الارتقاء بالبحوث العلمية طريقنا لخدمة المجتمع

ممتص موجات كهرومغناطيسية رباعي الحزمة باستخدام (Metamaterials)

فهد قاسم محمد[1] ، خالد سعيد لطيف البدري[2]

[1] قسم الفيزياء ، جامعة سامراء ، سامراء ، العراق

[2] مركز الحاسبة الالكترونية ، جامعة سامراء ، سامراء ، العراق

معلومات البحث

الكلمات المفتاحية: امتصاص، رباعي الحزمة، معامل انكسار سالب، مواد ذات خصائص خارقة، موجات كهرومغناطيسية، برنامج CST.

الاسم: خالد سعيد لطيف البدري

البريد الاليكتروني: saaedkhalid@gmail.com

رقم الهاتف:

الملخص

تقدم هذه الدراسة نتائج تحليلية بأستخدام برنامج CST لتصميم بسيط جدا لممتص موجات كهرومغناطيسية ذو معامل انكسار سالب وهو عبارة عن حلقة نحاسية واحدة مثبتة على طبقة عازلة تفصلها عن طبقة ارضية مستوية من النحاس. يوفر هذا التصميم اربعة مناطق امتصاص ذات قدرة امتصاص تصل الى 99.98%. ان هذا الامتصاص ناتج عن تذبذب ثنائي القطب في الجزء العلوي والسفلي للحلقة. أضافة لذلك فإن التحكم في ابعاد الحلقة النحاسية وسمك الطبقة العازلة يقود الى نتائج جيدة في توليف التردد الرنيني كذلك امكانية انتاج ممتص ذو حزمة امتصاص عريضة التي يمكن الاستفادة منها في تطبيقات تجميع الطاقة والحماية من اثار الموجات الكهرومغناطيسية. كما تجدر الاشارة الى امكانية تطوير التصميم للعمل في مدى واسع من الترددات مثل المايكروويف، التيراهيرتز، وصولا الى الترددات الضوئية مما قد يسهم في التطبيقات المحتملة في العديد من مجالات التكنلوجيا الضوئية والهندسية.

المقدمة

المواد ذات الخصائص الخارقة او مواد ما وراء الطبيعة (metamaterial) هي مواد ذات خصائص مثالية (في طيف الموجات الكهرومغناطيسية) وبحجم خلية متناهية في الصغر مقارنة بالطول الموجي، جذبت انتباه العلماء بسبب خصائصها الغريبة التي لا تتوفر في الطبيعة؛ مثل إخفاء الاجسام [1]، العدسات المثالية [2]، معامل الانكسار السالب [4،3] والمرنانات الحلقية المنفصلة [6،5] والبنية الشبكية [7] والحلقات الموصلة المفصولة عن بعضها[9،8] والموجات الخلفية[10] والعديد من الهياكل الاخرى التي تم اقتراحها في المراجع لتحقيق الخصائص الكهرومغناطيسية للمواد ذات الخصائص الخارقة [11]. معظم الهياكل المقترحة للمواد الخارقة الخصائص تعتمد في الاساس على مرنان معدني يتذبذب بشدة ضمن النطاق الترددي للتصميم، مع وجود خسائر كبيرة في الطاقة لا مفر منها ابدا، مما ينعكس سلبا على ادائها. من جانب اخر تلعب هذه الخسائر دورا جوهريا في الترددات الضوئية.

شهد العالم اول ممتص مثالي في 2002 من قبل لاندي واخرون وبقدرة امتصاصية تصل الى 88%، وكان يتألف من حلقة منفصلة وقطعة من سلك مفصولان عن بعضهما بركيزة عازلة [12]. وكذلك في عام 2008 أظهروا امتصاص مثالي للموجات الكهرومغناطيسية عن طريق تصميم مترابط هندسيا [13]، ومنذ ذلك الحين، تلقت الممتصات المثالية المعتمدة على تقنية المواد خارقة الخصائص كمية كبيرة من الاهتمام في الابحاث، وقد طرح عدد كبير من التصاميم الهندسية في هذا المجال [15،14]. وذلك لقدرتها على تحقيق امتصاص للموجات الكهرومغناطيسية تصل الى 100% لأهميتها في العديد من التطبيقات مثل الكشف الطيفي وتحديد الطور والتصوير الحراري ومقياس السمك الدقيق وتطبيقات الخلايا الشمسية. في الواقع، فأن تطوير الممتص المثالي بحيث يكون ذو قيمة جدا عالية في حزمة ترددات التيرا هيرتز؛ حيث من الصعب جدا العثور على مواد طبيعية ذات قدرة امتصاص مثالية. هذا النوع من الممتصات يمكن ان يستخدم في انظمة الامن في المطارات و منظومات التصوير والكاشفات الحرارية وغيرها. وتزداد الحاجة للممتصات التي تعمل في حزمة المايكروويف لما تحمله من اهمية في تقليل التشويش في الرادارات و تجميع الطاقة والاستفادة منها في الشحن اللاسلكي و التخفي من الاكتشاف في الصناعات العسكرية والمستشعرات وغيرها. بذلت جهود كبيرة لتحقيق الامتصاص المثالي للاشعة الكهرومغناطيسية بحدود

الجيجا هيرتز. على سبيل المثال همبوتور واخرون [16] حققوا ممتص حزمة واحدة وبنسبة امتصاص 98%. لاندي واخرون [17] حصلوا على استقطاب امتصاص غير محسوس مع امتصاص بنسبة 77%. سكولوكوف [14] اظهر امتصاص مفرد وبزاوية استقطاب واسعة. لسوء الحظ جميع هذه الجهود تشترك في عيب؛ وهو ضيق عرض حزمة الموجة الممتصة التي تعيق بشكل كبير التطبيقات العملية . في وقت لاحق، تم اتباع بعض الطرق لتطوير حزمة الامتصاص او تعدد حزم الامتصاص بحدود الجيجا هيرتز مثلا ممتص ثنائي الحزمة وثلاثي الحزمة [19,18]. بالإضافة الى ذلك بعض الجهود عملت على تطوير مواد ممتصة ذات نطاق عريض بواسطة تكديس طبقات متعددة من المرنانات المعدنية ضمن الخلية الواحدة [21،20].

على اي حال؛ في كثير من الحالات يعد الممتص ثنائي الحزمة الضيقة امر ضروري في التصوير الطيفي واجهزة الاستشعار. لسوء الحظ؛ امتصاص المواد ذات الحزمة الضيقة تشترك في بعض العيوب:– اولا: اداء الامتصاص للتصميم المقترح يكون حساس لاستقطاب الموجات الساقطة التي تعيق بشكل كبير التطبيقات العلمية. ثانيا: السطح غير المستوي لتركيب التصاميم يجعل تصنيعها صعباً جدا، وخاصة عند الترددات مثل تيرا هيرتز والاشعة تحت الحمراء والمناطق المرئية. واخيراً والاهم من ذلك من الصعب زيادة قدرة الامتصاص[1].

هذه الدراسة تقدم ممتص رباعي الحزمة ضمن حزمة ترددات المايكروويف. ففي اغلب التصاميم يتم اعتماد هيكل من ثلاث طبقات، طبقتان معدنيتان يفصلان عن بعضهما بواسطة عازل كهربائي. يتم اختيار شكل وابعاد الطبقة المعدنية الاولى حسب ما يقتضيه العمل، اما الطبقة المعدنية الاخيرة غالبا ما تكون على شكل سطح مستوي تعمل على منع اي انتقال للموجة الكهرومغناطيسية، وعاكسة كالمرآة للموجة في نفس الوقت. يتألف التصميم من حلقة معدنية موضوعة على طبقة عازلة تفصلها عن الطبقة النحاسية الارضية. حيث اظهرت النتائج وجود اربعة مناطق امتصاص مميزة تصل ذروتها الى اعلى من 99%. آلية الامتصاص للماص الرباعي تتكون من تداخل اربعة ترددات رنينية مختلفة. فضلاً عن ذلك؛ يمكن التحكم في ابعاد و خصائص التصميم لتوسيع عدد مناطق الامتصاص لتصل الى خمسة.

الجانب النظري

ان الخصائص الكهرومغناطيسية (Electromagnetic)(EM) من المواد ذات معامل الانكسار السالب أظهرت ان السماحية العازلة والنفاذية المغناطيسية تكون سالبة ، في وقت واحد. في هذا الوسط تمثل عمومًا أربعة متجهات: المجال الكهربائي E، المجال المغناطيسي H، متجه انتشار الموجة k و متجه بوينتنج S، حيث ان S و k في اتجاهين متعاكسين. هذا الوسط هو المعروفة باسم الوسط الأيسر (Lift Handed Medium)LHM [22، 23]، ان الخصائص الكهرومغناطيسية تظهر عموما السلوك السلبي والذي يمكن تعريفه باستخدام معادلات ماكسويل [23]:

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad \ldots\ldots\ldots 1$$

$$\nabla \times H = \frac{\partial D}{\partial t} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 2$$

$$B = \mu H \quad \ldots\ldots\ldots 3$$

$$D = \varepsilon E \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 4$$

من أجل تحقيق انتشار للموجة في المستوي للوقت المعتمد من $e^{i\omega t}$ ، المعادلة (1) يمكن إعادة كتابتها بالشكل التالي[22]:

$$k \times E = \omega \mu H \quad \ldots\ldots 5$$

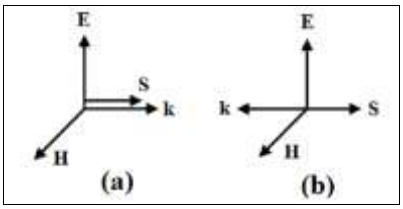
$$k \times H = -\omega \varepsilon E \quad \ldots\ldots\ldots 6$$

حيث، ε تمثل ثابت العزل الكهربائي، μ تمثل النفاذية المغناطيسية، و ω يمثل التردد.

في المعادلة (5) و(6)، عندما تكون $\varepsilon < 0$ و $\mu < 0$، E، H، و k هي تمثل ثلاثة ابعاد للوسط الايسر. اتجاه القدرة S يعطى بواسطة متجه بوينتنج من خلال معادلة الوسط[23]:

$$S = E \times H \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 7$$

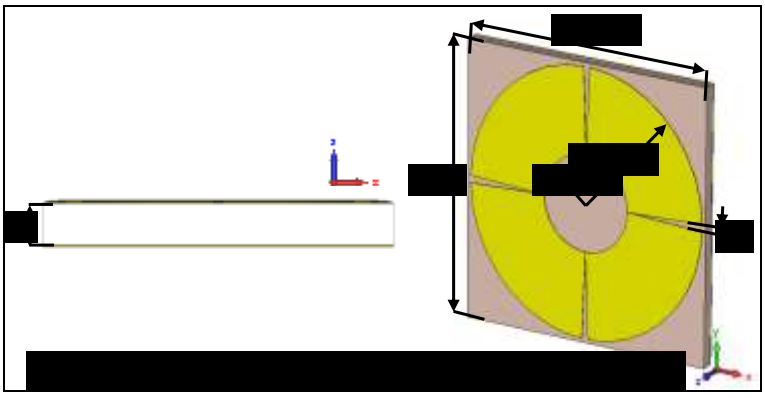
يعرف متجه بوينتنج من بنية متجانسة وهو أمر طبيعي في المجالات الكهربائية والمغناطيسية [23]. في الوسط الأيسر، يتغير اتجاه حركة متجه بوينتنج، وبالتالي متجه الموجه يمرر موجة في الاتجاه المعاكس، والتي توصف بأنها موجة إلى الوراء (الشكل 1). من ناحية أخرى، في الوسط الايمن، متجه الموجة ومتجه بوينتنج في نفس الاتجاه ، والذي يعرف باسم موجة إلى الأمام الشكل (1) [24].



الشكل (1): (a) يبين مواد (Right Handed Material) RH من المتجهات E و H و K هي عبارة عن نظام متجه متجانس محاذاة ، ومتجه الموجة k و متجه انتشار S في نفس الاتجاهات. (b) يبين الوسط الايسر (LHM)حيث E، H وk هو نظام بمحاذاة متجه اليد اليسرى ومتجه الموجة k في اتجاهات متعاكسة مع متجه القدرة S[24].

التصميم:

في هذا البحث تم تصميم ممتص على شكل قرص نحاسي مفصول عن الطبقة الارضية بواسطة عازل من نوع FR-4 (stands for Flame Retardant, and denotes that safety of flammability of) وبسمك (h=1mm)، إذ إن قيمة السماحية النسبية(ε_r=3.3) (Relative permittivity) وخسائر الظل(Loss tangent dielectric) $\tan\delta = 0.025$. الشكل (2) يعرض المسقط العمودي لخلية واحدة من التصميم المقترح مثبت عليها تفاصيل الابعاد كما مبين في الجدول (1)، حيث ان P_x و P_y يمثلان ابعاد التصميم و r_1 و r_2 يمثلان انصاف اقطار الحلقة الخارجي والداخلي و α هي زاوية الاقتطاع. وتجدر الاشارة الى ان المعدن المستخدم هو النحاس وبتوصيلية قدرها 5.8×10^7 s/m.



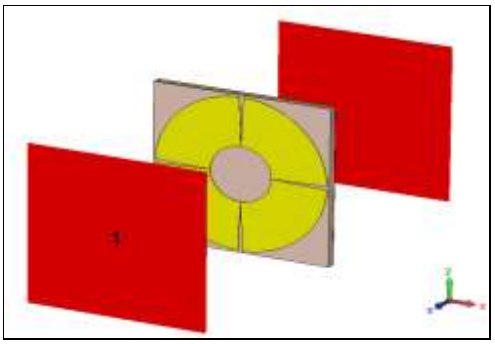
شكل (2): (a) منظر سطحي يوضح الابعاد لخلية واحدة ، (b) منظر جانبي.

جدول (1): تفاصيل الابعاد للتصميم المقترح

المتغير	القيمة
P_x	20 mm
P_y	20 mm
r_1	9.75 mm
r_2	3.5 mm
h	1 mm
α	5°

اعدادات البرنامج:

تم تحليل التصميم باستخدام برنامج (CST Microwave studio MWS) في حزمة الترددات من 2GHz الى 16 GHz على افتراض ان النمط الموجي هو من نوع النمط الاساسي TE_{10}؛ اي ان يكون متجه انتشار الموجة k على طول اتجاه المحور z، ومتجه المجال الكهربائي E موازي لاتجاه المحور y، ومتجه المجال المغناطيسي H موازي لمحور x، ونوع التحليل المستخدم هو (Frequency domain analyzing) وكما موضح في الشكل(3).



شكل (3): اعدادات برنامج CST

النتائج

بعد استخلاص قيم S باستخدام برنامج الCST يتم احتساب قيم الامتصاص بالنسبة للتردد حسب المعادلة[25،26]:

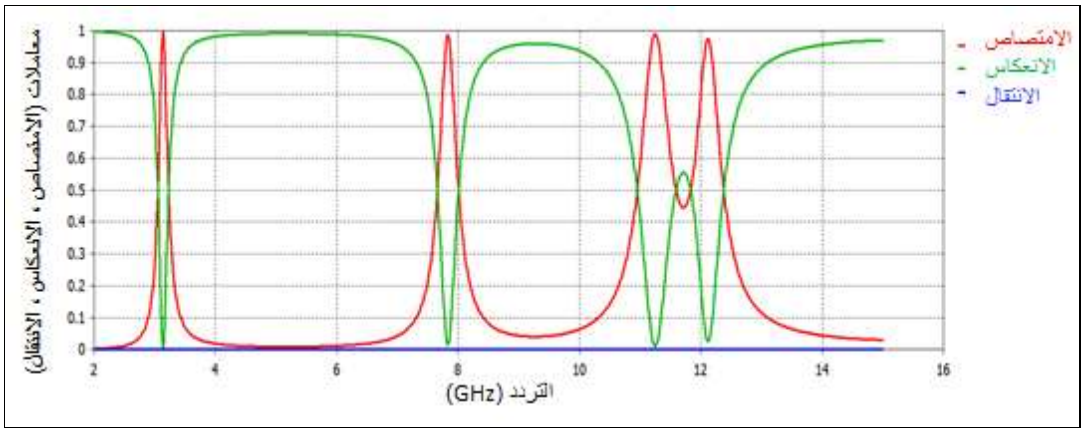
$$A = 1 - R - T \quad \text{.....(8)}$$

حيث ان قيمة A تمثل معامل الامتصاص و R تمثل معامل الانعكاس و T تمثل معامل النفاذية.

كما ان قيمة معامل الانعكاس هي[25]: $R = |S_{11}|^2$

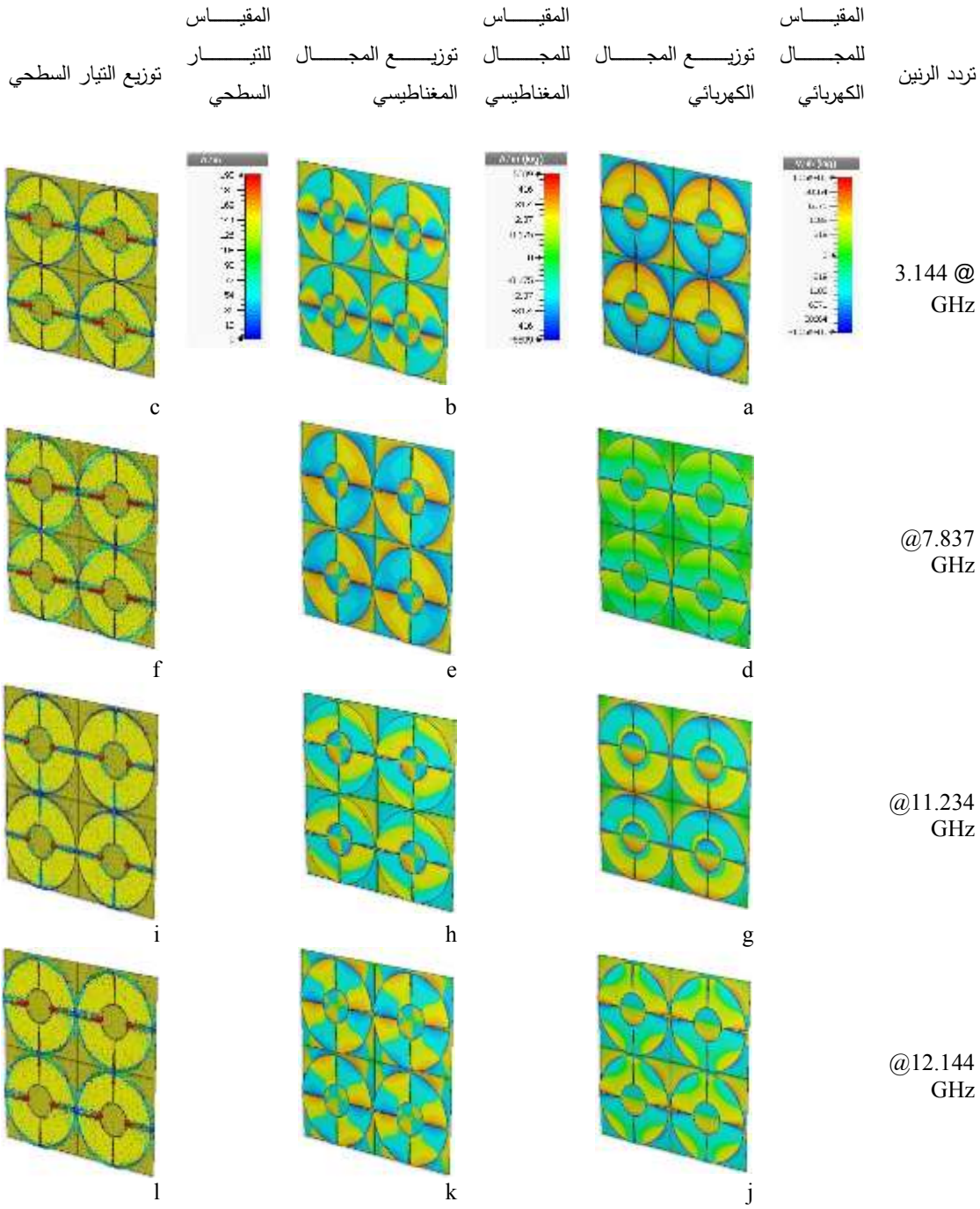
ومقدار معامل النفاذية[25]: $T = |S_{21}|^2$

يوفر التصميم اربعة مناطق امتصاص؛ الاولى عند تردد 3.144 GHz وبمقدار امتصاص99.85% ومنطقة الامتصاص الثانية عند تردد 7.837GHz وبمقدار امتصاص 99.73% ومنطقة الامتصاص الثالثة عند تردد 11.234 GHz وبمقدار امتصاص 99.78% ومنطقة الامتصاص الرابعة عند تردد 12.144GHz وبمقدار امتصاص 98.47% كما في الشكل(4) الذي يوضح مناطق الامتصاص والانعكاس والانتقال للاشعاعات الكهرومغناطيسية.



شكل(4): طيف الامتصاص

ولغرض دراسة الاسباب وراء هذه النتائج تم اجراء تحليل لتوزيع المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي والتيار السطحي كما في الشكل (5)الذي يوضح توزيع (المجال الكهربائي(a)، المجال المغناطيس(b)، التيار السطحي(c))، على التوالي حيث تظهر منطقة الامتصاص الاولى عند تردد 3.144GHz. ففي الشكل (5a) يتوزع المجال الكهربائي في النصف العلوي من القرص المعدني والنصف السفلي من الطبقة الارضية المستوية، ويكون موازي لمحور y وان نوع الرنين هو تذبذب ثنائي القطب. اما في الشكل (5b) نلاحظ ان المجال المغناطيسي يتوزع عند منطقة الاقتطاع الافقية للحزمة الرباعية. الشكل(5c) يوضح توزيع التيار السطحي، حيث يتذبذب التيار السطحي على طول منطقة الاقتطاع الافقية للقرص المعدني (موازي لمحور x). كذلك الشكل (5) يوضح توزيع (المجال الكهربائي(d)، المجال المغناطيسي(e)، التيار السطحي(f)) على التوالي، حيث يبين منطقة الامتصاص الثانية عند تردد 7.837GHz. ففي الشكل (5d) يتوزع المجال الكهربائي في مناطق متفرقة من القرص المعدني والطبقة الارضية المستوية. في الشكل (5e) يوضح توزيع المجال المغناطيسي في الربع العلوي الايمن والربع السفلي الايسر من القرص المعدني ويظهر في الربع العلوي الايسر والربع السفلي الايمن من الطبقة الارضية المستوية وان نوع الرنين هو تذبذب متعدد ثنائي القطب. اما الشكل(5f) يوضح توزيع التيار السطحي حيث يتذبذب التيار على طول منطقة الاقتطاع الافقية، وان نوع الرنين هو تذبذب ثنائي القطب. وكذلك الشكل (5) يوضح توزيع (المجال الكهربائي(g)، المجال المغناطيسي(h)، التيار السطحي(i)) على التوالي حيث يبين منطقة الامتصاص الثالثة عند تردد 11.243GHz. ففي الشكل (5g) يتوزع المجال الكهربائي في النصف السفلي من القرص المعدني وكذلك في النصف السفلي من الطبقة الارضية. الشكل (5h) يتوزع المجال المغناطيسي بشكل واضح بالقرب من منطقة الاقتطاع في القرص المعدني وفي الربع السفلي الايسر من الطبقة الارضية. الشكل (5i) يوضح توزيع التيار السطحي، حيث يتذبذب التيار عند بداية منطقة الاقتطاع الافقية.

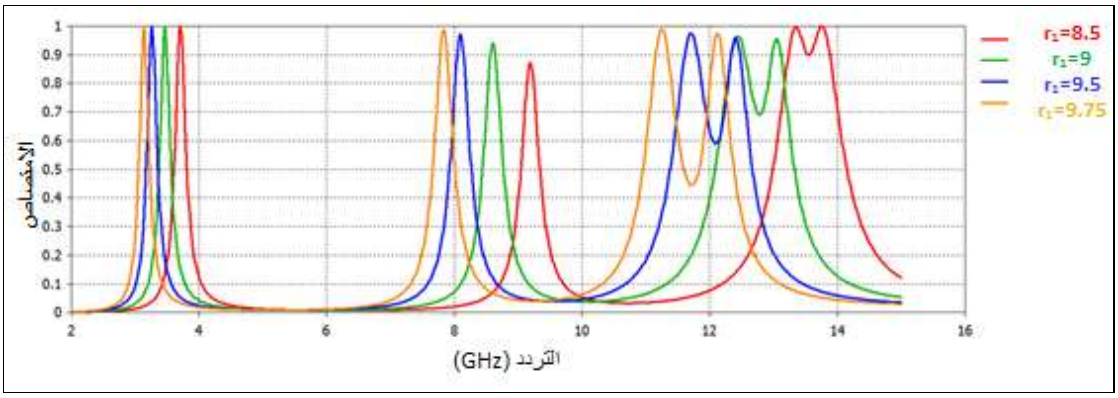


شكل (5): توزيع المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي والتيارات السطحية عند قمة منحني الرنيني(اعلى قيمة للامتصاص)

الشكل (5) يوضح ايضاً توزيع (المجال الكهربائي(j)، المجال المغناطيسي(k)، التيار السطحي(l)) على التوالي حيث يبين منطقة الامتصاص الرابعة عند تردد 12.144GHz. ففي الشكل (5j) يتوزع المجال الكهربائي في النصف العلوي من القرص المعدني والنصف العلوي من الطبقة الارضية المستوية. الشكل(5k) يوضح توزيع المجال المغناطيسي في نصفي القرص العلوي والسفلي وبكثافة بالقرب من منطقة الاقتطاع الافقية وفي الربع العلوي الايمن من الطبقة الارضية المستوية. الشكل (5l) يوضح توزيع التيار السطحي حيث يتذبذب التيار في منطقة الاقتطاع الافقية وان نوع الرنين هو ثنائي القطب.

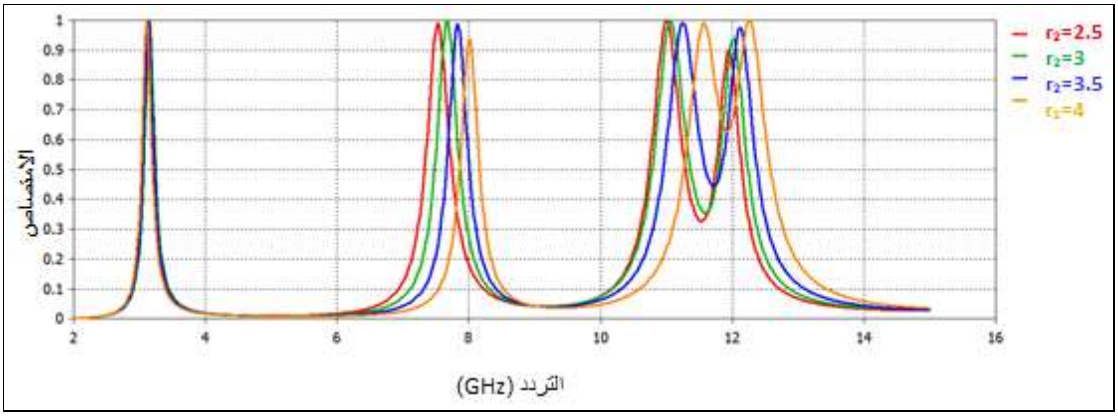
من اجل اعطاء دراسة اكثر شمولية تم دراسة تأثير التغير في نصف القطر r_1 على مستوى الامتصاص، والشكل (6) يوضح هذا التأثير. وقد اظهرت النتائج ان الزيادة في نصف القطر r_1 تؤدي الى زيادة في مستوى الامتصاص، حيث اعطت النتائج اعلى قيمة للامتصاص عندما(r_1=9.75 mm)؛ حيث تكون منطقة الامتصاص الاولى عند تردد 3.25GHz وبمستوى امتصاص 99.98%وفي منطقة الامتصاص الثانية عند تردد 7.8GHz وبمستوى امتصاص 99.2%

وفي منطقة الامتصاص الثالثة عند تردد 11.2GHz وبمستوى امتصاص 99%. اما في منطقة الامتصاص الرابعة عند تردد 12.2GHz وبمستوى امتصاص 98.3%. نلاحظ عند زيادة نصف القطر r_1 يؤدي الى نقصان في مستوى التردد الرنيني لمناطق الامتصاص الاربعة. كذلك يمكننا ملاحظة ان الزيادة في نصف القطر r_1 تؤدي الى زيادة في عرض نطاق الحزمة الترددية، وبهذا يمكننا استثمار هذا في التطبيقات التي تحتاج الى سعة حزمة عريضة؛ مثل الخلايا الشمسية وتجميع الطاقة والكشف عن الموجات الكهرومغناطيسية في ترددات التيراهيرتز وخصوصا عندما (r_1=8.5mm)؛ حيث ظهرت حزمة امتصاص عريضة في منطقتي الامتصاص الثالثة والرابعة.



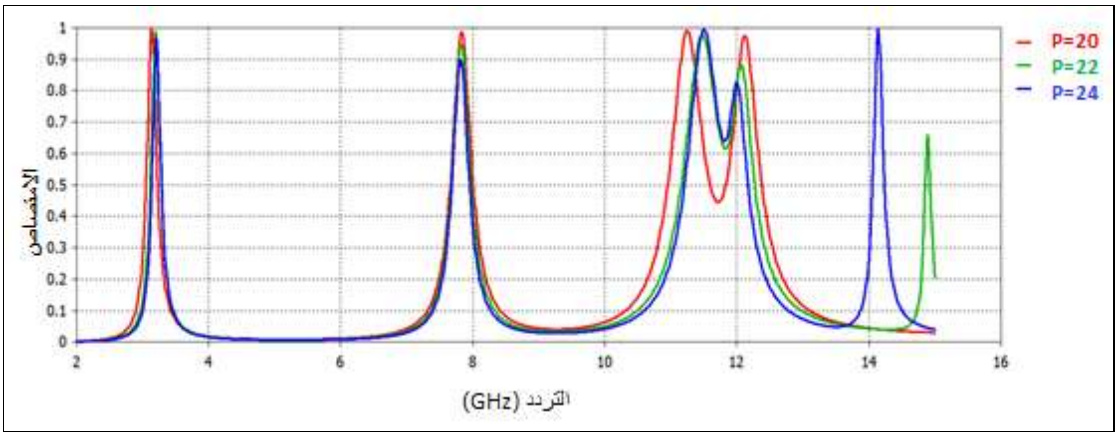
شكل (6): تأثير تغير نصف القطر r_1 في مستوى الامتصاص.

وبنفس الاسلوب تمت دراسة تأثير تغير نصف القطر r_2 على مستوى الامتصاص وكما مبين في الشكل (7)، حيث اظهرت النتائج ان الزيادة في نصف القطر r_2 تؤدي الى زيادة لاخطية في مستوى الامتصاص. حيث اعطت النتائج اعلى قيمة للامتصاص عندما (r_2=3.5 mm). نلاحظ عند زيادة نصف القطر r_2 يؤدي الى زيادة التردد الرنيني لمناطق الامتصاص الاربعة، وكذلك نلاحظ عند زيادة نصف القطر r_2 تؤدي الى زيادة في عرض نطاق الحزمة الترددية.



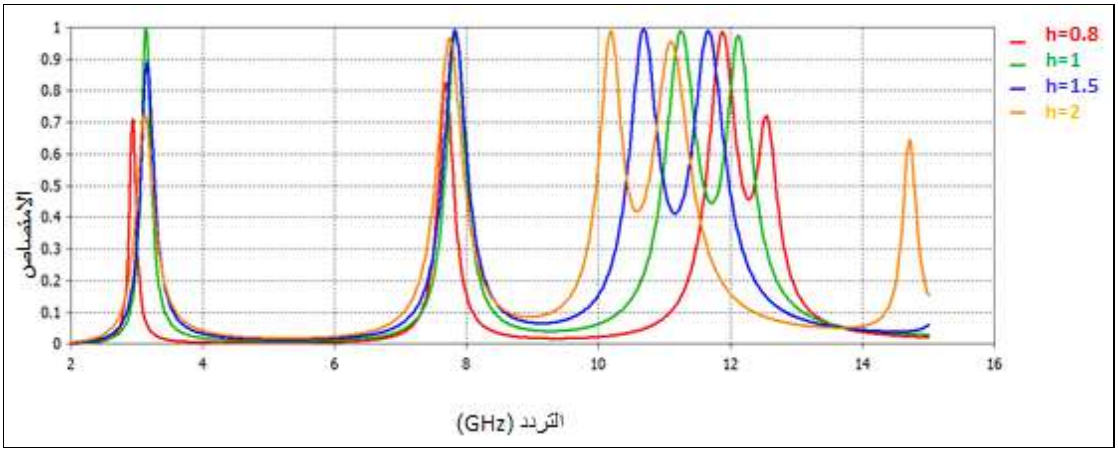
شكل (7): دراسة تأثير التغير في نصف القطر r_2 في مستوى الامتصاص.

اما من ناحية دراسة تأثير التغير في حجم الخلية على مستوى الامتصاص الموضحة في الشكل (8)، نلاحظ عند زيادة حجم الخلية يحدث نقصان في مستوى الامتصاص، ونلاحظ ان افضل امتصاص يحدث عندما يكون حجم الخلية (P=20 mm). ونلاحظ ايضاً انه عند زيادة حجم الخلية تحصل زيادة لاخطية في التردد الرنيني. ونلاحظ زيادة في عرض نطاق الحزمة الترددية. وكذلك نلاحظ ظهور منطقة امتصاص خامسة عندما يكون حجم الخلية (P=24 mm) عند تردد 14.3GHz وبمستوى امتصاص 99.90%.



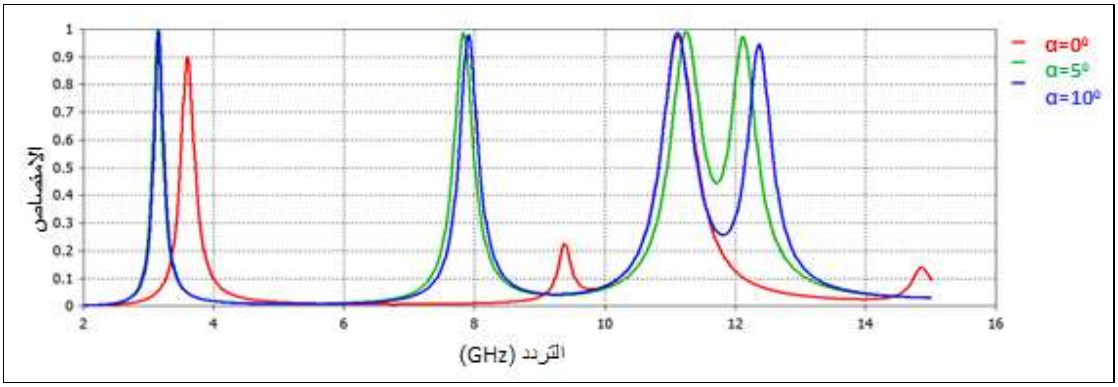
شكل(8): تأثير التغير في حجم الخلية في مستوى الامتصاص

ولتوضيح أكثر تم دراسة تأثير التغير في سمك الركيزة العازلة FR-4 على مستوى الامتصاص الشكل (9)، حيث اظهرت النتائج ان الزيادة في سمك الركيزة العازلة تؤدي الى زيادة لاخطية في مستوى الامتصاص حيث اعطت النتائج اعلى قيمة للامتصاص عندما يكون سمك الركيزة العازلة (h=1mm). ونلاحظ كذلك عند زيادة سمك الركيزة العازلة يؤدي الى زيادة لاخطية في مستوى الامتصاص كما نلاحظ ان التردد الرنيني يتذبذب بين الزيادة والنقصان بالاعتماد على سمك الركيزة العازلة وكذلك نلاحظ زيادة في عرض نطاق الحزمة الترددية.



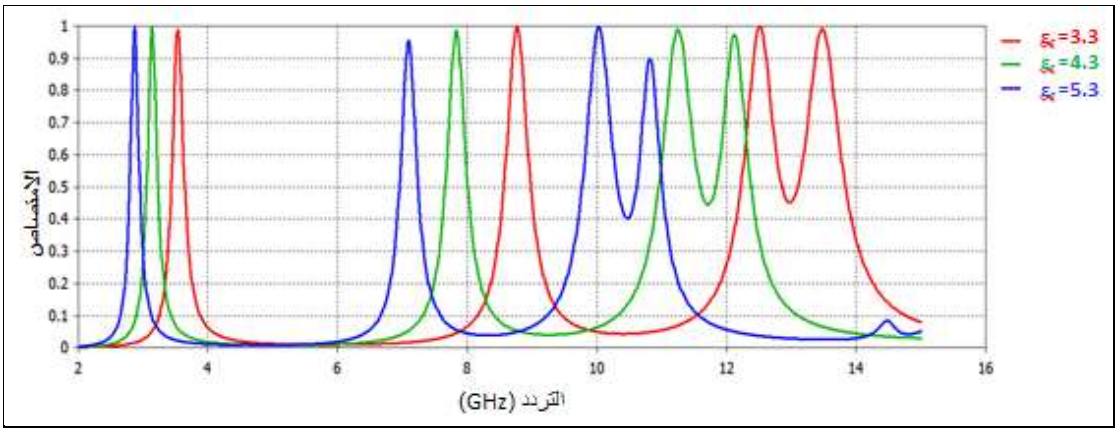
شكل(9): تأثير التغير في سمك الركيزة العازلة في مستوى الامتصاص

وتمت دراسة تأثير التغير في زاوية الاقتطاع على مستوى الامتصاص كما موضح في الشكل(10)، حيث لوحظ أنه عند زيادة زاوية الاقتطاع تؤدي الى زيادة لاخطية في مستوى الامتصاص؛ حيث تبين أن افضل امتصاص يتم الحصول عليه عندما تكون زاوية الاقتطاع ($\alpha =$ 5°). كما ويلاحظ أنه عند زيادة زاوية الاقتطاع يحصل نقصان لا خطي في التردد الرنيني وكذلك زيادة في عرض نطاق الحزمة الترددية.



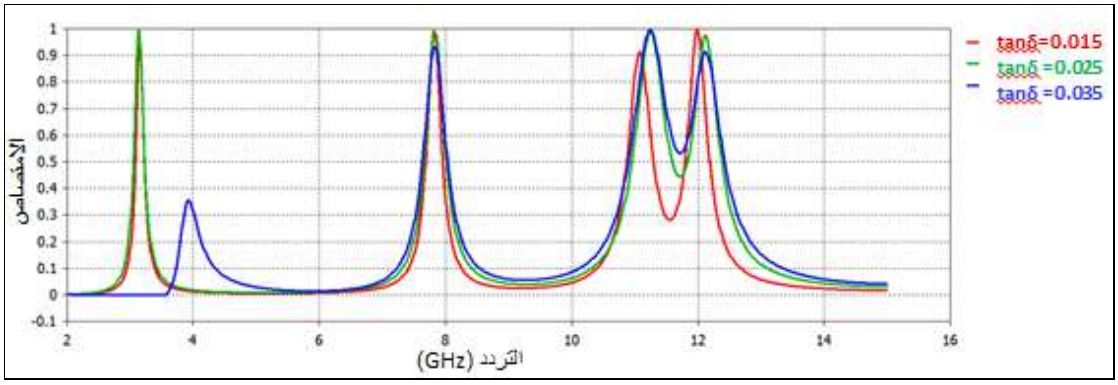
شكل(10): تأثير التغير في زاوية الاقتطاع في مستوى الامتصاص

كذلك يمكن دراسة تأثير التغير في السماحية النسبية للركيزة على مستوى الامتصاص والمبينة في الشكل(11)، ويلاحظ أنه عند زيادة السماحية النسبية للركيزة يقل مستوى الامتصاص، وقد وجد ان اعلى مستوى امتصاص حصل عندما ($\varepsilon = 3.3$)؛ حيث لوحظ ان مستويات الامتصاص لمناطق الامتصاص الاربعة تتوزع بالشكل الاتي: في منطقة الامتصاص الاولى عند تردد 3.6 GHz وبمستوى امتصاص 99.8% وفي منطقة الامتصاص الثانية عند تردد 8.8GHz وبمستوى امتصاص 99.98% وفي منطقة الامتصاص الثالثة عند تردد 12.6GHz وبمستوى امتصاص 99.98% وفي منطقة الامتصاص الرابعة عند تردد 13.4 GHz وبمستوى امتصاص 99.8%. ونلاحظ عند زيادة السماحية النسبية للركيزة يقل التردد الرنيني تبعا لذلك في جميع مناطق الامتصاص، وكذلك نلاحظ زيادة في عرض نطاق الحزمة الترددية.



شكل(11): تأثير التغير في السماحية النسبية للركيزة في مستوى الامتصاص

اما من ناحية دراسة تأثير التغير في ظل الخسائر للركيزة على مستوى الامتصاص التي يوضحها الشكل(12) نلاحظ عند زياد ظل الخسائر للركيزة تؤدي الى زيادة لاخطية في مستوى الامتصاص؛ حيث لوحظ ان افضل امتصاص حصل عندما($\tan\delta = 0.025$)، فعند زيادة ظل الخسائر للركيزة يزداد التردد الرنيني ويزداد كذلك عرض نطاق الحزمة الترددية.



شكل(12): تأثير التغير في ظل الخسائر للركيزة في مستوى الامتصاص

الاستنتاجات

اظهرت النتائج التحليلية الى امكانية انتاج ممتص للموجات الكهرومغناطيسية ذو اربعة مناطق امتصاص مثالية، حيث يمتاز الهيكل الذي هو على شكل حلقة معدنية واحدة: ببساطة التصميم ونحافة السمك وبزاوية اقتطاع صغيرة. حيث يمكن استخدامه في العديد من التطبيقات العلمية مثل الاقمار الصناعية الخاصة بالطقس والخلايا الشمسية والتقليل من اثار الموجات الكهرومغناطيسية. من جانب اخر؛ اظهرت نتائج التحكم بالابعاد الهندسية للتصميم امكانية الحصول على اكثر من اربعة مناطق امتصاص وبمستويات امتصاص عالية. كذلك امكانية استخدامه كممتص ذو حزمة امتصاص عريضة تخدم في العديد من التطبيقات؛ مثل تجميع الطاقة والكشف عن الموجات الكهرومغناطيسية في ترددات التيراهيرتز.

المصادر

[1] D. Schurig, J. J. Mock, B. J. Justice, S. A. Cummer, J. B. Pendry, A. F. Starr, and D. R. Smith, Nov., (2006), "Metamaterial electromagnetic cloak at microwave frequencies," Science, Vol. 314, No. 5801, pp. 977–980.

[2] T. Ergin, N. Stenger, P. Brenner, J. B. Pendry, and M. Wegener, Apr., (2000), "Three-dimensional invisibility cloak at optical wavelengths, "Science, Vol. 328, No. 5976, pp. 337–339.

[3] D. R. Smith, J. B. Pendry, and M. C. K. Wiltshire, Aug., (2004), "Metamaterials and negative refractive index," Science, Vol. 305 No. 5685, pp. 788–792.

[4] K. S. L. Al-Badri, A. Cinar, U. Kose, O. Ertan, E. Ekmekci, (2017), ''Monochromatic Tuning of Absorption Strength Based on Angle-Dpendent Closed-Ring Resonator-Type Metamaterial Absorber, ''Journal IEEE Anten. and Wireless Propag. Lett., pp. 1060-1063.

[5] J. B. Pendry, A. J. Holden, D. J. Robbins, and W. J. Stewart, Nov., (1999), "Magnetism from conductors and enhanced nonlinear phenomena," Journal IEEE Trans. Microw. Theory Techn., Vol. 47, No. 11, pp. 2075–2084.

[6] B. X. Wang, L. L. Wang, G. Z. Wang, and W. Q. Huang, (2013), "A simple nested metamaterial structure with enhanced bandwidth performance," Optics Communications, Vol. 303, No. 7, pp. 13–14.

[7] J. Yang, C. Sauvan, H. T. Liu, and P. Lalanne, Jul., (2011), "Theory of fishnet negative-index optical metamaterials," Physical Review Letters, Vol. 107, No. 4, Art. ID. 043903.

[8] G. Dolling, C. Enkrich, M. Wegener, J. F. Zhou, C. M. Soukoulis, and S. Linden, Dec., (2005), "Cut-wire pairs and plate pairs as magnetic atoms for optical metamaterials," Optics Letters, Vol. 30, No. 23, pp. 3198–3200.

[9] K. S. L. Al-Badri, Apr., (2018), '' Very High Q-Factor Based On G-Shaped Resonator Type Metamaterial Absorber,'' Ibn AL-Hitham Journal For Pure and Applied Science, pp. 160-167.

[10] K. S. L. Al-Badri, N. Karacan, E. M. Kucukoner, and E. Ekmekci, Sep., (2018), ''Sliding planar conjoined cut-wire-pairs: A novel approach for splitting and controlling the absorption spectra,'' Journal of Applied Physics, Vol. 124, No. 10, pp. 103-105.

[11] N. Liu, H. Liu, S. Zhu, and H. Giessen, Mar., (2009), "Stereometamaterials,"Nature Photonics, Vol. 3, No. 3, pp. 157–162.

[12] N. I. Landy, S. Sajuyigbe, J. J. Mock, D. R. Smith, and W. J. Padilla, May, (2008), "Perfect metamaterial absorber," Physical Review Letters, vol. 100, no. 20, Art. ID. 207402

[13] K. S. L. Al-Badri, '' Electromanetic broad band absorber based on metamaterial and lomped resistance,''Journal of King Saud University-Science, Jul., (2018).

[14] D. Y. Shchegolkov, A. K. Azad, J. F. Ohara, and E. I. Simakov, Nov., (2010), "Perfect sub wavelength fishnet like metamaterial based film terahertz absorbers," Physical Review B, Vol. 82, No. 20, Art. ID. 205117.

[15] L. Huang, D. R. Chowdhury, S. Ramani, M. T. Reiten, S. N. Luo, A. K. Azad, A. J. Tylor, and H. T. Chen, Sep., (2012), "Impact of resonator geometry and its coupling with ground plane on ultrathin metamaterial perfect absorbers," Applied Physics Letters, Vol. 101, No. 10, Art. ID. 101102.

[16] Fernández Álvarez, H., de Cos Gómez, M. E., & Las-Heras, F., (2015), "A thin c-band polarization and incidence angle-insensitive metamaterial perfect absorber" Materials, Vol.8,No.4, 1666-1681.

[17] N. I. Landy, C. M. Bingham, T. Tyler, N. Jokerst, D. R. Smith, and W. J. Padilla, Mar., (2009), "Design, theory, and measurement of a polarization-insensitive absorber for terahertz imaging," Physical Review B, Vol. 79, No. 12, Art.ID. 125104.

[18] H. Tao , C. M. Bingham, D. Pilon, K. Fan, A. C. Strikwerda، D. Shrekenhamer, W. J. Padilla, X. Zhang and R. D. Averitt, Jun., (2010), "A dual band terahertz metamaterial absorber," Journal of Physics D, Vol. 43, No. 22, Art. ID. 225102.

[19] B. X. Wang, L. L. Wang, G. Z. Wang, W. Q. Huang, X. F. Li, and X. Zhai, Aug., (2014), "A simple design of a broadband, polarization-insensitive, and low-conductivity alloy metamaterial absorber," Applied Physics Express, Vol. 7, No. 8, , Art. ID. 082601.

[20] J. Grant, Y. Ma, S. Saha, A. Khalid, and D. R. S. Cumming, Sep., (2011), "Polarization insensitive, broadband terahertz metamaterial absorber," Optics Letters, Vol. 36, No. 17, pp. 3476–3478.

[21] B. X. Wang, L. L. Wang, G. Z. Wang, W. Q. Huang, X. F. Li, and X. Zhai, Jan., (2014), "Theoretical investigation of broadband and wide-angle terahertz metamaterial absorber," Journal IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 26, No. 2, pp. 111–114. [22] C. Caloz and T. Itoh, (2005), "Electromagnetic Metamaterials: Transmission Line Theory and Microwave Applications" John Wiley & Sons.

[23] C. Caloz, Nov., (2006), "Dual Composite Right/Left-Handed (D-CRLH) Transmission Line Metamaterial," IEEE Microwave Wireless Components Letters, vol. 16, no. 11, pp. 585– 587.

[24] W. Cai and V. Shalaev, (2010), "Optical Metamaterials'' New York, NY: Springer New York.

[25] C. Sabah, O. Turkmen-Kucuksari, and G. Turhan-Sayan, Jul., (2014), "Metamaterial absorber-based sensor embedded into X-band waveguide," Electronics Letters, Vol. 50, No. 15, pp. 1074-1076.

[26] F. Hu, L. Wang, B. Quan, X. Xu, Z. Li, Z. Wu, and X. Pan, May., (2013), "Design of polarization insensitive multiband terahertz metamaterial absorber," Journal Physics D: Applied Physics, Vol. 46, No. 19, p. 195103.

Four Band Electromagnetic Absorber Based on Metamaterials

Fahad Qasim Muhammad1, Khalid Saeed Lateef Al-Badri[2]

Abstract

This paper presents a simulation study using CST microwave studio. In this work very simple design are used based on metamaterial to construct perfect material absorber. It is only one copper ring placed on top of dielectric layer to separate it from a ground plate. This design provides four perfect absorption regions with absorption peaks in average 99.98%. This absorption is due to dipole resonance in the upper and lower parts of ring. In addition, the characteristic study of parameters such as copper dimensions, dielectric properties leads to a good results in the synthesis of resonant frequency as well as the extending of absorption band that can be used in energy harvesting applications and protection from the effects of electromagnetic waves. It should also be noted that this designe can be developed to work in a wide range of frequencies such as microwave, terahertz up to the optical frequencies, which may contribute to potential applications in many photonic technology areas.