)T}{1-\Gamma^2T^2} \quad (14)$$

كتابة المجموع و الفرق لوسائط معاملات الانتشار

$$V_1 = S_{21} + S_{11} \quad (15)$$

$$V_2 = S_{21} - S_{11} \quad (16)$$

إذا وضعنا

$$X = \frac{1-V_1V_2}{V_1-V_2} \quad (17)$$

ثم نستطيع تبيان أن Γ يمكن الحصول عليه من معاملات التشتت

$$\Gamma = X \pm \sqrt{X^2 - 1} \quad (18)$$

واختيار الإشارة يكون بالشرط $|\Gamma| \leq 1$ ، أيضا يمكن كتابة

$$T = \frac{V_1 - \Gamma}{1 - V_1\Gamma} \quad (19)$$

ثم من العلاقة (11) نعرف القيمة

$$\frac{\mu_r}{\epsilon_r} = \left(\frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} \right)^2 = c_1 \quad (20)$$

و من العلاقة (12) نعرف القيمة

$$\mu_r \epsilon_r = - \left\{ \frac{c}{\omega d} \ln \left(\frac{1}{T} \right) \right\}^2 = c_2 \quad (21)$$

و أخيرا نحصل على

$$\mu_r = \sqrt{c_1 c_2} \quad (22)$$

$$\varepsilon_r = \sqrt{c_2 / c_1} \quad (23)$$

وبالتالي تم الحصول على النفاذية المركبة والسماحية المركبة من قياس وسائط تشتت الانعكاس والإرسال لشريحة من المادة المراد تخصيصها والتي تمكنا من حساب خصائص أخرى كقرينة الانكسار.

5.2 خاتمة الفصل الثاني:

وجدت الطريقة التكرارية wcip المعتمدة على مبدأ الموجة لحل المشاكل الكهرومغناطيسية في الدارات قصيرة الموجة، وتعرف على أنها توزيع خطي للحقل الكهربائي وكثافة التيار. الصيغة النظرية لهذه الطريقة التي تستند على علاقتين تربطان الأمواج واحدة في الوسط المكاني و الأخرى في الوسط الطيفي ويتم الانتقال بينهما بتحويل فورييه النمطي (FMT) ، تم تقديمها في هذا الفصل، إضافة إلى طريقة الاسترداد للخواص الكهرومغناطيسية (NRW) التي يركز عليها برنامج المحاكاة المستعمل في الفصل الثالث.

الفصل الثالث : نتائج محاكاة تأثير
التصغير على الخصائص
الكهرومغناطيسية باستخدام الطريقة
التكرارية.

1.3 مقدمة الفصل الثالث:

في مجال النمذجة والمحاكاة الكهرومغناطيسية، يقوم الباحثون في دوائر الموجات الدقيقة حاليًا بإجراء أبحاث نشطة لتطوير أجهزة المحاكاة الكهرومغناطيسية العامة وتطوير النمذجة الكهرومغناطيسية متعددة المقاييس. في هذا الفصل، سنستكشف الطريقة التكرارية (WCIP) من خلال تطبيقها لنمذجة ومحاكاة بنيتين مستويتين لنمطي مادة خارقة الأول يمثل المرنان ذو الحلقة بشق و الثاني يمثل شبكة سيقان معدنية و اللتان يتم تصغيرهما على مرحلتين (كل تصغير يتم على بعدي نمط المادة الخارقة وأيضاً على بعد ارتفاع الدعامه المصمم عليها النمط) مع دراسة تأثير التصغير المطبق على الخصائص الكهرومغناطيسية من نفاذية ، سماحية و قرينة انكسار للهياكل المقترحة.[23-26]

هيكال الدراسة عبارة عن دائرة مستوية، بطبقة وحيدة، متكون من دعامة رقيقة عازلة، يوضع عليها هيكال من طبقة معدنية رقيقة لنمط مادة خارقة حيث يتم تغذية الدارة بواسطة خط عصابة رقيقة، يتم إنتاج الكتلة عن طريق تعدين الجانب الآخر من الدعامة. كما يتم وضع هذه الدارة في علبة معدنية كما هو موضح في الشكل 1.3.

2.3 دراسة بالمحاكاة لتأثير التصغير على هياكل لمواد خارقة:

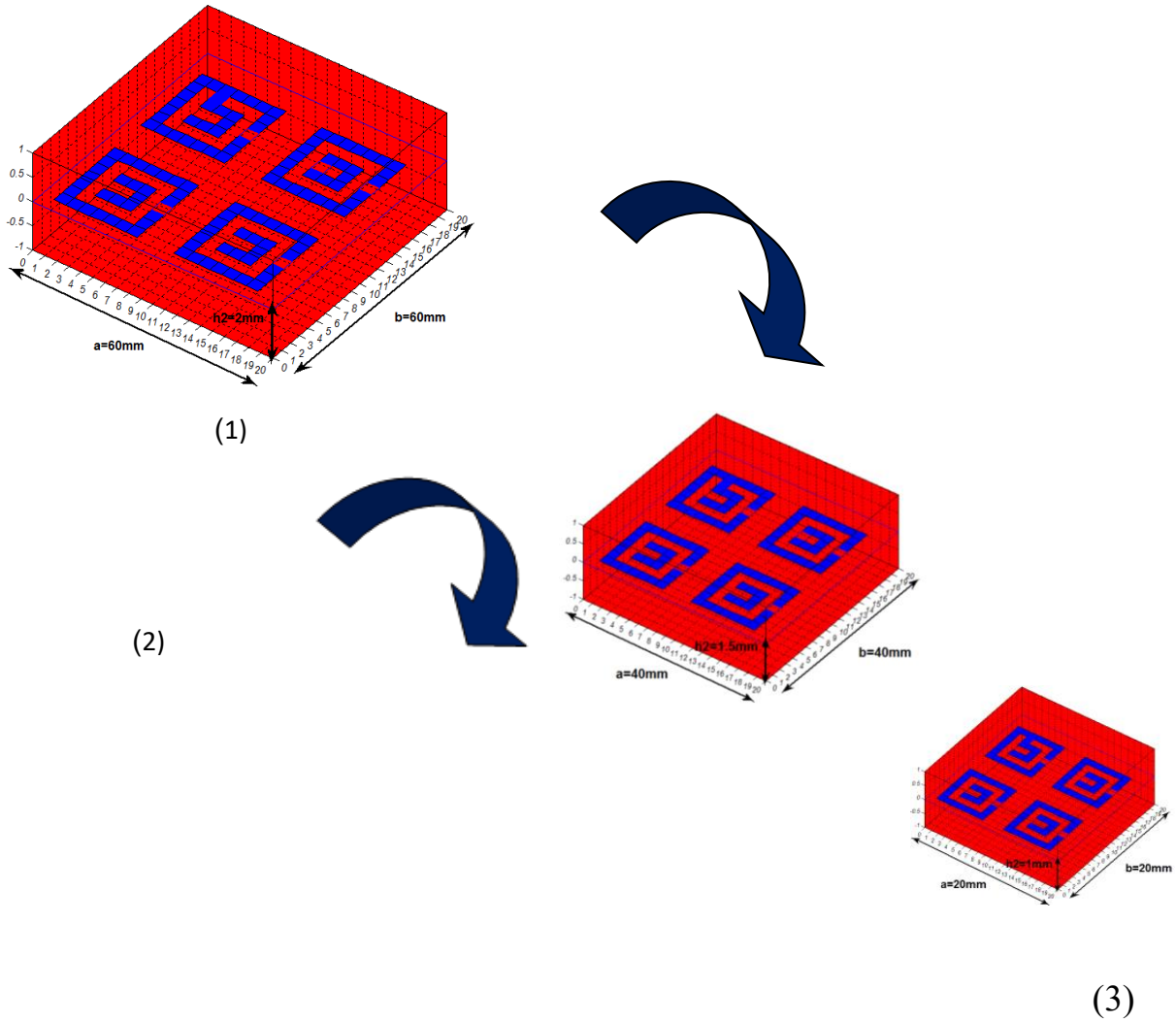
1.2.3 شبكة خلايا لمرنانات ذات الحلقة بشق(SRR):

في عام 1999 اكتشف J.Pendry عنصراً اصطناعياً يعرف بالمرنان ذو الحلقة بشق(SRR) والذي يتميز بالنفاذية الفعالة السلبية في عصابة تواتر ضيقة حول تواتر تجاوبه (نطاق تردد ضيق حول تردده الرنان). يمكن أن تكون المرنانات بأشكال هندسية عديدة ويتم تحجيمها من أجل التشغيل السليم. بالنسبة للمحاكاة، يتم وضع هذا العنصر على ركيزة توضع في موجه موجي من أجل استخلاص قيم السماحية النفاذية وقرينة الانكسار من معاملي الانعكاس والإرسال.

في هذا الجزء، نحن مهتمون بدراسة تأثير التصغير على الخصائص الكهرومغناطيسية من نفاذية سماحية وقرينة انكسار لهيكال مسطح من نمط لمادة خارقة هي شبكة من أربع خلايا لمرنانات (SRR) المربعة التي يتم تصغيرها على مرحلتين (كل تصغير يتم على بعدي نمط المادة الخارقة وأيضاً على بعد ارتفاع الدعامة المصمم عليها النمط). تم استخدام برنامج محاكاة على أساس الطريقة التكرارية (W.C.I.P) مقرونة بطريقة معروفة لاستخراج الخصائص الكهرومغناطيسية للمواد.

الفصل الثالث : نتائج محاكاة تأثير التصغير على الخصائص الكهرومغناطيسية باستخدام الطريقة التكرارية.

• خطوات التصغير



شكل 1.3: رسم ثلاثي الأبعاد لخطوات التصغير لهيكل نمط المادة الخارقة شبكة من أربعة خلايا لمرنان SRR

(1) 60mmx60mmx2 mm, (2) 40mmx40mmx1.5 mm, (3) 20mmx20mmx1 mm.

- معطيات المحاكاة الأولى

- dim = 20 20 a...(mm)60 b...(mm)60 h1...(mm)2 h2...(mm)2 h3...(mm)2
 epsr1...1 epsr2...4.7 epsr3...1 Nombre Itération=...300 entrer finit(en Ghz) :1
 entrer f final(en Ghz) :100 entrer le pas de fréquence (en Ghz):0.5

الفصل الثالث : نتائج محاكاة تأثير التصغير على الخصائص الكهرومغناطيسية باستخدام الطريقة التكرارية.

2- معطيات المحاكاة الثانية

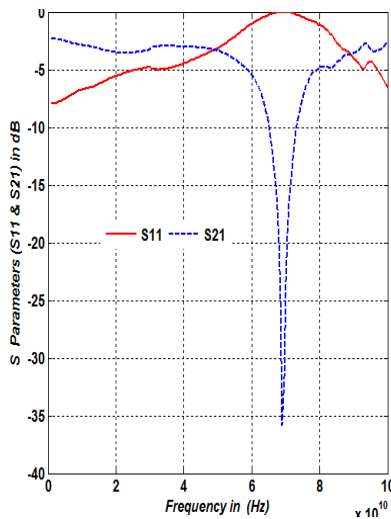
• dim = 20 20 a...(mm)40 b...(mm)40 h1...(mm)2 h2...(mm)1.5 h3...(mm)2
 epsr1...1 epsr2...4.7 epsr3...1 Nombre Itération=...300 entrer finit(en Ghz) :1
 entrer f final(en Ghz) :100 entrer le pas de fréquence (en Ghz):0.5.

3- معطيات المحاكاة الثالثة

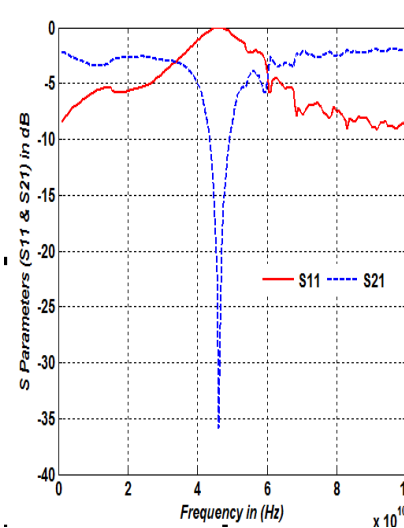
• dim = 20 20 a...(mm)20 b...(mm)20 h1...(mm)2 h2...(mm)1 h3...(mm)2
 epsr1...1 epsr2...4.7 epsr3...1 Nombre Itération=...300 entrer finit(en Ghz) :1
 entrer f final(en Ghz) :100 entrer le pas de fréquence (en Ghz):0.5

• نتائج المحاكاة

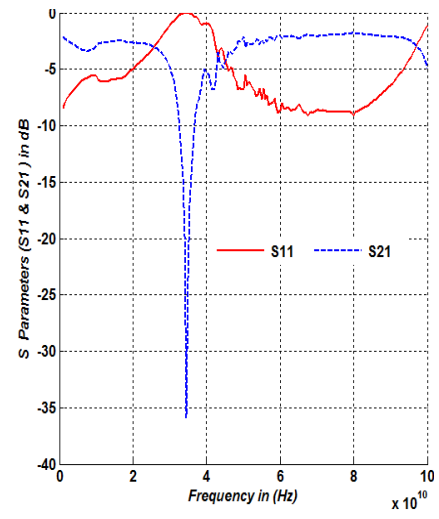
قمنا باستخراج منحنيات بدلالة التواترات لكل من وسيطي الإرسال و الإنعكاس، السماحية ، النفاذية و قرينة الإنكسار و التي كانت كالاتي:



(ج)



(ب)



(أ)

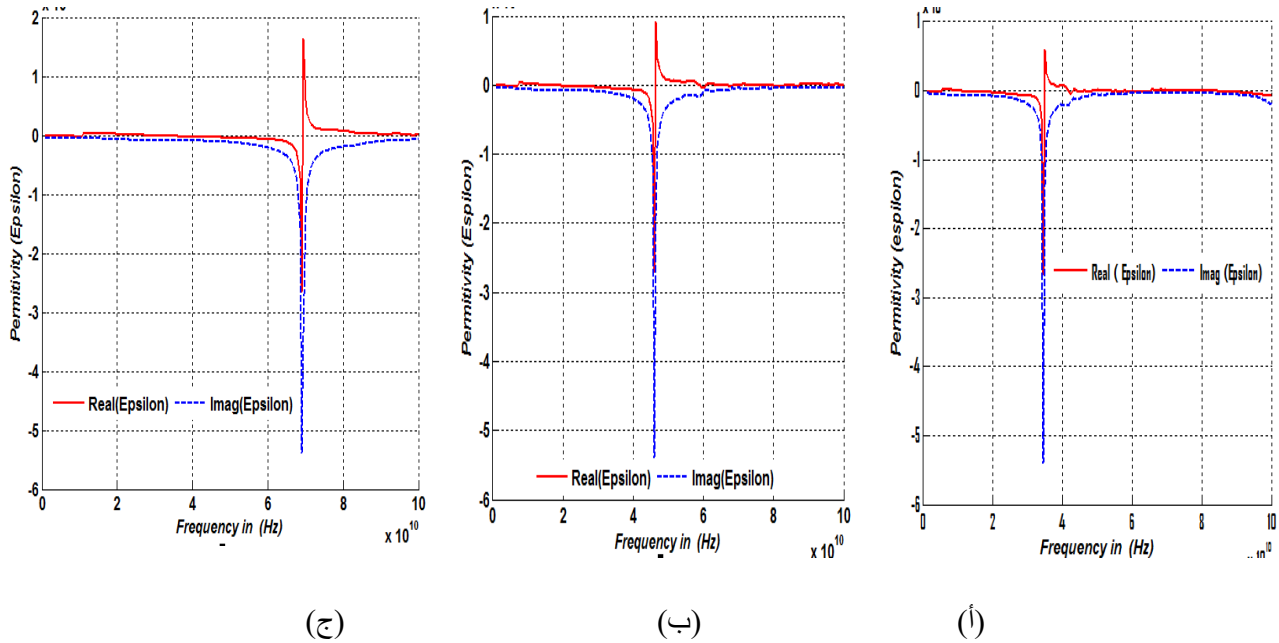
شكل 2.3: تغيرات وسيطي الإرسال و الانعكاس بدلالة التواتر للشبكة من أربع خلايا للمرنان ذو الحلقة بشق من أجل الأبعاد:

20 mmx20mmx1 mm (ج) 40mmx40mmx1.5 mm (ب) 60mmx60mmx2 mm(أ)

يمثل الشكل 2.3 معاملي الانعكاس S11 و الإرسال S21 بعد محاكاة المرنان ذو شبكة من أربع خلايا من الخلية SRR للثلاثة نسخ: الأصلية بالأبعاد (60mmx60mmx2 mm) وبعد التصغير الأول

الفصل الثالث : نتائج محاكاة تأثير التصغير على الخصائص الكهرومغناطيسية باستخدام الطريقة التكرارية.

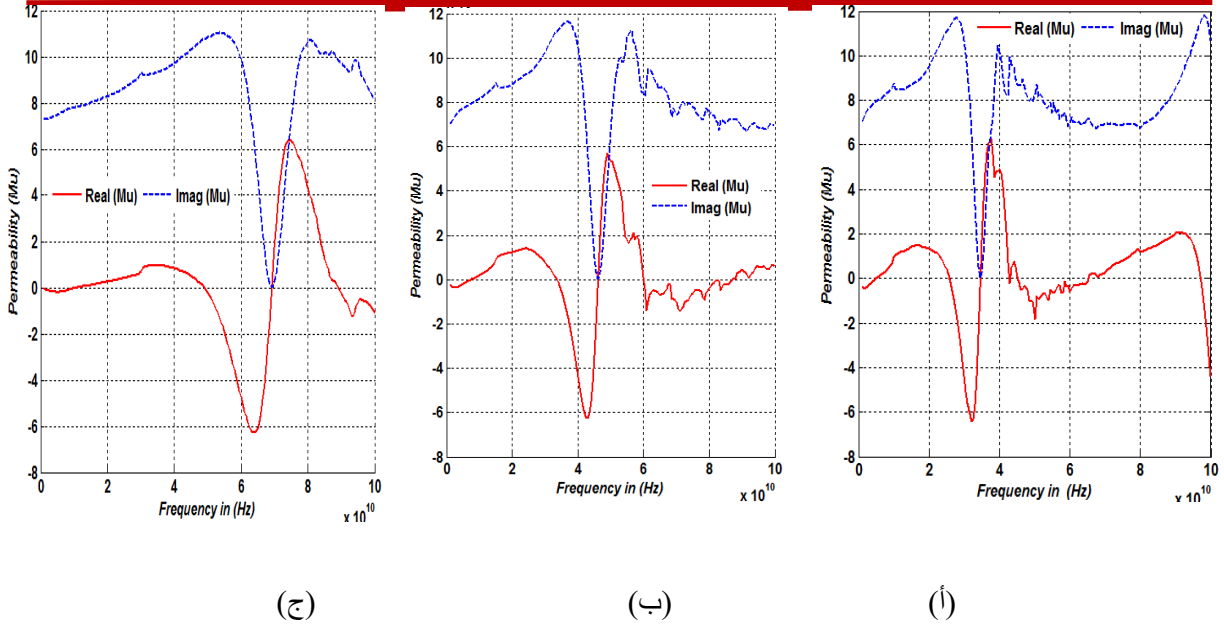
بالأبعاد (40mmx40mmx1.5 mm) ثم التصغير الثاني بالأبعاد (20mmx20mmx1mm). نلاحظ ان نسخة الـ SRR الأصلية لديها رنين عند التواتر 35GHz بكسب مقداره بقيمة تقارب -36dB ثم ينسحب تواتر الرنين مع التصغير نحو التواترات العالية بنفس الكسب.



شكل 3.3: تغيرات السماحية بدلالة التواتر للشبكة من أربع خلايا للمرنان ذو الحلقة بشق من أجل الأبعاد :
 (أ) 60mmx60mmx2 mm (ب) 40mmx40mmx1.5 mm (ج) 20mmx20mmx1 mm

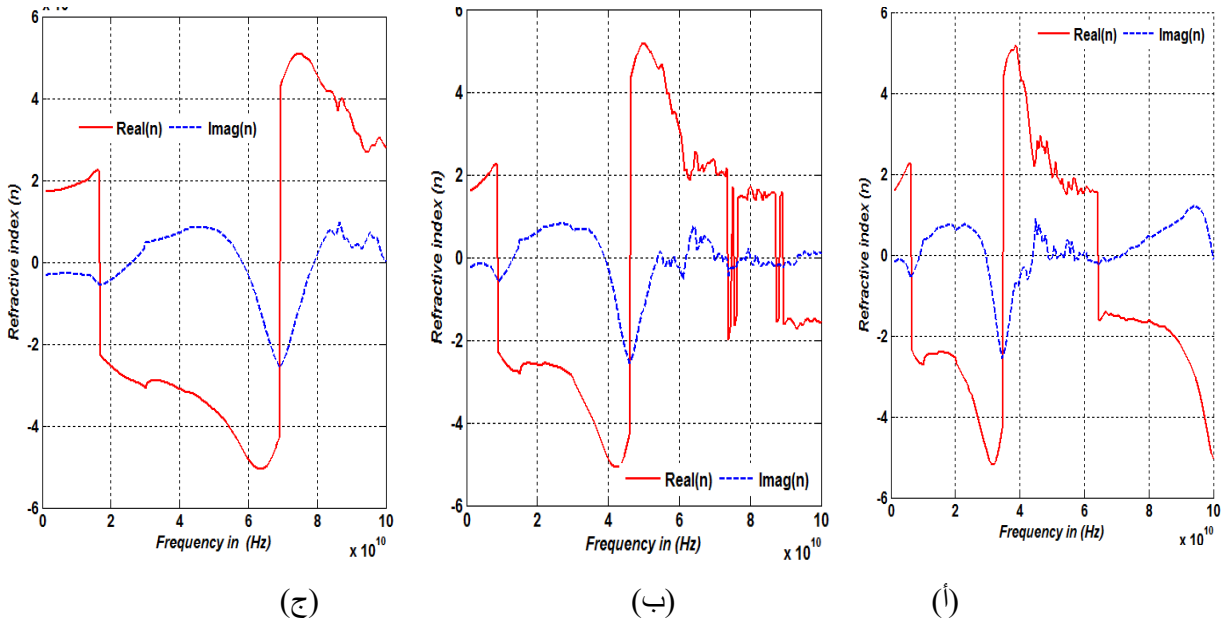
يمثل الشكل 3.3 تغيرات السماحية بدلالة التواتر للشبكة من أربع خلايا للمرنان ذو الحلقة بشق من أجل الأبعاد المرنان ذو شبكة من أربع خلايا من الخلية SRR للثلاثة نسخ: الأصلية و المصغرتين. نلاحظ ان نسخة الـ SRR الأصلية لديها سلبية سماحية (ظاهرة مادة خارقة) في جوار تواتر الرنين و التي إنسحبت نحو التواترات العالية مع التصغير في النسختين المصغرتين الأولى و الثانية.

الفصل الثالث : نتائج محاكاة تأثير التصغير على الخصائص الكهرومغناطيسية باستخدام الطريقة التكرارية.



شكل 4.3: تغيرات النفاذية بدلالة التواتر للشبكة من أربع خلايا للمرنان ذو الحلقة بشق من أجل الأبعاد:

(أ) 60mmx60mmx2 mm (ب) 40mmx40mmx1.5 mm (ج) 20mmx20mmx1 mm
 يمثل الشكل 4.3 تغيرات النفاذية بدلالة التواتر للشبكة من أربع خلايا للمرنان ذو الحلقة بشق من أجل الثلاثة نسخ: الأصلية والمصغرتين. نلاحظ ان نسخة الSRR الأصلية لديها سلبية نفاذية (ظاهرة مادة خارقة) في جوار تواتر الرنين و التي إنسحبت نحو التواترات العالية مع التصغير مع إزدياد عصبه المرور في جوار تواتر الرنين مع التصغير.



شكل 5.3: تغيرات قربة الانكسار بدلالة التواتر للشبكة من أربع خلايا للمرنان ذو الحلقة بشق من أجل الأبعاد :

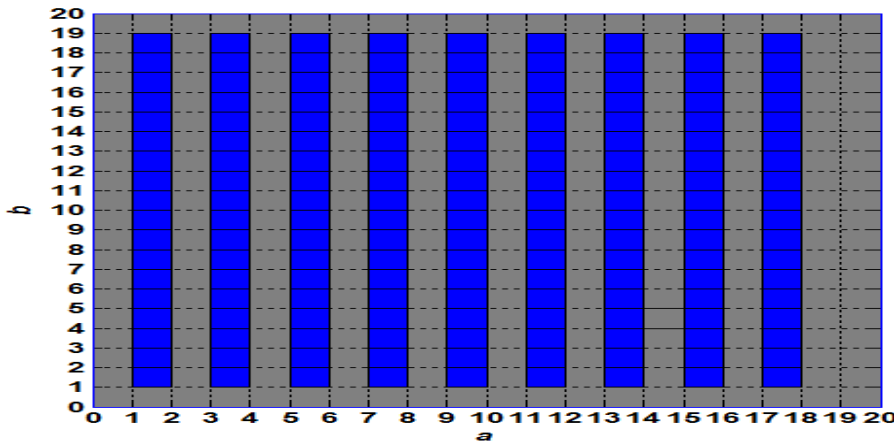
(أ) 60mmx60mmx2 mm (ب) 40mmx40mmx1.5 mm (ج) 20mmx20mmx1 mm

الفصل الثالث : نتائج محاكاة تأثير التصغير على الخصائص الكهرومغناطيسية باستخدام الطريقة التكرارية.

يمثل الشكل 3. 5 تغيرات قرينة الانكسار بدلالة التواتر للشبكة من أربع خلايا للمرنان ذو الحلقة بشرق من أجل الثلاثة نسخ: الأصلية والمصغرتين. نلاحظ ان نسخة الSRR الأصلية لديها سلبية قرينة انكسار (ظاهرة مادة خارقة) في جوار تواتر الرنين و التي إنسحبت نحو التواترات العالية مع التصغير مع إزدياد عتبة المرور في جوار تواتر الرنين مع التصغير.

2. 2. 3 شبكة السيقان المعدنية:

هذا الجزء مخصص لدراسة نمط ثاني من المواد الخارقة. كما رأينا في القسم 1.2.3 ، أظهر بيندري Pendry وفريقه أن شبكة من السيقان المعدنية المتوازية الموجهة تشكل نمطا لمادة خارقة تظهر سلوكًا كهربائيًا وتتميز بالسماحية الفعالة السالبة. في هذا الجزء، نحن مهتمون بمحاكاة شبكة السيقان المعدنية. يتم تنفيذ عمليات المحاكاة باستخدام الطريقة التكرارية لدراسة تأثير التصغير على الخصائص الكهرومغناطيسية من نفاذية، سماحية وقرينة انكسار لهيكل مسطح من شبكة من السيقان المعدنية المتوازية الموجهة و الذي يتم تصغيره على مرحلتين (كل تصغير يتم على بعدي نمط المادة الخارقة وأيضا على بعد ارتفاع الدعامة المصمم عليها النمط). تم استخدام نفس برنامج المحاكاة على أساس الطريقة التكرارية (W.C.I.P) مقرونة بطريقة معروفة لاستخراج الخصائص الكهرومغناطيسية للمواد.

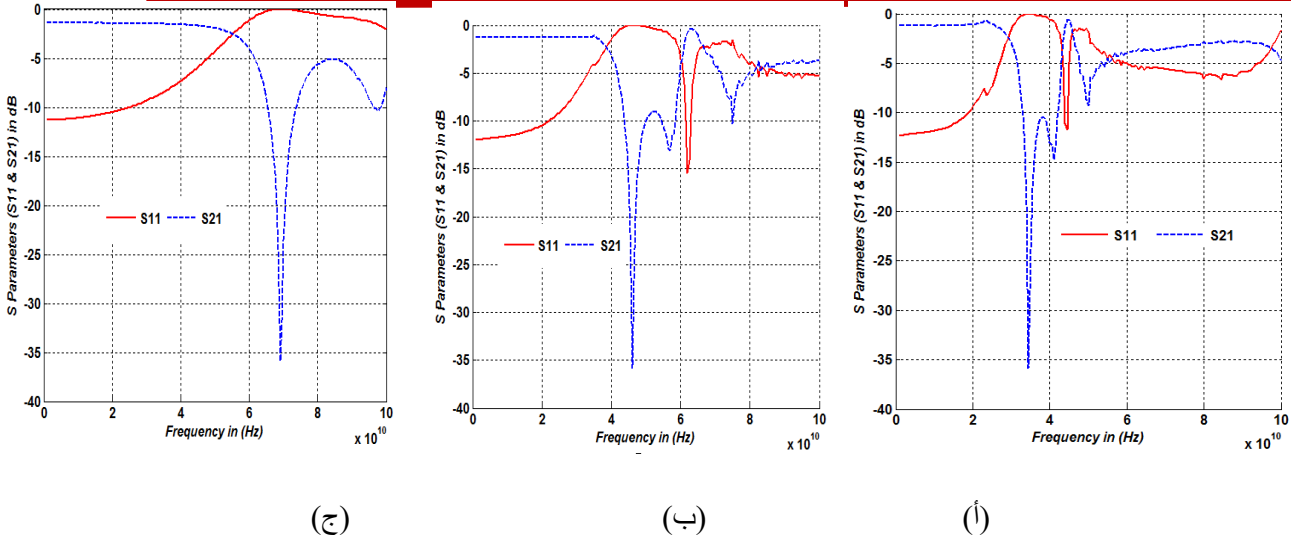


شكل 6.3: شبكة السيقان المعدنية

• خطوات المحاكاة

نفس خطوات محاكاة النمط الأول، بالأبعاد ومعطيات المحاكاة والتي كانت نتائجها كالآتي:

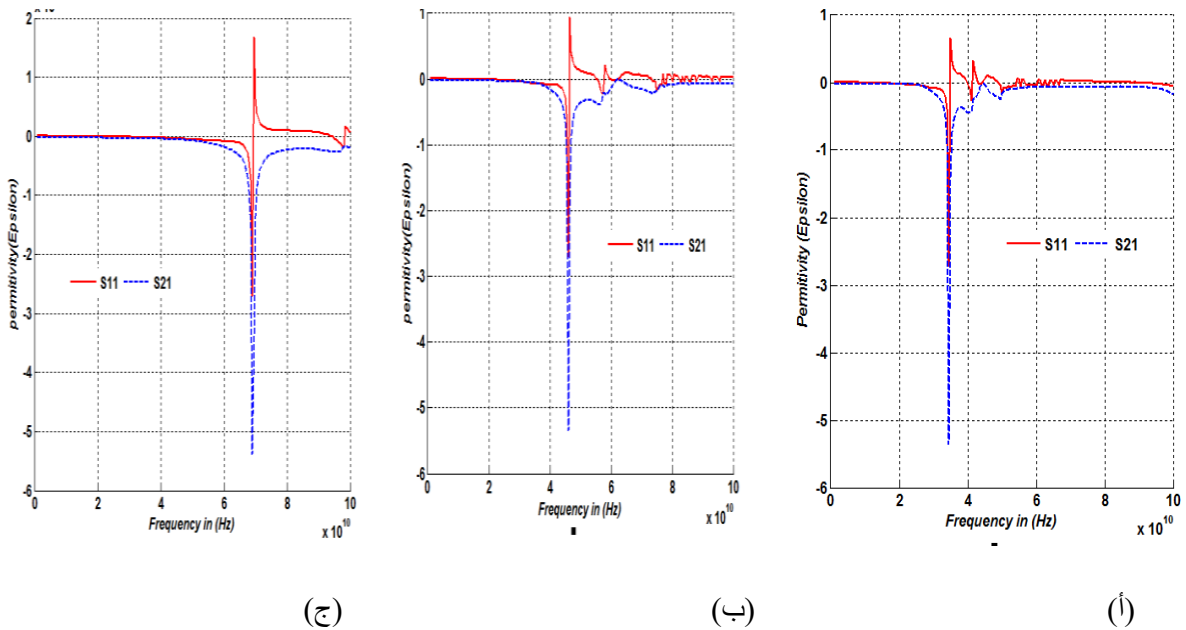
الفصل الثالث : نتائج محاكاة تأثير التصغير على الخصائص الكهرومغناطيسية باستخدام الطريقة التكرارية.



شكل 7.3 : تغيرات وسيطي الإرسال و الانعكاس بدلالة التواتر لشبكة السيقان المعدنية من أجل الأبعاد :

20 mmx20mmx1 mm (ج) 40mmx40mmx1.5 mm (ب) 60mmx60mmx2mm(أ)

يمثل الشكل 7.3 معاملي الانعكاس S11 و الإرسال S21 بعد محاكاة لشبكة السيقان المعدنية للثلاثة نسخ الأصلية بالأبعاد (60mmx60mmx2 mm) وبعد التصغير الأول بالأبعاد (40mmx40mmx1.5 mm) ثم التصغير الثاني بالأبعاد (20mmx20mmx1 mm). نلاحظ ان نسخة شبكة السيقان المعدنية الأصلية لديها رنين عند التواتر 41.5GHz بكسب مقداره بقيمة تقارب -28dB ثم ينسحب تواتر الرنين مع التصغير نحو التواترات العالية بنفس الكسب.

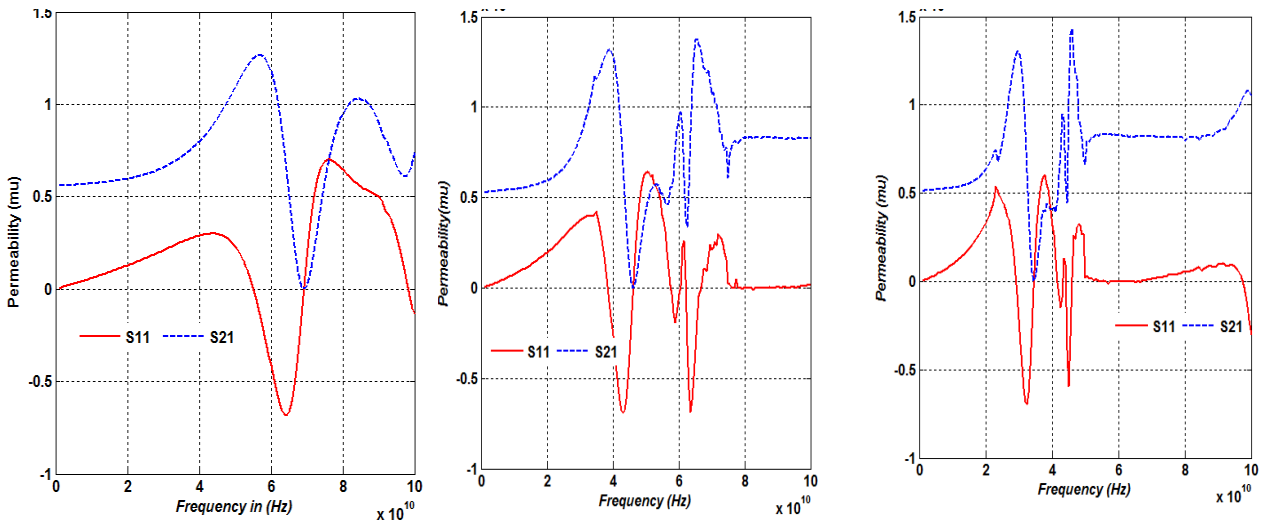


شكل 8.3 : تغيرات السماحية بدلالة التواتر لشبكة السيقان المعدنية من أجل الأبعاد :

20 mmx20mmx1 mm (ج) 40mmx40mmx1.5 mm (ب) 60mmx60mmx2 mm(أ)

الفصل الثالث : نتائج محاكاة تأثير التصغير على الخصائص الكهرومغناطيسية باستخدام الطريقة التكرارية.

يمثل الشكل 8.3 تغيرات السماحية بدلالة التواتر لشبكة السيقان المعدنية للثلاثة نسخ: الأصلية و المصغرتين. نلاحظ أن النسخة الأصلية لديها سلبية سماحية (ظاهرة مادة خارقة) في جوار تواتر الرنين و التي انسحبت نحو التواترات العالية مع التصغير في النسختين المصغرتين الأولى و الثانية.



(ج)

(ب)

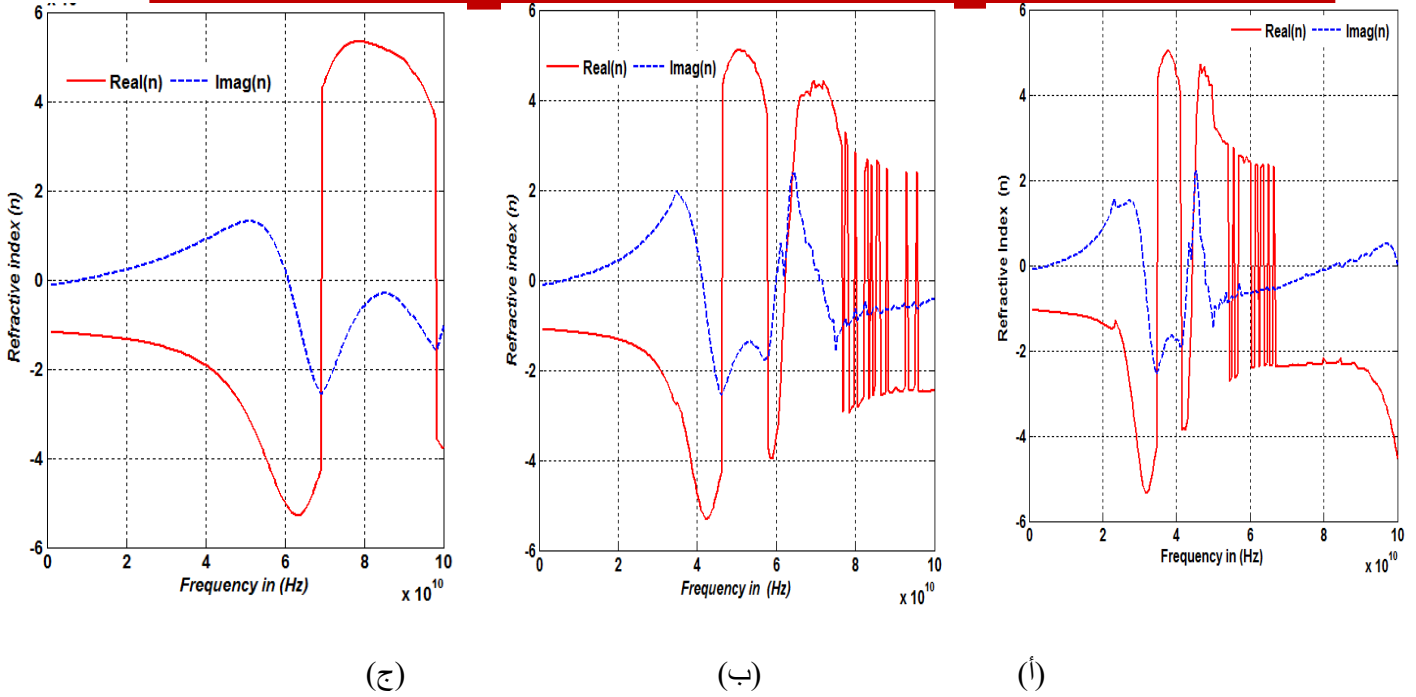
(أ)

شكل 9.3: تغيرات النفاذية بدلالة التواتر لشبكة السيقان المعدنية من أجل الأبعاد :

(أ) 60mmx60mmx2 mm (ب) 40mmx40mmx1.5 mm (ج) 20 mmx20mmx1 mm

يمثل الشكل 9.3 تغيرات النفاذية بدلالة التواتر لشبكة السيقان المعدنية من أجل الثلاثة نسخ: الأصلية و المصغرتين. نلاحظ أن النسخة الأصلية لديها سلبية نفاذية (ظاهرة مادة خارقة) في جوار تواتر الرنين و التي إنسحبت نحو التواترات العالية مع التصغير مع إزدياد في عتبة المرور في جوار تواتر الرنين .

الفصل الثالث : نتائج محاكاة تأثير التصغير على الخصائص الكهرومغناطيسية باستخدام الطريقة التكرارية.



شكل 10.3: تغيرات قرينة الانكسار بدلالة التواتر لشبكة السيقان المعدنية من أجل الأبعاد:

(أ) 60mmx60mmx2 mm (ب) 40mmx40mmx1.5 mm (ج) 20 mmx20mmx1 mm

يمثل الشكل 3 . 10 تغيرات قرينة الانكسار بدلالة التواتر لشبكة السيقان المعدنية من أجل الثلاثة نسخ: الأصلية والمصغرتين. نلاحظ أن نسخة السيقان المعدنية الأصلية لديها سلبية قرينة انكسار (ظاهرة مادة خارقة) في جوار تواتر الرنين والتي انسحبت نحو التواترات العالية مع التصغير مع إزدياد عتبة المرور في جوار تواتر الرنين مع التصغير.

3.3 . خاتمة الفصل الثالث

في هذا الفصل قمنا بتطبيق الطريقة التكرارية (WCIP) لمحاكاة و نمذجة بنيتين مستويتين غير نشيطتين لنمطين معروفين لمادة خارقة الأول يمثل المرنان ذو الحلقة بشق (SRR) و الثاني يمثل شبكة السيقان المعدنية . عدلنا الطريقة التكرارية ببرمجة إضافية لطريقة استرداد: طريقة (NRW) وهي الطريقة التي استعملت في حساب و استخراج الخواص التأسيسية المطلوبة من : سماحية ϵ ، نفاذية μ ، قرينة انكسار n ... انطلاقاً من وسائط الانعكاس و الإرسال .قمنا برسم منحنيات بدلالة التواتر لكل الخواص التأسيسية حيث خلصنا إلى استنتاج أن تصغير أبعاد نمط المادة الخارقة يؤدي إلى انسحاب خاصية المادة الخارقة (سلبية الخواص الكهرومغناطيسية)، التي تظهر عادة في جوار تواتر الرنين في كل بنية من مادة خارقة، نحو التواترات العالية.

الفصل الثالث : نتائج محاكاة تأثير التصغير على الخصائص الكهرومغناطيسية باستخدام الطريقة التكرارية.

خاتمة عامة

لقد حاولنا في عملنا أن نسلط الضوء على كيفية تأثير التصغير على الخواص الكهرومغناطيسية لنمطي مادة خارقة معروفين وذلك باستخدام محاكيات الموجات الدقيقة لنمذجة، تصميم وتخصيص دارات غير نشيطة (في حالتنا نمطين معروفين لمادة خارقة). هذه المحاكيات القائمة على البرمجيات والتي تستخدم طرق التوصيف الكهرومغناطيسي، أصبحت ضرورية خلال مراحل التصنيع لتحسين الخصائص المتوقعة للدارات قبل وضعها في بيئتها النهائية.

سمح لنا البرنامج المرتكز على الطريقة التكرارية (WCIP) بما يلي:

- ✓ نمذجة و محاكاة بنية مستوية غير نشيطة محاكية لنمطين معروفين لمادة خارقة الأول يمثل المرنان ذو الحلقة بشق (SRR) و الثاني يمثل شبكة سيقان معدنية .
- ✓ تخصيص نمطين لمادة خارقة باستعمال طريقة استرداد (NRW) التي استعملت في حساب و استخراج الخواص التأسيسية المطلوبة من : سماحية ϵ ، نفاذية μ ، قرينة إنكسار n ...
- ✓ دراسة تأثير التصغير على الخواص الكهرومغناطيسية لنمطي المادة الخارقة المنمذجين إنطلاقا من نسخة أصلية ثم القيام بتصغير ثلاثي الأبعاد للحصول على نسختين مصغرتين على مرحلتين.
- ✓ أستنتجنا أن التصغير يؤثر بسحب خاصية المادة الخارقة (سلبية الخواص الكهرومغناطيسية) نحو التواترات العالية بالنسبة للنمطين المدروسين.

- [1] Tang, W., Mei, Z. & Cui, T., 2015. Theory, experiment and applications of metamaterials. *Science China Physics, Mechanics & Astronomy*, 58(12).
<http://dx.doi.org/10.1007/s11433-015-5746-8>.
- [2] Vendik, I.B. & Vendik, O.G., 2013. Metamaterials and their application in microwaves: A review. *Technical Physics*, 58(1), pp.1–24.
<http://dx.doi.org/10.1134/s1063784213010234>.
- [3] Ziolkowski, R.W. & Engheta, N., Introduction, History, and Selected Topics in Fundamental Theories of Metamaterials. *Metamaterials*, pp.1–41.
<http://dx.doi.org/10.1002/0471784192.ch1>
- [4] Veselago, V.G., 1968. THE ELECTRODYNAMICS OF SUBSTANCES WITH SIMULTANEOUSLY NEGATIVE VALUES OF ϵ AND μ . *Soviet Physics Uspekhi*, 10(4), pp.509–514.
<http://dx.doi.org/10.1070/pu1968v010n04abeh003699>
- [5] Veselago, V. G. (2002). Electrodynamics of Media with Simultaneously Negative Electric Permittivity and Magnetic Permeability. *Advances in Electromagnetics of Complex Media and Metamaterials*, 83–97. doi:10.1007/978-94-007-1067-2_5
- [6] Veselago, V. G. (2003). Electrodynamics of materials with negative index of refraction. *Physics-Uspekhi*, 46(7), 764–768.
doi:10.1070/pu2003v046n07abeh001614
- [7] Chettiar, U. K., Kildishev, A. V., Yuan, H.-K., Cai, W., Xiao, S., Drachev, V. P., & Shalaev, V. M. (2007). Double Negative Index Metamaterial: Simultaneous Negative Permeability and Permittivity at 812 nm. *Photonic Metamaterials: From Random to Periodic*. doi:10.1364/meta.2007.ma3
- [8] O'brien, S. and Pendry, J.B., 2002. Magnetic activity at infrared frequencies in structured metallic photonic crystals. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 14(25), p.6383.
- [9] Pendry, John B. (2004). "Negative Refraction". *Contemporary Physics* (Princeton University Press) 45 (3): 191–202.
- [10] Smith, D.R. et al., 2001. Left-Handed Metamaterials. *Photonic Crystals and Light Localization in the 21st Century*, pp.351–371. Available at: http://dx.doi.org/10.1007/978-94-010-0738-2_25
- [11] Kolinko, P. and Smith, D.R., 2003. Numerical study of electromagnetic waves

- interacting with negative index materials. *Optics Express*, 11(7), pp.640-648.
- [12] Singh, G. et al., 2015. A Review of Metamaterials and its Applications. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 19(6), pp.305–310. Available at: <http://dx.doi.org/10.14445/22315381/ijett-v19p254>
- [13] Jafarzanjani, S., Numerical modeling and design optimization of metamaterials. Phd thesis, Boston, Massachusetts : Northeastern University, 2020. <http://dx.doi.org/10.17760/d20385572>.
- [14] قواسمية وفاء و بوزيان كلثوم، 2020. "دراسة مقارنة طرق إستخراج الخواص الكهرومغناطسية لبعض أنماط المواد الخارقة" مذكرة ماستر. جامعة العربي التبسي، تبسة، الجزائر.
- [15] Baudrand, H. and R. S. N’Gongo, “Application of wave concept iterative procedure in planar circuits,” Special Issue on Recent Research Developments in Microwave Theory and Techniques, Vol. 1, 187–197, Trans world Research Network, January 1999.
- [16] Méjri Fathi « Modélisation électromagnétique des structure active planaires par une méthode itérative avec une source auxiliaire localisée ». Thèse de doctorat ENIT. soutenue le 4 février 2006.
- [17] Alexandre Jean René Serres “ Application de la méthode itérative base sur le concept des ondes (WCIP) pour l’analyse des antenne et des circuits planaires multicouches”. thèse de doctorat université fédérale de Campina grande Paraíba Brésil 2011(en portugais)
- [18] Van Den Berg, P., 1984. Iterative computational techniques in scattering based upon the integrated square error criterion. *IEEE Transactions on Antennas and propagation*, 32(10), pp.1063-1071.
- [19] Mittra, R. and Ko, W.L., 1980. New technique for efficient pattern computation of aperture and reflector antennas. *Electronics Letters*, 16(14), pp.549-551.
- [20] Van den Berg, P.M. & Kleinman, R.E., 1988. The conjugate gradient spectral iterative technique for planar structures. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 36(10), pp.1418–1423. <http://dx.doi.org/10.1109/8.8629>
- [21] Baudrand, H., Azizi, M.K. & Titaouine, M., 2016. General Principles of the Wave Concept Iterative Process. *The Wave Concept in Electromagnetism and Circuits*, pp.1–42. Available at: <http://dx.doi.org/10.1002/9781119332701.ch1>
- [22] Nicolson, A.M. & Ross, G.F., 1970. Measurement of the Intrinsic Properties of

Materials by Time-Domain Techniques. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 19(4), pp.377–382.

<http://dx.doi.org/10.1109/tim.1970.4313932>

- [23] Ziar, Toufik. "Modélisation et caractérisation des circuits passifs intégrés." thèse de doctorat université Labi Ben M'hidi d'Oum el bouaghi, Algérie(2013)
- [24] Mellal, S., Ziar, T., Farh, H., Hati, K., Zemmal, B., Touaibia, I., ... Baudrand, H. (2019). Obtaining Directly Quasi-Square Open Ring FSS Constitutive Effective Parameters by Using Coupled WCIP - Retrieval Method. Defect and Diffusion Forum, 397, 187–199
- [25] Ziar, T., Zaabat, M., & Baudrand, H. (2012). The study of packaging miniaturization effect on the characteristics of an active planar circuit by using the iterative method. International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields, 26(6), 521–532. doi:10.1002/jnm.1858 .
- [26] Touaibia,I (2018) “ les metamatériaux : simulation et caractérisation par la methode itérative “ mémoire de master , université Larbi Tebessi ,Tebessa, Agerie