

تصميم هوائي مطبوع متعدد المقاييس للتطبيقات متعددة الحزم الترددية

الدكتور السموعل صالح*

(تاريخ الإيداع 29 / 3 / 2015. قُبل للنشر في 17 / 5 / 2015)

□ ملخص □

سمح التطور التقني في مجال الاتصالات بوجود عدد من الأجهزة التي تقوم بمهام مختلفة أي تعمل على حزم ترددية مختلفة، أو تغطي مجالا تردديا عريضا، وذلك من اجل تطبيقات متعددة مثل الانترنت اللاسلكية، البلوتوث، ال Wifi و... .تطلب ذلك تطوير هوائيات متعددة الحزم الترددية أي ذات طيف استقبال عريض، عن طريق استخدام هوائيات الدايبول المصفوفية، الهوائيات التجزيئية، الهوائيات متعددة المقاييس أي الهوائيات مختلفة الأبعاد أو مختلفة الفتحات الطنينية. هذا العمل يقدم اقتراحا جديدا لتصميم هوائي مطبوع عريض الحزمة أو متعدد الحزم الترددية وذلك اعتمادا على تصميم هوائي رقعي بفتحات رنينيه متعددة الأبعاد، تعمل عند عدة ترددات رنين توافق التطبيق المراد استخدامه. سيتم تطبيق برنامج Zland، لدراسة خصائص الهوائي المقترح ودراسة التغيرات الحاصلة على معاملات الهوائي تبعا لتغيرات عدد وأبعاد الفتحات الرنينية المقترحة على الهوائي بشكل عام.

الكلمات المفتاحية: الهوائي الرقعي، تعدد المقاييس، هوائيات عريضة الحزمة، برنامج Zland ، هوائي متعدد المقاييس.

*أستاذ مساعد، قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سوريا.

Multi-Scales Printed Antenna Design For Multi-Bands Application

Dr. SALEH Alsamawal *

(Received 29 / 3 / 2015. Accepted 17 / 5 / 2015)

□ ABSTRACT □

The technical development in telecommunication creates multi-applications devices. These devices work on various frequencies or multi-band frequencies for applications like wireless internet, Boletus, wifi, etc. . These applications require a new type of antenna that works on large band frequencies or multi-band. Some proposed antennas are the dipole array antenna, fractal antenna and multi-scales antenna or multi-dimensions antenna. This paper suggests new multi-scale antennas design with large band frequencies. This antenna depends on a micro-stripe patch antennas with multi-dimensions resonance patches or apertures, that correspond to an intended application.

The Zland simulator will be applied for studying the suggested antenna and analyzing the effect of the variation of resonance patch numbers and dimensions on the antenna proprieties.

Key words: Patch Antennas, Multi-dimension, Antennas with large Band, Zland Simulator, Multi-dimension antenna.

* Assistant Professor, Department of Communication and Electronics, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

أدت التطورات الحديثة في مجال الاتصالات والإلكترونيات إلى وجود أجهزة متعددة الخدمات، أهمها المستخدمة في تطبيقات الوسائط المتعددة، تعتمد هذه الأجهزة في كل من مرحلتي الاستقبال والإرسال على هوائيات قادرة على استقبال أو إرسال إشارات بترددات مختلفة أو على حزم مختلفة بالنتيجة تعتمد على هوائيات متعددة الحزمة أو هوائيات ذات حزمة عريضة.

من أجل تصميم وتوصيف الهوائيات متعددة الحزم أو عريضة الحزمة استخدمت عدت طرق، أهمها استخدام الهندسة التجزئية. حيث تم استخدام الأجسام التجزئية، نظراً لخصائصها التي تعطي طولاً لا محدوداً بين نقطتين محددتين كذلك خاصية التشابه الداخلي [1]، أو على هوائي متعدد الحزم [2]. كذلك تم استخدام تقنيات مختلفة مثل تقنية الـ MIMO (Multi-Input Multi-Output) من أجل الحصول على دخل متعدد لخرج متعدد [3] [4]. في الآونة الأخيرة تم اقتراح فكرة الهوائيات متعددة المقاييس من أجل الحصول على هوائي عريض الحزمة أو متعدد الحزم الترددية. تتصف هذه الهوائيات بوجود أبعاد أو أطوال مختلفة للعناصر الفعالة في الهوائي كوجود عدة أشكال فعالة بترتيب معين أو وجود عدة فتحات في الهوائي المطبوع فوق طبقة أساس مكونة من مادة بثابت عازلية محدد. أعتمد التطور السريع في تصميم وتحليل الهوائيات الرقعية وبشكل واسع على تطور آليات ولغات البرمجة وإنشاء خوارزميات وبرامج لحل ونمذجة كل أنواع الهوائيات المختلفة. سرّعت هذه البرامج الحديثة وسهّلت الحصول على التصميم المناسب للهوائي ومن ثم تحليله وإيجاد عناصره التصميمية اللازمة من أجل هدف محدد. من هذه البرامج المستخدمة والمطورة باستمرار برنامج المحاكاة ثلاثي الأبعاد HFSS: High-Frequency Structural Simulator. اللذان يعتمدان على طريقة العناصر المنتهية.

يقدم هذا العمل تصميمًا جديدًا للهوائيات المطبوعة متعددة المقاييس بحيث يتم إنشاء فتحات إشعاعية (طينية) بأبعاد مختلفة على رقعة الهوائي بالنتيجة تمثل هذه الفتحات هوائيات فتحة تشع أو تستقبل الإشعاع وفق الأبعاد المصممة عليها مما يتيح للهوائي العمل على حزم متعددة. سنتم دراسة تغيرات معاملات الهوائي من عرض الحزمة وتعدد ترددات الرنين تبعاً لتغيرات عدد وأبعاد الفتحات الموجودة على الهوائي المطبوع.

أهمية البحث و أهدافه

أدى تطور علم البرمجيات كذلك التطور التقني في الاتصالات إلى إيجاد وسائل حديثة لدراسة وتحليل العناصر المهمة في مجال الاتصالات كالهوائيات والمرشحات وخطوط النقل. من أهم الوسائل الجديدة التي استخدمناها هي برامج المحاكاة الجاهزة لتحليل وحساب هذه العناصر مباشرة دون العودة إلى الحل الرياضي التقليدي المعقد بتكاملاته وتفاضلاته و...، حتى انه يمكن اعتبار هذه المحاكيات تطبيقاً عملياً (مخبرياً) يغني عن التطبيق الفعلي للعناصر المدروسة.

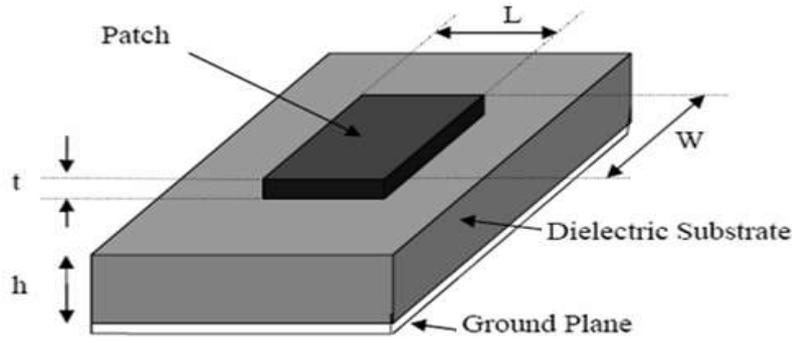
وفرت هذه الخوارزميات كثيراً من الوقت والتكاليف على المصمم وذلك لأنه يستطيع إجراء العديد من المحاولات (التجارب النظرية) من خلال المحاكاة قبل اختيار التصميم النهائي الذي سيطبق ويصنّع عملياً. تعتمد هذه الخوارزميات أو البرامج في الحل على طرق معتمدة ومثبتة منذ زمن بعيد مثل طريقة العناصر المنتهية والطريقة التفاضلية والطريقة اللحظية و...

سنقوم بدراسة و تحليل الهوائيات المطبوعة ذات الفتحات متعددة المقاييس باستخدام أحد برامج المحاكاة وهو Zeland حيث سندرس المخطط الشعاعي وممانعة الهوائي ونحلل التغيرات الناشئة على هذه البارامترات والناجمة عن تغيرات عدد الفتحات الرنينية للهوائي المقترح وكذلك أبعاد هذه الفتحات.

طرائق البحث و مواد

1. الهوائي المطبوع

الهوائيات المطبوعة هي عبارة عن قطعة أو رقعة هندسية على شكل مستطيل أو مربع أو دائرة، مصنوعة من مادة معدنية متوضعة على طبقة أساس عازلة، في أسفل طبقة الاساس يوجد طبقة معدنية كاملة تعبر من مستوي الأرض. تعتبر الهوائيات المطبوعة ذات عرض حزمة من رتبة الميكرومتر، وقد لاقت دراسة واسعة نظراً لهيكلتها المستوية وتكاملها مع الأسطح المستوية كذلك مع الشكل المكروي الشريطي بالإضافة إلى تكلفتها المنخفضة [5] ولكنها تعتبر من الهوائيات العاملة على نطاق ترددي ضيق وهذا ما دفع إلى إيجاد حلول للحصول على النطاق الترددي العريض أو العمل على حزم ترددية متعددة. الشكل (1) يوضح بنية الهوائي الرقعي المستطيل:



الشكل (1): يبين بنية الهوائي الرقعي المستطيل

تصنع الرقعة عادة من مواد ناقلة كالححاس أو الذهب ويمكنها أن تأخذ أي شكل هندسي، يعبر شكل الرقعة وأبعادها الهندسية عن التردد المرغوب العمل عليه، بالنتيجة يمكن تغيير تردد الهوائي بتغيير الشكل الهندسي والأبعاد. كذلك فإن إحداث فتحة ضمن الرقعة المعدنية يؤدي إلى وجود فتحة طنينية مشعة، هذه الفتحة تؤدي إلى تغيير سلوك الهوائي وتغيير المجال الترددي. يمكن الحصول على مجموعة من الترددات الرنينية أو ما يسمى بمجال الحزمة العريضة إما عن طريق تغيير أبعاد الهوائي نفسه بحيث يحتوي التصميم على عدة أطوال مختلفة من رتبة ربع ونصف طول الموجة، (هذه الفكرة تم حلها بواسطة استخدام الهندسة التجزيئية [6] و [7]) أو عن طريق إحداث مجموعة من الفتحات الطنينية وبأبعاد مختلفة، بالنتيجة يتغير سلوك الهوائي ويتغير مجال تردده العامل بحيث يصبح متعدد الحزم الترددية. بالنسبة لتغذية هذه الهوائيات فإنها تتم عن طريق خطوط تغذية فوق طبقة الأساس توصل مباشرة إلى الهوائي، أو عن طريق تغذية محورية في طبقة الأساس تتواجد في منتصف الهوائي.

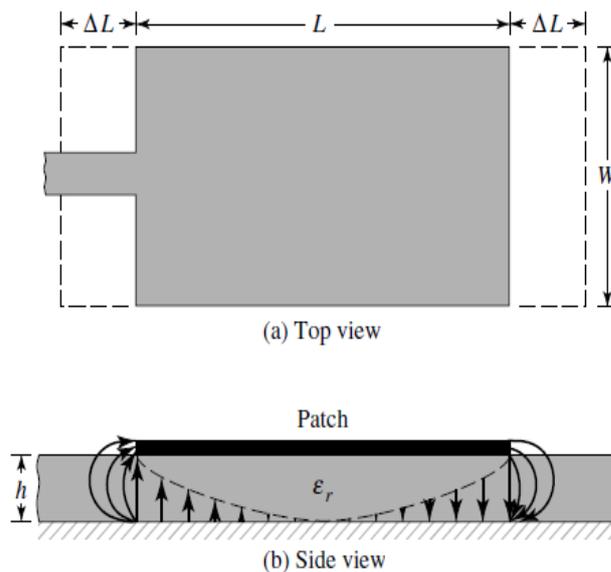
تتعلق أبعاد الهوائيات المطبوعة بـ λ_0 وهو الطول الموجي في الفضاء الحر فمثلا ارتفاع طبقة الأساس h يمثل عادة جزءاً صغيراً من طول الموجة ($h \ll \lambda_0$ وعادة يكون $0.003\lambda_0 \leq h \leq 0.05\lambda_0$). كذلك طول الهوائي المطبوع على شكل مستطيل L ، يتعلق بطول الموجة وفق $\lambda_0/3 < L < \lambda_0/2$.

يستخدم عدد من المواد في تصنيع طبقة الأساس لتصميم هوائيات الشريط المكروي، وعادة ما تكون ثوابت العازلية لها ضمن المجال $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$. وأكثر وللحصول على أداء جيد للهوائي تفضل المواد التي تملك ثابت عازلية كهربائي يتواجد في الحدود الدنيا من المجال السابق لأنه يوفر فعالية أفضل وعرض نطاق ترددي أكبر كما ويجب أن يتحقق شرط آخر من أجل الأداء الجيد للهوائي وهو سماكة طبقة الأساس.

أما الطبقات السفلية الرقيقة والتي تملك ثابت عازلية كهربائي عالٍ فهي مرغوبة الاستخدام في دوائر الميكروويف لأنها تتطلب حقول مرتبطة بقوة لتقليل الإشعاع والاقتران غير المرغوب فيهما، وتقود إلى أحجام أصغر للعنصر، ولكن بسبب خسارتها الكبيرة تكون أقل كفاءة.

2. الأبعاد الفعالة وتردد الرنين

يؤخذ بالحسبان شكل الحقل على طرفي الهوائي الشكل (b,2) أو ما يسمى بأثر التهذيب وذلك عند حساب الطول الفعال للهوائي والذي يعكس تردده العامل. بناء عليه تبدو رقعة هوائي الشريط المكروي ذات طول (فعال) كهربائي أكبر من الأبعاد المادية، بمعنى آخر تتم زيادة طول الرقعة نظرياً بمقدار ΔL للتغلب على أثر التهذيب. يبين الشكل مستوي الحقل الكهربائي الأساسي (مستوي XY)، بناء عليه تم تمديد أبعاد الرقعة على كامل الطول عند كل نهاية بمسافة مقدارها ΔL ، حيث يعتبر الطول الكلي الكهربائي تابعا لكل من ثابت العازلية الكهربائي الفعال ϵ_{reff} ولنسبة العرض إلى الارتفاع (W/h) وفق العلاقة (1) والتي تعتبر علاقة تقريبية وعملية جداً لتحديد الطول بشكل طبيعي وهي من العلاقات الأساسية للتصميم [5].



الشكل (2): الأطوال الفيزيائية والفعالة (الكهربائي) للهوائي المطبوع

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (1)$$

عندما يتم تمديد طول الرقعة بمقدار ΔL على كل جانب، فإن الطول الفعال للرقعة يعطى بالعلاقة (2) حيث $L = \lambda/2$ للنمط المسيطر TM_{010} دون وجود تهديب

$$L_{eff} = L + 2\Delta L \quad (2)$$

من أجل النمط المسيطر TM_{010} ، يكون تردد الرنين لهوائي الشريط المكروي تابعاً لطوله. ويعطى عادة بالعلاقة (3):

$$(f_r)_{010} = \frac{1}{2L\sqrt{\epsilon_r}\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} = \frac{v_0}{2L\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3)$$

حيث: v_0 هي سرعة الضوء في الفضاء الحر.

لا تمثل العلاقة السابقة أثر التهديب، لذلك لا بد من تعديلها لتشمل أثر الحافة، بمعنى آخر إضافة التغير الجديد في الطول والذي يمثل الطول الكهربائي، ويتم ذلك وباستخدام العلاقة (4).

$$(f_{rc})_{010} = \frac{1}{2L_{eff}\sqrt{\epsilon_{reff}}\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} = \frac{1}{2(L+2\Delta L)\sqrt{\epsilon_{reff}}\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} = q \frac{1}{2L\sqrt{\epsilon_r}\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} = q \frac{v_0}{2L\sqrt{\epsilon_r}} \quad (4)$$

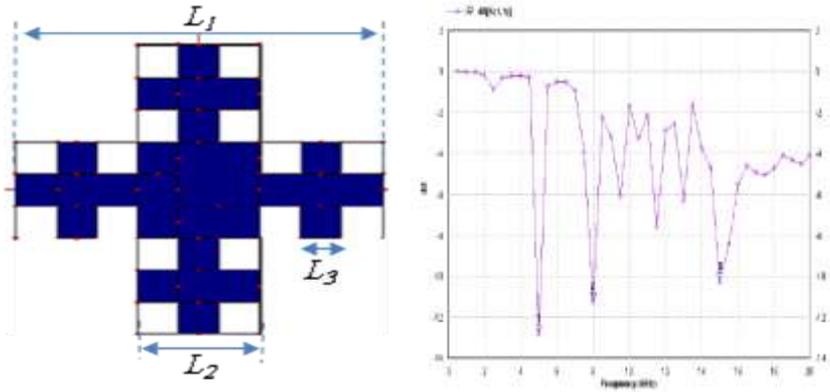
حيث: q عامل نسبة تخفيض الطول، وبحسب بالعلاقة: $q = \frac{(f_{rc})_{010}}{(f_r)_{010}}$.

ملاحظة: بازدياد ارتفاع طبقة الأساس، يزداد التهديب ويؤدي إلى انفصال أكبر بين حواف الإشعاع ونحصل على ترددات رنين بقيم أقل، ولكن ويتغير ثابت العازلية الفعال والذي يعتبر معاملاً أساسياً في تحديد التردد يمكن أن نحصل على التردد المطلوب.

3. الهوائي متعدد المقاييس أو الأبعاد

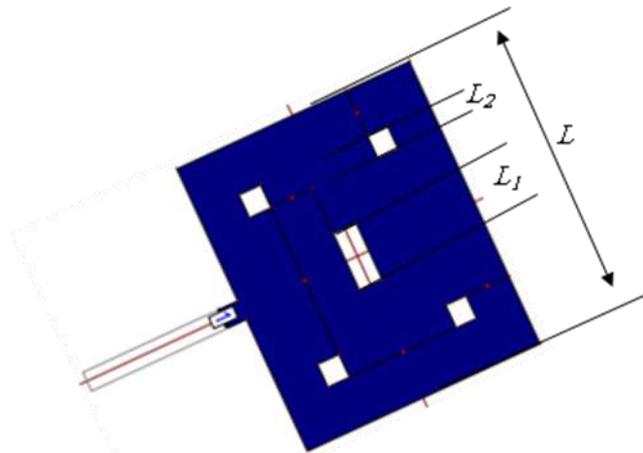
تم العمل في الفترة الأخيرة على تحسين بنية الهوائيات المطبوعة صغيرة الحجم حتى تلائم العمل على أكثر من تردد تشغيل (*multiband*) بحيث تتناسب والتطور السريع في تصميم الأجهزة الخليوية حتى تؤمن خدمات *GPS*, *WiFi*, *WLAN*, *GSM* وغيرها [8].

يملك الهوائي متعدد المقاييس بنية تحوي في تصميمها أطوالاً مختلفة (أبعاد مختلفة) بحيث يعمل تعدد الأطوال في رقعة الهوائي على توسيع عرض الحزمة العاملة أو على تعدد ترددات الرنين بحيث توافق الأطوال المصمم عليها الهوائي. في بحثنا هذا، يصمم الهوائي الرقعي، حسب المناقشة والعلاقات السابقة على طول ثابت ومحدد أي على تردد رنين أساسي، ثم ومن أجل الحصول على الهوائي المطلوب (متعدد المقاييس أو الأبعاد) يتم تغيير أبعاد هذا للهوائي مع الحفاظ على الطول الأساسي وفق الآليتين الآتيتين: أولاً يتم تغيير أبعاد الهوائي الرقعي وشكله بحيث يصبح لديه أكثر من طول على نفس الرقعة بالنتيجة نحصل على عدة ترددات طنينية وفق الشكل (3) حيث يوضح الأطوال الرنينية التي يملكها الهوائي ومعامل الانعكاس الناتج بالديسبيل الذي يوضح عدد من الترددات الرنينية التي يعمل عليها [9].



الشكل (3) الهوائي المطبوع متعدد الأبعاد مع المعامل S_{11} .

ثانياً يتم الحفاظ على شكل الهوائي الرقعي الأساسي من حيث الطول والمجال الترددي المصمم عليهما ثم نقوم بإحداث فتحات طنينية (دارات قصر) في القسم المعدني من الهوائي شرط أن يتم إحداث عدد من الفتحات بأطوال مختلفة وبأماكن مختلفة مما يعني تموضع جديد للطاقة على رقعة الهوائي بالنتيجة وجود ترددات رنينية مختلفة، الشكل (4) يمثل هذا النوع من الهوائيات.



الشكل (4) الهوائي المطبوع متعدد الفتحات الطنينية.

تتميز هذه الطريقة بتقليل حجم الهوائي المطبوع [10-12]. نعتمد في بحثنا على هذا النوع من الهوائيات بحيث يتم تثبيت أبعاد الهوائي الأساسي، ثم نقوم بصنع عدة شقوق (فتحات طنينية) في الهوائي وبأبعاد مختلفة (تعدد في المقاييس) وموزعة بشكل محدد على الهوائي بحيث تساهم في تشكيل عدد من ترددات الرنين لنفس الهوائي.

4. البيئة البرمجية *Zeland or IE3D*

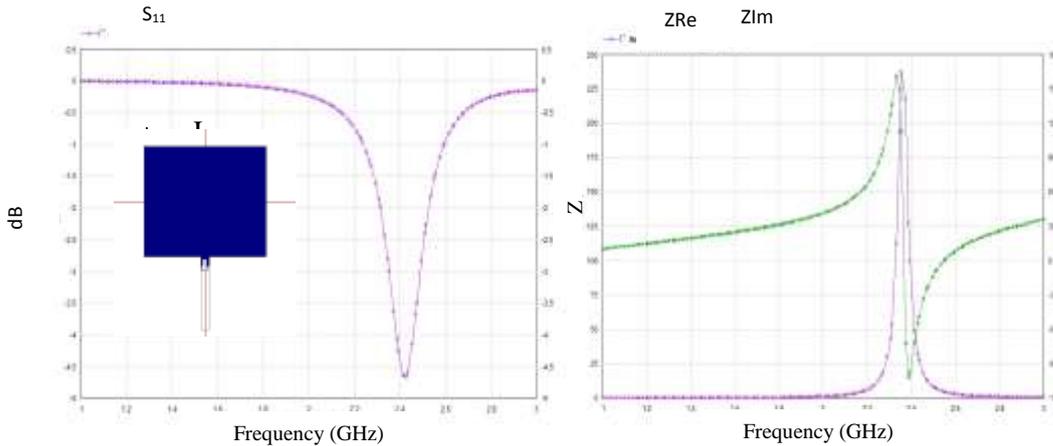
تعتبر البيئة البرمجية *IE3D*، وسيلة محاكاة مناسبة في هذا العمل، وهي إحدى البرمجيات التابعة لمجموعة *Zeland* وتمثل بيئة محاكاة كهرومغناطيسية لحل المسائل الكهرومغناطيسية للبنى (هوائيات، مرشحات، جوف طيني، أدلة موجة...) المستخدمة في مجال الاتصالات الميكروية يعتبر هذا المحاكي عبارة عن مخبر تطبيقي. يتم تصميم ورسم الهوائي، في هذا البحث، على الصفحة الميلمترية للمحاكي التي تسمح بتصميم الهوائي بالأطوال الفعلية ثم تتم المحاكاة وذلك لأن برمجيات هذا المحاكي تعتمد على المعادلات التكاملية أو الطريقة اللحظية (*method of moment MOM*) بحيث يتم حساب معاملات مصفوفة التبثر $[S]$ للحقول القريبة كما ويعطي هذا المحاكي القيم

الحقيقية والتخيلية للممانعة المميزة للهوائي بحيث نستطيع تحديد ترددات الهوائي الرنينية بدقة. كذلك يسمح المحاكى بإظهار كل التصاميم المرسومة ويحسب توزع كل من التيارات والجهود عليها. تعتبر الـ MOM طريقة علمية معتمدة ومثبتة الصحة ذات دقة عالية تقوم بتقسيم الهوائي إلى قطاعات صغيرة جدا على شكل شبكة ثنائية أو ثلاثية الأبعاد حسب طبقة الأساس وتدرس كلا من الحقل الكهربائي والتيار على هذا الجزء الصغير ثم تكامل على كامل الهوائي وبذلك يتم إيجاد المخطط الإشعاعي، توزع التيار، Z ممانعة الهوائي، مصفوفة التبعثر S وغيرها من المعاملات وذلك لكامل الهيكلية المتمثلة بالهوائي وتغذيته وطبقة الأساس. يوفر استخدام مثل هذه البرامج الجديدة كثيراً من الوقت والمال بالمقارنة مع الآلية المعمول بها سابقاً (إجراء العديد من التجارب العملية على الهوائي وتغييره لعدة مرات حتى تتمكن من الوصول إلى الهوائي المطلوب) في إيجاد تصميم ما ودراسة كل المعاملات التي تحكمه مثل طول الهوائي المطبوع، نوع المادة العازلة المستخدمة، ارتفاع طبقة الأساس، وبذلك يمكن إجراء الكثير من تجارب المحاكاة من أجل تعديل الهوائي المصمم بحيث نصل في النهاية إلى الهوائي الأمثل المرغوب لتطبيق ما، بعد ذلك نصنع هذا الهوائي عملياً.

5. تحليل وتصميم هوائي مطبوع باستخدام IE3D :

قمنا بتصميم هوائي رقعة مستطيلة على التردد 2.4GHz كمرحلة تصميم أولى، وهو تردد شائع في أنظمة الاتصالات الخليوية ومطلوب في الحياة العملية، وبالمرحلة الثانية تم صنع شقوق طنينية مختلفة الطول ومختلفة التموضع ضمن الهوائي بهدف الحصول على هوائي متعدد الحزم الترددية.

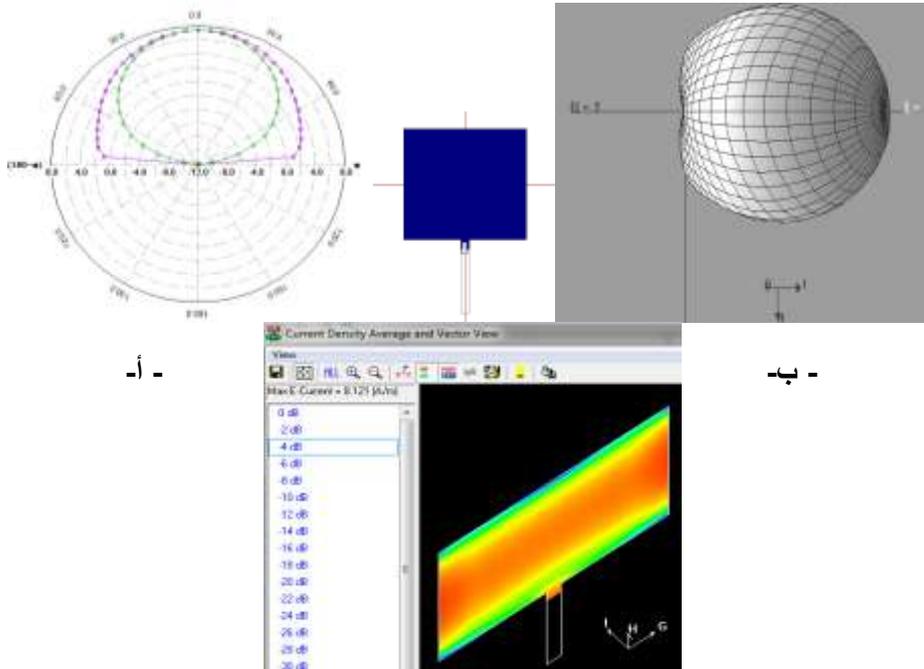
الهوائي الرقعي المقترح له البارامترات الآتية: $\epsilon_r = 2.45$ ، $h = 1.85$ وباستخدام العلاقات (1)-(4) يمكن حساب كل من $W = 47.5 \text{ mm}$ و $\epsilon_{r,eff} = 2.3368$ و $\Delta L = 0.81 \text{ mm}$ كذلك الطول الكلي $L = 39 \text{ mm}$ نقوم برسم الهوائي على الصفحة الخاصة في المحاكى، يقوم المحاكى بحساب ورسم معامل الانعكاس المتمثل بالعنصر S_{11} لمصفوفة التبعثر وكذلك كل من القسم الحقيقي والتخيلي لممانعة الهوائي Z والموضحة في الشكل (5)، نلاحظ أن تردد الرنين للهوائي هو نفسه المحسوب سابقاً وأن القسم الحقيقي للممانعة أعظمي عند تردد الرنين والقسم التخيلي معدوم.



الشكل (5) Z للهوائي بقسميها الحقيقي والتخيلي و S_{11} بالديسبيل مع شكل الهوائي المطبوع.

هذه الأشكال توضح صحة التصميم ونتحقق بواسطتها من صحة العمل على المحاكى لأن النتائج الموضحة يمكن التحقق منها نظرياً من خلال العلاقات السابقة بالنسبة للهوائي الرقعي في المرحلة الأولى. يمكننا المحاكى

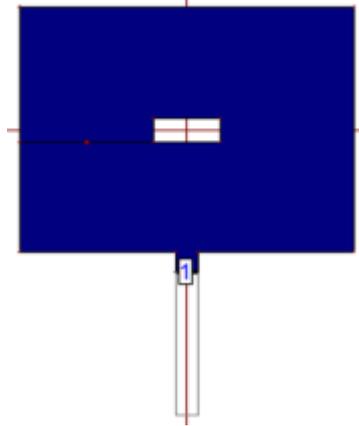
$IE3D$ ، وكما يظهر الشكل (6)، من رسم المخطط الشعاعي للهوائي المراد تصميمه بإخراج ثلاثي الأبعاد حيث يبين وفق أي جهة يتم الانتشار كما ويمكن رسم المخطط الشعاعي ثنائي البعد للمستوي الأفقي أو الشاقولي بحيث يعطي فكرة دقيقة عن الاتجاهية كذلك يمكن للمحاكي توضيح توزيع التيار على الهوائي بحيث يبين الأماكن التي يحدث فيها تجمع الطاقة بالنتيجة المكان الذي يحدد تردد الرنين للهوائي.



الشكل (6) أ- المخطط الشعاعي للهوائي المصمم ثلاثي الأبعاد. ب- المخطط ثنائي البعد والذي يعطي فكرة عن الاتجاهية. ج- مخطط توزيع التيار على الهوائي الرقعي.

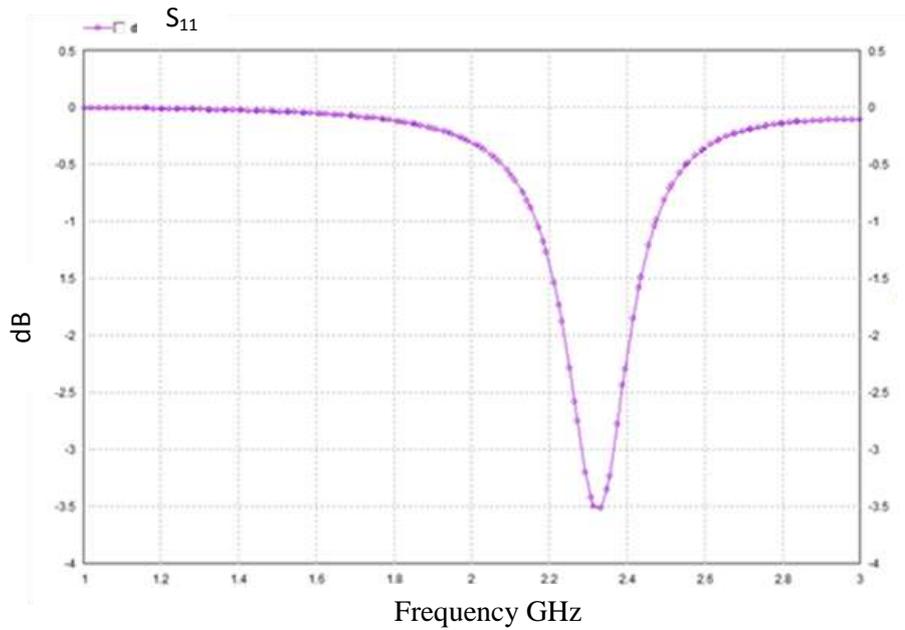
النتائج والمناقشة:

باعتقادنا على البيئة البرمجية $IE3D$ لدراسة وتحليل وحساب الهوائيات المطبوعة تم اقتراح تصميم لهوائي جديد يعتمد على الهوائي المطبوع التقليدي السابق ولكن بتعديل يتمثل في وجود فتحة أو فجوة في منتصف الهوائي بأبعاد نسبتها 10% من طول الهوائي و 20% من عرضها وفق التالي: طول الفجوة: $L_1 = 3.8 \text{ mm}$ وعرضها $W_1 = 9.5 \text{ mm}$ الشكل (7) يبين الهوائي المقترح والذي يمكن تحليله إلى هوائيين، الأول هو الهوائي الرقعي المصمم سابقا والثاني هو هوائي الفتحة الذي أضفناه.

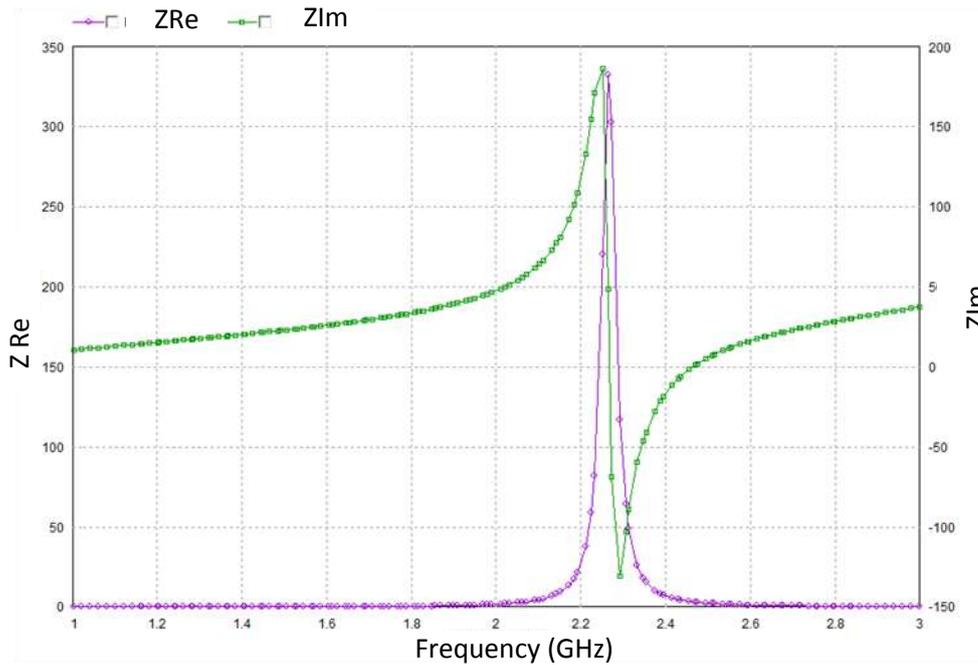


الشكل (7): الهوائي الرقعي المستطيل بعد إحداث الفتحة

يعمل هذا الاقتراح على تقليل حجم الهوائي ولا يغير كثيرا من شكله ولكنه يقوم بإزاحة تردد الهوائي السابق قليلا حتى 2.38 GHz الشكل (8) يوضح المعامل S_{11} بالديسيبل للاقتراح الأول للهوائي. رغم عدم تغيير أبعاد الهوائي الأصلية، تغير تردد الرنين له وهذا عائد إلى أن الدارة الرنينية المكافئة للهوائي تغيرت متأثرة بوجود الفتحة الرنينية في منتصف الهوائي الرقعي.

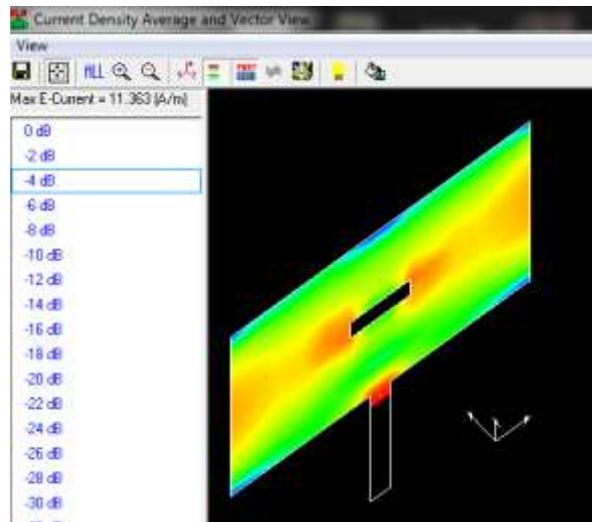
الشكل (8) Z للهوائي بقسميها الحقيقي والتخيلي و S_{11} بالديسيبل مع شكل الهوائي المطبوع.

أما بالنسبة لممانعة الهوائي المقترح، يظهر الشكل (9) التغير الناتج على كل من القسمين الحقيقي والتخيلي.



الشكل (9): الممانعة لأول اقتراح للهوائي المطبوع متعدد الحزم

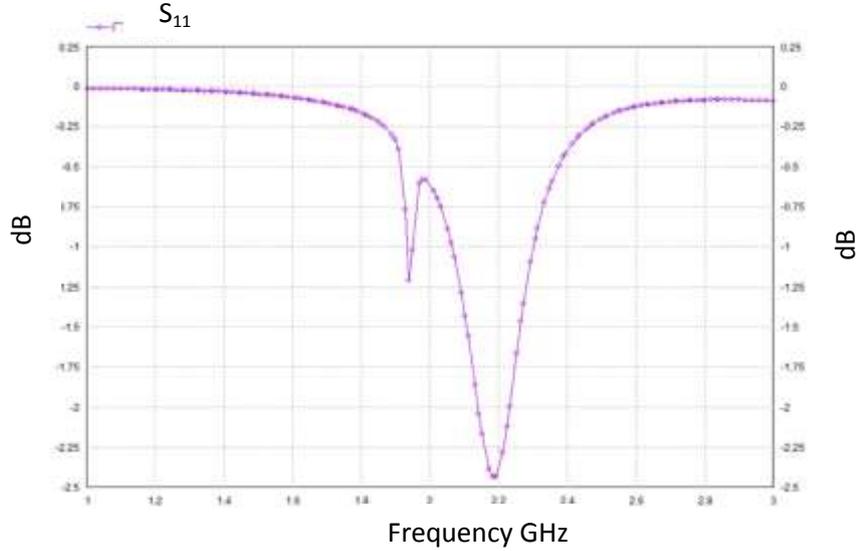
مخطط توزيع التيار الموضح بالشكل (10) على الهوائي المقترح في مرحلته الأولى يبين اختلاف تموضع التيار على شريحة الهوائي بحيث يتأثر بالفتحة الطنينية المحدثة وهذا يعطي تفسيراً لتغير أو انزياح تردد الرنين للهوائي.



الشكل (10): مخطط توزيع التيار الوسطي للهوائي المقترح

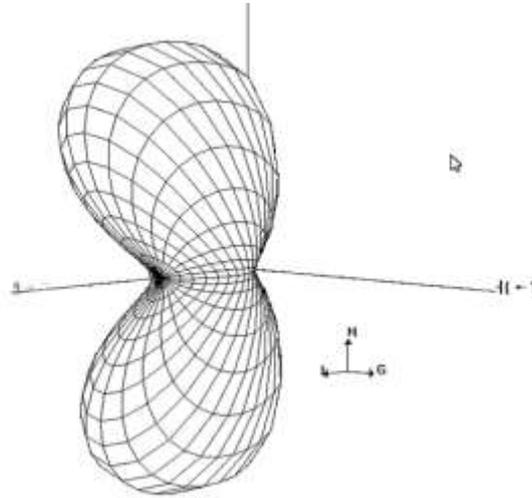
من أجل زيادة عدد ترددات الرنين يجب تعديل المقترح السابق بحيث نزيد من الفجوات أو الفتحات الطنينية على رقعة الهوائي ولكن بأبعاد مختلفة، الاقتراح الجديد يضيف أربع فتحات طنينية بالأبعاد التالية : طول الفجوة: $L_2 = 3.52 \text{ mm}$ وعرضها: $W_2 = 3.8 \text{ mm}$ ، يمثل الاقتراح الجديد والموضح بالشكل (4)، هوائي متعدد المقاييس، حيث لدينا الهوائي الأصلي كذلك الفتحة الرنينية في المنتصف ثم أربع فتحات رنينية بأبعاد مختلفة. يظهر معامل الانعكاس لهذا الهوائي تغييراً مهماً في تردد الرنين حيث يتوضح لدينا من الشكل (11) تغير الخواص الترددية

للهوائي أي دارته الرنينية المكافئة بحيث يصبح له ترددي رنين، إذا تمت زيادة عرض الحزمة لنفس الهوائي الأساسي دون زيادة أبعاده وإنما بإحداث فتحات بأطوال مختلفة.



الشكل (11): معامل الانعكاس للهوائي المقترح بالمرحلة الثانية

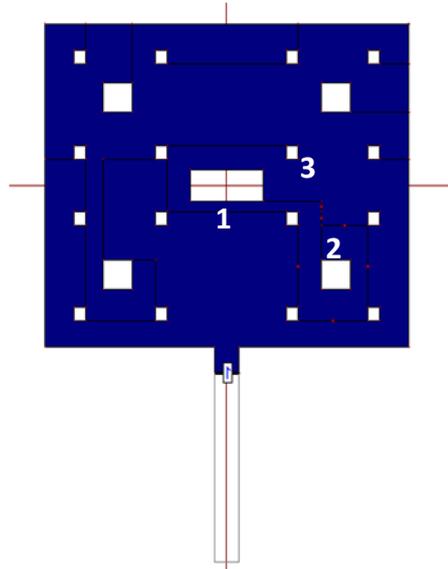
تم رسم المخطط الإشعاعي لهذا الهوائي وتبين انه يبدي تغييرا ملموسا يراعي وجود الفتحات متعددة المقاييس وهو موضح بالشكل (12).



الشكل (12): المخطط الإشعاعي ثلاثي الأبعاد لثاني مرحلة في تعديل الهوائي

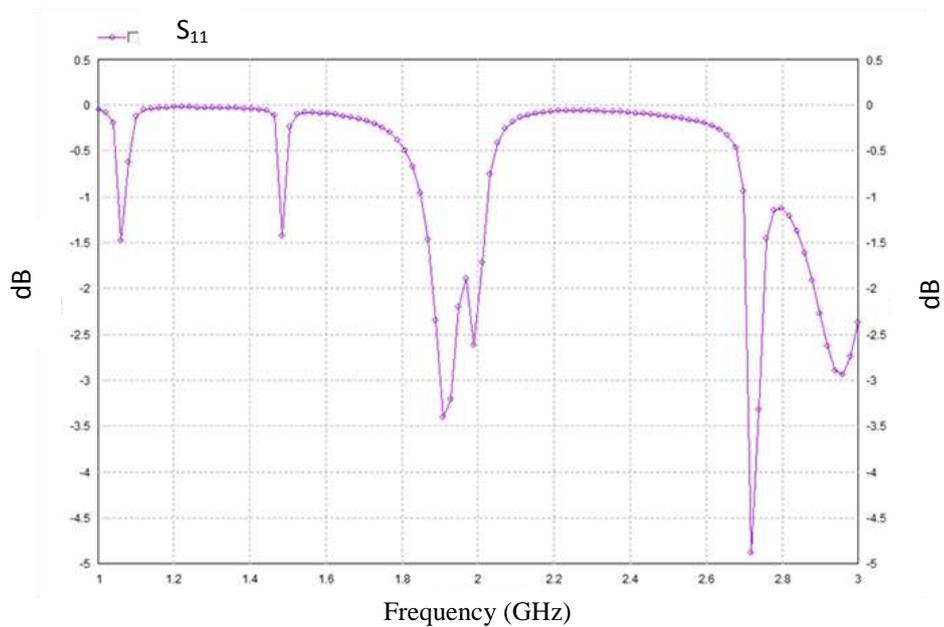
تتمثل المرحلة الثالثة التي تم اقتراحها للهوائي بصنع أربع فتحات رنينية حول كل الفتحات المقترحة في المرحلة الثانية أي بمجموع 16 فجوة إضافية على الهوائي الرقعي الأساسي وبأبعاد لكل فتحة وفق التالي: طول الفتحة: $L_3 = 1.408 \text{ mm}$ وعرضها $W_3 = 1.52 \text{ mm}$ ، يوضح الشكل (13) الهوائي المقترح متعدد المقاييس بمراحله الثلاث، من الناحية الفيزيائية لدينا أطوال رنينية مختلفة للفتحات كذلك لدينا الطول الأساسي للهوائي، وأيضا هذه

الفجوات متقارنة مع بعضها البعض وهذا يؤدي إلى توزيع جديد للحقل الكهربائي (أو للطاقة) وبشكل مختلف عن السابق مما يضيف عدداً جديداً من ترددات الرنين للهوائي، بالنتيجة زيادة عرض الحزمة الترددية التي يعمل عليها الهوائي.



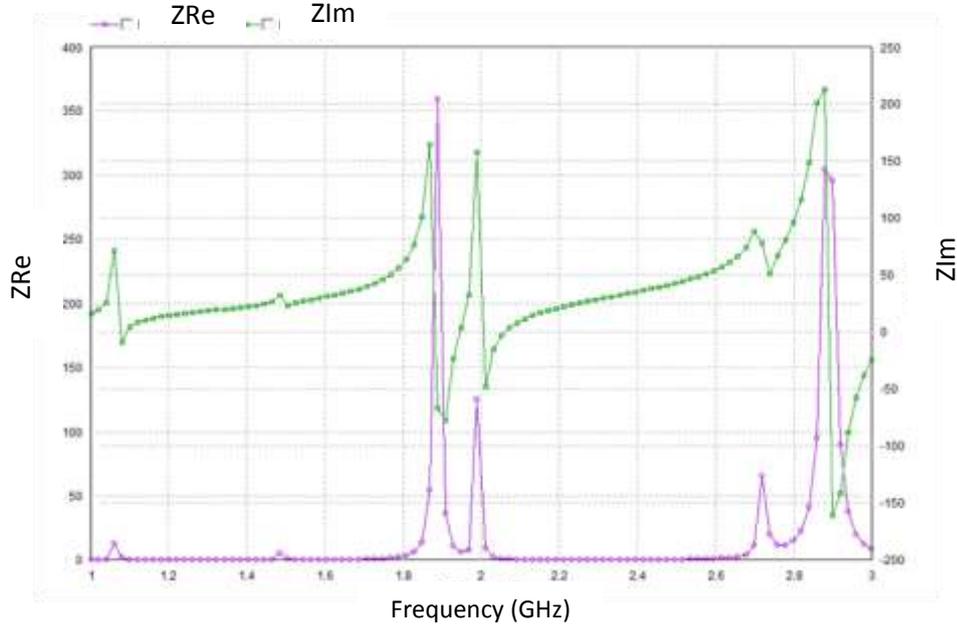
الشكل (13): هوائي الرقعة المقترح في المرحلة الثالثة

يمثل المعامل S_{11} ، الشكل (14)، معامل الانعكاس الناتج عن الهوائي المقترح، وهو يوضح وجود عدد من ترددات الرنين مثل 1.1 GHz , 1.48 GHz , 1.92 GHz , 2.72 GHz , 2.96 GHz والتي يمكن استخدامها في عدة تطبيقات.



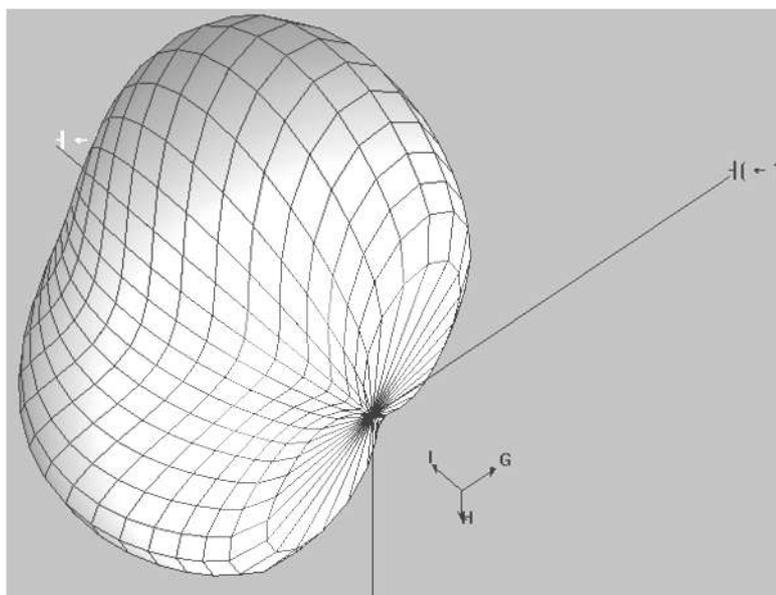
الشكل (14): معامل الانعكاس للهوائي المقترح متعدد المقاييس النهائي

يمثل الشكل (15)، الممانعة الناتجة عن الهوائي المقترح متعدد الحزم أو متعدد المقاييس بشقيها الحقيقي والتخيلي، وهو يؤكد وجود ترددات الرنين الواضحة على معامل الانعكاس.

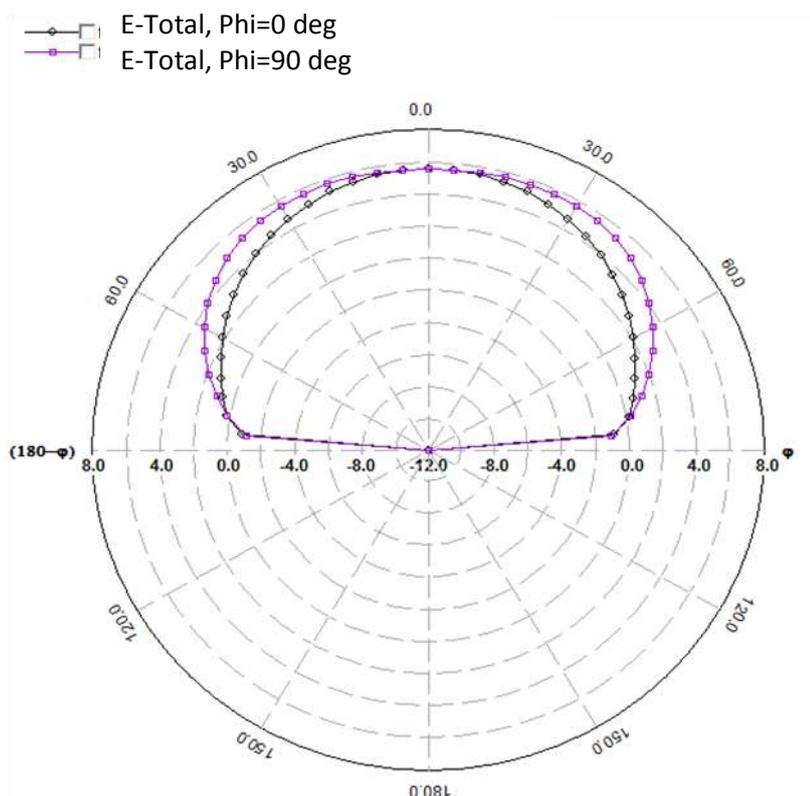


الشكل (15): ممانعة الهوائي المطبوع متعدد المقاييس أو متعدد الحزم المقترح

المخطط ثلاثي الأبعاد للهوائي المقترح موضح بالشكل (16)، أما المخطط الإشعاعي الناتج عن الحقل الكهربائي الكلي في المستويين الأفقي والشاقولي فهو واضح بالشكل (17) يمكن باستخدام هذا الشكل تحديد اتجاهية الهوائي.



الشكل (16): المخطط الإشعاعي للهوائي متعدد المقاييس أو متعدد الحزم المقترح



الشكل (17): المخطط الإشعاعي في المستويين الأفقي والشافولي بحيث يوضح الاتجاهية

الاستنتاجات والتوصيات:

أصبح الهوائي متعدد الحزم مستخدماً في أجهزة اتصالات حديثة متعددة المهام كما أنه طبق عملياً في أجهزة تعمل على ترددات مختلفة. يمكن تصميم هذا الهوائي باستخدام تقنية تعدد الأبعاد أي تعدد الأطوال الرنينية في بنية الهوائي، هذا يعطي عدة ترددات رنين لنفس الهوائي أو يزيد عرض الحزمة الترددية التي يعمل عليها الهوائي وذلك لأن الفتحات الطنينية تغير من الدارة المكافئة الرنينية للهوائي مما يؤدي لوجود عدد من الترددات الرنينية التي تتوافق وأبعاد الفتحات وهذا يؤدي لزيادة عرض الحزمة التي يعمل عليها الهوائي. قدم هذا العمل اقتراحاً لهوائي رقمي جديد متعدد المقاييس وتمت دراسة خواصه ورسم كل من معامل الانعكاس والممانعة المميزة للهوائي باستخدام المحاكاة $IE3D$ والذي مكننا من معرفة التغيرات التي تطرأ على معاملاته وذلك عند تغيير أبعاده، حيث تمت زيادة عرض حزمة الهوائي أو زيادة عدد ترددات الرنين التي يعمل عليها وذلك بإضافة أطوال رنينية مختلفة وعلى عدة مراحل، بحيث يصبح من الممكن استخدامه في الأجهزة متعددة التطبيقات.

المراجع:

- [1] B,B, MANDELBROT, *Les Objects Fractals forme Hasard et dimension*, Paris: Flammarion, 1975, 1984, 1989.
- [2] D.H. WERNER; P.L. WERNER and K.H. Church, "Genetically engineered multiband fractal antenna," *Electronics Letters*. Vol 37, September 2003, 1150-1152.
- [3] J. Sharony, *Introduction to Wireless MIMO -Theory and Application*, November 15, 2006.
- [4] M. vu and Pqulraj, "A. MIMO Wireless Linear precoding," *IEEE Signal Processing magazine*, 24(5), 86-105m, 2007.
- [5] C. Balanis, "Antenna theory: analysis and design", ser. Harper & Row series in electrical engineering. Wiley, 1982.
- [6] J. K. Ali, Z. A. Abed AL-Hussain, A. A. Osman, A. J. Salim, "A New Compact Size Fractal Based Microstrip Slot Antenna for GPS Applications," *Progress In Electromagnetics Research Symposium Proceedings, KL, MALAYSIA*, pp.700-703. March, 2012
- [7] M. Naser-Moghadasi, R. A. Sadeghzadeh, T. Sedghi, T. Aribi, B. S. Virdee, "UWB CPW-Fed Fractal Patch Antenna With Band-Notched Function Employing Folded T-Shaped Element," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, Vol. 12, pp. 504-507, 2013.
- [8] S. Suganthi, S. Raghavan, D. Kumar, "Miniature Fractal Antenna Design And Simulation For Wireless Applications," *Recent Advances in Intelligent Computational Systems (RAICS)*, 2011 IEEE, 22-24 Sept. 2011, pp. 57 – 61.
- [9] V. Gupta, B.S.Dhaliwal, "Design And Simulation of Multiband Chaucer Fractal Patch Antenna Loaded With Metamaterial," *IEEE 2011 International Conference on Recent Trends in Information Systems*, 2011.
- [10] J. S. Kuo and K. L. Wong, "A Low-Cost Microstrip-Line-Fed Shorted Patch Antenna For PCS Base Station," *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 29, pp. 146-148, May, 2001.
- [11] K. F. Lee, Y. X. Guo, J. A. Hawkins, R. Chair and K. M. Luk, "Theory and experiments on microstrip patch antennas with shorting walls," *IEE Proc.-Micro. Antennas Propag.* Vol. 47, pp. 521-525, December 2000.
- [12] B. Lee and F. J. Harackiewicz, "Miniature Microstrip Antenna With A Partially Filled High Permittivity Substrate," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, Vol. 50, pp. 1160-1162, August 2002.