IRAQI Academic Scientific Journals
Samarra Journal of Pure and Applied Science
SJPAS
www.sjpas.com
ISSN:2663-7405

التوليف السعوي لطيف موجة الامتصاص عن طريق توليف قيمة ظل الخسائر في الميتاماتيريل

خالد سعيد لطيف البدري*، فهد قاسم محمد، احمد علي دحام
قسم الفيزياء، كلية التربية، جامعة سامراء (saaedkhalid@gmail.com)

معلومات البحث:

تأريخ الاستلام: 2020/05/01
تأريخ القبــول: 2020/06/10

الكلمات المفتاحية:

امتصاص، المواد ذات الخصائص الخارقة، موجات كهرومغناطيسية، ظل الخسائر، امتصاص مثالي

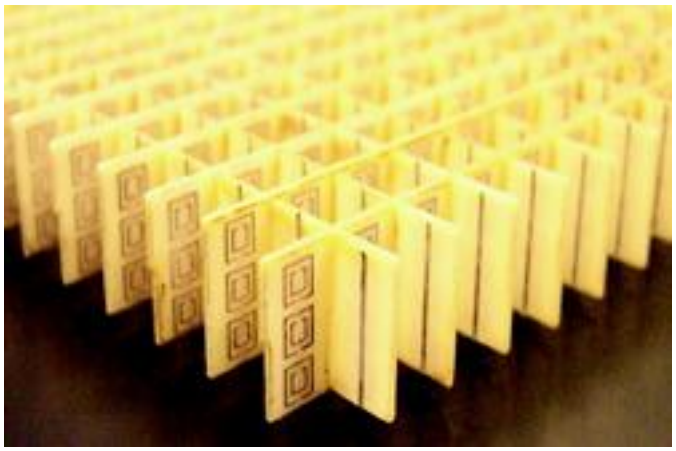
الخلاصة:

تقدم هذه الدراسة نتائج تحليلية لتصميم بسيط جدا لممتص موجات كهرومغناطيسية ذو معامل انكسار سالب وهو عبارة عن قرص من النحاس مثبت على طبقة عازلة من نوع FR4 تفصلها عن طبقة ارضية مستوية من النحاس حيث يمتاز هذا الهيكل ببساطة التصميم ونحافة السمك. يهتم هذا البحث في توفير ممتص ومتحسس يمكن استخدامهما في التوليف السعوي لطيف موجة الامتصاص. تم تنفيذ التصميم واستخلاص النتائج بأستخدام برنامج CST. يوفر هذا التصميم منطقة امتصاص ذات قدرة امتصاص تصل الى 99%. ان هذا الامتصاص ناتج عن تذبذب ثنائي القطب في الجزء العلوي والسفلي للقرص. أضافة لذلك فإن التحكم في ابعاد التصميم للقرص وسمك الطبقة العازلة يقود الى نتائج جيدة في توليف التردد الرنيني. من جانب اخر اظهرت نتائج التحكم بالأبعاد الهندسية للتصميم امكانية الحصول على 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، وصولاً الى الترددات الضوئية مما قد يسهم في التطبيقات المحتملة في العديد من مجالات التكنلوجيا الضوئية والهندسية. في هذا البحث تم الحصول على نتائج مهمة في تحسس وامتصاص الموجات الكهرومغناطيسية من خلال التحكم في ابعاد التصميم المقترح منها التحكم في تغيير نصف القطر والحصول على مستوى امتصاص عالي.

المقدمة:

المواد ذات الخصائص الخارقة أو المواد العكسية (Metamaterials) و اختصارها (MMS)، هي أحد أهم المواد التي استخدمت الخصائص المذهلة الموجودة في المواد العكسية [1-8]. اجتذبت المواد العكسية (MMS) اهتماماً كبيراً لدى العلماء نظراً لخصائصها الغريبة غير المتوفرة في الطبيعة مثل الإخفاء غير المرئي، مؤشر الانكسار السالب والعدسات المثالية. في السنوات الاخيرة تلقت تطبيقات RF (Radio Frequency) وتطبيقات المايكروويف العناية من قبل الباحثين في كل من مجال الهندسة والعلوم الفيزيائية، وخصوصاً التي تعمل على تطوير تطبيقات RF في الموجات الصغيرة باستخدام المواد الخارقة. تتكون هذه المواد من خلايا صغيرة جداً مقارنة بالطول الموجي. حيث تم اقتراح العديد من الهياكل في المراجع لتحقيق الخصائص الكهرومغناطيسية للمواد ذات الخصائص الخارقة [5-17]. في العديد من الحالات، مثل اجهزة التصوير الطيفية THz والكاشف [6،18]، يلزم وجود امتصاص ذو نطاق مزدوج أو متعدد، حيث أن الكاشف القائم على جهاز الامتصاص متعدد النطاقات يمكنه تحقيق الكشف الانتقائي للتردد وتقليل الاضطراب البيئي وبالتالي زيادة حساسية الكشف عن الموجات الكهرومغناطيسية. إن معظم الهياكل التي طرحت حول موضوع المواد ذات الخصائص الخارقة. حيث تعتمد في الاساس على مرنان معدني شديد التذبذب

ضمن نطاق التردد للتصميم، هذه النطاقات تكون احادية الموجة ، حيث انه لا مفر من وجود خسائر كبيرة في الطاقة، ومن هذه الخسائر هي خسائر الظل وهذه تنعكس سلباً على أدائها، لكن من ناحية اخرى فان هذه الخسائر لها دور جوهري في الترددات الضوئية. لقد أظهر لاندي وآخرون معه أول ممتص في عام 2002، بقدرة امتصاص تصل الى 88% والذي كان يتألف من حلقة منفصلة وقطعة من سلك، مفصولان عن بعضهما بطبقة عازلة [19]، شكل 1.



الشكل 1: يبين تصميم لاندي لممتص الموجات الكهرومغناطيسية [2،3].

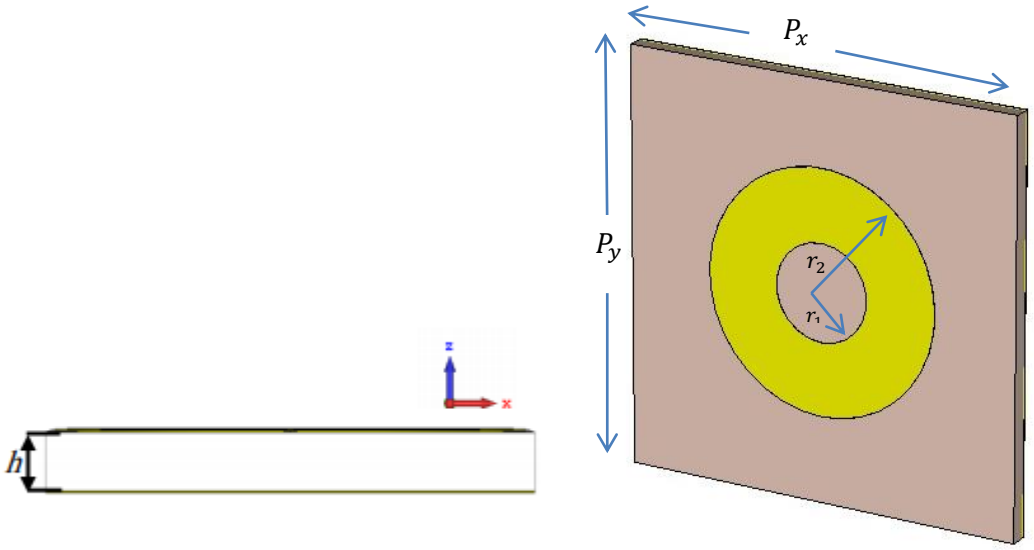
ومن بعدها جذبت هذه المواد اهتمام الباحثين وقد تم اقتراح العديد من الهياكل التي تصل قدرتها الامتصاصية الى 100% ولأهميتها في الكثير من التطبيقات مثل الكشف الطيفي، تحديد الطور، التصوير الحراري، مقياس السُمك الدقيق وتطبيقات الخلايا الشمسية. حاليا ، يتم تطوير المواد ذات الخصائص الخارقة لمعالجة الإشعاع الكهرومغناطيسي بطرق جديدة. على سبيل المثال، غالباً ما يتم تغيير الخصائص البصرية والكهرومغناطيسية للمواد الطبيعية من خلال التحكم في خواصها الكيميائية. مع المواد ذات الخصائص الخارقة، يمكن تصميم ممتص ومتحسس ذو خصائص بصرية وكهرومغناطيسية عن طريق تغيير هندسة خلايا الوحدة الخاصة بها. خلايا الوحدة هي عبارة عن مواد مرتبة بترتيبات هندسية ذات أبعاد تمثل كسور لطول الموجة الكهرومغناطيسية. تستجيب كل وحدة اصطناعية للإشعاع الصادر من المصدر. النتيجة الجماعية هي استجابة المادة للموجة الكهرومغناطيسية التي هي أكبر من المعتاد [20]. بعد ذلك، يتم تغيير الإرسال عن طريق ضبط شكل وحجم وتكوين خلايا الوحدة، وهذا يؤدي إلى التحكم في السماحية والنفاذية المغناطيسية. تحدد هاتان المعلومتان أو (الكميتان) انتشار الموجات الكهرومغناطيسية في المادة. لذلك، فإن التحكم في قيم السماحية والنفاذية يعني أن معامل الانكسار يمكن أن يكون سالبًا أو صفريًا وكذلك إيجابيًا. كل هذا يتوقف على التطبيق المقصود أو النتيجة المرجوة، لذلك يمكن توسيع الخصائص البصرية بما يتجاوز قدرات العدسات والمرايا والمواد التقليدية الأخرى. بالإضافة إلى ذلك، أحد الآثار الأكثر دراستها هو معامل الانكسار السالب [21]. في الواقع فإن تطوير الممتص المثالي بحيث يكون ذا قيمة عالية جدًا في حزمة ترددات التيرا هيرتز أمر مهم؛ حيث أنه من الصعب جدًا الحصول على مواد طبيعية ذات قدرة امتصاص مثالية ضمن ترددات التيرا هيرتز. هذا النوع من الممتصات يمكن أن يُستخدم في أنظمة الأمن في المطارات ومنظومات التصوير والكاشفات الحرارية وغيرها. تعتبر هذه المواد الكهرومغناطيسية المصممة منصة مثالية للتحقيق في الظواهر الفيزيائية الناشئة الجديدة مع الاحتفاظ بمؤشرات كبيرة للتطبيقات المستقبلية. إن الممتصات التي تستخدم مع حزم المايكروويف لا تقل أهميتها لما تحمله من خصائص بإمكانها تقليل التشويش في الرادارات وتجميع الطاقة والاستفادة منها في شحن اللاسلكيات والتخفي من اكتشافها في الرادارات والصناعات العسكرية الاخرى. هناك العديد من الباحثين ممن عملوا على تحقيق أعلى درجة امتصاص للأشعة الكهرومغناطيسية لكن للأسف فإن جهودهم تشترك في عيب، هذا العيب هو ضيق عرض الحزمة للموجة الممتصة والتي تعوق بشكل كبير التطبيقات العملية. فيما بعد، تم اتباع بعض الطرق لتطوير حزمة الامتصاص أو تعدد حزم الامتصاص في الجيجا هيرتز، مثلاً ممتص ثنائي الحزمة وثلاثي الحزمة [22-25]. على أي حال، في الكثير من حالات الممتص ثنائي الحزمة الضيقة هو امر مهم في التصوير الطيفي والأجهزة الخاصة بالاستشعار. وفي هذا الصدد فإن امتصاص المواد للحزمة الضيقة لها بعض العيوب هي: أولاً: أداء الامتصاص للهيكل المقترح يكون حساساً لعملية استقطاب الموجات التي تسقط عليه والتي تعوق بشكل كبير التطبيقات العملية. ثانياً: السطح غير المستوي لتركيب الهياكل يجعل صناعتها صعبة جدًا، وخاصة عند الترددات مثل تيرا هيرتز وما فوقها، الأشعة تحت الحمراء والترددات الضوئية. واخيرًا، الأهم من ذلك هو أنه من الصعب زيادة قدرة الامتصاص.

هذه الدراسة تقدم ممتص ومتحسس احادي الحزمة ضمن حزمة ترددات المايكروويف. ان في اغلب التصاميم يتم اعماد 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 سطح مستوي حيث تعمل على منع اي انتقال للموجة الكهرومغناطيسية وعاكسة كالمرآة للموجة في نفس الوقت. يتألف التصميم من حلقة معدنية موضوعة على طبقة عازلة تفصلها عن طبقة النحاس الارضية. حيث اظهرت النتائج وجود منطقة امتصاص مميزة تصل ذروتها الى اعلى من 99%. اكثر من ذلك يمكن التحكم في ابعاد و خصائص التصميم لتوسيع عدد مناطق الامتصاص لتصل الى اكثر من منطقة.

التصميم:

في هذا البحث تم تصميم ممتص على شكل قرص وحلقة من النحاس مفصولتان عن الطبقة الارضية بواسطة عازل من نوع (stands for Flame Retardant FR-4) وبسمك (h=0.8 mm)، إذ إن قيمة السماحية النسبية (Relative $\varepsilon_r = 4.3$ Permittivity) وخسائر الظل(tangent loss dielectric $tan\,\delta = 0.025$). يعرض الشكل 2 المسقط العمودي لخلية واحدة من التصميم المقترح مثبت عليها تفاصيل الابعاد كما مبين في الجدول (1). وتجدر الاشارة الى ان المعدن المستخدم هو من النحاس وبتوصيلية قدرها 5.8×10^7 s/m.



(b) (a)

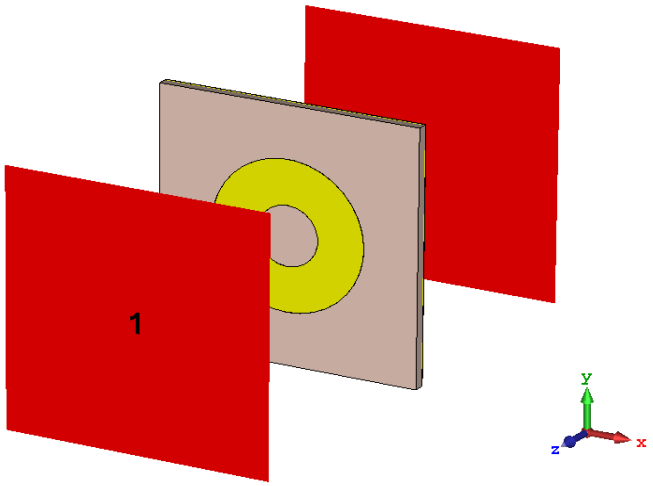
شكل 2: (a) منظر سطحي يوضح الابعاد لخلية واحدة ، (b) منظر جانبي.

جدول 1: يبين تفاصيل الابعاد للتصميم المقترح

المتغير	القيمة
P_x	34 ملم
P_y	34 ملم
r_1	10 ملم
r_2	4 ملم
H	1 ملم
α	5°

اعدادات البرنامج:

تم تحليل التصميم باستخدام برنامج (CST Microwave studio MWS) في حزمة الترددات من 2 GHz 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) كما في الشكل (3).



شكل 3: اعدادات التصميم في برنامج CST

النتائج:

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

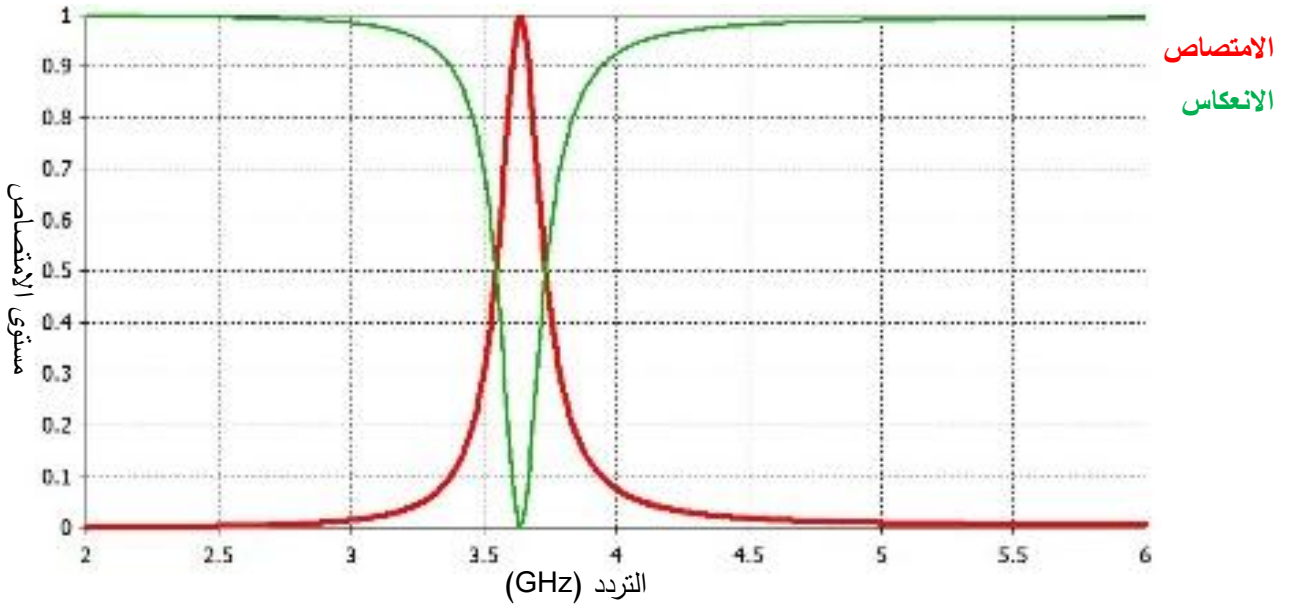
$$A= 1-R-T \quad (1)$$

حيث ان في معادلة (1) تمثل A معامل الامتصاص، R معامل الإنعكاس، T معامل النفاذية [8,7].

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

ومقدار معامل النفاذية: $T=|S_{21}|^2$

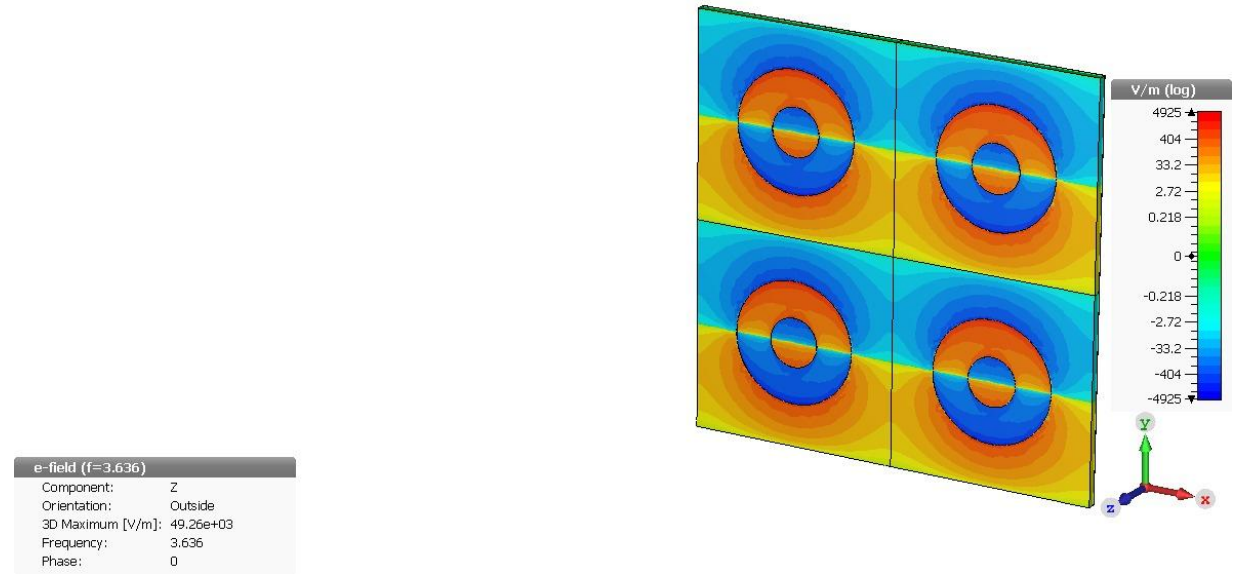
يوفر التصميم منطقة امتصاص واحدة عند تردد 3.65 GHz وبمقدار امتصاص 99% كما في الشكل 4 الذي يوضح منطقة الامتصاص والانعكاس والانتقال للإشعاعات الكهرومغناطيسية.



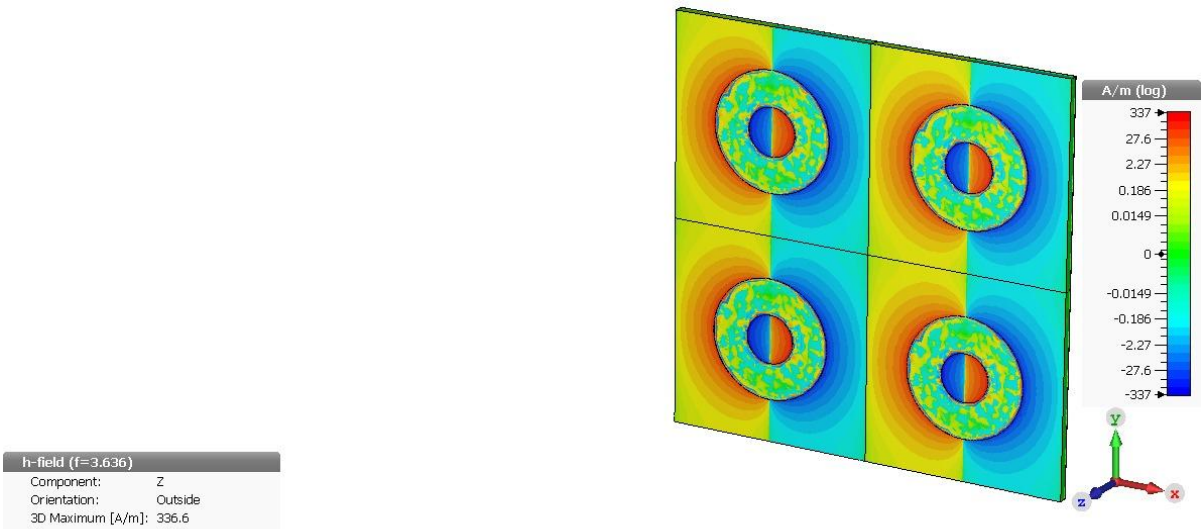
شكل 4: طيف الامتصاص.

لغرض دراسة الاسباب وراء هذه النتائج تم اجراء تحليل لتوزيع المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي والتيار السطحي كما في الشكل رقم 5 (a، b ، c) يوضح توزيع (المجال الكهربائي، المجال المغناطيس، التيار السطحي) على التوالي يبين منطقة الامتصاص عند ترددGHz 3.636 في الشكل (a) يتوزع المجال الكهربائي في النصف العلوي من القرص المعدني والنصف

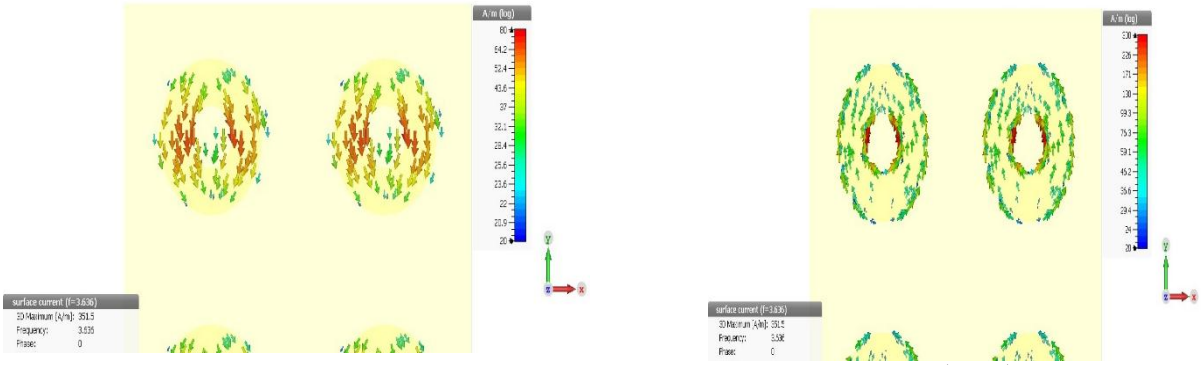
السفلي من الطبقة الارضية المستوية وان نوع الرنين هو تذبذب ثنائي القطب. في الشكل (b) يتوزع المجال المغناطيسي على جهتي الطبقة الارضية المستوية. في الشكل (c) يوضح توزيع التيار السطحي حيث يتذبذب التيار السطحي حول القرص.



الشكل (5a): يبين توزيع المجال الكهربائي.

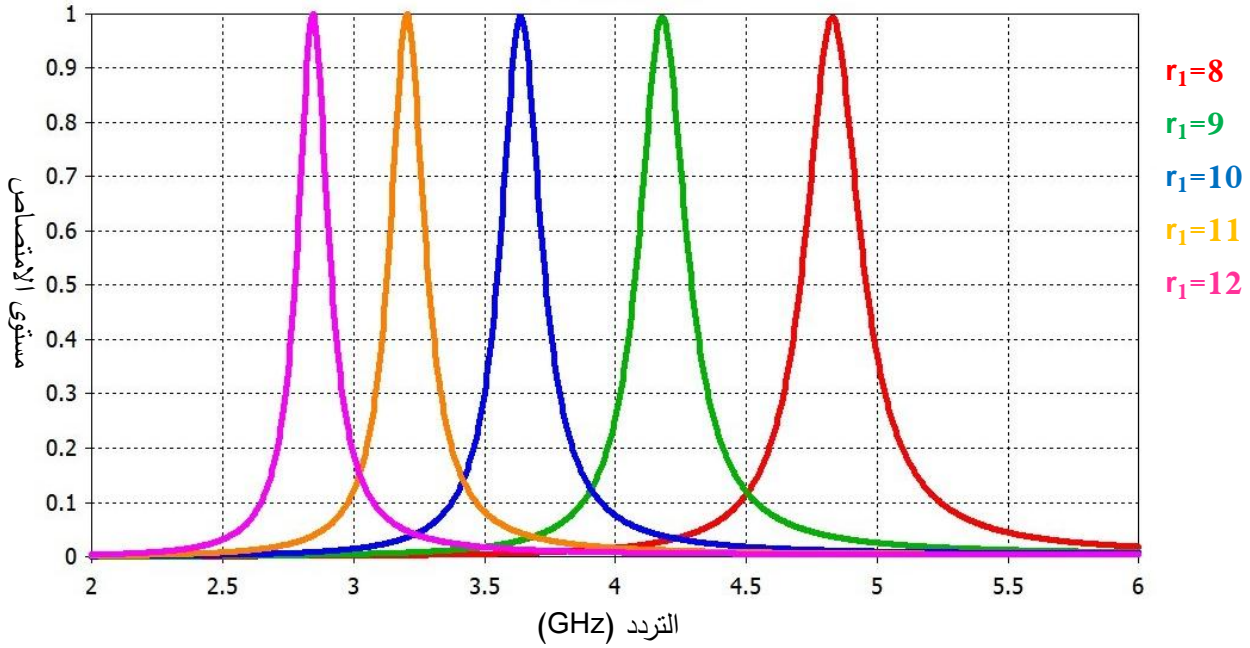


الشكل (5b): يبين توزيع المجال المغناطيسي.



الشكل (5c): يبين توزيع التيار السطحي.

من اجل اعطاء دراسة أكثر شمولية تم دراسة تأثير التغير في نصف القطر r_1 على مستوى الامتصاص شكل 6 اظهرت النتائج قيم امتصاص عالية عند تغيير نصف القطر وان الزيادة في نصف القطر r_1 يؤدي الى نقصان في التردد الرنيني كما هو مبين في الجدول (2). ونلاحظ زيادة في عرض نطاق الحزمة الترددية كلما زاد نصف القطر ويمكننا استثمار هذا في التطبيقات التي تحتاج سعة حزمة عريضة مثل الخلايا الشمسية وتجميع الطاقة والكشف عن الموجات الكهرومغناطيسية في ترددات التيراهيرتز، جدول 2.

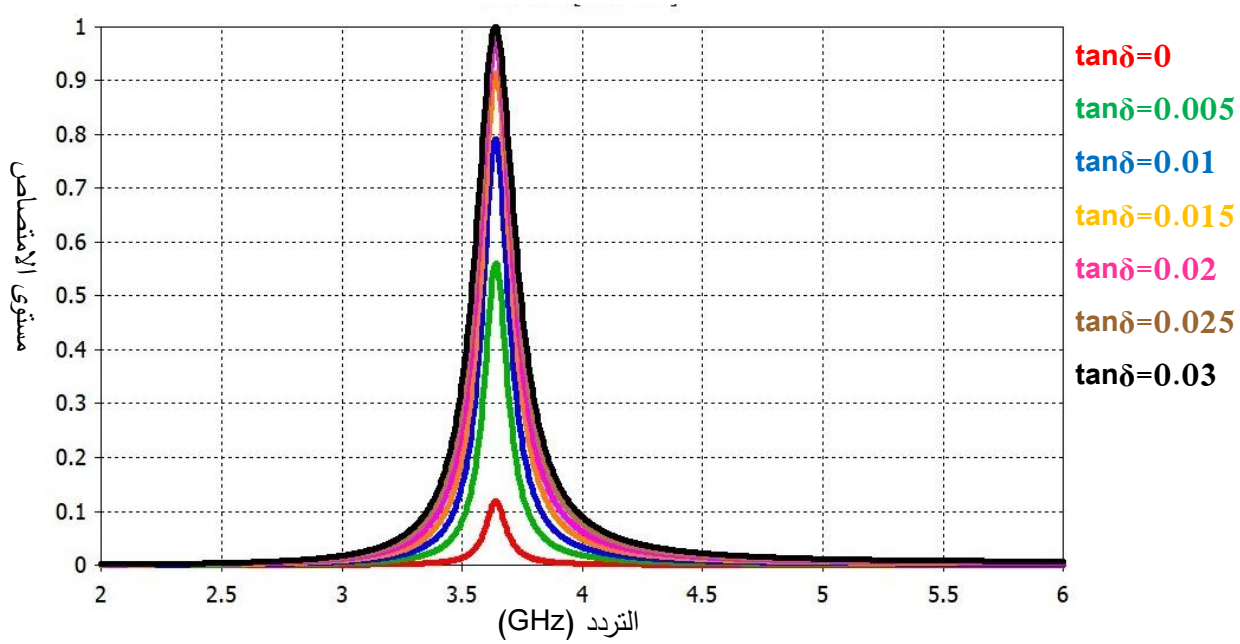


شكل 6: يبين تأثير تغير نصف القطر r_1 على مستوى الامتصاص.

جدول 2: يوضح تغير قيم نصف القطر r_1 على قيم مستوى الامتصاص.

نصف القطر	منطقة الامتصاص	
r_1(mm)	التردد GHz	الامتصاص
8	4.8	0.99
9	4.2	0.99
10	3.6	0.99
11	3.2	0.99
12	2.8	0.99

كذلك من ناحية دراسة تأثير التغير في ظل الخسائر للركيزة على مستوى الامتصاص شكل (7) نلاحظ عند زياد ظل الخسائر للركيزة يؤدي الى زيادة في مستوى الامتصاص؛ حيث لوحظ ان أفضل امتصاص حصل عندما $(\tan\delta = 0.03)$. فعند زيادة ظل الخسائر للركيزة يزداد عرض نطاق الحزمة الترددية.



شكل 7: تأثير التغير في ظل الخسائر للركيزة في مستوى الامتصاص.

الاستنتاجات:

اظهرت النتائج التحليلية الى امكانية انتاج ممتص للموجات الكهرومغناطيسية ذو منطقة امتصاص وتحسس مثالية حيث يمتاز الهيكل الذي هو على شكل قرص معدني واحد: ببساطة التصميم ونحافة السمك. حيث يمكن استخدامه ففي التوليف السعوي لطيف الموجات الكهرومغناطيسية وفي العديد من التطبيقات العلمية الأخرى مثل الاقمار الصناعية الخاصة بالطقس والخلايا الشمسية والتقليل من اثار الموجات الكهرومغناطيسية. من جانب اخر اظهرت نتائج التحكم بالأبعاد الهندسية للتصميم امكانية الحصول على اكثر من منطقة امتصاص واحدة 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.

References

1. Veselago, V.G., 1968. Electrodynamics of Media with Simultaneously Negative Electric Permittivity and Magnetic Permeability, Physics-Uspekhi 10(4), 509–14.
2. Pendry, J.B., 2000. Negative Refraction Makes a Perfect Lens, Phys. Rev. Lett. 85(18), 3966–9.
3. Smith, D.R., Padilla. W.J., Vier. D.C., NematNasser, S.C., Schultz, S., 2000. Composite Medium with Simultaneously Negative Permeability and Permittivity, Phys. Rev. Lett. 84(18), 4184–7.
4. Al-Badri, K. S., Cinar, A., Kose, U., Ertan, O., & Ekmekci, E., 2016. Monochromatic tuning of absorption strength based on angle-dependent closed-ring resonator-type metamaterial absorber. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 16, 1060-1063.
5. Muhammad, F. Q., & Al-Badri, K. S. L. (2020). Design and analysis quad-band patch antenna for wireless communication. Samarra Journal of Pure and Applied Science, 2(1), 25-34.
6. Tetik, E., Tetik, G.D., 2017. The Effect of a Metamaterial Based Wearable Microstrip Patch Antenna on Human Body, Can. J. Phys. cjp2017-0755.
7. Al-badri, K. S. L. (2020). Electromagnetic broad band absorber based on metamaterial and lumped resistance. Journal of King Saud University-Science, 32(1), 501-506.
8. Unal, E., Dincer, F., Tetik, E., Karaaslan, M., Bakir, M., Sabah, C., 2015. Tunable Perfect Metamaterial Absorber Design using the Golden Ratio and Energy Harvesting and Sensor Applications, J. Mater. Sci. Mater. Electron. 26(12), 9735-40.
9. Schurig, D., Mock, J.J., Justice, B.J., Cummer, S.A., Pendry, J.B., Starr, A.F., Smith, D.R., 2006. Metamaterial Electromagnetic Cloak at Microwave Frequencies, Science 314(5801), 977-980.

10. EKMEKÇİ, A. P. D. E. (2016). MICROWAVE REGION ELECTROMAGNETIC ABSORBER DESIGN AND APPLICATIONS..
11. Withayachumnankul, W., Fumeaux, C. ve Abbott, D., "Planar Array of Electric-LC Resonators with Broadband Tunability", IEEE Antenn Wirel Pr, 10, s. 577-580, 2011.
12. Withayachumnankul, W., Fumeaux, C. ve Abbott, D., "Compact Electric-LC Resonators for Metamaterials", Opt Express, 18 (25), s. 25912-25921, 2010.
13. Al-Badri, K. S. L., Karacan, N., Kucukoner, E. M., & 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), 105103.
14. Al-badri, K. S. L., 2019. Multi Band Metamaterials Absorber for Stealth Applications. Law, State and Telecommunications Review, 11(1), 133-144..
15. Landy, N.I., Sajuyigbe, S., Mock, J.J., Smith, D.R., Padilla, W.J., 2008. Perfect Metamaterial Absorber, Phys. Rev. Lett. 100(20).
16. Al-Badri, K. S. L. & Muhammad, F. Q., (2020). Four Band Electromagnetic Waves Absorber Using Negative Refractive Index Materials (Metamaterials). Scientific Journal of King Faisal University Basic and Applied Sciences, 21(1), 1-11.
17. Chen, H.T., Padilla, W.J., Cich, M.J., Azad, A.K., Averitt, R.D., Taylor, A.J., 2009. A Metamaterial Solid-state Terahertz Phase Modulator, Nat. Photonics 3(3), 148–51.
18. Ginn, J., Shelton, D., Krenz, P., Lail, B., Boreman, G., 2009. Altering İnfrared Metamaterial Performance Through Metal Resonance Damping, J. Appl. Phys. 105(7).
19. Al-Badri, K. S. L., 2018. Very High Q-Factor Based On G-Shaped Resonator Type Metamaterial Absorber. Ibn AL-Haitham Journal For Pure and Applied Science, 159-166.
20. Hameed, M. H., Shawkat, S. A., & Al-badri, K. S. L. (2020, March). Multi bands metamaterial absorber optimized by genetic algorithm in microwave regime. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2213, No. 1, p. 020055). AIP Publishing LLC.
21. Boopathi, Rani, R., Pandey, S.K., 2017. Metamaterial-inspired Printed UWB Antenna for Short Range RADAR Applications, Microw. Opt. Technol. Lett. 59(7), 1600–4.
22. Shawkat, S. A., Al-badri, K. S. L., & Al_Barazanchi, I. Three band absorber design and optimization by neural network algorithm. l 2020 J. Phys.: Conf. Ser. 1530 012129.
23. Bagmanci, M., Karaaslan, M., Altintas, O., Karadag, F., Tetik, E., Bakir, 2018. Wideband Metamaterial Absorber Based on CRRs with Lumped Elements for Microwave Energy Harvesting, 52(1), 45-59.
24. Al-Badri, K., & Ekmekçi, E. 2016. A Numerical Study with Various Intersecting Twin Structures on Tuning the Absorption Spectra in S-Band.
25. Al-badri, Khalid Saeed Lateef, Omar Fadhil Abdullah, and Ahmed Ibrahim Turki. "Penta-Perfect Metamaterial Absorber for Microwave Applications." In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 454, no. 1, p. 012075. IOP Publishing, 2018.

IRAQI Academic Scientific Journals

Samarra Journal of Pure and Applied Science

SJPAS

www.sjpas.com

ISSN:2663-7405

Tuning absorption spectrum by tuning the value of the tangent losses in metamaterial

Khalid Saeed Lateef Al-Badri*, Fahd Qasim Muhammad, Ahmed Ali Daham
Department of Physics, College of Education, University of Samarra (saaedkhalid@gmail.com)

Article Information

Received: 01/05/2020
Accepted: 10/06/2020

Keywords:

Absorption, Metamaterial, electromagnetic waves, tangent losses, perfect absorption

Abstract

This study provides analytical results for a very simple design for an electromagnetic wave absorber with a negative refractive index. It is only a copper disk separating from ground copper by FR4. This structure is simple design and very thin. This research can be used for scientific applications such as absorption, sensors, weather satellites, solar cells and to reduce the effects of electromagnetic waves. The design was implemented and simulated by CST program. This design provides a 99% absorption band. In addition, controlling the design dimensions of the disc and the thickness of the insulating layer leads to good results in tuning the resonant frequency. On the other hand, the results of the engineering dimension control of the design showed the possibility of obtaining an absorber with a wide absorption band that can be used in applications of energy harvesting and protection from the effects of electromagnetic waves. It is also worth noting that the design can be developed to work in a wide range of frequencies such as microwave, terahertz, up to optical frequencies, which may contribute to potential applications in many areas of optical and engineering technology.