



ممتص مثالي ثنائي الحزمة باستخدام المواد ذات معامل الانكسار السالب

خالد سعيد لطيف

قسم الفيزياء ، كلية التربية ، جامعة سامراء ، سامراء ، العراق

الملخص

تقدم هذه الدراسة نتائج تحليلية باستخدام برنامج CST لتصميم بسيط جدا لممتص ذو معامل انكسار سالب وهو عبارة عن حلقة نحاسية واحدة شبه مربعة موضوعة على عازل يفصلها عن مستوي نحاسي. يوفر هذا التصميم منطقتي امتصاص ذات قدرة امتصاص تصل الى 99.98% ان هذا الامتصاص ناتج عن تذبذب ثنائي القطب في القطرين الرئيسي والثانوي للحلقة. الى جانب ذلك، فإن التحكم في ابعاد الحلقة المعدنية وسمك الطبقة العازلة يقود الى نتائج جيدة في توليف التردد الرنيني وكذلك الى امكانية انتاج ممتص ذو حزمة امتصاص عريضة يمكن الاستفادة منه في تطبيقات تجميع الطاقة والحماية من اثار الموجات الكهرومغناطيسية. تشير نتائج المحاكاة الى امكانية عمل تصغير للتصميم لأجل العمل في ترددات التيرا هرتز مما قد يسهم في تطبيقات محتملة في العديد من مجالات التكنولوجيا الضوئية والهندسية.

معلومات البحث

تأريخ الاستلام: 2017 / 5 / 2

تأريخ القبول: 2018 / 1 / 7

الكلمات المفتاحية:

المراسلة مع:

الاسم: خالد سعيد لطيف

البريد الالكتروني:

رقم الهاتف:

المقدمة

تعتبر المادة ذات معامل الانكسار السالب (metamaterial) من المواد الصناعية التي لا يمكننا الحصول عليها بشكل مباشر في الطبيعة [1] ، [2]. حيث اظهرت هذه المواد خصائص مهمة كصغر حجمها مقارنة بالطول الموجي، السماحية الكهربائية (permittivity) العكسية (-ε) و النفاذية المغناطيسية (permeability) العكسية (-μ) [3،2] وقد أظهرت هذه المواد القدرة على تحقيق معامل انكسار سلبي ، وهي ظاهرة تم الاشارة اليها لأول مرة من قبل فيسلاغو (Veselago) في عام 1968 [4]. وفرت هذه النتائج إمكانات هائلة في العديد من مجالات العلوم والتكنولوجيا [5] كالعديد من التطبيقات (perfect lenses) [6] ، تقنيات التسلل (stealth technology) [1] ، المستشعرات (sensor) [7] ، ومقلوب ظاهرة دوبلر. بقيت هذه الدراسات المعتمدة على فرضيات فيسلاغو نظرية الى العام 1999 حيث نجح العالم بندري في تصنيع هيكل هندسي يقوم بتوفير معامل انكسار سالب باستخدام مصفوفة من الحلقات المرنة المعزولة عن بعضها (Split Ring Resonators SRR) [8]. في السنوات العشر الاخيرة (لندي ، واخرون) فتحوا الباب لاستخدام جديد وهو استخدامها كممتص كهرومغناطيسي مثالي [1]. ومنذ ذلك الحين تم اقتراح العديد من الهياكل الهندسية التي تعمل كممتص مثالي وعالي الجودة في نفس الوقت [9]. واصبحت تعرف فيما بعد اختصارا

تعتبر المادة ذات معامل الانكسار السالب (metamaterial) من المواد الصناعية التي لا يمكننا الحصول عليها بشكل مباشر في الطبيعة [1] ، [2]. حيث اظهرت هذه المواد خصائص مهمة كصغر حجمها مقارنة بالطول الموجي، السماحية الكهربائية (permittivity) العكسية (-ε) و النفاذية المغناطيسية (permeability) العكسية (-μ) [3،2] وقد أظهرت هذه المواد القدرة على تحقيق معامل انكسار سلبي ، وهي ظاهرة تم الاشارة اليها لأول مرة من قبل فيسلاغو (Veselago) في عام 1968 [4]. وفرت هذه النتائج إمكانات هائلة في العديد من مجالات العلوم والتكنولوجيا [5] كالعديد من التطبيقات (perfect lenses) [6] ، تقنيات التسلل (stealth technology) [1] ، المستشعرات (sensor) [7] ، ومقلوب ظاهرة دوبلر. بقيت هذه الدراسات المعتمدة على فرضيات فيسلاغو نظرية الى العام 1999 حيث نجح العالم بندري في تصنيع هيكل هندسي يقوم بتوفير معامل انكسار سالب باستخدام مصفوفة من الحلقات المرنة المعزولة عن بعضها (Split Ring Resonators SRR) [8]. في السنوات العشر الاخيرة (لندي ، واخرون) فتحوا الباب لاستخدام جديد وهو استخدامها كممتص كهرومغناطيسي مثالي [1]. ومنذ ذلك الحين تم اقتراح العديد من الهياكل الهندسية التي تعمل كممتص مثالي وعالي الجودة في نفس الوقت [9]. واصبحت تعرف فيما بعد اختصارا

هناك العديد من النظريات لتفسير ظاهرة الامتصاص باستخدام المواد ذات معامل الانكسار السالب من أهمها نظرية تطابق الممانعة (impedance matching) [10] حيث يتم توليف كل من التردد الرنيني للمجال الكهربائي والتردد الرنيني للمجال المغناطيسي عند القيمة التي تجعل قيمة الممانعة للممتص ($Z_{eff} = \sqrt{\mu_{eff}/\epsilon_{eff}}$) مساوية لممانعة الوسط المحيط (الفراغ) وهذا يعني ان ($Z_{eff} = 1$) وهذا يؤدي الى ان يكون معامل الانعكاس $r = 0$ ، للممتص وبذلك يتم امتصاص غالبية الموجة الساقطة عليه. بالمقارنة مع طرق الامتصاص التقليدية السابقة [11] ، [12]، الممتص ذو معامل الانكسار السالب بسبب خصائصه غير العادية، يؤدي إلى امتصاص تام (مثالي) تقريبا مع إمكانية زيادة عرض حزمة النطاق الترددي وعدم الحساسية لحالة الاستقطاب للموجة الساقطة ويمتاز كذلك بصغر

الكهربائية النسبية relative permittivity ($\epsilon_r = 4.3$) وخسائر الظل dielectric loss tangent ($\tan\delta = 0.025$) ويسمى 1 ملم. شكل رقم (1-أ) يعرض المسقط العمودي لخلية واحدة من التصميم المقترح مثبت عليها تفاصيل الأبعاد. تم اختيار أبعاد العازل ($L_x \times L_y \times h$) وطبقة الأرضي (t_c) بالشكل التالي ($L_x = L_y = 12\text{mm}$, $h = 1\text{mm}$, $t_c = 0.035\text{mm}$) أما المعدن المستخدم فكان من النحاس ويتوصيلية قدرها $5.8 \times 10^7 \text{ S/m}$. أما بالنسبة لأبعاد الحلقة شبه المربعة فهي ($a=1.6\text{mm}$, $b=2.8\text{mm}$, $c=4.9\text{mm}$, $e=1.29\text{mm}$, $w=0.9\text{mm}$).

جدول 1 : الأبعاد الهندسية للتصميم

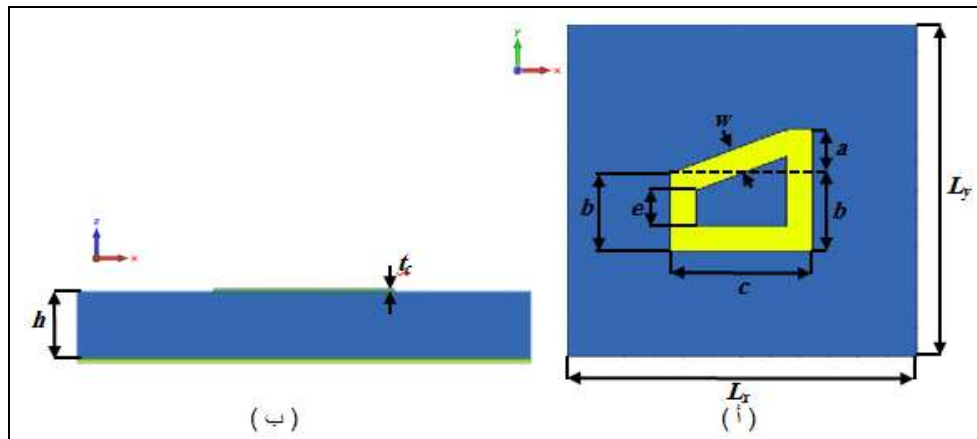
المعامل	القيمة (mm)
a	1.6
b	2.8
c	4.9
e	1.29
H	1
t_c	0.035
W	0.9

الحجم وخفة الوزن. هذه المواصفات قادت الى استخدامات واسعة منها: التقليل من معدل الموجات الكهرومغناطيسية المنبعثة في الهواتف النقالة[14]، تقليل الضوضاء في منظومات الاتصال ومنع تداخل الاشارات[15]، وجميع الطاقة الكهرومغناطيسية (Energy Harvesting)[16]. كما تجدر الإشارة على امكانية التصميم والعمل في مدى واسع من الترددات كالميكروويف، التيرهيرتز، وصولاً الى الترددات الضوئية. ان اول التصاميم للممتصات كانت تعتمد على منطقة امتصاص واحدة ثم تلا ذلك العديد من الهياكل التي لها القدرة على الامتصاص في اكثر من منطقة.

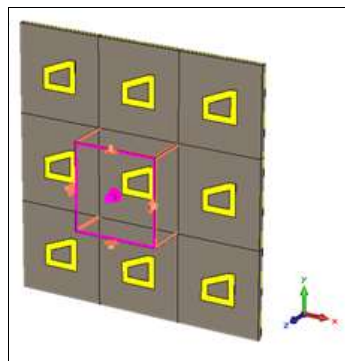
تمتاز هذه الدراسة بتقديم تصميم مبسط فهو عبارة عن حلقة معدنية واحدة مربعة الشكل ومنحرفة احدى اضلاعها.

التصميم

في هذا البحث تم تصميم ممتص يتكون من حلقة معدنية نحاسية واحدة شبه مربعة مفصولة عن طبقة الأرضي بواسطة عازل من نوع FR-4 (FR stands for Flame Retardant, and denotes that safety of flammability of FR4)



شكل رقم (1): (أ) منظر سطحي يوضح الأبعاد لخلية واحدة ، (ب) منظر جانبي.



شكل رقم (2): اعدادات برنامج CST .

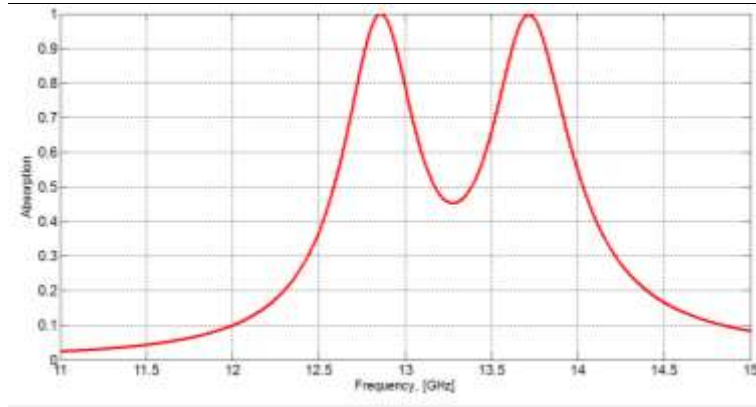
النتائج: بعد استخلاص قيم S باستخدام برنامج الـ CST يتم احتساب قيم الامتصاص بالنسبة للتردد حسب المعادلة رقم (1) حيث تشير

اعدادات البرنامج
تم تحليل التصميم باستخدام برنامج (CST Microwave Studio) ضمن حزمة التردد (X-Ku band) من 10 جيجا هرتز الى 15 جيجا هرتز على افتراض ان النمط الموجي هو من نوع النمط الأساسي 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 إلى المحور x . بالإضافة الى هذا فان نوع التحليل هو (frequency domain solver).

لغرض اعطاء دقة اعلى في التحليل اختير نوع الحدود هو (Unit cell) باتجاه (X_{min} , X_{max} , Y_{min} , Y_{max}) شكل رقم (2).

قيمة الـ A الى معامل الامتصاص ، R معامل الانعكاس ، و T
معامل النفاذية [17 ، 18].
كما ان قيمة معامل الانعكاس هي : $R = |S_{11}|^2$
ومقدار معامل النفاذية: $T = |S_{21}|^2$

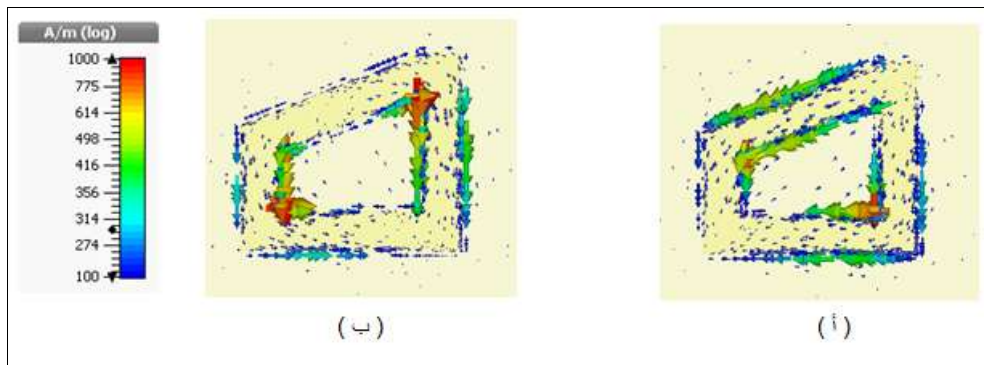
$$A=1-R-T \dots\dots\dots(1)$$



شكل رقم (3): طيف الامتصاص

بينما اظهر التردد الثاني عند اعلى قيمة امتصاص ايضا تنذب التيار في الركنتين الاخيرين العلوي الايمن والسفلي الايسر شكل رقم (4) - (ب). ان تنذب التيار بهذا الشكل ايضا يدل بشكل واضح ان نوع الرنين من النوع ثنائي القطب [19]. من اجل اعطاء وضوح اعلى اختير تدرج التيار كما موضح بالشريط اللوني الجانبي من 100 A/m الى 1000 A/m وفق المقياس اللوغارتمي.

يوفر التصميم منطقتي امتصاص الاولى عند التردد 12.895 GHz و بمقدار امتصاص 99.81% والثانية عند التردد 13.73 GHz وبمقدار امتصاص 99.67% (شكل رقم (3)) ان سبب الامتصاص في المنطقة الاولى يرجع الى تنذب التيار في الركنتين العلوي الايسر والسفلي الايمن (اي القطر 1) في الشكل رقم (4-أ) حيث يعرض التوزيع السطحي للتيار وان نوع الرنين هو تنذب ثنائي القطب [19].



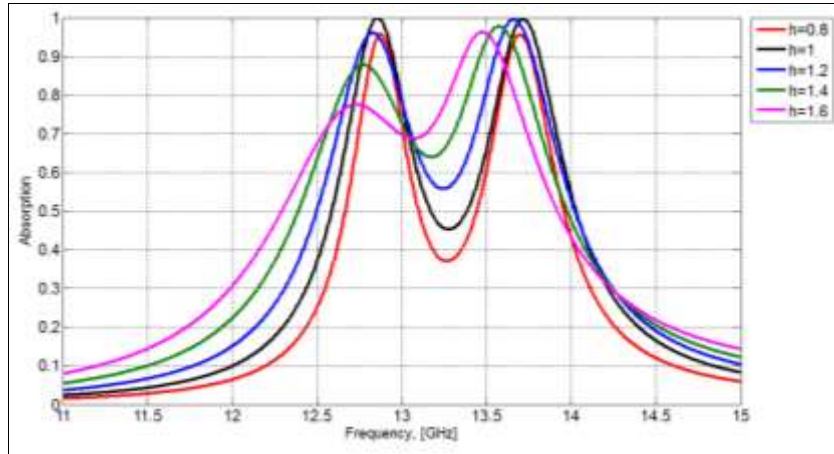
شكل رقم (4): توزيع التيار السطحي Surface currents عند اعلى مستوى للامتصاص (أ) عند التردد 12.91 GHz (ب) عند التردد 13.74 GHz

عريضة مثل تطبيقات تجميع الطاقة. بنفس الاسلوب تم دراسة تأثير التغير في عرض الحلقة على مستوى الامتصاص وتردد الرنين. اظهرت النتائج عند $w=0.2mm$ توجد منطقة امتصاص واحدة عند التردد 12.49 غيغاهرتز وبمستوى امتصاص 99.97% اما المنطقة الثانية فهي عند 40% . بزيادة العرض تبدأ منطقة الامتصاص الثانية بالتشكل وزيادة ملحوظة في مستوى الامتصاص يصاحب هذا زيادة في تردد الرنين في كلتا منطقتي الامتصاص. تجدر الإشارة الى ان هذه الزيادة يصاحبها تناقص في عرض الحزمة للمنطقة الاولى وتزايد في عرض الحزمة للمنطقة الثانية شكل رقم (6).

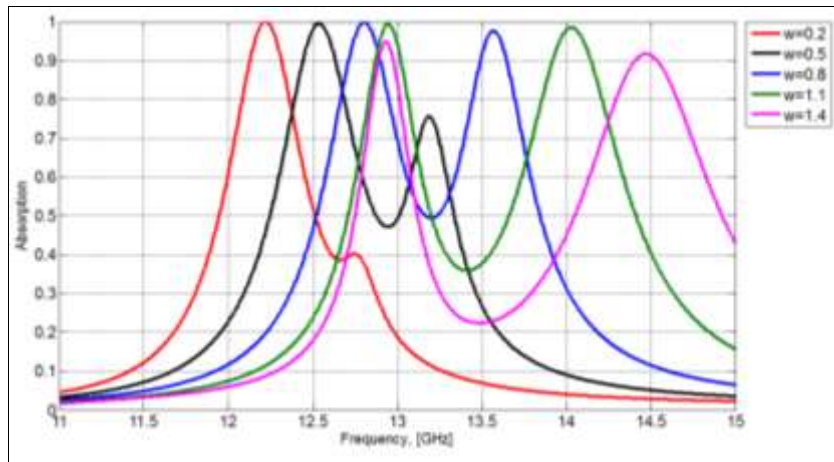
من اجل اعطاء دراسة اكثر شمولية تم دراسة تأثير التغير في سمك العازل FR-4 على مستوى الامتصاص شكل رقم (5) اظهرت النتائج ان الزيادة في سمك العازل لا تؤدي الى زيادة خطية في مستوى الامتصاص حيث اعطت النتائج اعلى قيمة للامتصاص عندما يكون سمك العازل 1 mm وبزيادة سمك العازل يؤدي الى تناقص بمستوى الامتصاص ولكن في المنطقة الاولى يتناقص الامتصاص اسرع منه في المنطقة الثانية كما يمكننا ملاحظة ان الزيادة في سمك العازل تؤدي الى تناقص واضح في التردد الرنيني وفي كلتا المنطقتين. كذلك يمكننا ملاحظة ان الزيادة في سمك العازل تؤدي الى زيادة في عرض الحزمة وبهذا يمكن استثمار هذا في التطبيقات التي تحتاج سعة حزمة

جدول 2: علاقة تغير سمك العازل بالامتصاص والتردد

السمك	منطقة الامتصاص 1	منطقة الامتصاص 2
h(mm)	التردد	التردد
0.8	12.9	13.65
1	12.87	13.7
1.2	12.82	13.6
1.4	12.76	13.58
1.6	12.7	13.48



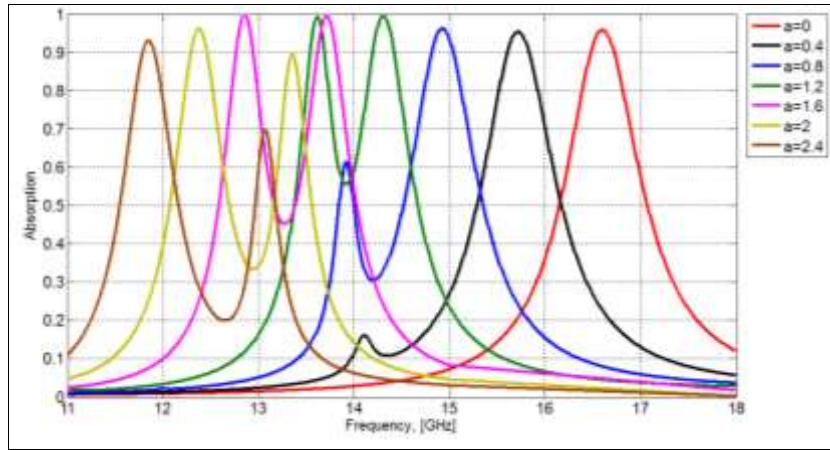
شكل رقم (5): دراسة تأثير التغير في سمك الطبقة العازلة على مستوى الامتصاص والتردد الرنيني



شكل رقم (6): دراسة تأثير التغير في عرض الحلقة على مستوى الامتصاص والتردد الرنيني

امتصاص 96.78% واحدة ويتردد رنين عالي 16.65 غيغاهرتز. بزيادة قيمة (a) نلاحظ بدأ تشكل منطقة امتصاص ثانية مع ازاحة في تردد الرنين لكلتا المنطقتين مع ملاحظة تناقص في عرض الحزمة للتردد العالي ان افضل قيمة تم الحصول عليها هي عندما تكون (a=1.6mm) شكل رقم (7).

اما من ناحية دراسة تأثير تحول الشكل من حلقة منتظمة الى حلقة شبه المربعة وكيف يساهم هذا في توليد منطقة امتصاص ثانية. لغرض دراسة هذا الشيء تم دراسة تأثير التغير في طول القطعة (a) انظر الشكل رقم (1 - أ) حيث انه عندما تكون قيمة (a=0) فان الشكل سيكون حلقة منتظمة (مستطيلة) وبزيادة طولها يتكون لدينا شكل لحلقة شبه مربعة. تظهر النتائج عندما (a=0) يكون لدينا منطقة



شكل رقم (7): دراسة تأثير التغير في طول القطعة (a) على مستوى الامتصاص والتردد الرنيني.

التحكم بالابعاد الهندسية للتصميم امكانية استخدامه ممتص ذو حزمة امتصاص عريضة. اعطى التصميم حزمة امتصاص عند 50% من 12.25 جيجا هرتز الى 13.9 جيجا هرتز. حيث ان الحزمة العريضة تخدم العديد من التطبيقات مثل تجميع الطاقة والكشف عن الموجات الكهرومغناطيسية في ترددات التيرا هرتز.

المصادر

- 1- N. I., Landy, S. Sajuyigbe, Mock, J. J. D. R. Smith, and W. J. Padilla, "Perfect metamaterial absorber," Phys. Rev. Lett., Vol. 100, No. 20, 207402, 2008.
- 2- D. R. Smith, W. J. Padilla, Vier, D.; Nemat-Nasser, S.; Schultz, S. Composite Medium with Simultaneously Negative Permeability and Permittivity. Phys. Rev. Lett. 2000, 84, 4184–4187.
- 3- D.R. Smith, J.B. Pendry, M. C.K. Wiltshire, Metamaterials and Negative Refractive Index. Science 2004, 305, 788–792.
- 4- G. V. Veselago, "The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ ." Soviet physics uspekhi 10.4 (1968): 509.
- 5- R. Liu, C. Ji, J. J. Mock, J. Y. Chin, T. J. Cui, and D. R. Smith, "Broadband Ground-Plane Cloak," Science 323, 366(2009).
- 6- T. Taubner, D. Korobkin, Y. Urzhumov, G. Shvets, Hillenbrand, R. Near-Field Microscopy through a SiC Superlens. Science 2006, 313, 1595.
- 7- K. Al-Badri, A. Cinar, U. Kose, O. Ertan, and E. Ekmekci, "Monochromatic Tuning of Absorption Strength ased on Angle Dependent Closed Ring Resonator Type Metamaterial Absorber," IEEE Antennas Wirel. Propag. Ett. Oct. 2016.
- 8- J. B. Pendry, A. J. Holden, D. J. Robbins, & W. J. Stewart, (1999). Magnetism from conductors and enhanced nonlinear phenomena. IEEE transactions on microwave theory and techniques, 47(11), 2075-2084.

التوصيات

- تشير النتائج التحليلية الى امكانية انتاج ممتص للموجات الكهرو مغناطيسية ذو منطقتي امتصاص مثالية يمتاز ببساطة التصميم ونحافة السمك. حيث يمكن استخدامه في العديد من التطبيقات العلمية مثل التقليل من اثار الموجات الكهرومغناطيسية، و تقنيات التخفي، الاقمار الصناعية الخاصة بالطقس. من جانب اخر اظهرت نتائج
- 9- C. M. Watts, X. Liu, & W. J. Padilla, (2012). Metamaterial electromagnetic wave absorbers. Advanced materials, 24(23).
 - 10- D.J. churig, J. Mock, B. J. Justice, Steven A. Cummer, John B. Pendry, A. F. Starr, and D. R. Smith. "Metamaterial electromagnetic cloak at microwave frequencies." Science 314, no. 5801 (2006): 977-980.
 - 11- W. H. Emerson, "Electromagnetic wave absorbers and anechoic chambers through the years," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. AP-21, no. 4, pp. 484–490, 1973.
 - 12- W. W. Salisbury, US Patent 1952 2599944
 - 13- M.R.I. Faruque, and M.T. Islam, 2013. Novel triangular metamaterial design for electromagnetic absorption reduction in human head. Progress In Electromagnetics Research, 141, pp.463-478.
 - 14- S. Ramya, , and I. Srinivasa Rao. "Dual band microwave metamaterial absorber using loop resonator for electromagnetic interference suppression." Int. J. Appl. Eng. Res 10.30 (2015): 22712-22715.
 - 15- Y. Z. Cheng, C. Fang, Z. Zhang, Wang, B., Chen, J., & Gong, R. Z. (2016, August). A compact and polarization-insensitive perfect metamaterial absorber for electromagnetic energy harvesting application. In Progress in Electromagnetic Research Symposium (PIERS) (pp. 1910-1914). IEEE.
 - 16- X. Shen, T. J. Cui, J. Zhao, H. F. Ma, W. X. Jiang, and H. Li, "Polarization-independent wide-angle triple-band metamaterial absorber," Opt. Express, vol. 19, no. 10, pp. 9401-9407, May. 2011.

17- C. Sabah, O. Turkmen-Kucuksari, and G. Turhan-Sayan, "Metamaterial absorber-based sensor embedded into X-band waveguide," Electron. Lett., vol. 50, no. 15, pp. 1074-1076, Jul. 2014.

18- F. Hu, L. Wang, B. Quan, X. Xu, Z. Li, Z. Wu, and X. Pan, "Design of polarization insensitive multiband terahertz metamaterial absorber," J. Phys.

D: Appl. Phys., vol. 46, no. 19, p. 195103, May. 2013.

19- B.X. Wang, L.L. Wang, G.Z. Wang, W.Q. Huang, X.F. Li, and X. Zhai, "A broadband, polarization-insensitive and wide-angle coplanar terahertz metamaterial absorber," Eur. Phys. J. B, vol. 87, no. 4, p. 98, 2014.

Dual-Band absorber based on metamaterial

Khalid Saeed Lateef

Department of Physics , College of Education , Samarra University , Samarra , Iraq.

Abstract

This paper presents an simulation study using CST microwave studio. In this work very simple design are used based on metamaterial to construct perfect metamaterial absorber. It is a semi-square copper loop placed on top of dielectric layer to separate from a ground plate. This structure provides two perfect absorption region with absorption peaks in average 99.98%. This absorption is due to dipole resonance in the main and secondary diameter of the semi-square ring. In addition, the dimensions changes of the metal ring and the thickness of the dielectric layer leads to good tuning in resonant frequency and absorption level. Additionally the possibility of producing a broad-band absorber that can be used in energy harvesting applications and protection from the effects of electromagnetic waves. The simulation results approve scaling structure can be work at terahertz frequency. which may contribute to potential applications in many photonic technology areas.