

هوائيات شرائح مايكروية في نطاق الترددات تحت الحمراء القريبة

د.م. عبد المعين أحمد الرفاعي*

أستاذ مساعد، الجامعة الوطنية الخاصة بحماة، كلية الهندسة، الإلكترونيات واتصالات،
alrifai1968@yahoo.com

الملخص:

تم في هذا البحث تصميم ومحاكاة تصميمين جديدين من هوائيات الشريحة المايكروية، العاملة ضمن النطاق الترددي THZ (115-125) و THZ (125-135) الذي يقع ضمن نطاقات المنطقة تحت الحمراء (IR). يتكون هوائي الشريحة المايكروية المقترح من ثلاث طبقات، طبقة الرقعة من الذهب، وطبقة الركيزة من السيليكون وطبقة المستوي الأرضي من الذهب. الركيزة في كلا التصميمين عبارة عن مادة عازلة من السيليكون ذات ثابت عزل كهربائي يساوي $\epsilon_r = 10.3$. تأخذ الرقعة المايكروية شكل بلوتوث وشكل فتحة بلوتوث. نوع التغذية المستخدم هو تغذية دليل الموجة عند ممانعة $\Omega = 50$. تم تقييم أداء كل من الهوائيين المقترحين، من خلال معامل الانعكاس (S_{11})، والتوجيهية، والربح وعرض النطاق الترددي بواسطة برنامج المحاكاة CST STUDIO SUITE. تم ملاحظة أن عرض النطاق الترددي للهوائي ذو رقعة بلوتوث كان (115 - 125) THZ، أما بالنسبة للهوائي ذو رقعة فتحة بلوتوث كان (125 - 135) THZ، حيث أن هذه الترددات تقع ضمن نطاق ترددات المنطقة تحت الحمراء.

الكلمات المفتاحية:

هوائي شريحة مايكروية بلوتوث، هوائي شريحة مايكروية فتحة بلوتوث، معامل الانعكاس S_{11} ، التوجيهية D، الربح G، عرض النطاق الترددي BW.

Microchip Antennas in the Near Infrared Frequency Band

Abdoulmouen Ahmed Alrifai*

Associated Professor in the Department of Communications Engineering of College of Engineering – Al Wataniya Private University.

Abstract:

In this research, two new designs of microchip antennas were designed and simulated, operating within the frequency band (115–125) THz and (125–135) THz, which falls within the infrared (IR) bands. The proposed microchip antenna consists of three layers: the patch layer of gold, the substrate layer of silicon and the ground plane layer of gold. The substrate in both designs is a silicon insulating material with a dielectric constant of $\epsilon_r = 10.3$. The micro patch takes the form of Bluetooth and the form of a Bluetooth slot. The type of feed used is waveguide feed at an impedance of 50Ω . The performance of both proposed antennas, through reflection coefficient (S_{11}), directivity, gain and bandwidth, was evaluated by CST STUDIO SUITE simulation software. It was noted that the bandwidth of the Bluetooth patch antenna was (115 – 125) THz, while for the Bluetooth slot patch antenna it was (125 – 135) THz, as these frequencies fall within the near infrared region frequencies.

Keywords:

Bluetooth Microchip Antenna, Bluetooth Slot Microchip Antenna, Reflection Coefficient S_{11} , Directivity D, Gain G, Bandwidth BW.

1- المقدمة (Introduction):

تثير العديد من تطبيقات الاستشعار والتطبيقات العلمية اهتمام الباحثين في مجال تصميم هوائيات الشريحة المايكروية في نطاق ترددات التيراهيرتز، حيث يؤدي اختراع مكونات جديدة في تكنولوجيا النانو أيضاً إلى تطوير تطبيقات منطقة التيراهيرتز.

تم في هذا البحث، اختيار البارامترات الهندسية المختلفة للهوائيات المقترحة، مثل التغذية والرقعة والركيزة والمستوي الأرضي بمقاييس صغيرة من مرتبة النانو. عندها يمكن اطلاق تسمية الهوائي البصري (النانوي) على تلك الهوائيات. يشبه الهوائي البصري الهوائي التقليدي، في ادارته للموجات الكهرومغناطيسية مع استثناء أن الهوائي البصري يعمل في جزء الترددات البصرية من الطيف الكهرومغناطيسي. قياسات الهوائي قابلة للمقارنة مع طول الموجة العامل، لذا لتحقيق الرنين عند الترددات البصرية، يجب أن تنقلص الهوائيات إلى المقياس النانوي. يمكن تعريف الهوائي البصري بأنه "هيكل معدني بمقياس نانومتري قادر على تعزيز تفاعل الإشعاع البصري مع المادة" (Daniel et al., 2014,120).

في عام 1959، قدم ريتشارد فاينمان ورقة بحثية بعنوان "هناك مساحة كبيرة في القاع". وقد ناقش مشكلة التحكم في المواد ذات قياسات النانو. اقترحت تلك الورقة فكرة علمية ملهمة لفتح أعين الباحثين على تكنولوجيا النانو، حيث تحدث عن إمكانية بناء دارات كهربائية نانوية الحجم وقال "هل من الممكن أن يتم اشعاع الضوء من مصفوفة هوائيات نانوية، كما يتم اشعاع الموجات الراديوية من مصفوفة هوائيات لبث البرامج الإذاعية إلى أوروبا؟ وهو ما يشبه شعاع الضوء ذو التوجيهية العالية الذي يتجه إلى اتجاه محدد (Daniel et al., 2014,120)، (Riffat et al., 2014,8).

التقدم الذي أحرزه فاينمان في تقنيات التصنيع النانوي ودراسات تكنولوجيا النانو جعل اقتراح فاينمان حقيقة وتم تصنيع العديد من الهوائيات النانوية للعديد من التطبيقات (Krasnok et al., 2013,25)، (Camakyapan et al., 2007,9).

تتوافق السمات العامة للترددات الراديوية ونظيرتها من الموجات المايكروية مع الهوائي البصري. من ناحية أخرى، فإن أوجه التشابه بين الهوائيات التقليدية والهوائيات النانوية محدودة في ضوء، حقيقة أن الخواص الفيزيائية التي تمتلكها المواد وتفاعلاتها مع الترددات البصرية تختلف عن تلك الموجودة عند ترددات الراديو/الميكروويف. لهذا السبب، فإن التصميم والتفسير المباشر لنظرية الهوائي التقليدي أمر مستحيل؛ وبالتالي فإن نظرية هوائي النانو يجب أن تأخذ بعين الاعتبار الظواهر المختلفة عند الترددات البصرية (Lukas. N et al., 2007,802).

تم تقديم المفهوم الأول للنانو البصري من قبل مجموعة K. B. Crozier في جامعة ستانفورد، حيث أشار إلى جهاز النانو البصري الذي يربط الموجات الكهرومغناطيسية ذات التردد البصري مع مقياس طول الموجة الفرعي بشكل فعال باستخدام تأثيرات بلازمون السطحية (Lingli. Z et al., 2011,4). لذلك، تم تصميم الهوائيات

النانوية لاكتشاف الضوء في الجزء تحت الأحمر، ولأبعد من ذلك، الذي يمكن تطبيقهم في أجهزة التصوير والاستشعار البصرية، ولتطبيقات أخرى (Javier. N et al., 2006,5).

حظيت الهوائيات النانوية الحديثة باهتمام متزايد في أبحاث تكنولوجيا النانو. يمكن استخدام هذا الهوائي في العديد من التطبيقات مثل الفحص المجهرى، واتصالات البيانات، والتحليل الطيفي، وحتى حصاد الطاقة الشمسية والتصوير والاستشعار البصري (Ivan. W et al., 2011,5).

تم في هذا البحث، اقتراح تصميم جديد لهوائي شريحة مايكروية ذو رقعة على شكل بلوتوث ورقعة على شكل فتحة بلوتوث، وركيزة عازلة من مادة السيليكون ومستوي أرضي. تم استخدام مواد من الذهب في المستوى الأرضي وفي الرقعة. تم استخدام مادة الذهب لأنها تتمتع بناقلية عالية دون تغيير في خصائصها في منطقة التيراهرتز.

تظهر النتيجة التي تم الحصول عليها من التصميمين المقترحين توجيهية وريح جيد، حيث تم الحصول على نطاقات مناسبة جداً في كلا التصميمين في منطقة THz لتطبيقات المنطقة البصرية (الأشعة تحت الحمراء IR).

2. الدراسات المرجعية (Literature Review):

على مدى السنوات القليلة الماضية تم نشر الكثير من الدراسات والمقالات حول هوائيات الشريحة المايكروية العاملة في المجال الترددي THz. حيث قدم (Abdel-Karim et al (2018) هوائي نانوي جديد بنمطين للإشعاع. تتكون بنية الهوائي من مزاج حلقي وهوائين رقعين موضوعين على ركيزة SiO_2 . تم تطوير الهوائي النانوي المقترح للحد من الضياعات في كفاءة الإشعاع. حيث ناقشت طريقتان للتحسين، هما طريقة سرب الجسيمات متعددة الأهداف وطريقة التركيز على التكوين. تردد الرنين لهذا التصميم هو 193 THz. كما اقترح (Seyed A, et al (2019) تصميمًا جديدًا باستخدام الجرافين مع رقعة تعمل في نطاق THz. يساعد الجرافين سطح البلازمون بولاريتون (SPP) ويعطي نواقل جيدة. تم تطبيق برنامج المحاكاة الحاسوبية (CST) على الهوائي المقترح. تم استخدام تغذية خط شريحة مايكروية لإثارة الهوائي. تم تحليل ودراسة طريقة تحسين التعبئة الصفيرية للمخطط الإشعاعي (المستوى H). كما قدم (Jamshed A, et al (2020) إرشادات تمهيدية لعنونة التحديات والفرص، أثناء تصميم هوائي ضمن نطاق THz. تم اعتبار النطاق الترددي THz (0.1-10) حلاً محورياً لتلبية احتياجات التطبيقات والأجهزة التي تتطلب نقلاً عالي السرعة. تعتبر الهوائيات المدمجة ذات الريح الكبير مرغوبة لأنظمة الاتصالات اللاسلكية THz ذات زمن الوصول المنخفض ومعدل البيانات المرتفع، خاصة للتطبيقات ذات المساحة المحدودة. كما قدم (Inzamam A, et al (2021) هوائي عالي الريح لتطبيقات نطاق التردد THz. يعتمد الهوائي المقترح على ركيزة بوليميد كريستالية قائمة على فجوة النطاق الضوئية (PBG) والتي تعطي الأداء الأمثل من حيث الريح (9.45 dB)، والتوجيهية (9.99 dBi)، و VSWR مرضية للغاية (<1) عند تردد 0.63 THz. كما اقترح (Shubbar M, et al (2022)

هوائياً بيكسلياً، مصمماً لترددات الأشعة تحت الحمراء المتوسطة مع عرض نطاق يزيد عن 25 THz، ويتكون من 3×3 رقع مستوية معدنية مربعة. يتم وضع المفاتيح المعتمدة على مقياس البولومتر بين وحدات البكسل المجاورة من أجل الحصول على الخصائص القابلة للتكيف، والمُحسنة للأشعة تحت الحمراء الواردة. تشير نتائج المحاكاة إلى أن البنية المقترحة يمكنها توجيه مخطط الهوائي نحو اتجاه الإشعاع الوارد بطريقة قابلة للتكيف، وبالتالي زيادة ربح الهوائي بشكل كبير. يمكن زيادة ربح الهوائي حتى 2 dB بالنسبة للهوائي المرجعي، مما يجعله بنية واحدة لمختلف التطبيقات. كما قام (Monnai Y, et al (2023) بمراجعة تطوير توجيه شعاع THz، والذي كان يمثل تحدياً طويل الأمد بالإضافة إلى توليد موجات THz عالية الاستطاعة. في حين أن استخدام المصفوفات الطورية الفعالة أو السلبية هو النهج المستخدم في الغالب لتنفيذ توجيه الحزمة، فإن الأساليب الأخرى المستندة إلى الهياكل الانعراجية المتغيرة والهياكل المشتتة للتردد توفر بدائل منخفضة التكلفة. يتم التأكيد أيضاً على أن أساليب تصميم النظام المستندة إلى التطبيق، والتي يقترن فيها توجيه شعاع THz بإحكام بمعالجة الإشارات، قد ظهرت للتغلب على قيود الأجهزة. كما قدم (Maktoomi M, et al (2023) نظرة عامة على عناصر ومصفوفات هوائي تيرا هيرتز عريض النطاق لأنظمة الاتصالات المتكاملة. تمت دراسة التحديات الأساسية لتصميم الهوائي المتكامل الموجود على الرقاقة وخارجها، والمفاضلات بين مقاييس الأداء، وتأثير الواجهة بين الهوائيات الموجودة على الرقاقة والهوائيات خارج الرقاقة بالتفصيل. كما تم مناقشة القيود والفوائد المترتبة على تقنيات الواجهة المختلفة. وأقترح (Abdulkarem H, et al (2023) تصميمًا جديدًا لهوائي تصحيح MIMO ذو حلقة مقسمة محفورًا بمواد خارقة والذي يطبق في نطاق تردد 6-11 THz. تم دراسة أربعة هوائيات THz مختلفة ومقارنة نتائجها لإيجاد التصميم الأمثل للهوائي مع الطبقة الخارقة. تم دراسة تصميمات الهوائيات الأربعة التي تم تطويرها عن طريق إضافة طبقات خارقة ومواد خارقة على شكل رنانات حلقة منقسمة مكاملة. يمكن استخدام تصميم الهوائي المقترح بخصائص متعددة النطاقات وعريضة النطاق وعالية الربح وشفافة بصرياً في شبكات تيرا هيرتز اللاسلكية، وتيرا هيرتز Wi-Fi، والجيل السادس G6، وإنترنت الأشياء، وتطبيقات الاستشعار والتصوير.

3. نظرية هوائي الشريحة المايكروية النانوي Microchip antenna theory

تعود فكرة هوائي الشريحة المايكروية إلى بداية عام 1950 وقد قدمها Deschamps، وبعد عدة سنوات تم تقديم هوائي يعتمد على الشريحة المايكروية بواسطة Gutton و Baissino. وعلى الرغم من انتشار مفهوم الشريحة المايكروية، كان هناك نشاط قليل لتطويره خلال 15 عاماً (Shereen A, et al., 2018,16). لذلك، في أوائل عام 1970، بدأ تطوير هوائي الشريحة المايكروية بسبب زيادة الحاجة إلى هوائيات رقيقة للمركبات الفضائية وللصواريخ (Debatosh M, et al., 2011, 504). اجتذب هوائي الشريحة المايكروية الكثير من الاهتمام من المهندسين والباحثين والمصممين، كما تم استخدامه على نطاق واسع في أنظمة الترددات اللاسلكية والميكروويف، على سبيل المثال، في الأنظمة الطبية الحيوية والرادار والاتصالات والملاحة

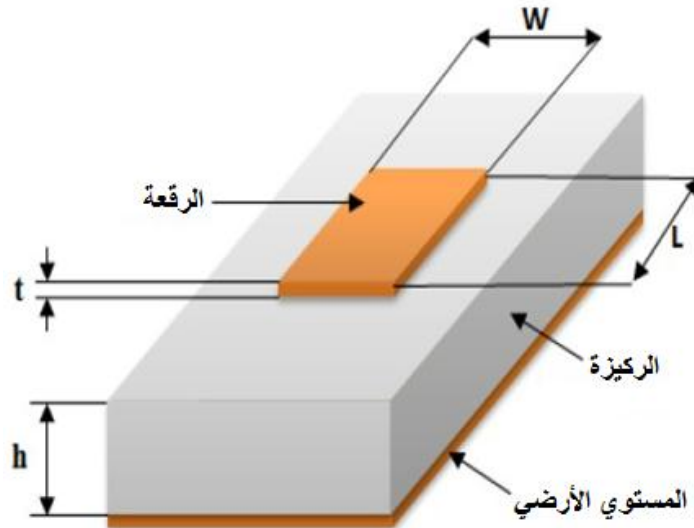
والاستشعار عن بعد. يمكن أن تتخذ هوائيات الشريحة المايكروية عدة أشكال مخصصة لتطبيقات محددة، على سبيل المثال، ديبول، أو رقعة، أو بنية موجة متنقلة، أو فتحة (Zhi C, et al., 2006,264).

تعتبر هوائيات الرقعة الشريحة المايكروية واحدة من أكثر أنواع الهوائيات المستوية الأساسية. يمكن ربط عدد كبير من الأفكار والأساليب المستخدمة مع هوائيات الرقعة الشريحة المايكروية مباشرة بالهوائيات المستوية الأخرى (Zhi C, et al., 2006,264). يعتبر هوائي الرقعة الشريحة المايكروية أبسط أنواع هوائيات الشريحة المايكروية الذي يتكون أساساً من ثلاث طبقات (كما هو موضح في الشكل 1):

الطبقة الأولى (الرقعة): يمكن أن يتخذ شكل الرقعة أشكالاً هندسية متعددة، مثل المربع أو المستطيل أو المثلث أو الإهليجي أو الدائري أو غيرها من الأشكال المختلفة (Seevan F, et al., 2013,125). حيث أن هذه الطبقة مسؤولة عن الإشعاع، ويتم تصنيعها من مادة ناقلة رقيقة على سبيل المثال الذهب (Au) أو النحاس (Cu) ويتم طباعتها أو حفرها على الطبقة الثانية (المتوسطة) التي تسمى الركيزة العازلة.

الطبقة الثانية (الركيزة): تشكل الركيزة العازلة الطبقة المتوسطة التي تقع بين الرقعة والأرض. لذلك، للتخطيط لحجم مصغر من شريحة مايكروية، يجب استخدام ركيزة عازلة ذات قيمة ثابت عزل كهربائي عالي ولكن هذا يؤدي لكفاءة منخفضة ونطاق ترددي ضيق. وبالتالي، لا بد من إجراء مقايضة بين حجم الهوائيات وأدائها. يؤثر ثابت العزل الكهربائي للركيزة على خصائص الإشعاع. ينتج عن ثابت العزل الكهربائي الكبير إشعاع منخفض (Shereen A, et al., 2018,16)، (Seevan F, et al., 2013,125)، (Girish K, et al., 2003,120).

الطبقة الثالثة (المستوي الأرضي): تصنف هذه الطبقة على أنها الطبقة الأخيرة من هوائي الشريحة المايكروية. لذلك، تعتبر هذه الطبقة الجانب المقابل للركيزة مع مادة ناقلة تسمى المستوي الأرضي والتي تمثل الطبقة الثالثة (Seevan F, et al., 2013,125).



الشكل 1- البنية الأساسية لهوائي الشريحة المايكروية

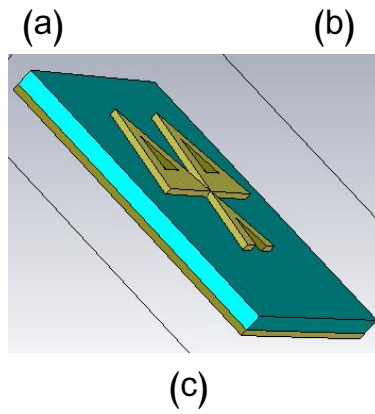
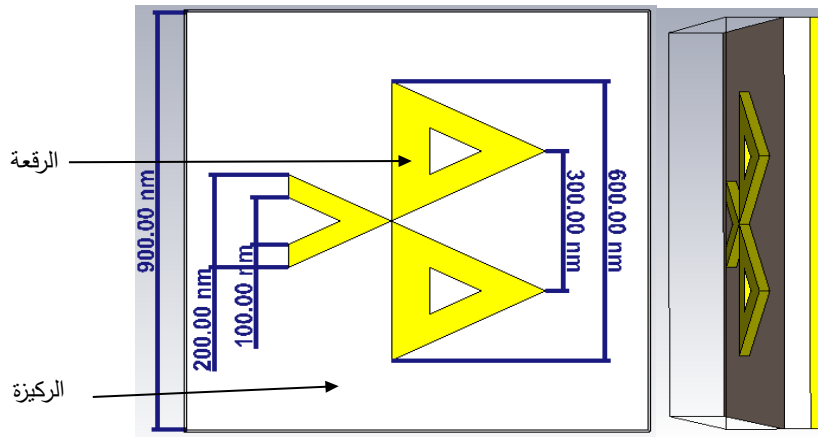
4. التصميم والمحاكاة العددية Design and numerical simulation

4.1 التصميم:

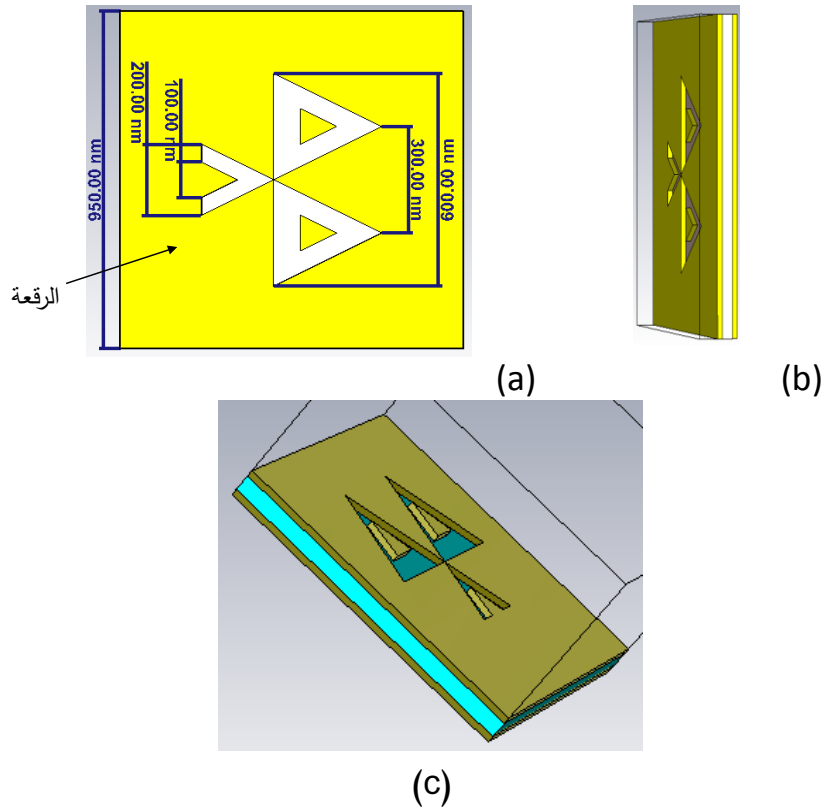
تم في هذه المقالة تصميم هوائي الشريحة المايكروية النانوي الذي يأخذ شكل رقعة بلوتوث ورقعة على شكل فتحة بلوتوث من مادة الذهب. المادة العازلة المستخدمة في الركيزة هي السيليكون. استخدمنا السيليكون لأن له ثابت عزل كهربائي كبير $\epsilon_r = 10.3$. يستخدم معدن الذهب في تصميم الطبقة الأرضية. علاوة على ذلك، للحصول على نتيجة جيدة لكل من معامل الانعكاس S_{11} وللحقل البعيد، تم استخدام منفذ إثارة دليل الموجة. جميع البارامترات الهندسية للهوائيين المقترحين مبينة في الجدول 1. كما يبين الشكلين 2 و 3 الهوائيين المقترحين بمنظر أمامي وجانبي وسفلي.

الجدول 1- أبعاد طبقات هوائيات الشريحة المايكروية المقترحة

نوع الهوائي	هوائي بلوتوث	هوائي فتحة بلوتوث
الأبعاد	(nm)	(nm)
عرض المستوي الأرضي، W_g	900	950
طول المستوي الأرضي، L_g	900	950
سماعة المستوي الأرضي، t	18	18
عرض الركيزة، W	900	950
طول الركيزة، L	900	950
سماعة الركيزة، h	45	45
عرض الرقعة، W_p	500	500
طول الرقعة، L_p	600	600
سماعة الرقعة، t	18	18



الشكل -2- هوائي رقعة بلوتوث (a) منظر أمامي (b) منظر جانبي (c) منظر سفلي



الشكل -3- هوائي رقعة فتحة بلوتوث (a) منظر أمامي (b) منظر جانبي (c) منظر سفلي

تم حساب عرض وطول الشريحة المايكروية مع بعض التلاعبات بواسطة العلاقتين التاليتين
:(Constantine A. B, 2016,1104)

$$L = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} \sqrt{\epsilon_{reff}}} \dots \dots \dots (1)$$

حيث:

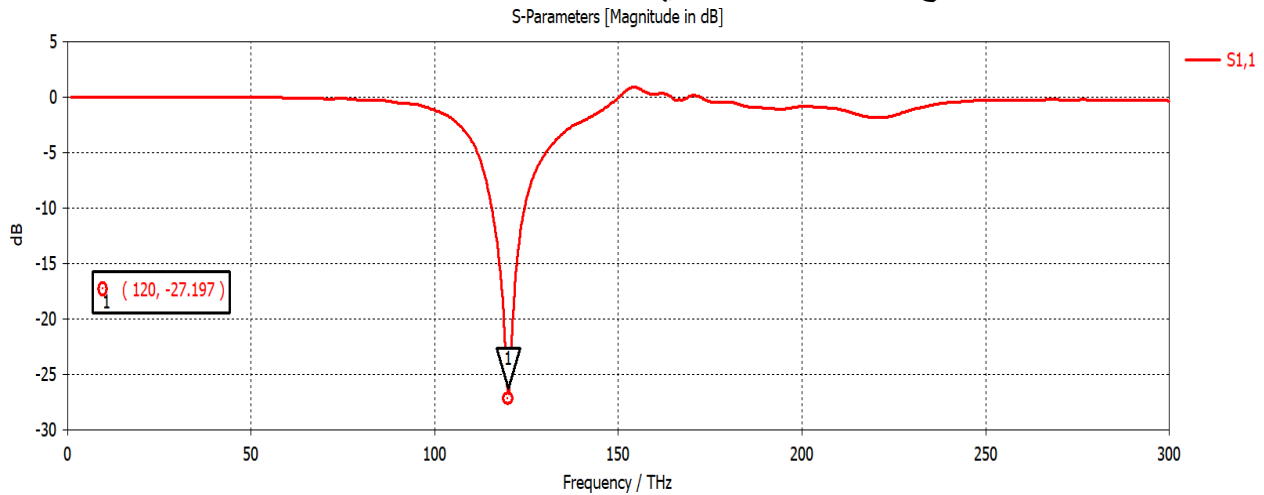
ϵ_{reff} - ثابت العزل الكهربائي الفعال
العرض الفعلي W :

$$W = \frac{v_0}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \dots \dots \dots (2)$$

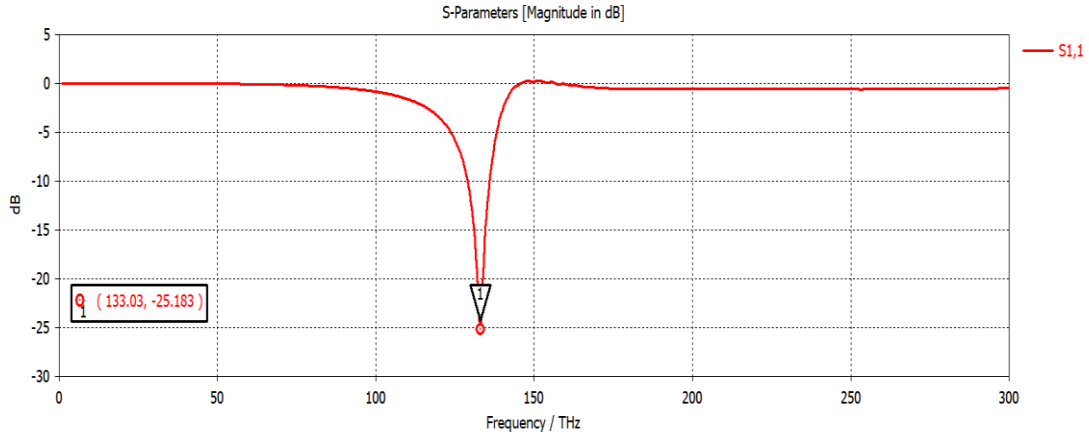
v_0 - سرعة الضوء في الفراغ الحر.
 f_r - تردد الرنين.
 ϵ_r - ثابت العزل الكهربائي.

4.2 المحاكاة العددية:

تم محاكاة التصميمين باستخدام البرنامج CST Studio Suite بطريقة Time Domain. مبين في الشكلين 4 و5 معامل الانعكاس S_{11} للتصميم الأول (هوائي شريحة مايكروية رقي بلوتوث) و للتصميم الثاني (هوائي شريحة مايكروية رقي فتحة بلوتوث). يرن الهوائي النانوي الذي له شكل بلوتوث عند التردد 120 THz مع معامل انعكاس يساوي $S_{11} = -27$ dB، أما بالنسبة للهوائي النانوي الذي له فتحة على شكل بلوتوث فإنه يرن عند التردد 133 THz مع معامل انعكاس يساوي $S_{11} = -25$ dB.

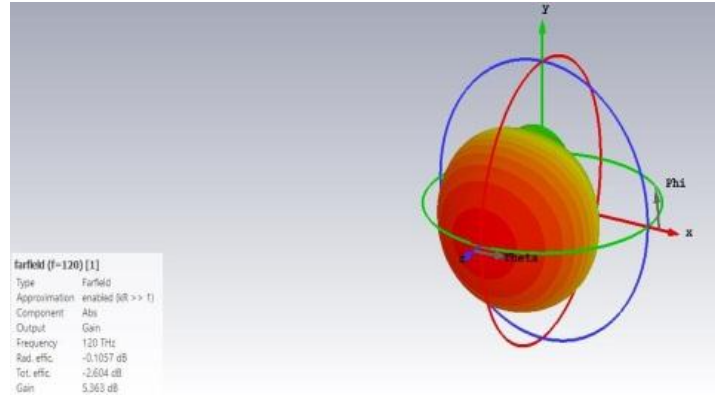


الشكل -4- معامل الانعكاس S_{11} لهوائي شريحة مايكروية رقي بلوتوث

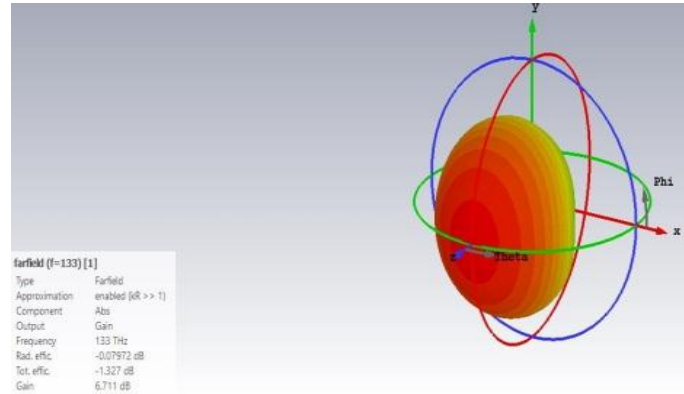


الشكل -5- معامل الانعكاس S_{11} لهوائي شريحة مايكروية رقي فتحة بلوتوث

يظهر في الشكل 6 مخطط ربح هوائي شريحة مايكروية رقي فتحة بلوتوث، حيث تبلغ قيمته 5.4 dB، في حين أن مخطط ربح هوائي شريحة مايكروية رقي فتحة بلوتوث هو 6.7 dB كما هو موضح في الشكل 7. ويعتبر أعلى من تصميم هوائي شريحة مايكروية رقي فتحة بلوتوث بسبب اختلاف شكل الرقعة في التصميمين.

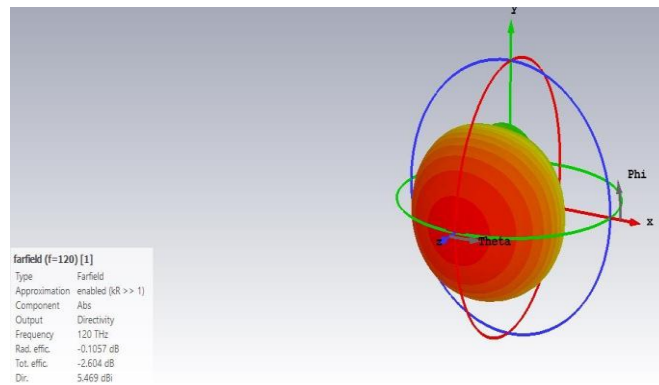


الشكل -6- مخطط الربح لهوائي شريحة مايكروية رقي فتحة بلوتوث

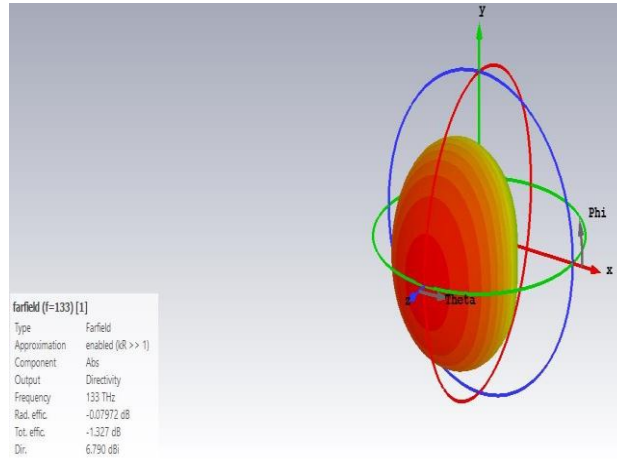


الشكل -7- مخطط الربح لهوائي شريحة مايكروية رقي فتحة بلوتوث

أظهر تقييم أداء التصميمين نتائج جيدة للتوجيهية، حيث تعتبر التوجيهية بارامتر مهم للغاية لأنه يتناسب بين الربح والكفاءة. أظهر الشكلان 8 و 9 مخطط توجيهية هوائي شريحة مايكروية رقيعي بلوتوث وهوائي شريحة مايكروية رقيعي فتحة بلوتوث على الترتيب. تبلغ قيمة التوجيهية لتصميم هوائي شريحة مايكروية رقيعي بلوتوث 5,46 dB كما هو موضح في الشكل 8، بينما تبلغ القيمة في تصميم هوائي شريحة مايكروية رقيعي فتحة بلوتوث 6,79 dB كما هو موضح في الشكل 9. نلاحظ من النتائج أعلاه أن تصميم هوائي شريحة مايكروية رقيعي فتحة بلوتوث له توجيهية أعلى من تصميم هوائي شريحة مايكروية رقيعي بلوتوث وهذا يجعله أكثر ملاءمة من حيث الوصول للإشعاع الأعظمي.



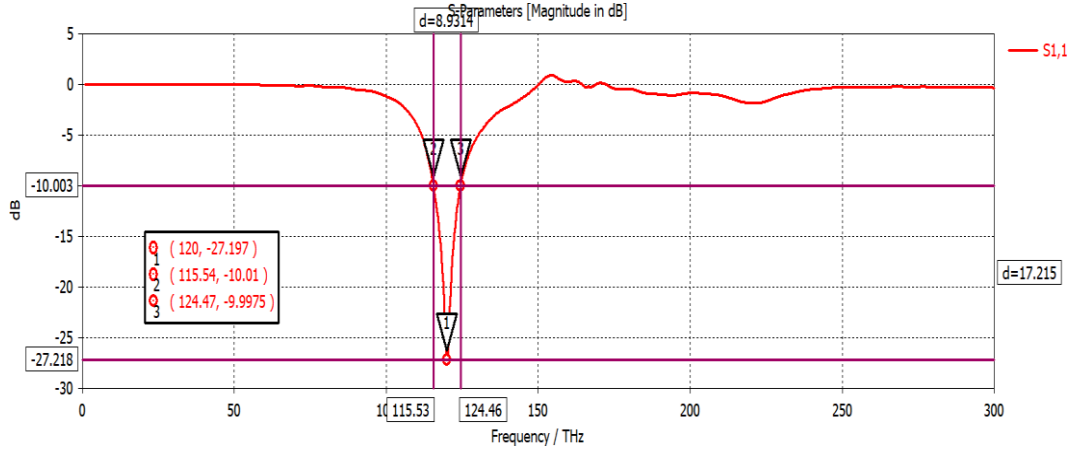
الشكل 8- التوجيهية لهوائي شريحة مايكروية رقيعي بلوتوث



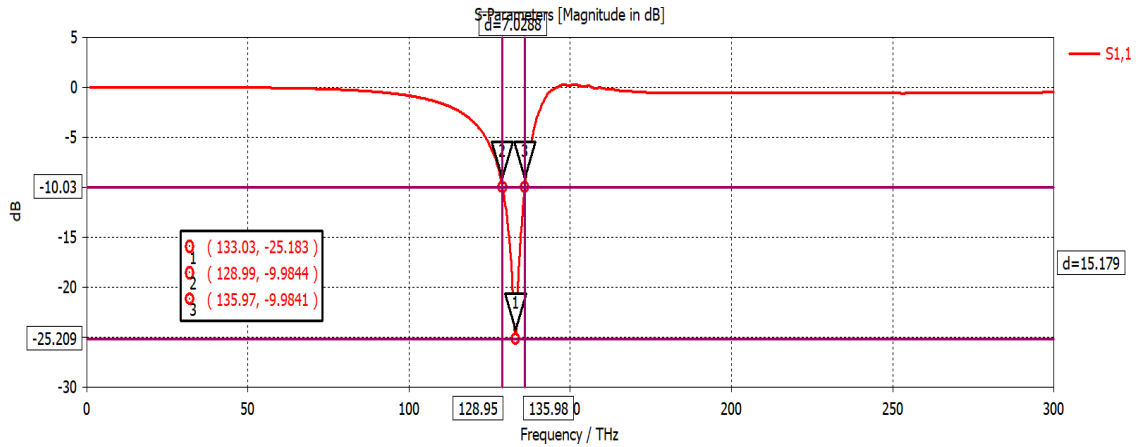
الشكل 9- التوجيهية لهوائي شريحة مايكروية رقيعي فتحة بلوتوث

تم توضيح عرض النطاق الترددي للتصميمين في الشكلين 10 و 11. حيث أن قيمة عرض النطاق الترددي لتصميم هوائي شريحة مايكروية رقيعي بلوتوث هو 10 THz في النطاق الذي يبدأ من التردد 115 THz وينتهي عند التردد 125 THz. أما بالنسبة لتصميم هوائي شريحة مايكروية رقيعي فتحة بلوتوث فيكون عرض النطاق الترددي 8 THz ويبدأ النطاق من 128 THz إلى 136 THz. تجعل النتائج تصميم هوائي شريحة

مايكروية رقعي بلوتوث يتضمن نطاقاً واسعاً من الترددات مقارنة بتصميم هوائي شريحة مايكروية رقعي فتحة بلوتوث.



الشكل -10- عرض النطاق الترددي لهوائي شريحة مايكروية رقعي بلوتوث



الشكل -11- عرض النطاق الترددي لهوائي شريحة مايكروية رقعي فتحة بلوتوث

أخيراً تم القيام بمقارنة جميع البارامترات المحسوبة أعلاه لكل من هوائي شريحة مايكروية رقعي بلوتوث ولهوائي شريحة مايكروية رقعي فتحة بلوتوث كما هو موضح في الجدول 2.

الجدول -2- مقارنة بين هوائي شريحة مايكروية رقعي بلوتوث وهوائي شريحة مايكروية رقعي فتحة بلوتوث

هوائي فتحة بلوتوث	هوائي بلوتوث	البارامترات
133	120	تردد الرنين [THz]
8	10	عرض الحزمة [THz]
-25	-27	معامل الانعكاس [dB]
6.7	5.4	الربح [dB]
6.79	5.46	التوجيهية [dB]

وللتحقق من صحة أعمالنا مع المراجع الأخرى، تم القيام بإجراء مقارنة بين النتائج التي تم الحصول عليها بين التصميمين المقترحين والمراجع، كما هو مبين في الجدول 3.

الجدول -3- مقارنة بين هوائي شريحة مايكروية رقي بلوتوث وهوائي شريحة مايكروية رقي فتحة بلوتوث والمراجع

BW (THz)	D (dB)	f (THz)	S ₁₁ (dB)	نوع الركيزة العازلة	التسمية
1.5	3.2	3 إلى 8	-10 إلى -18	نترات السيليكون + الكوارتز	(Anusha N, et al., 2017,4)
---	5.9	0.5	-30	بوليميد $\epsilon=3.5$	(Anand S A, et al., 2014,4)
10	5.46	120	-27	سيليكون $\epsilon=10.3$	هوائي شريحة مايكروية رقي بلوتوث
8	6.79	133	-25	سيليكون $\epsilon=10.3$	هوائي شريحة مايكروية رقي فتحة بلوتوث

5. النتائج والمناقشة: Results and Discussion

تم في هذا البحث تصميم ومحاكاة تصميمين لهوائي شريحة مايكروية، أحدهما على شكل رقعة بلوتوث والآخر على شكل رقعة فتحة بلوتوث. أظهر التحليل أن هوائي رقعة بلوتوث يرن عند التردد 120 THz مع معامل انعكاس $S_{11} = -27$ dB، بينما هوائي رقعة فتحة بلوتوث فإنه يرن عند التردد 133 THz مع معامل انعكاس $S_{11} = -25$ dB. وريح هوائي رقعة بلوتوث هو 5.4 dB، في حين أن ربح هوائي رقعة بلوتوث يساوي 6.7 dB وتفسير ذلك هو الاختلاف في شكل الرقعة بين التصميمين المقترحين. كما أظهر تقييم أداء كلا التصميمين نتائج جيدة للتوجيهية، حيث أظهرت النتائج أن هوائي رقعة بلوتوث له توجيهية أعلى من هوائي شريحة فتحة بلوتوث. كما أن عرض المجال الترددي العامل لهوائي رقعة بلوتوث هو 10 THz في المجال (115-125) THz، بينما عرض المجال الترددي العامل لهوائي رقعة بلوتوث هو 8 THz في المجال (125-135) THz وهذا يعني أن عرض النطاق الترددي لتصميم رقعة بلوتوث أعرض من تصميم فتحة بلوتوث. كما أظهرت مقارنة النتائج بين التصميمين المقترحين والمرجع تفرق التصميمين المقترحين من حيث معامل الانعكاس S_{11} والربح والتوجيهية وعرض النطاق الترددي.

6. المقترحات:

يمكن مراجعة المقترحات الخاصة للعمل المستقبلي على النحو التالي:

- تصميم أشكال أخرى من هوائيات شريحة مايكروية رقعي والحصول على خصائصها ومحاولة تكبير الريح وتوسيع النطاق الترددي.
- استخدام نوعاً آخر من تقنيات التغذية ومقارنة النتائج بالنتائج المقدمة في هذا البحث.
- تصميم مصفوفة هوائيات شريحة مايكروية لتعديل الريح ليكون مناسباً للتطبيقات التي تحتاج إلى نطاق ترددي كبير.

7. قائمة المراجع (References):

- [1] Daniel Drégely, (2014), "Nanoscale Radiation Engineering and Enhanced", Faculty of Mathematics and Physics, University of Stuttgart, PhD. Dissertation..
- [2] Riffat T.Hussien and Dheif I.Abood, (2014), "A wideband hybrid plasmonic fractal patch nanoantenna" international journal of Electronics and Communication Engineering & Technology (IJECET), vol. 5, no. 9, pp. 1–8,.
- [3] A. Krasnok et.al, (2013), "Optical nanoantennas," Phys.–Usp, vol. 56, no. 6, pp. 539–564.
- [4] S. Cakmakyapan and N. Cinel, (2014), "Validation of electromagnetic field enhancement in near–infrared through Sierpinski fractal nanoantennas," Opt. Express, vol. 22, no. 16, pp. 19504–19512.
- [5] Lukas Novotny, (2007), "Effective wavelength scaling for optical antennas, " Physical Review Letters, p. 802.
- [6] L. Zhan, J. Shi, S. Wen and K. Dong, (2011), "Design of Resonant Optical Nano–Antenna for 1.55 μm Wavelength," Symposium on Photonics and Optoelectronics (SOPO), Wuhan, China, pp. 1–4, doi: 10.1109/SOPO.2011.5780578..
- [7] Javier Alda et.al, "Nano–antennas for optoelectronics and nanophotonics, (2006), " SPIE—The International Society for Optical Engineering.
- [8] Ivan Wang and Y. Du, (2011), "Directional field enhancement of dielectric nano optical disc antenna arrays," ScienceDirect Elsevier B.V. All rights reserved, Vol.34, Issue 1, PP. 126–130.

- [9] Abdel-Karim S.O. Hassan et al, (2018), "Optimization of a Novel Nano Antenna With Two Radiation Modes Using Kriging Surrogate Models, "IEEE Photonics Journal, vol. 10, no. 4, pp. 1-17.
- [10] Seyed Arash and Gholamreza Moradi, (2019), "An improved method to null-fill H-plane radiation pattern of graphene patch THz antenna utilizing branch feeding microstrip line," Science Direct, Elsevier, Optik – International Journal for Light and Electron Optics, vol. 181, no. 21- 27, pp. 21-27.
- [11] Jamshed, M. A., Nauman, A., Abbasi, M. A. B., & Kim, S. W , (2020), "Antenna Selection and Designing for THz Applications: Suitability and Performance Evaluation: A Survey}. IEEE Access, 8, 113246-113261. Article 9119381. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3002989>
- [12] Inzamam A., Sadiq U, Shakir U, Usaman H, Sarosh A, Adnan G, Maohammad A, Salahuddin K, Ernesto L,(2021), "Design and Analysis of a Photonic Crystal Based Planar Antenna for THz Applications", Electronics 10(16), 1941; <https://doi.org/10.3390/electronics10161941> ,
- [13] Shubbar M, Rakos B. (2022), A Self-Adapting, Pixelized Planar Antenna Design for Infrared Frequencies. Sensors (Basel). 12;22(10):3680. doi: 10.3390/s22103680. PMID: 35632089; PMCID: PMC9146852.
- [14] Monnai, Y., Lu, X. & Sengupta, K. Terahertz Beam Steering: from Fundamentals to Applications (2023),. J Infrared Milli Terahz Waves 44, 169-211. <https://doi.org/10.1007/s10762-022-00902-1>
- [15] M. H. Maktoomi, S. Saadat, O. Momeni, P. Heydari and H. Aghasi, (2023), "Broadband Antenna Design for Terahertz Communication Systems, " in IEEE Access, vol. 11, pp. 20897-20911, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3250270.
- [16] Abdulkarem H.M. Almawgani, Shobhit K. Patel, Truong Khang Nguyen, Anwar A.H. Al-Athwary, (2023), Design and analysis of split ring resonator engraved metamaterial broadband and high gain patch antenna for THz applications, Optik, Vol. 287, 171054, ISSN 0030-4026,

- [17] Shereen A. Shandal, Mahmood F. Mosleh and Mohammed A. Kadim, (2018), "Design and Implementation of Wideband Fractal Microstrip Antenna," M.Sc. Thesis, Middle Technical University, Electrical Engineering Technical College, p. 16.
- [18] Debatosh Guha and Yahia M. M. Antar, (2011), "Microstrip and Printed Antennas: New Trends, Techniques And Applications," John Wiley & Sons Ltd, p.504.
- [19] Zhi Ning Chen and Michael Y. W. (2006), "Broadband Planar Antennas Design and Applications," Institute for Infocomm Research, Singapore, p. 264.
- [20] Seevan Fahmi Abdulkareem, (2013), "Design and Fabrication of Printed Fractal Slot Antennas for Dual-band Communication Applications," M.Sc. Thesis, University of Technology, Department of Electrical Engineering.
- [21] Girish Kumar, and K. P. Ray, (2003), "Broadband Microstrip Antennas," Artech House, Inc., Boston, London.
- [22] Constantine A. Balanis, (2016), "Antenna theory analysis and design", Canada: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, p.1104
- [23] N. Anusha, M. Sujatha, V. Srikanth, R. S. Kumar and T. J. V. Varma, (2017), "Design and investigation of terahertz antenna using different configurations," 2017 International conference of Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA), Coimbatore, India, pp. 529–532, doi: 10.1109/ICECA.2017.8203593.
- [24] S. Anand, S.Kumar, R. Jang, M. Chavali, (2014), "Graphene nanoribbon based terahertz antenna on polyimide substrate," ScienceDirect, ELSEVIER, Optik, vol. 125, Issue 19, pp. 5546–5549 .