

ممتص موجات كهرومغناطيسية رباعي الحزمة باستخدام المواد ذات معامل الانكسار السالب (الميتاماتيريال)

خالد سعيد لطيف البدري^(2,1) و فهد قاسم محمد⁽¹⁾

(1) قسم الفيزياء، جامعة سامراء، العراق

(2) مركز الحاسبة الإلكترونية، جامعة سامراء، العراق

استلام 18 فبراير 2019م - قبول 13 نوفمبر 2019م

<https://doi.org/10.37575/b/sci/2055>

الملخص

تقدم هذه الدراسة نتائج تحليلية وعملية لتصميم بسيط جداً لممتص موجات كهرومغناطيسية ذي معامل انكسار سالب، وهو يمثل حلقتين من النحاس مثبتتين على طبقة عازلة تفصلها عن طبقة أرضية مستوية من النحاس، حيث يمتاز هذا الهيكل ببساطة التصميم ونحافة السُمك. تم تنفيذ التصميم واستخلاص النتائج باستخدام برنامج CST. يوفر هذا التصميم أربع مناطق امتصاص ذات قدرة امتصاص تصل إلى 99%. إن هذا الامتصاص ناتج عن تذبذب ثنائي القطب في الجزأين العلوي والسفلي للحلقتين. إضافة لذلك فإن التحكم في أبعاد التصميم للحلقتين وسُمك الطبقة العازلة يقود إلى نتائج جيدة في توليف التردد الرنيني. وبينت النتائج المخبرية أنها قريبة جداً من النتائج التحليلية في نسب الامتصاص. من جانب آخر أظهرت نتائج التحكم بالأبعاد الهندسية للتصميم إمكانية الحصول على ممتص ذي حزمة امتصاص عريضة يمكن الاستفادة منها في تطبيقات تجميع الطاقة والحماية من آثار الموجات الكهرومغناطيسية. كما تجدر الإشارة إلى إمكانية تطوير التصميم للعمل في مدى واسع من الترددات مثل المايكروويف، التيراهيرتز، وصولاً إلى الترددات الضوئية، مما قد يسهم في التطبيقات المحتملة في العديد من مجالات التكنولوجيا الضوئية والهندسية.

الكلمات المفتاحية: رباعي الحزمة، معامل انكسار سالب، مواد ذات خصائص خارقة، موجات كهرومغناطيسية، ممتص مثالي.

المقدمة

الهيكل المقترحة للمواد خارقة الخصائص تعتمد في الأساس على مرنان معدني يتذبذب بشدة ضمن النطاق الترددي للتصميم، مع وجود خسائر كبيرة في الطاقة لا مفر منها أبداً. مما ينعكس سلباً على أدائها. من جانب آخر تؤدي هذه الخسائر دوراً جوهرياً في الترددات الضوئية.

شهد العالم أول ممتص مثالي في عام 2002 من قبل لاندي وآخرون وبقدرة امتصاصية تصل إلى 88% وكان يتألف من حلقة منفصلة وقطعة من سلك، مفصولان عن بعضهما بركيزة عازلة (Landy et al., 2008). ومنذ ذلك الحين، لاقت الممتصات المثالية المعتمدة على تقنية المواد خارقة الخصائص اهتماماً كبيراً في الأبحاث، وقد طرح عدد كبير من الهياكل الهندسية في هذا المجال (Huang et al., 2010; Shchegolkov et al., 2012)؛ وذلك لقدرتها على تحقيق امتصاص للموجات الكهرومغناطيسية تصل إلى 100% ولأهميتها في العديد من التطبيقات مثل الكشف الطيفي، تحديد الطور، التصوير الحراري، مقياس السُمك الدقيق

المواد ذات الخصائص الخارقة أو مواد ما وراء الطبيعية (metamaterial) وهي مواد ذات خصائص مثالية (في طيف الموجات الكهرومغناطيسية) وبحجم خلية متناهية في الصغر مقارنة بالطول الموجي جذبت انتباه العلماء في العقدين السابقين بسبب خصائصها الغريبة التي لا تتوفر بصورة حرة في الطبيعة مثل إخفاء الأجسام (Schurig et al., 2006)، العدسات المثالية (Ergin et al., 2000)، معامل الانكسار السالب (Smith et al., 2004)، المرنانات الحلقية المنفصلة (Wang et al., 1999; Pendry et al., 2014)، البنية الشبكية (Yang et al., 2011)، الحلقات الموصلة المفصولة عن بعضها (Dolling; Al-Badri, 2018)، الموجات الخلفية (Al-Badri et al., 2005)، والعديد من الهياكل الأخرى التي تم اقتراحها في المراجع لتحقيق الخصائص الكهرومغناطيسية للمواد ذات الخصائص الخارقة (Liu et al., 2009; Al-Badri, 2018)، معظم

الهيكل يجعل تصنيعها صعباً جداً، وخاصة عند الترددات مثل تيرا هيرتز، الأشعة تحت الحمراء، والترددات الضوئية. وأخيراً، الأهم من ذلك هو أنه من الصعب زيادة قدرة الامتصاص.

هذه الدراسة تقدم ممتصاً رباعي الحزمة ضمن حزمة ترددات المايكروويف. إنه في أغلب التصاميم يتم اعتماد هيكل من ثلاث طبقات؛ طبقتان معدنيتان يفصلان عن بعضهما بواسطة عازل كهربائي. يتم اختيار شكل وأبعاد الطبقة المعدنية الأولى حسب ما يقتضيه العمل، أما الطبقة المعدنية الأخيرة غالباً ما تكون سطحاً مستوياً؛ حيث تعمل على منع أي انتقال للموجة الكهرومغناطيسية، وتكون عاكسة كالمراة للموجة في الوقت نفسه. يتألف التصميم من حلقتين معدنيتين موضوعتين على طبقة عازلة تفصلها عن الطبقة النحاسية الأرضية. حيث أظهرت النتائج وجود أربعة مناطق امتصاص مثالية تصل ذروتها إلى أعلى من 99%. آلية الامتصاص للماص الرباعي تتكون من تداخل أربعة ترددات رنينية مختلفة. أكثر من ذلك يمكن التحكم في أبعاد وخصائص التصميم لتوليف تردد وسعة امتصاص الموجة. يهدف البحث إلى إمكانية تطوير طرق الامتصاص للأشعة الكهرومغناطيسية والحصول على مناطق امتصاص ذات قدرة امتصاص عالية تستخدم في تطبيقات علمية عديدة.

المواد وطرق العمل

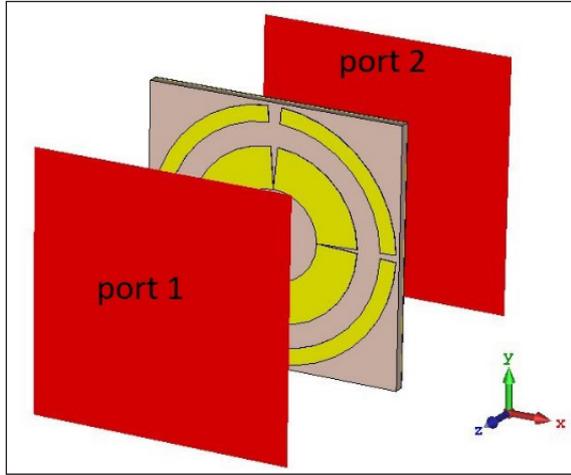
في هذا البحث تم تصميم ممتص على شكل قرص وحلقة من النحاس تم فصلهما عن الطبقة الأرضية بواسطة عازل من نوع stands (for Flame Retardant FR-4) ويسمك (h=0.8 mm)، إذ إن قيمة السماحية النسبية (Relative Permittivity $\epsilon_r=3.4$) وخسائر الظل (tangent dielectric loss $\tan\delta = 0.025$). الشكل (1) يعرض المسقط العمودي لخلية واحدة من التصميم المقترح مثبت عليها تفاصيل الأبعاد كما هو مبين في الجدول (1). وتجدر الإشارة إلى أن المعدن المستخدم هو من النحاس وبتوصيلية قدرها 5.8×10^7 s/m.

وتطبيقات الخلايا الشمسية. في الواقع فإن تطوير الممتص المثالي بحيث يكون ذا قيمة عالية جداً في حزمة ترددات التيرا هيرتز أمر مهم؛ حيث من الصعب جداً العثور على مواد طبيعية ذات قدرة امتصاص مثالية ضمن ترددات التيرا هيرتز. هذا النوع من الممتصات يمكن أن يستخدم في أنظمة الأمن في المطارات ومنظومات التصوير والكاشفات الحرارية وغيرها. ولا تقل أهمية الممتصات التي تعمل في حزمة المايكروويف لما تحمله من أهمية في تقليل التشويش في الرادارات وتجميع الطاقة والاستفادة منها في الشحن اللاسلكي والتخفي من الاكتشاف في الصناعات العسكرية والمستشعرات وغيرها. عدة جهود عملت على تحقيق الامتصاص المثالي للأشعة الكهرومغناطيسية في جيجا هيرتز. على سبيل المثال في دراسة (Fernández Álvarez et al., 2015) حققوا ممتص حزمة واحدة بنسبة امتصاص 98%. أما (Landy et al., 2009) فحصلوا على استقطاب امتصاص غير محسوس مع امتصاص بنسبة 77%. أما (Shchegolkov et al., 2010) فأظهروا امتصاص مفرد وبزاوية استقطاب واسعة.

إن جميع هذه الجهود تشترك في عيب، وهو ضيق عرض حزمة الموجة الممتصة والتي تعوق بشكل كبير التطبيقات العملية. في وقت لاحق، تم اتباع بعض الطرق لتطوير حزمة الامتصاص أو تعدد حزم الامتصاص في الجيجا هيرتز، مثلاً ممتص ثنائي الحزمة وثلاثي الحزمة (Wang et al., 2014; Tao et al., 2010) بالإضافة إلى ذلك فإن بعض الجهود عملت على تطوير مواد ممتصة ذات نطاق عريض بواسطة تكديس طبقات متعددة من المرنانات المعدنية ضمن الخلية الواحدة (Grant et al., 2011; Wang et al., 2014).

على أي حال، في كثير من الحالات الممتص ثنائي الحزمة الضيقة هو أمر ضروري في التصوير الطيفي وأجهزة الاستشعار. وفي هذا الصدد فإن امتصاص المواد للحزمة الضيقة تشترك في بعض العيوب هي: أولاً: أداء الامتصاص للهيكल المقترح يكون حساس لاستقطاب الموجات الساقطة والتي تعوق بشكل كبير التطبيقات العلمية. ثانياً: السطح غير المستوي لتركيب

المحور y وامتجه المجال المغناطيسي H موازٍ إلى المحور x ونوع التحليل هو (Frequency domain analyzing) انظر الشكل (2).



شكل (2): إعدادات برنامج CST

النتائج والمناقشة

نتائج التصميم

بعد استخلاص قيم S باستخدام برنامج CST يتم احتساب قيم الامتصاص للتردد حسب المعادلة:

$$A = 1 - R - T \dots \dots \dots (1)$$

حيث إن قيمة A تمثل معامل الامتصاص و R تمثل معامل الانعكاس و T تمثل معامل النفاذية (Hu et al., 2013 ; Sabah et al., 2014).

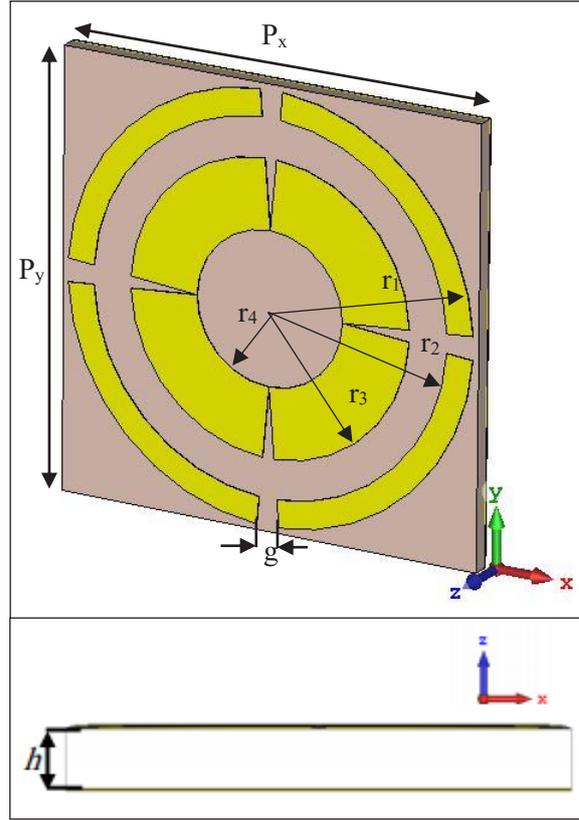
كما أن قيمة معامل الانعكاس هي:

$$R = \frac{|S_{11}|^2}{2}$$

ومقدار معامل النفاذية:

$$T = \frac{|S_{21}|^2}{2}$$

يوفر التصميم أربعة مناطق امتصاص؛ الأولى عند تردد 18.164 GHz وبمقدار امتصاص 94.85% ومنطقة الامتصاص الثانية عند تردد 18.422 GHz وبمقدار امتصاص 99.83% ومنطقة الامتصاص الثالثة عند تردد 21.091 GHz وبمقدار امتصاص 95.78% ومنطقة الامتصاص الرابعة عند تردد 22.058 GHz وبمقدار امتصاص 98.67% كما في الشكل (3) الذي يوضح مناطق الامتصاص والانعكاس والانتقال للإشعاعات الكهرومغناطيسية.

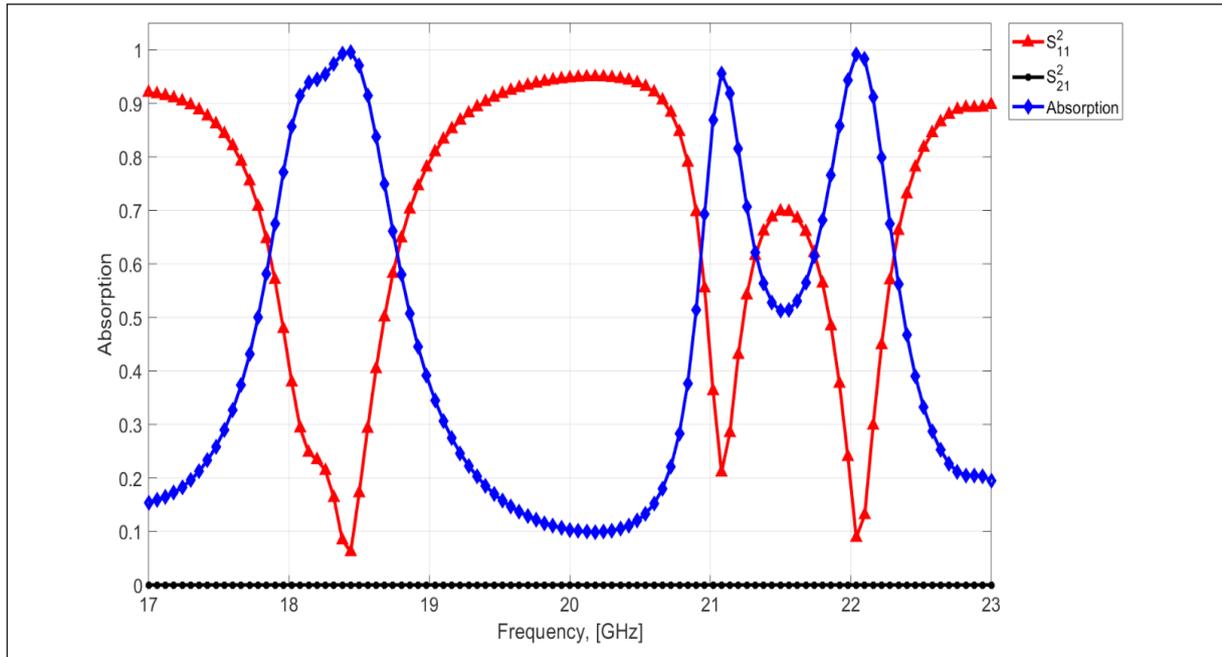


شكل (1): (a) منظر سطحي يوضح الأبعاد لخلية واحدة، (b) منظر جانبي

جدول رقم (1) تفاصيل الأبعاد للتصميم المقترح

القيمة (ملم)	المتغير
20	P_x
20	P_y
9.75	r_1
8.5	r_1
6.7	r_1
3.5	r_1
1.1	g
0.8	h

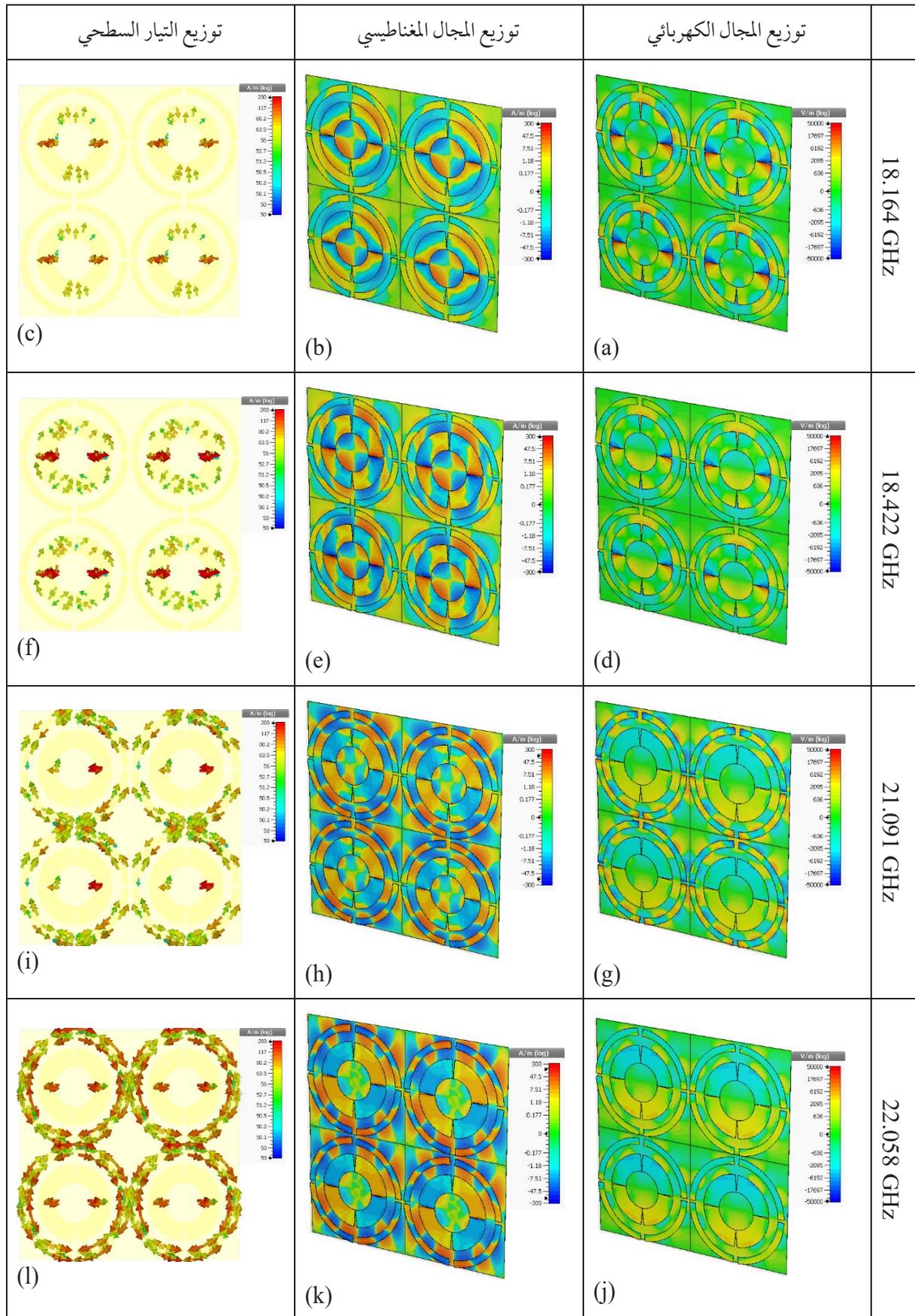
تم تحليل التصميم باستخدام برنامج CST (Microwave studio MWS) في حزمة الترددات من 17GHz إلى 23GHz على افتراض أن النمط الموجي هو من نوع النمط الأساسي TE_{10} ؛ أي يكون متجه انتشار الموجة k على طول اتجاه المحور z وامتجه المجال الكهربائي E موازٍ إلى اتجاه



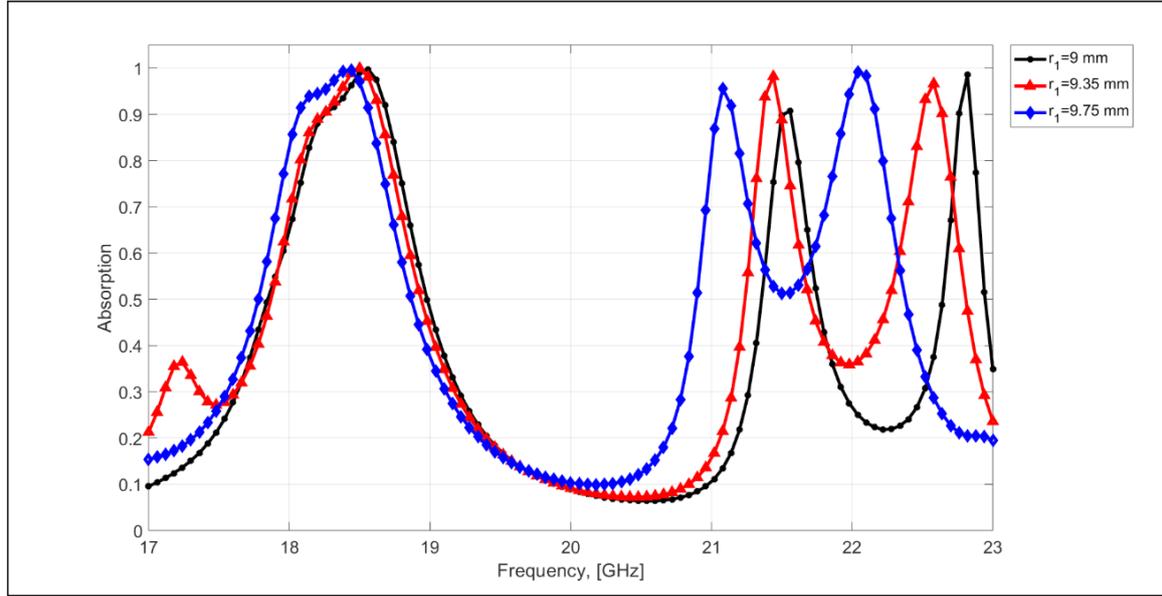
شكل (3): مستوى الامتصاص لجميع مناطق الامتصاص

تردد 21.091GHz يتضح من توزيع التيار (i)4 أن سبب الامتصاص ناتج من اقتران المجال الكهرومغناطيسي بين الخلايا المتجاورة عمودياً؛ حيث ينتشر التيار بكثافة عالية عند الحلقات الخارجية بين الخلايا المتجاورة، ويتضح من الشكل (h)4 أن المتحكم الرئيس هو المجال المغناطيسي Li (et al., 2016)، تشير نتائج التحليل عند التردد 22.058 GHz إلى أن هذا الرنين ناتج عن تعدد القطبية في الحلقة الخارجية (Ye et al., 2012)؛ كما في الشكل (k,l)4. من أجل إعطاء دراسة أكثر شمولية تمت دراسة تأثير التغير في نصف القطر (r_1) على مستوى الامتصاص (شكل 5) أظهرت النتائج أن الزيادة في نصف القطر (r_1) تؤدي إلى زيادة في مستوى الامتصاص؛ حيث أعطت النتائج أعلى قيمة للامتصاص عند ($r_1=9.75$ mm). حيث نلاحظ زيادة في عرض نطاق الحزمة الترددية، وبهذا يمكننا استثمار هذا في التطبيقات التي تحتاج سعة حزمة عريضة مثل الخلايا الشمسية وتجميع الطاقة والكشف عن الموجات الكهرومغناطيسية في ترددات التيراهيرتز.

ولغرض دراسة الأسباب وراء هذه النتائج تم إجراء تحليل لتوزيع المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي والتيار السطحي وكذلك ما يعزز- في الشكل رقم (4)- (المجال الكهربائي (a)، المجال المغناطيسي (b)، التيار السطحي (c)) على التوالي؛ حيث يبين منطقة الامتصاص الأولى عند تردد 18.164 GHz. يتوزع المجال الكهربائي بشكل واضح على جانبي القطع في الحلقة الداخلية، وهو يتعاكس في اتجاهه مع المجال الكهربائي للطبقة الأرضية، مما يشير بشكل واضح إلى أن نوع الرنين هو ثنائي القطب الناتج عن تذبذب المجال الكهربائي (Sabah et al., 2014)، وكذلك ما يعزز هذا الاستنتاج هو توزيع التيار السطحي؛ كون التيار يتركز عند منطقة القطع في الحلقة الداخلية شكل (c)4. عند التردد 18.422 GHz يتوزع المجال الكهربائي في نفس منطقة التردد الأول، شكل (d)4 وفي الوقت ذاته يشير توزيع المجال المغناطيسي كذلك إلى تذبذبه على جانبي منطقة القطع مما يشير كذلك إلى أن نوع الرنين هو ثنائي القطب الناتج عن تذبذب كلا المجالين الكهربائي والمغناطيسي (Grant et al., 2011 ; Wang et al., 2014)، كما في الشكل (e)4. في الشكل (4) منطقة الامتصاص الثالثة عند



شكل (4): توزيع المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي والتيارات السطحية عند قمة منحنى الرنين (أعلى قيمة للامتصاص)

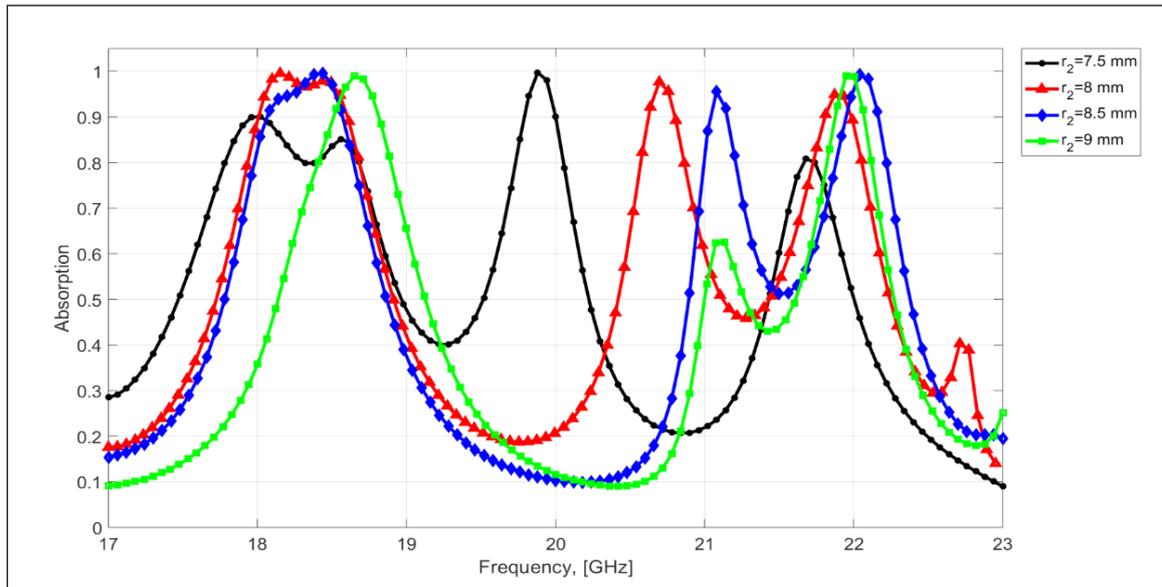


شكل (5): تأثير تغير نصف القطر (r_1) في مستوى الامتصاص

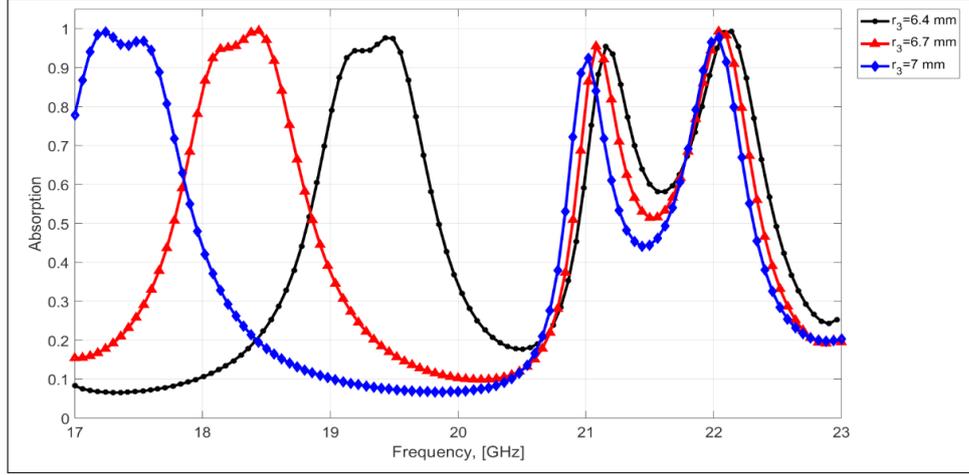
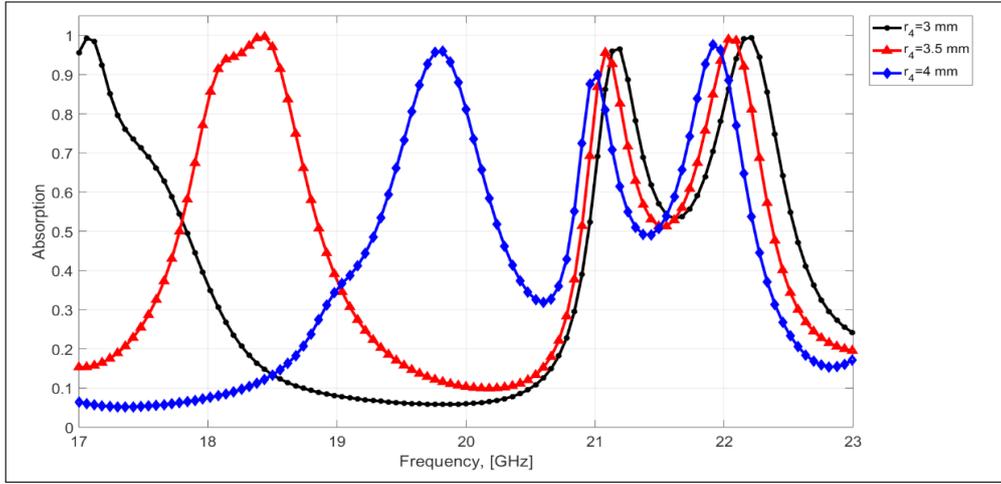
إن التحكم في قيمة (r_3) يؤثر بشكل واضح وكبير في التردد الأول والثاني بتناسب عكسي كما هو موضح في الشكل (7).

بينما تشير نتائج التحليل إلى أن أفضل قيمة لنصف القطر الداخلي للحلقة الداخلية ($r_4=3.5\text{mm}$) كما هو موضح في الشكل (8).

وبالطريقة نفسها تمت دراسة تأثير التغير (r_2) على مستوى الامتصاص (شكل 6) أظهرت النتائج أن الزيادة في نصف القطر (r_2) تؤدي إلى زيادة لا خطية في مستوى الامتصاص؛ حيث أعطت النتائج أعلى قيمة للامتصاص عند ($r_2=8.5\text{ mm}$). كما لوحظ عند ($r_2=9\text{ mm}$) أنه ينخفض مستوى الامتصاص بشكل كبير جداً.

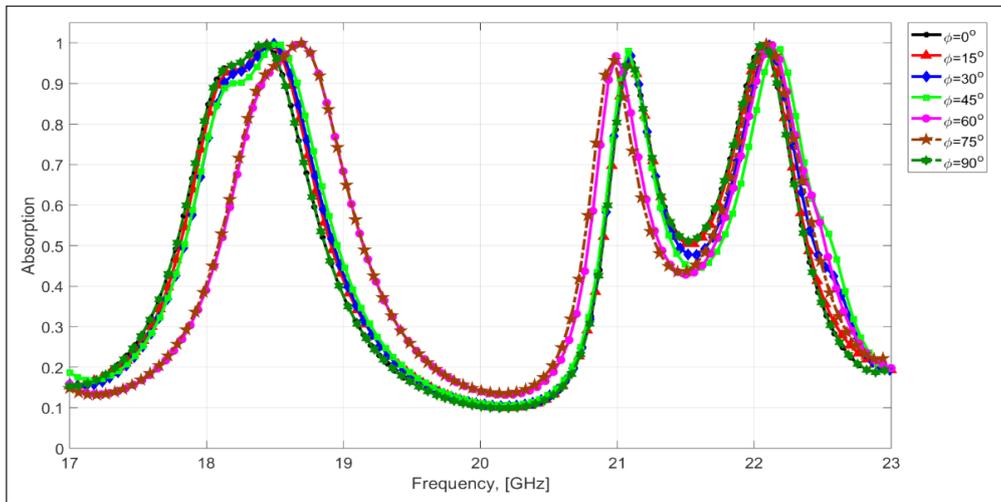


شكل (6): تأثير تغير نصف القطر (r_2) في مستوى الامتصاص

شكل (7): تأثير تغير نصف القطر (r_3) في مستوى الامتصاصشكل (8): تأثير تغير نصف القطر (r_4) في مستوى الامتصاص

التصميم نتائج جيدة من حيث عدم تأثره بزاوية الاستقطاب باستثناء الزاويتين ($75^\circ, 60^\circ$).

في حين تمت دراسة تأثير الزاوية (θ) زاوية استقطاب الموجة الكهرومغناطيسية الساقطة على مستوى الامتصاص (شكل 9). أعطى

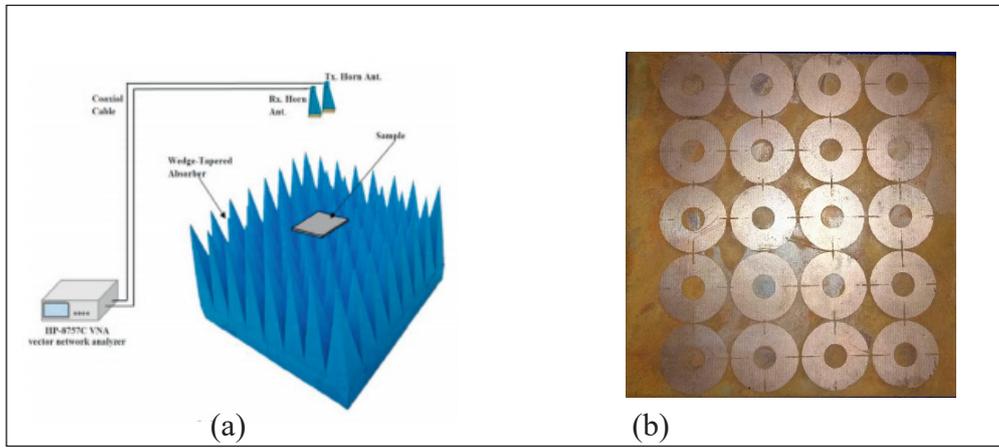
شكل (9): تأثير تغير نصف القطر (θ) في مستوى الامتصاص

النتائج المخبرية

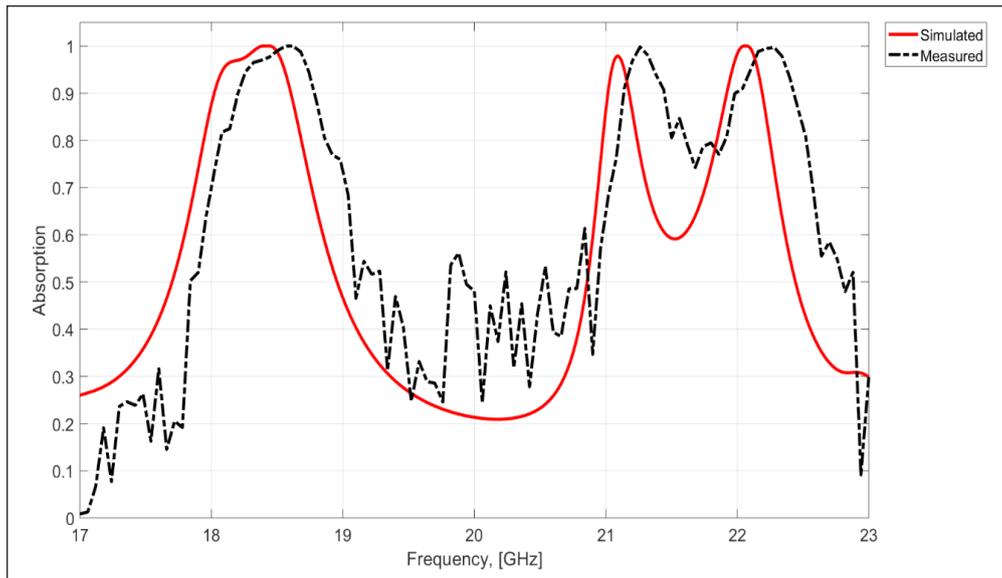
تم استخدام عدة مواد في الحصول على التصميم المقترح؛ حيث صنعت الخلية ذات الأبعاد (10×10) لتأكيد النتائج الاختبارية، وتم الاعتماد على أبعاد التصميم المصنوع من المواد ذات الخصائص الخارقة. والممتص المقترح يمثل ثلاث طبقات: الأرضية والعليا من النحاس، بينهما طبقة من مادة عازلة ذات سماحية كهربائية نسبية ($\epsilon_r=4.3$) وسمك ($h=0.8$ mm).

أجري القياس بواسطة هوائي بوقي، وبزاوية بين المرسل والمستقبل (5°). وصل الهوائي المرسل مع منفذ جهاز تحليل الشبكات (HP-8757CVNA)، بينما هوائي الاستقبال (لاستقبال الموجة المنعكسة)

كان كما هو موضح في الشكل (10). لمنع تأثير الموجات القريبة بين المرسل والمستقبل ثبتت المسافة بين هوائي الاستشعار على بعد (10 cm) وزاوية (5°) بينهما. بالإضافة لذلك، المسافة بين التصميم المقترح والهوائيات (45 cm). كذلك استخدمنا عوازل هرمية الشكل بين الهوائيات والممتص المقترح لإزالة التداخل بين الموجات الكهرومغناطيسي الناتجة من البيئة المحيطة. الشكل (11) يمثل مقارنة بين منحنى النتائج المخبرية والنتائج التحليلية. المقارنة تظهر أن النتائج المقاسة مطابقة بشكل كبير للنتائج التحليلية ما عدا بعض الإزاحة القليلة في التردد.



الشكل (10): (a) الإعدادات المخبرية (b) النموذج المصنع



الشكل (11): مقارنة بين طيف الامتصاص المقاس مخبريا وبين برنامج CST

- Al-Badri, K. S. L. 2018. Very high q-factor based on G-shaped resonator type metamaterial absorber. p. 160-167. *In*: Ibn AL-Hitham College of Pure and Applied Science Proceedings 1st International Conference, Apr 24 2018. Baghdad, Iraq.
- Al-Badri, K. S. L., Karacan, N., Kucukoner, E. M., and Ekmekci, E. 2018. Sliding planar conjoined cut-wire-pairs: A novel approach for splitting and controlling the absorption spectra. *Journal of Applied Physics*. 124(10): 103-105.
- Landy, N. I., Bingham, C. M., Tyler, T., Jokerst, N., Smith, D. R., and Padilla, W. J. 2009. Design, theory, and measurement of a polarization-insensitive absorber for terahertz imaging. *Phys. Rev. B*. 79(12): 125104.
- Landy, N. I., Sajuyigbe, S., Mock, J. J., Smith, D. R., and Padilla, W. J. 2008. Perfect metamaterial absorber. *Phys. Rev. Lett.* 100(20): 207402.
- Liu, N., Liu, H., Zhu, S., and Giessen, H. 2009. Stereometamaterials. *Nat. Photon.* 3:157–162.
- Pendry, J. B., Holden, A. J., Robbins, D. J., and Stewart, W. J. 1999. Magnetism from conduct and enhanced nonlinear phenomena. *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.* 47(11): 2075–2084.
- Sabah, C., Turkmen-Kucuksari, O., and Turhan-Sayan, G. 2014. Metamaterial absorber-based sensor embedded into X-band waveguide. *Electron. Lett.* 50(15): 1074-1076 .
- Schurig, D., Mock, J. J., Justice, B. J., Cummer, S. A., Pendry, J. B., Starr, A. F., and Smith, D. R. 2006. Metamaterial electromagnetic cloak at microwave frequencies. *Science*. 314(5801): 977–980.
- Shchegolkov, D. Y., Azad, A. K., Ohara, J. F., and Simakov, E. I. 2010. Perfect subwavelength fishnet like metamaterial-based film terahertz absorbers. *Phys. Rev. B*. 82 (20): 205117.
- Smith, D. R., Pendry, J. B., and Wiltshire, M. C. K. 2004. Metamaterials and negative refractive index. *Science*. 305 (5685): 788–792.
- Tao, H., Bingham, C. M., Pilon, D., Fan, K., Strikwerda, A. C., Shrekenhamer, D., Padilla, W. J., Zhang, X., and Averitt, R. D. 2010. A dual band terahertz metamaterial absorber. *J. Phys. D*. 43(22): 225102.

الاستنتاجات

أظهرت النتائج التحليلية إمكانية إنتاج ممتص للموجات الكهرومغناطيسية ذي أربع مناطق امتصاص مثالية، حيث يمتاز الهيكل الذي يمثل حلقتين من النحاس ببساطة التصميم ونحافة السمك. ويمكن استخدامه في العديد من التطبيقات العلمية، مثل الأقمار الصناعية الخاصة بالطقس والخلايا الشمسية والتقليل من آثار الموجات الكهرومغناطيسية. من جانب آخر أظهرت نتائج التحكم بالأبعاد الهندسية للتصميم إمكانية الحصول على أكثر من أربع مناطق امتصاص وبمستويات امتصاص عالية. كذلك إمكانية استخدامه كمتص ذي حزمة امتصاص عريضة تخدم في العديد من التطبيقات مثل تجميع الطاقة والكشف عن الموجات الكهرومغناطيسية في ترددات التيرا هيرتز.

المراجع

- Dolling, G., Enkrich C., Wegener, M., Zhou, J., Soukoulis, C. M., and Linden, S., 2005. Cut-wire pairs and plate pairs as magnetic atoms for optical metamaterials. *Opt. Lett.* 30(23): 3198–3200.
- Ergin, T. N. Stenger, Brenner, P., Pendry, J. B., and Wegener, M. 2000. Three-dimensional invisibility cloak at optical wavelengths. *Science*. 328(5976): 337–339.
- Fernández Álvarez, H., de Cos Gómez, M. E., and Las-Heras, F. 2015. A thin c-band polarization and incidence angle-insensitive metamaterial perfect absorber. *Materials*. 8(4): 1666-1681.
- Grant, J. Y. Ma, Saha, S., Khalid, A., and Cumming, D. R. S. 2011. Polarization insensitive, broadband terahertz metamaterial absorber. *Opt. Lett.* 36(17): 3476–3478.
- Hu, F., Wang, L., Quan, B., Xu, X., Li, Z., Wu, Z., and Pan, X. 2013. Design of polarization insensitive multiband terahertz metamaterial absorber. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 46(19): 103-111.
- Huang, L., Chowdhury, D. R., Ramani, S., Reiten, M. T., Luo, S. N., Azad, A. K., Tylor, A. J., and Chen, H. T. 2012. Impact of resonator geometry and its coupling with ground plane on ultrathin metamaterial perfect absorbers. *Appl. Phys. Lett.* 101(10):101102.

- Yang, J., Sauvan, C., Liu, H. T., and Lalanne, P. 2011. Theory of fishnet negative-index optical metamaterials. *Phys. Rev. Lett.* 107(4): 043903.
- Li, W., Wei, J., Wang, W., Hu, D., Li, Y., and Guan, J. 2016. Ferrite-based metamaterial microwave absorber with absorption frequency magnetically tunable in a wide range, *Materials & Design.* 110: 27-34.
- Ye, Q., Liu, Y., Lin, H., Li, M., & Yang, H. 2012. Multi-band metamaterial absorber made of multi-gap SRRs structure, *Applied Physics A.* 107(1):155-160.
- Dayal, G., and Ramakrishna, S. A. 2014. Multipolar localized resonances for multi-band metamaterial perfect absorbers, *Journal of Optics.* 16(9): 094016.
- Wang, B. X., Wang, L. L., Wang, G. Z., and Huang, W. Q. 2013. A simple nested metamaterial structure with enhanced bandwidth performance. *Opt. Commun.* 303: 13–14.
- Wang, B. X., Wang, L. L., Wang, G. Z., Huang, W. Q., Li, X. F., and Zhai, X. 2014. A simple design of a broadband, polarization-insensitive, and low-conductivity alloy metamaterial absorber. *Appl. Phys. Exp.* 7(8): 082601.
- Wang, B. X., Wang, L. L., Wang, G. Z., Huang, W. Q., Li, X. F. and Zhai, X. 2014. Theoretical investigation of broadband and wide-angle terahertz metamaterial absorber, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 26(2): 111–114.

Four Band Electromagnetic Waves Absorber Using Negative Refractive Index Materials (Metamaterials)

Khalid Saeed Lateef Al-Badri^(1,2) and Fahad Qasim Muhammad⁽¹⁾

(1) Department of Physics, University of Samarra, Iraq, Samarra

(2) Computer Center, University of Samarra, Iraq, Samarra

Received 18 February 2019 - Accepted 13 November 2019

<https://doi.org/10.37575/b/sci/2055>

ABSTRACT

This work presents a simple design of a four-band microwave metamaterial perfect absorber. The unit-cell of the metamaterial perfect absorber consists of two metallic rings structure and an FR4 Epoxy dielectric spacing layer stands on a ground plane. This structure is very simple and very compact. The numerical simulation results (by using CST microwave studio) show that the structure has four distinct absorption peaks (i.e. 99%). The surface current distributions of the top layer and back layer of the unit-cell structure proved that the resonance type is electric dipole. The absorption peak frequencies and absorption level can be tuned easily by changing the structure parameters. Changing parameters also lead to broad band absorption. As well as, the possibility of producing an absorber with a wide absorption bundle, which can be used in many applications such as the energy collection and the production against the effect of the electromagnetic waves. In addition, experimental result closely follows the numerical simulated one. The proposed design can have potential applications in sensing or other optoelectronic related areas in terahertz and optic region.

Key Words: Absorption, Electromagnetic waves, Four-beam, Ideal absorbent, Metamaterials, Negative refractive index.