مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (31) العدد (4) 2009
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (31) No. (4) 2009

هوائي مكسر عريض المجال دائري الشكل مسطح

الدكتور معين يونس*

(تاريخ الإيداع 8 / 9 / 2009. قُبِل للنشر في 2009/11/2)

□ ملخّص □

توصف الهوائيات المكسرة Fractal antennas من خلال خواصها الهندسية ، والتي تسمح بتقليل أبعاد الهوائي . ولها خواص مميزة تجعلها مرشحة للاستخدام في التطبيقات التي تتطلب عرض مجال واسع ، وتعمل عند مجالات ترددية مختلفة وذات ممانعة دخل تؤمن قيم صغيرة لنسبة الأمواج المستقرة عند دخلها لمجالات عملها المختلفة .

تستعرض هذه المقالة تصميم وتحليل هوائي رقعي أو مطبوع وحيد القطب مسطح ومدمج عريض المجال الترددي . يُقترح تركيبه على العربات ويناسب الاتصالات المتنقلة . تم تصميم الهوائي المكسر المفروض أن يحقق فقد ضياع العودة أقل من 10 dB - ،لكي يتحقق الشرط، عند تصميم أي هوائي يجب أن تكون نسبة الأمواج المستقرة عند مدخل الهوائي أصغر أو يساوي 2 . بالإضافة إلى ذلك فإن شكل الهوائي يجب أن يحقق الشرط المطلوب في التصميم وهو قلة الوزن وتحمل الرياح .

تم تجريب و اختبار تغيير طول المغذي للهوائي لتحسين التصميم عند مجال واسع من الترددات ومقارنة هذا الهوائي مع الأنواع الأخرى ، حيث يشكل هذا النوع هوائياً عريض المجال ويعتبر نوعاً بديلاً عن الأنواع الأخرى عريضة المجال المكسرة .

استعمل البرنامج الكهرومغناطيسي HFSS للتصميم الأمثلي لشكل الهوائي المفروض لكي يعمل عند أوسع مجال ترددي .

الكلمات المفتاحية : الهوائيات (المكسرة – دائرية الشكل – مطبوعة – عريضة المجال – وحيد القطب – مسطحة– شريطية – رقعية – مدمجة)، هوائيات المركبات– هوائيات أنظمة الاتصالات المتنقلة – برنامج HFSS.

*أستاذ مساعد– قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات — كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية — جامعة تشرين— اللاذقية — سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (31) العدد (4) 2009
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (31) No. (4) 2009

Planar Circular ultra-wideband Fractal Antenna

Dr. Mouin Younes *

(Received 8 / 9 / 2009. Accepted 2 / 11 / 2009)

□ ABSTRACT □

Fractal antennas are characterised by their special geometrical characteristics, which allow a reduction of the antenna dimensions. They have special properties that make them interesting candidates for applications where wide-band, multi-band, input impedance, SWR are important parameters of the overall performance.

This work presents the design and Analysis of a patch or printed circular ultra wideband mono pole fractal antenna, which is proposed for Vehicular applications and suitable for cellular telecommunications. The proposed fractal design is optimized for return loss below −10 dB, to verify that condition for any antenna design , the ratio of the standing waves at the antenna input should be $SWR \leq 2$. Moreover due to the fractal shape, the proposed design has less weight and wind loading effect. Many possibilities of improved design have been investigated by varying the length of the Feeder. In comparison to other Fractal antennas, This type of structure can achieve larger bandwidth with proper design. It is an alternative to the other fractal antennas.

The electromagnetic software HFSS is used to design and optimize the structure of the proposed antenna which can operate in the frequency─ bands.

Key words : Fractal- , Circular structure-,Printed-, monopole--, multi band-, monopole- , planar-, microstrip-, patch-, compact Antennas – Mobile communication Antennas – vehicle Antenna - HFSS

* **Associate Professor ,Department of communication and electronics Engineering,Faculty of Mechanical and Electrical Engineering,Tishreen University.Lattakia,Syria**

مقدمة:

بعد التطور و الانتشار الواسع للاتصالات المتنقلة في الحياة العملية وخاصة في وسائل النقل المختلفة ، تم تصميم أنواع متعددة من الهوائيات التي تركب على العربات وبأشكال مختلفة كل منها يؤدي الوظيفة المطلوبة منه ضمن مجال ترددي واحد . بازدياد الطلب على الاتصالات الحديثة، أصبح من الضروري تصميم هوائي يركب في العربات ويغطي جميع الترددات المطلوبة في الاتصالات الحديثة، سواء لنقل الصوت والصورة أو البيانات أو الربط مع شبكة الانترنت . من الضروري أن يكون الهوائي صغير الحجم مسطحاً قابلاً للتركيب على أي نوع من المركبات بحيث يغطي جميع المجالات الترددية المستخدمة في الاتصالات .

الموضوع المطروح للبحث هو تصميم هوائي بكبل تغذية واحد وبأصغر حجم ممكن مسطح قابل للتركيب في وسائل النقل المختلفة، ليعمل ضمن مجال واسع من الترددات.

من خلال الاطلاع على ما نشر سابقا حول الموضوع المطروح المراجع من [1] وحتى [5] والذي يمكن إيجازه على الشكل التالي:

تستعمل الهوائيات الشريطية (Micro-strip) والرقعية (Patch) الصغيرة في أنظمة الاتصالات المتنقلة، وهي عبارة عن هوائيات مسطحة بطول نصف طول الموجة أو هوائيات مدمجة (قليلة السماكة وصغيرة) مقصورة طولها ربع طول الموجة ، تركب هذه الهوائيات في الأجهزة المحمولة للعمل في المجالين الترددين 900MHz و 1800MHz لنظام GSM . بعض التصاميم مكونة من هوائيين بتغذية مفصلة (هوائي لكل مجال) . وبعضها الأخر مكونة من هوائي واحد لمجالين وبخط تغذية واحد . لتأمين التوليف المطلوب يتم استخدام طرائق متعددة منها القصر والتحميل بمكثف، وإحداث شق واختيار الشكل المناسب للهوائي على شكل حرف R وحرف F ، ويستخدم الهواء كحامل عازل بسماكة كبيرة لتحقيق عرض المجال المطلوب، أو يستخدم الهوائي الرقعي متعدد الطبقات لتحقيق ذلك .

ولزيادة عرض مجال الهوائي الشريطي micro-strip antenna – الذي يعرب أحيانا بالمكروشرائحي – يتم زيادة سماكة الحامل العازل h واستخدام مادة عازلة ذات ثابت عازلية منخفض (أقرب إلى الواحد) . يمكن الحصول على عرض مجال من 5 وحتى % 10 باستخدام عازل سميك وثابت عازلية منخفض . عند زيادة h تقل كفاءة الهوائي، ويزيد مستوى الاستقطاب المعترض (المتعامد) cross-polar و يزداد طول مجس التغذية لسطح المشع المعلق في الهواء، وبالتالي تزداد تحريضيته الذاتية وتصبح ممانعة دخل الهوائي أكثر تحريضية، ويصعب عندها تحقيق التوافق الضروري. مهما اتبع من إجراءات لزيادة عرض المجال للهوائي الشرائحي والرقعي، فإنه من الصعب أو المستحيل الحصول على عرض المجال المطلوب مع المحافظة على شكله المسطح (لأنه يتطلب زيادة كبيرة في h أو استعمال عدة طبقات عازلة في الهوائي لزيادة عرض مجاله الترددي) .

للتخلص من أثر تحريضية كبل التغذية يتم تغذية الهوائي من أحد الأطراف وبشكل متعامد مع مستوي الأرضي، وإذا كانت h كبيرة، يمكن إهمال أثر الأرض ، وبالتالي يصبح لدينا الهوائي وحيد القطب مسطح a planar monopole antenna . يتكون الهوائي وحيد القطب المعروف (الهوائي الشاقولي) بالأساس من سلك شاقولي رفيع مركب فوق مستوى الأرضي . عرض مجال هذا الهوائي كبير ويزداد بزيادة قطره ، والهوائي الرقعي وحيد القطب يمكن اعتباره هوائياً اسطوانياً مع قطر فعال كبير .

يمثل هذا الهوائي الرقعي هوائياً شريطياً (مع الأرضي) ولكن ذو حامل عازل سميك جدا وثابت عازليته تساوي الواحد (هواء) . وبالتالي نحصل منه على عرض مجال كبير ، حيث تتولد أنماط متعددة عالية في السطح المعدني للهوائي ، وهذه الأنماط تعمل على مجال عريض من الترددات، مما يقلل التغيير في ممانعة دخل الهوائي .

يمكن استخدام أي شكل هندسي لتحقيق هذا الهوائي المماثل لهوائي أسطواني عمودي . والأشكال الهندسية المستخدمة هي المربع والمستطيل والمثلث والمسدس والقطع الناقص والدائرة ، أو أي شكل مكون من أجزاء من هذه الأشكال الهندسية. وبما أن الشكل الدائري يتمتع بعرض مجال ترددي كبير مقارنة مع أي شكل هندسي آخر. بسبب تشكل أنماط عليا مختلفة في هذا الشكل على عكس الأنماط المتشكلة في المستطيل، لأن الأنماط المتولدة في الشكل الدائري تحدد بجذر المشتق الثاني لتابع بيسل [1] . عرض المجال المصاحب للأنماط المختلفة كبير جدا بسبب كون القرص محاطاً بمادة، ثابت عازليتها قريب من الواحد (هواء) ، وتغير ممانعة الدخل من نمط لآخر يبقى صغيرا جدا . تشكل ممانعة الدخل عدة حلقات على مخطط شمث ، ولكن تبقى داخل دائرة $SWR = 2$ وهذا يعني أن عرض المجال كبير .

أما حساب أبعاد الهوائي الدائري المكافئ لهوائي أسطواني لهما نفس المساحة ، فيتم بمساواة المساحتين $2\pi r L = \pi a^2$ أي أن :

$$L = 2a \quad , \quad r = a/4$$

أهمية البحث وأهدافه:

نتيجة للحاجة الماسة و ازدياد الطلب في مجال الاتصالات الحديثة المتنقلة، أصبح من الضروري تصميم هوائيات تركّب على العربات، تغطي جميع الترددات المطلوبة في هذه النظم المتنقلة، سواءً لنقل الصوت و الصورة أو البيانات، و كذلك الربط على شبكة الانترنت ، و الهوائيات المكسّرة (ذات الشكل النمطيّ الهندسي المتكرر) Fractal antennas تتمتع بخصائص و مميزات فريدة من حيث الشكل و الحجم و قابلية التشكيل، بحيث يمكن تصميمها بأصغر حجم ممكن و بشكل مسطّح و قابلة للتركيب في وسائل النقل المختلفة للعمل على مجال واسع من الترددات.

طرائق البحث و مواده:

الهوائي المكسر:

يعتمد عرض مجال الهوائي بشكل أساسي على عرض الهوائي المسطح وقطر وطول مجس التغذية [15] و [13]، وبما أن الموصل SMA (Small Metal Adapter هو موصل بين الهوائي المصنع بطريقة النواقل الشرائحية أو الدارة المطبوعة و بين كبل ناقل الترددات العالية) يستعمل للترددات اعتبار من 1000 MHz لتغذية الهوائي ، وهذا الموصل قطره ثابت ويساوي 0.12 cm ، وبالتالي فإن طوله p هو الذي يؤثر على عرض المجال فعند زيادة طوله بشكل بسيط تزداد ممانعته التحريضية وتنزاح ممانعة دخل الهوائي باتجاه اليسار على مخطط شمت، مما يؤدي إلى زيادة في عرض مجال الهوائي . حتى يكون الهوائي أصغر ما يمكن. يجب أولا حساب أدنى تردد لهوائي وحيد القطب المسطح تتحقق عنده نسبة أمواج مستقرة SWR أقل من 2 ، وهذا يقابل عامل انعكاس دخل $S_{11} = -10\,dB$ عند مدخل الهوائي المغذى من كبل ممانعته المميزة $Z_0 = 50\ \Omega$.

تمتلك الهوائيات ذات الشكل النمطي الهندسي المتكرر Fractal Antennas ميزات خاصة وفريدة ترتبط مباشرة مع الخواص الهندسية للشكل الهندسي المتكرر[6] و [7] ، هذه الخواص المتشابهة ذاتيا تجعلها مناسبة جدا من أجل تصميم الهوائيات متعددة المجالات الترددية أو عرضة المجال الترددي وحجمها صغير ومدمج، وقابلة للتشكيل وذات مقطع صغير .

ومصطلح المكسر (Fractal) والذي يعني تكسيراً أو تجزيئاً غير منظم ، والذي يوصف عملية تشكيل هيكل معقد من شكل بسيط مكرر، أي أن القطعة الصغيرة من شكل صغّر جدا عن الشكل الإجمالي للجسم يشابه الشكل العام له ، وهناك معامل أساسي لهذا الجسم وهو بعده الذي يكون عددا عاديا ، وليس صحيحا مثل الأجسام الإقليدية المتعارف عليها (مربع – مكعب – ...) ونستطيع إن نقول أن الجسم يتولد بالتجزيء، أي يتجزأ الشكل الأساس إلى أصغر فأصغر، وبشكل يشابه الجسم الأساس. وهذا التجزيء محكوم ببعد هذا الجسم ، وهذا يدعى البعد التجزيئي (Fractal Dimension) .

لشرح مفهوم هذا البعد نبدأ من الهندسة التقليدية : القطعة المستقيمة ذات بعد واحد (L) ، بينما المربع (أو المستطيل) ذو بعدين (L , W) والمكعب (أو متوازي المستطيلات) ذو ثلاثة أبعاد (L , W , H)، إذا تم تقسيم أبعاد هذه الأجسام إلى أثنين فأننا نحصل على قطعتين مستقيمتين بطول (L/2) وعلى أربع مستطيلات متماثلة مصفرة بمقدار النصف أي أن أبعادها (W/2 , L/2) أما بالنسبة للمجسم فأننا نحصل على ثمانية قطع مصغرة بمقدار النصف أيضا؛ أي أن أبعادها (H/2,W/2,L/2) ، نلاحظ أن هناك تضاعفاً هندسياً في عدد الأجزاء التي حصلنا عليها (2 ، 4 ، 8) والتي يمكن التعبير عنها بالشكل الرياضي التالي:

$$\left(\frac{1}{1/2}\right)^1 = 2 \quad , \quad \left(\frac{1}{1/2}\right)^2 = 4 \quad , \quad \left(\frac{1}{1/2}\right)^3 = 8$$

أما إذا قسمنا القطعة المستقيمة إلى ثلاث قطع متناظرة ولكنها مصغرة بمقدار (1/3) ، فإننا بتقسيم المربع نحصل على 9 قطع مصغرة بنفس النسبة ، وبتقسيم المكعب نحصل على 27 قطعة مصغرة؛ أي نحصل على النسب الرياضية التالية:

$$\left(\frac{1}{1/3}\right)^1 = 3 \quad , \quad \left(\frac{1}{1/3}\right)^2 = 9 \quad , \quad \left(\frac{1}{1/3}\right)^3 = 27$$

نلاحظ من النسب الرياضية السابقة أن عدد القطع والممثل بالأرقام (2 , 4 , 8) في الحالة الأولى، و (3 , 9 , 27) في الحالة الثانية، ليسوا سوى عدد النسخ (N) من العنصر الأساس الذي صغرناه بمعامل التجزيء أو التصغير Fr حيث Fr = 1/2 في الحالة الأولى Fr = 1/3 في الحالة الثانية ، بينا يعبر الأس 1 , 2 , 3 عن البعد التقليدي للجسم D وبالتالي يمكن كتابة العلاقة التالية :

$$N = \left(\frac{1}{Fr}\right)^D$$

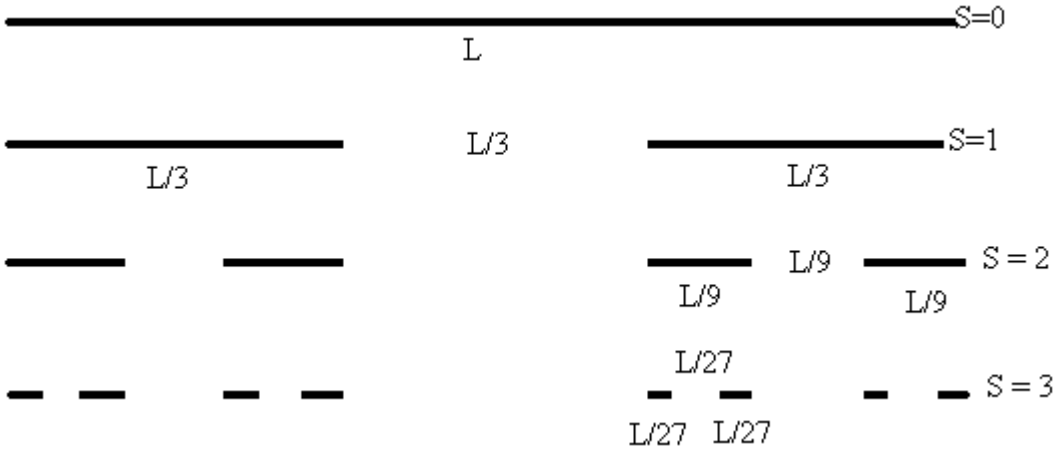
إذاً من أجل معرفة البعد التجزيئي سنوجد البعد D من العلاقة (3) ونعمم هذه العلاقة بأخذ اللغارتم (العشري أو الطبيعي) للطرفين :

$$Log(N) = D\ \log\left(1/Fr\right) \qquad \Rightarrow \qquad D = \frac{\log(N)}{\log\left(1/Fr\right)} = \frac{\ln(N)}{\ln\left(1/Fr\right)}$$

أنواع التكسير :

سنورد بعد الأمثلة التوضيحية على عمليات التجزيء أو التكسير المختلفة، وسنتطرق إلى التكسير الخطي (البعد الواحد) والتكسير السطحي (بعدين) .

1 – التكسير الخطي : كمثال على التكسير الخطي ننطلق من الشكل (1) ،الذي يمثل هوائياً خطياً



الشكل (1) عملية التكسير المنتظم

حيث S يشير إلى عدد مرات التجزيء أو التكسير .

بفرض أن طول هذا الشكل L تم تقسيمه إلى ثلاث قطع متساوية، فمعامل التصغير Fr = 1/3 في المرحلة الأولى للتجزيء S = 1 نقوم بنزع القطاع الأوسط فيبقى قطعتين ، أي أن عدد القطع N = 2 وبالتالي البعد التكسيري لهذا الجسم هو :

$$D = \left(\frac{\log(N)}{\log(1/Fr)}\right) = \left(\frac{\log(2)}{\log(1/3)}\right) = 0.631$$

نلاحظ أن $0 < D < 1$ لأنه لا يمكن أن يكون خطا كاملا ولا يمكن أن يكون معدوماً .

إذا تم وضع قطعتين مستقيمتين لهما نفس الطول L/3 على شكل ضلعي مثلث متساوي الأضلاع دون القاعدة محل القطعة المتوسطة المنزوعة، فيكون لدينا في المرحلة S = 1 عدد القطع , N = 4 وبالتالي نحصل على البعد التكسيري التالي :

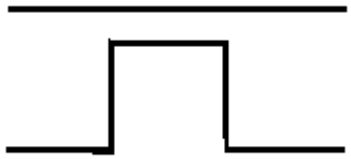
$$D = \left(\frac{\log(N)}{\log(1/Fr)}\right) = \left(\frac{\log(4)}{\log(1/3)}\right) = 1.262$$

وهذا يدعى منحني فان – كوخ (Von –Koch) [15] و [8] .

نلاحظ أن $1< D < 2$ أي أن طوله أكبر من القطعة الأصلية وبالتالي $1< D$ بنفس الوقت لا يملأ الفراغ لذلك $D < 2$. في المرحلة التالية $S = 2$ نستبدل المرحلة الأولى بأربع نسخ مطابقة لها بالشكل، ولكن مصغرة بمعامل التصغير السابق ، ونكرر العملية في مراحل التكسير اللاحقة، كما هو مبين في الشكل (2a) .

الشكل (2a) منحني التكسير لفان – كوخ

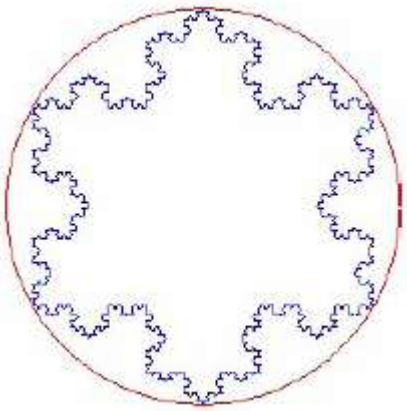
أما إذا استعيض عن الجزء المنزوع في منحني فان – كوخ بمربع منزوع أحد أضلاعه كما هو مبين بالشكل (2b) ، وكان الهوائي الأساس عبارة عن حلقة مكونة من أضلاع مربع، نحصل على حلقة تكسير منكويسكي (Minkowski island Fractal) ؛ حيث يتم استبدال كل ضلع من أضلاع المربع بالمولد فنحصل على الهوائي المكسر المبين، بالشكل (2b).



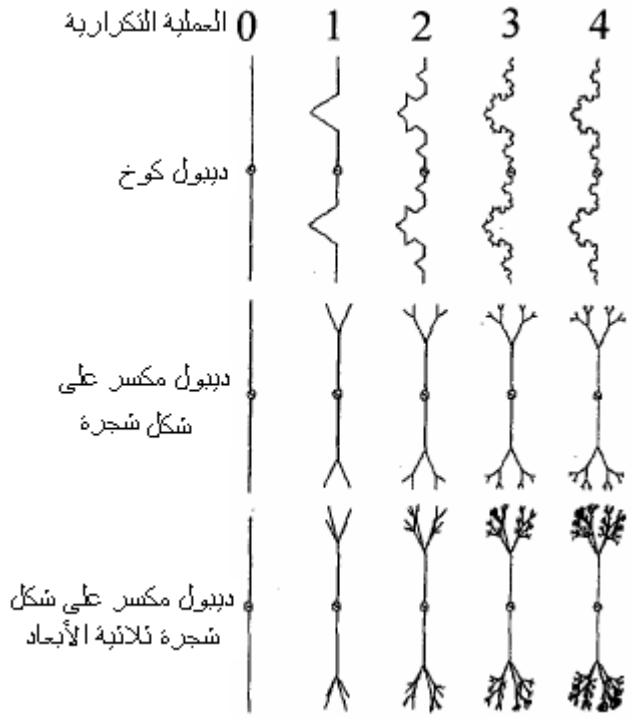
الشكل (2b) منحني التكسير لمنكويسكي

كما يستعمل التكسير في زيادة ممانعة دخل الهوائي الحلقي ؛ حيث يتم توليد هذا الشكل بطريقة مشابهة لتشكيل حلقة منكويسكي، ما عدا أن المولد مكون من أربع قطع (تكسير كوخ) بدلا من خمسة متساوية الطول (تكسير منكويسكي) ، وبالتالي نحصل على عامل تكسير يحدد بالعلاقة (5) . يبين الشكل (3) حلقتي كوخ تشكل الهوائي المكسر الذي يمس من الداخل الهوائي الحلقي ، وبالتالي تزداد مقاومة الهوائي الحلقي من 1.17Ω للهوائي الحلقي ذي الطول $0.26\ \lambda$ إلى $26.7\ \Omega$ لحلقة كوخ ذات الطول $0.68\ \lambda$. وبالتالي يسهل عملية توافق الهوائي .

كما يستخدم التكسير في الهوائي الديبولي لتحسين عامل جودة الهوائيات بزيادة نسبة امتلاء الفراغ بالهوائي المكسر مع المحافظة على الطول الذي يشغله ، وهناك ثلاثة أنواع من الهوائيات الديبولية المكسّرة وفقا لتكسير كوخ مبينة بالشكل (4) .

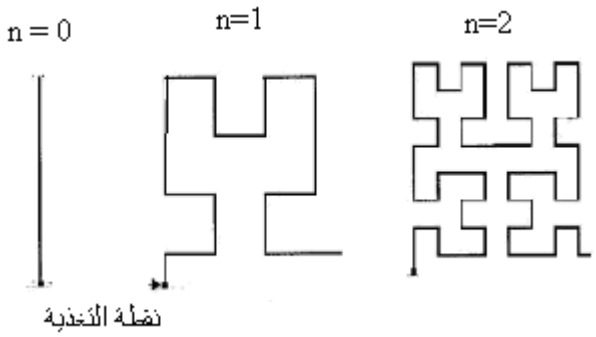


الشكل (3) حلقة كوخ لتكبير ممانعة دخل الهوائي الحلقي



الشكل (4) ثلاثة أنواع من الهوائيات المكسرة وفقا لكوخ لتحسين جودة الهوائيات

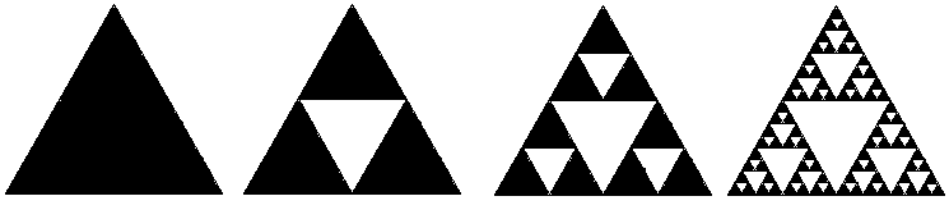
كما يوجد أنواع عديدة من التكسيرات الخطية منها التكسير وفق منحني هلبرت (Hilbert) [6] المبين بالشكل (5)



الشكل (5) تكسير وفق منحني هلبرت

2 – التكسير السطحي : [10] و [11].

الأشكال السطحية القابلة للتكسير المنتظم هي الشكل المثلثي، واالشكل المربع وهي الأشكال التي تستخدم لتحقيق الهوائيات المسطحة (المطبوعة) ، وقد درس هذا التكسير العالم سيربنسكي (Sierpinski) ، لننطلق أولا من الشكل المثلثي متساوي الأضلاع، ونزيل منه مثلثاً من منتصفه، كما هو مبين بالشكل (6a) وبفرض أن عدد المثلثات السوداء الباقية بعد nعملية تكسير هي N_n ، و L_n طول ضلع كل مثلث ، والمساحة السوداء المتبقية بعد n عملية تكسير هي A_n .



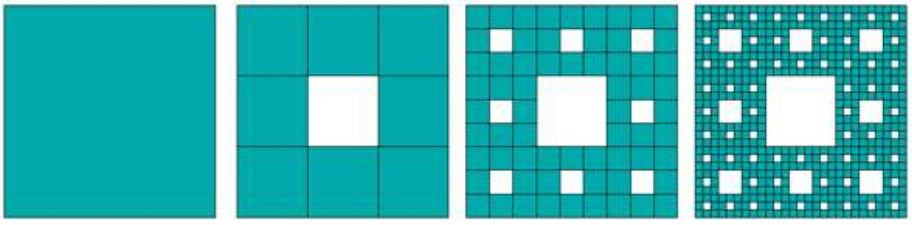
الشكل (6a) هوائي رقعي مثلثي مكسر وفقا لسيربنسكي

يمكن حساب عامل التكسير بالشكل التالي :

$$N_n = 3^n \quad , \quad L_n = (1/2)^n = 2^{-n} \quad , \quad A_n = L_n^2 N_n = (3/4)^n$$

$$D = -\lim_{n\to\infty}(\ln N_n / \ln L_n) = -\lim_{n\to\infty}(\ln 3^n / \ln 2^{-n}) = \ln 3/\ln 2 = 1.58$$

أما بالنسبة للشكل المربع المبين بالشكل (6b) فإنه باستخدام نفس الرموز المستخدمة في الشكل المثلثي يمكن حساب عامل التكسير .



الشكل (6b) هوائي رقعي مربع الشكل بعد ثلاث عمليات تكسير وفقا لسيربنسكي

$$N_n = 8^n \quad , \quad L_n = (1/3)^n = 3^{-n} \quad , \quad A_n = L_n^2 N_n = (8/9)^n$$

$$D = -\lim_{n\to\infty}(\ln N_n / \ln L_n) = -\lim_{n\to\infty}(\ln 8^n / \ln 3^{-n}) = \ln 8/\ln 3 = 1.89$$

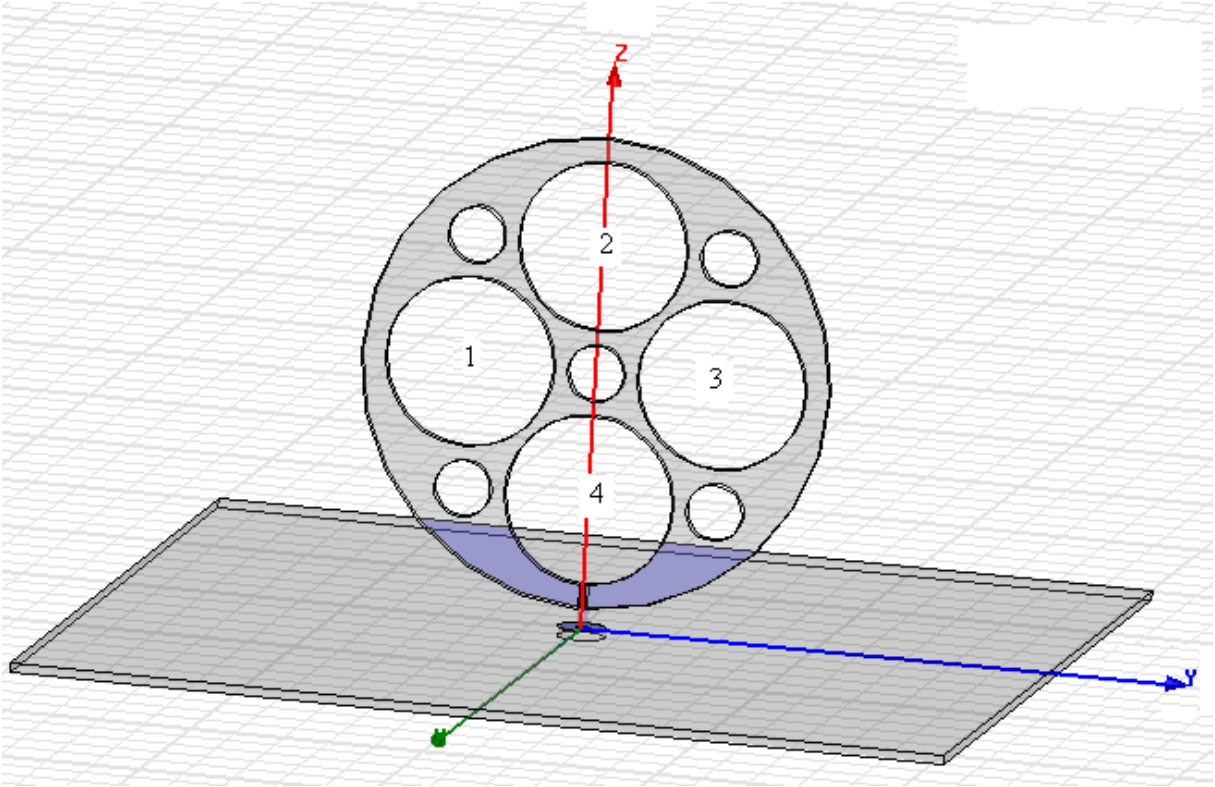
أما الشكل الدائري فيمكن تكسيره بطرائق غير منتظمة، وقد تم ذلك في العديد من المراجع العلمية حيث تم تشكيل هوائي مطبوع مكسر على شكل حلقات دائرية بأقطار مختلفة [14] ، أو على شكل حلقات من قطوع ناقصة [9] ، وفي بحثنا هذا سنجرب استخدام هوائي دائري مكسر كما سيشرح في الفقرة التالية

النتائج والمناقشة:

اختيار الشكل العام للهوائي وأبعاده:

يبين الشكل (7) الهوائي المختار المكون من قرص دائري نصف قطرة r = 5 cm الذي يجب أن يحدد أدنى تردد يمكن أن يعمل لديه، ومن إجراء عملية التكسير عليه وإثبات أن ذلك يؤدي إلى انخفاض التردد المنخفض الذي يعمل عليه ، ومعنى ذلك استخدام أبعاد أصغر لنفس الترددات التي يعمل عليها، وإثبات أن عملية التكسير تقلل أبعاد الهوائي ، واختير سماكة قرص الهوائي مساوية لقطر المغذي SMA والبالغ 0.12 cm ، وتم تغيير طول المغذي SMA بحيث يؤمن التوافق لهذا الهوائي . وركّب على قاعدة معدنية مسطحة أبعادها (10 × 10) سم . ويتم تغذيته بكبل محوري عبر المغذي SMA .

إن استخدام هوائي رقعي على شكل قرص في السيارات يتعرض إلى تأثير الرياح عليه ، بينما يتم تفريغ أجزاء منه دون المساس بخواصه الإشعاعية والكهربائية يؤدي إل تقليل أثر الرياح عليه ، وإذا تم تصنيعه على شكل دارة مطبوعة ، يمكن أن يتم لصقه على هيكل السيارة دون أن يشوهه .



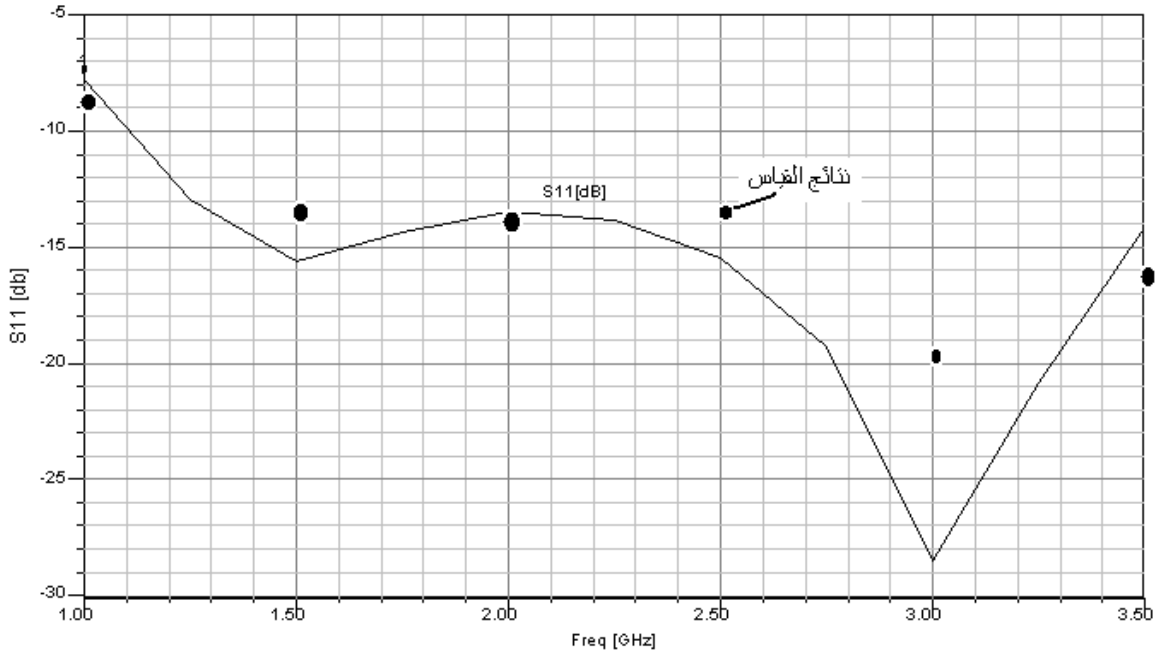
الشكل (7) الهوائي الرقعي الدائري المدروس

أثناء النمذجة وجد أن نصف قطر القرص اللازم 25mm لتحقيق مجال عريض من الترددات يبدأ من 1000 MHz ويتجاوز تردده العلوي 3.500 GHz وهذا المجال كاف لمعظم الاتصالات الأرضية والمتنقلة .

في البداية تم تفريغ الدائرتين 1 و 3 ودرست الخواص الترددية له وأثر قطر كل من الدائرتين، وتبين أن قطر كل دائرة ليس له أثر يذكر، إلا عندما يقترب من نصف قطر القرص الأساسي ، وكذلك درس أثر تغير قطر المغذي لتحقيق أفضل توافق ، وكان ذلك عند $m = 1.2\ mm$.

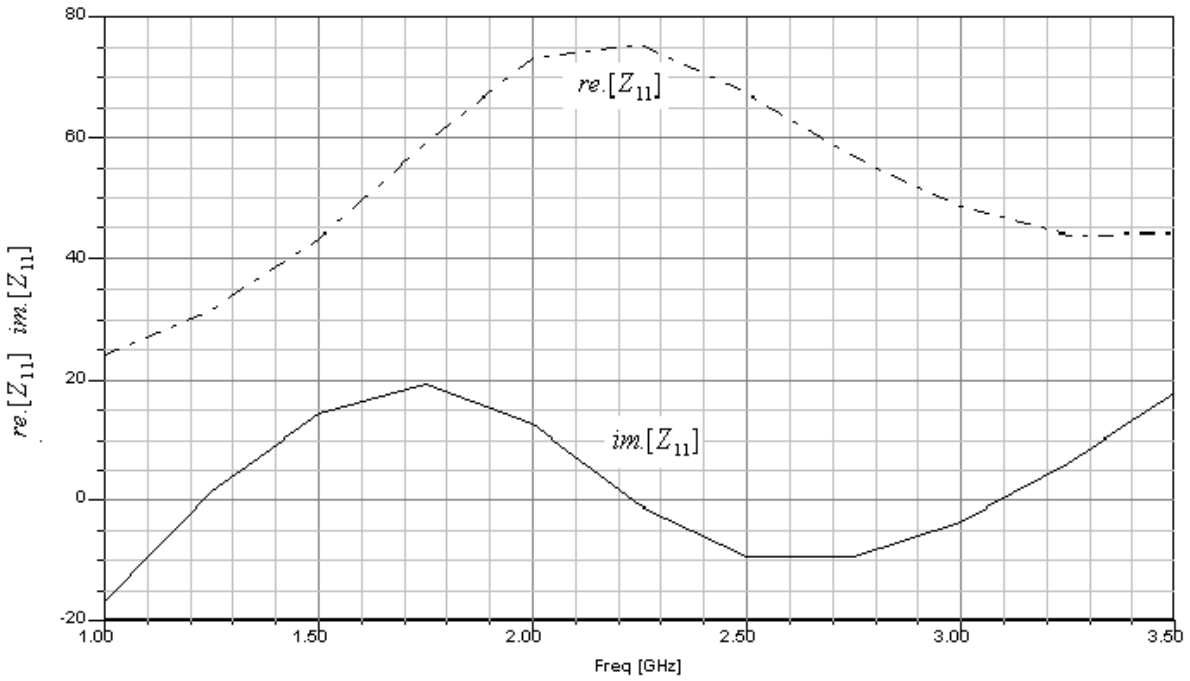
كما درس أثر تفريغ الدائرتين 2 و 4 كما في الحالة السابقة ، ومن ثم أثر تفريغ القرص بالدوائر الأربعة ، واستعمل برنامج HFSS لحساب فقد العودة Return loss بالديسبل لجميع أنواع الهوائيات المدروسة ، كما حسبت خواص كل هوائي وكذلك تم تغيير طول المغذي من 0 mm إلى 2mm لاختيار الطول المناسب لكل شكل مدروس ليحقق أفضل توافق للهوائي ، وبالتالي يمكن التخلص من دارات التوافق المطلوبة والصعبة التحقيق، لكونها يجب أن تعمل عند مجال ترددي عريض .

ويبين الشكل (8) الخواص الترددية للهوائي الرقعي بعد أول عملية تكسير، بإزالة أربع دوائر منه، وقد تم تغيير طول المغذي للحصول على أفضل عرض مجال، وكان عندها الطول 2mm .



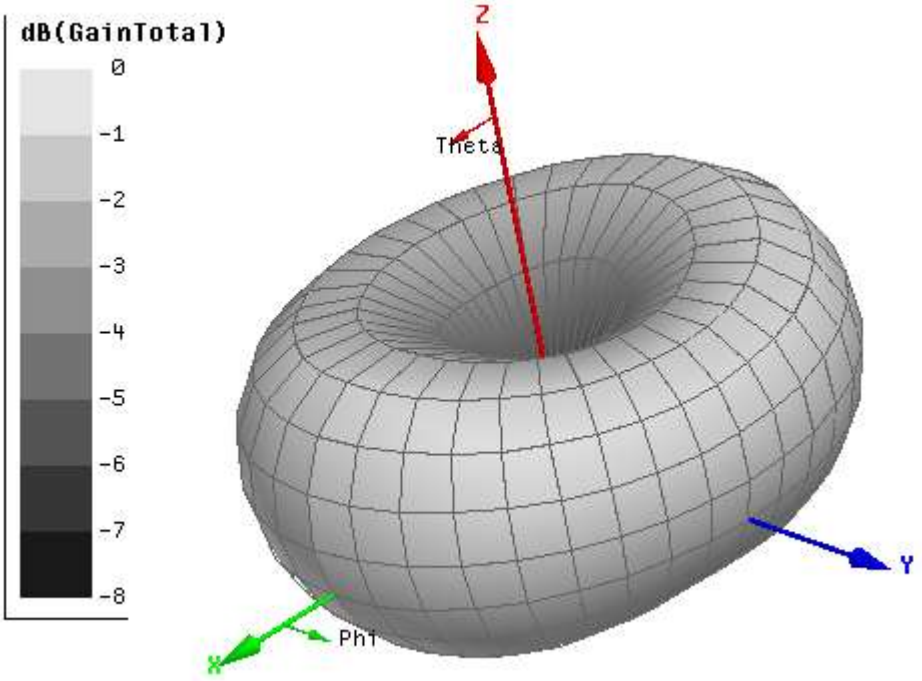
الشكل (8) علاقة فقد العودة Return loss بالتردد $S_{11}[dB]$
للهوائي الرقعي خلال التكسير الأول بأربع دوائر (1 – 4)

أما علاقة ممانعة الدخل $re.[Z_{11}], im.[Z_{11}]$ بالتردد فموضحة بالشكل (9)



الشكل (9) علاقة ممانعة دخل الهوائي $re.[Z_{11}], im.[Z_{11}]$ بالتردد

المخطط الإشعاعي للهوائي عند التردد (1500 MHz)موضحة بالشكل (10) ؛ حيث نلاحظ أنه أيزوتروبي في المستوى الأفقي ، بينما يتوجه الإشعاع الأعظمي بزاوية تقع فوق الأفق في الاتجاه الشاقولي، وهو المخطط الإشعاعي المطلوب في حالة استخدامه في الاتصالات المتنقلة الأرضية ، كما ذكر في المقدمة

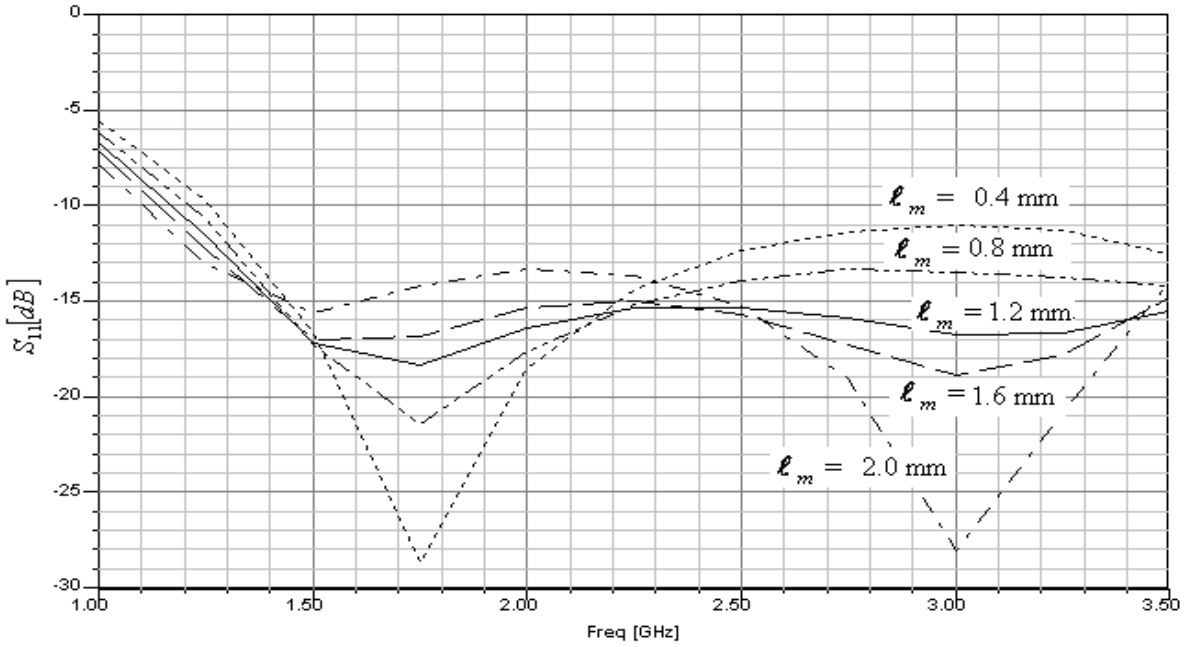


الشكل (10) المخطط الإشعاعي عند التردد 1500 MHz

الجدول (1) التالي يوضح خواص الهوائي :

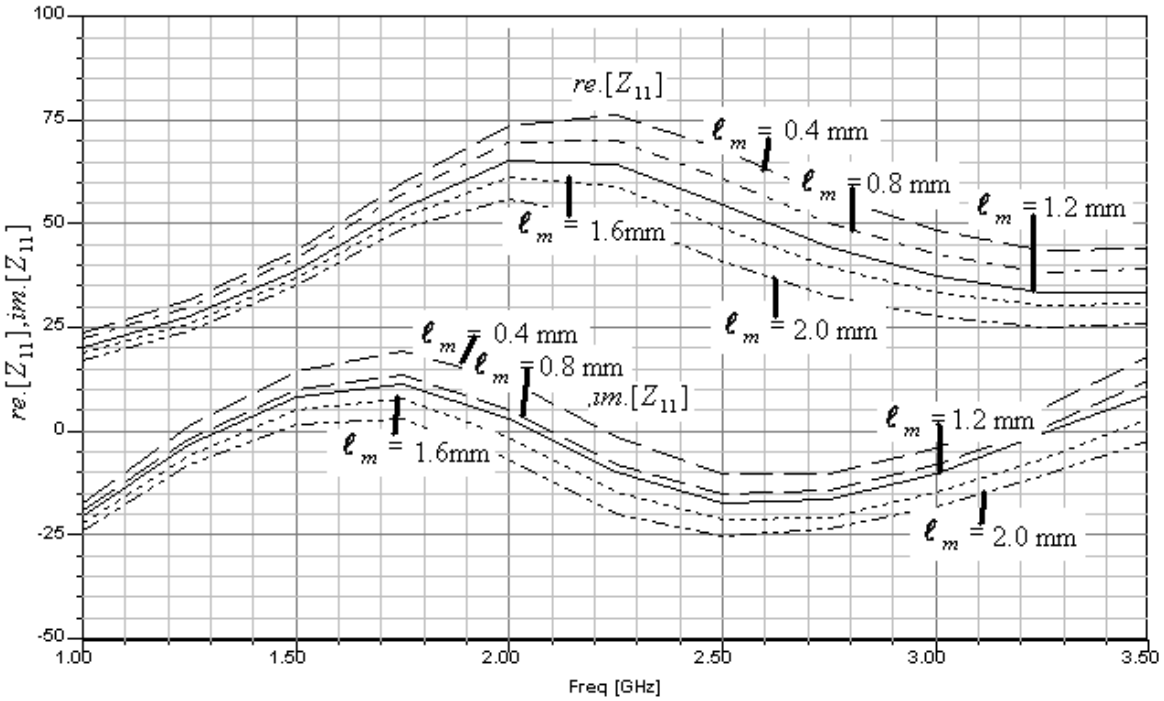
Quantity	Value	Units
Max U	0.068391	W/sr
Peak Directivity	0.97055	
Peak Gain	0.88393	
Peak Realized Gain	0.85944	
Radiated Power	0.88553	W
Accepted Power	0.97229	W
Incident Power	1	W
Radiation Efficiency	0.91076	

ويبين الشكل (11) الخواص الترددية للهوائي الرقعي بعد ثاني عملية تكسير، بإزالة خمس دوائر أصغر من الأربعة السابقة منه، وقد تم دراسة أثر تغيير طول المغذي للحصول على أفضل عرض مجال، كما هو واضح من الشكل (11) .



الشكل (11) علاقة فقد العودة Return loss $S_{11}[dB]$ بالتردد وبطول المغذي $\ell_m = 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, 2.0\, mm$ للهوائي الشكل (7)

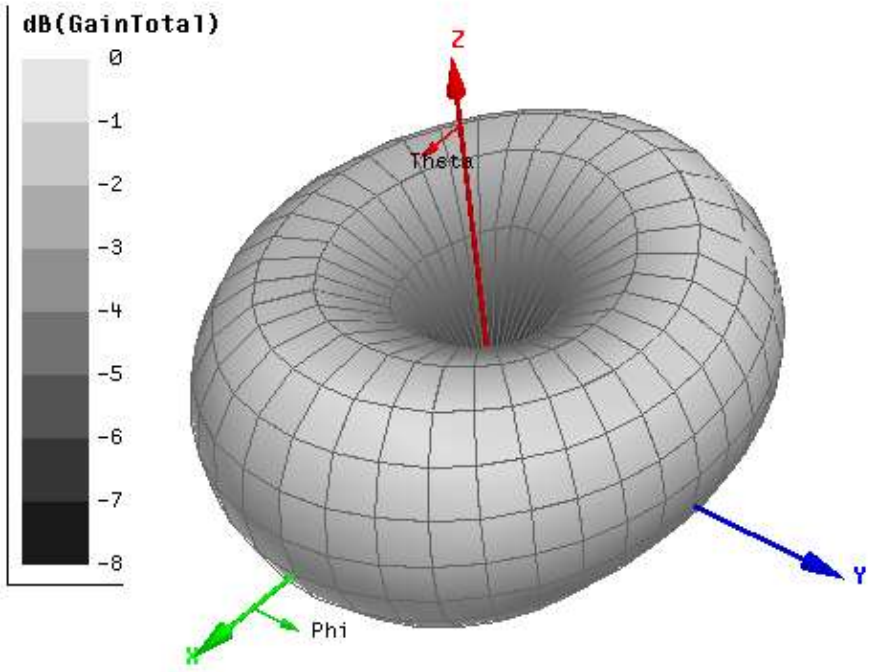
أما علاقة ممانعة الدخل $re.[Z_{11}], im.[Z_{11}]$ بالتردد وبطول المغذي $\ell_m = 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, 2.0\, mm$ فموضحة بالشكل (12)



الشكل (12) علاقة ممانعة دخل الهوائي $re.[Z_{11}], im.[Z_{11}]$ بالتردد وبطول المغذي

$$\ell_m = 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, 2.0\, mm$$

المخطط الإشعاعي للهوائي عند التردد (1500 MHz)موضح بالشكل (13) ؛ حيث نلاحظ أنه شبيه بالمخطط الإشعاعي في الحالة الأولى .



الشكل (13) المخطط الإشعاعي عند التردد 1500 MHz وطول المغذي 2mm

أما خواص الهوائي فكانت قريبة جدا من الموضحة بالجدول (1) مع فرق بسيط هو أن كفاءة الإشعاع قلت بشكل طفيف جداً، بسبب نقص مساحة السطح المشع .

دراسة أثر مساحة الأرض :

لكي لا يؤثر هيكل السيارة على المخطط الإشعاعي للهوائي، تم اعتبار أن الأرضي الخاص بالهوائي عبارة عن صفيحة من النحاس مربعة الشكل طول ضلعها 10 cm ؛ حيث من المطلوب أن يكون الهوائي أصغر ما يمكن، على الرغم من أن سطح الأرضي يركب على هيكل السيارة ذي السطح الواسع، مما يمكّن من تركيبه بسهولة . تم دراسة أثر تصغير مساحة الأرضي وكانت النتائج على الشكل التالي :

تم تصغير حجم الأرضي إلى cm (8 * 8) واستبدل السطح المتبقي بالحديد (باعتبار أن هيكل السيارة مصنع من الحديد) ، فلم تتتأثر خواص الهوائي الترددية والإشعاعية .

تم تصغير حجم الأرضي إلى cm (5 * 5) فكان التأثير على التردد معدوماً، بينما انزاح اتجاه الإشعاع الأعظمي باتجاه الأفق .

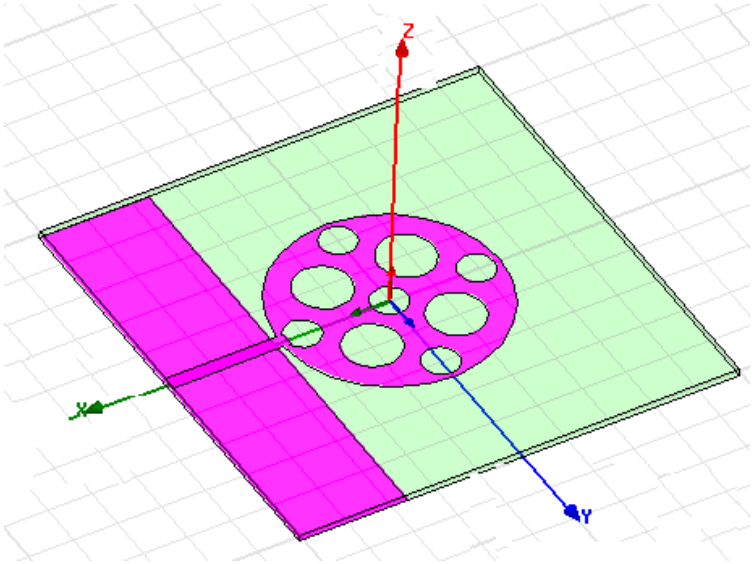
تم تصغير حجم الأرضي إلى cm (5 * 3) من النحاس والباقي من الحديد فساء فقد العودة عند المجال الترددي العالي بشكل ملحوظ أكثر من حالته عند المجال المنخفض (و هذا يؤدي إلى خلل بالشرط الأساسي لتصميم الهوائي) .كما انحرف الإشعاع الأعظمي باتجاه الأفق .

دراسة أثر تغطية الهوائي بمادة عازلة :

لحماية الهوائي من مؤثرات الطبيعة أثناء استخدامه . تم تغطية الهوائي بمادة عازلة (اسفنجية) ثابت عازليتها قريب من الواحد، فلم تتأثر الخواص الإشعاعية والترددية للهوائي . أما عند استعمال مادة ذات ثابت عازلية كبير، فإن فقد العودة يسوء بشكل ملحوظ عند جميع الترددات بسبب أن الإشعاع الكهرطيسي يتم من ناقل إلى عازل ومن ثم من العازل إلى الهواء ، وبالتالي يقل التوافق بين ممانعة الهوائي وممانعة الهواء الخارجي .

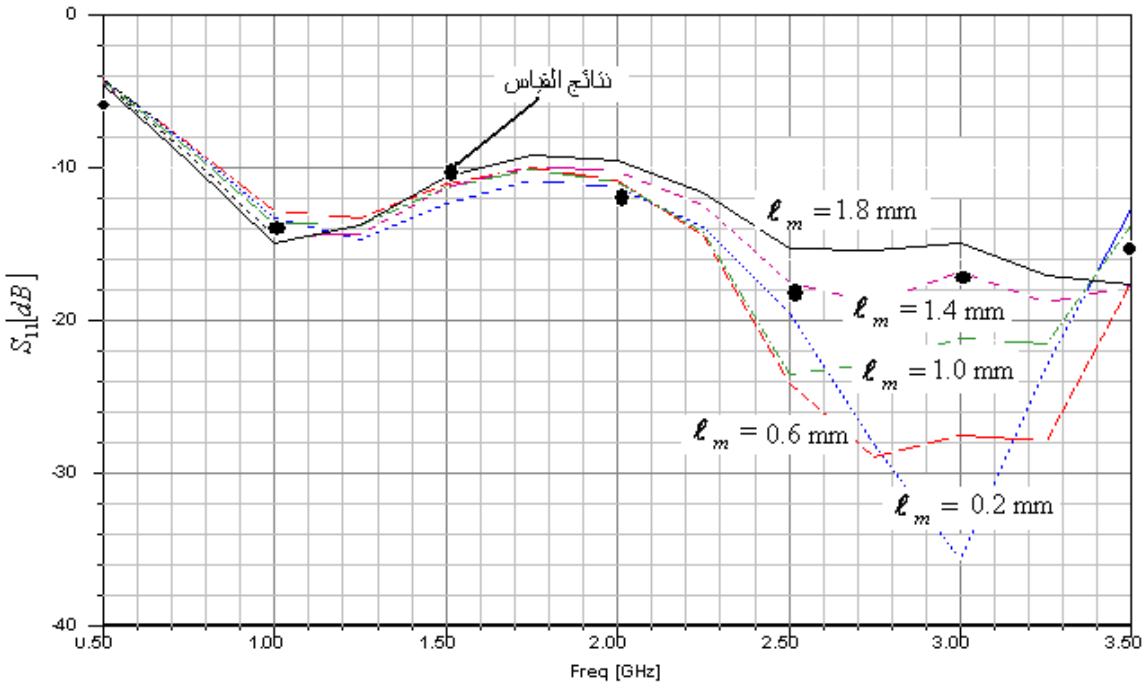
دراسة إمكانية تحقيق الهوائي على شكل دارة مطبوعة [9] ***:***

يبين الشكل (14) طريقة تحقيق الهوائي على شكل دارة مطبوعة على حامل عازل له ثابت عازلية 2.7 ، وسماكته 1.6mm ، ويغذى بناقل شرائحي ممانعته 50Ω بينما فرض أن سماكة السطح الناقل المشكل للهوائي والأرض والناقل الشرائحي الذي يغذي الهوائي معدومة ، كما درس أثر تغير طول المغذي (البعد بين الناقل الشرائحي الذي تقع الأرض تحته، والهوائي الرقعي الذي لا يوجد تحته أرض) على تحقيق توافق عريض المجال لهذا الهوائي .



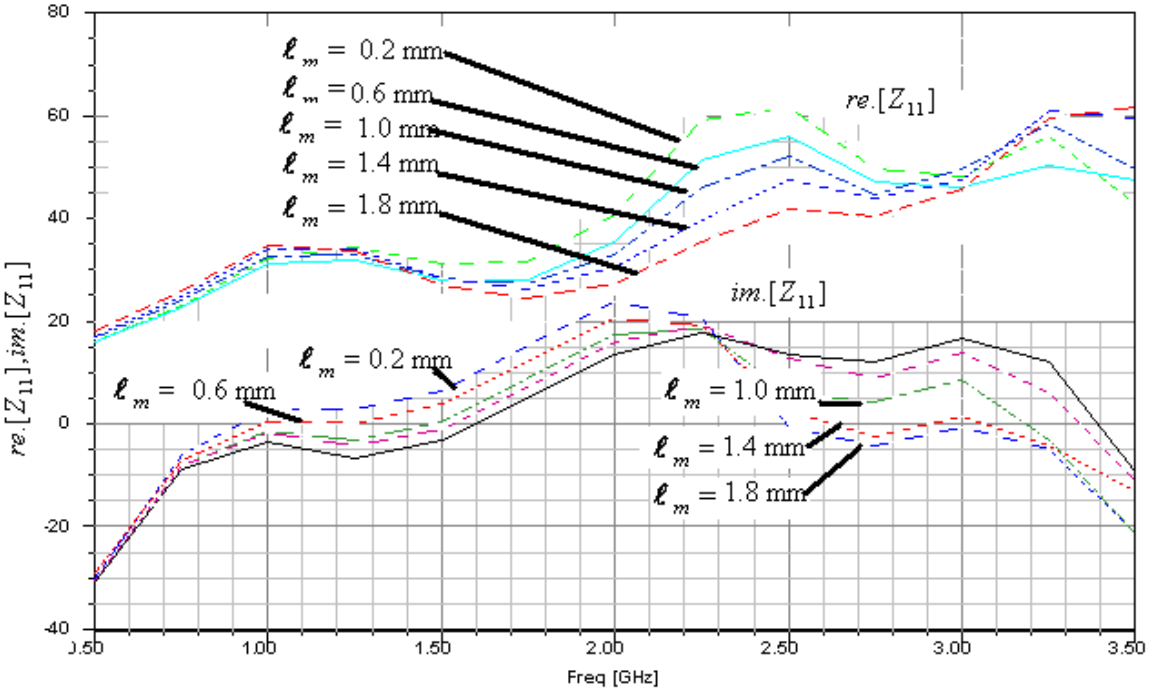
الشكل (14) هوائي دائري مكسر مطبوع عريض المجال

أما الخواص الترددية له وعلاقتها بطول المغذي فموضحة بالشكل (15) ؛ حيث نلاحظ أن طول المغذي يعتبر أفضل طول مناسب للتوافق .



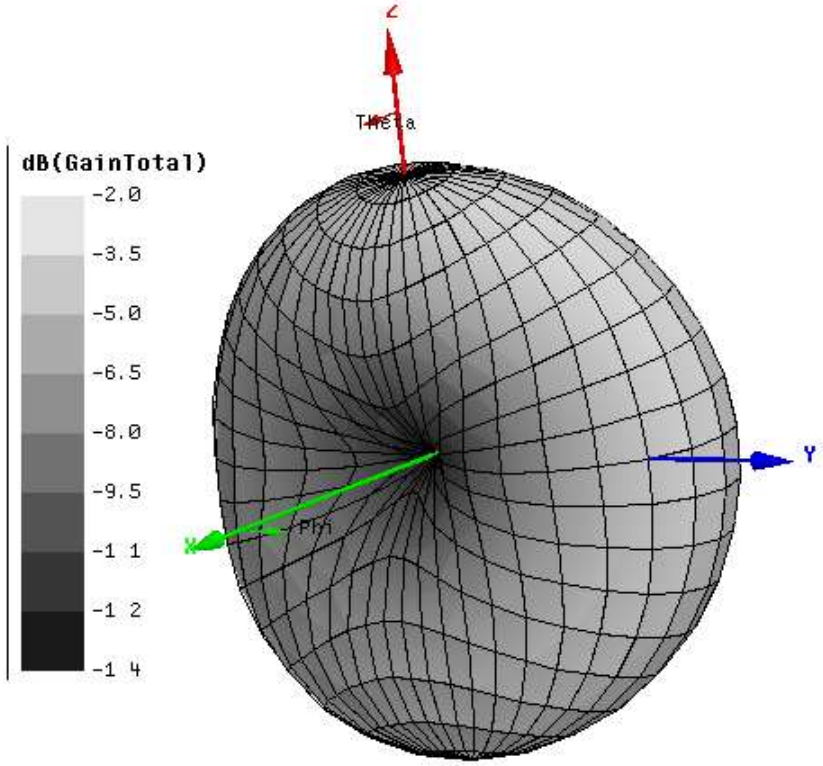
الشكل (15) الخواص الترددية [علاقة فقد العودة Return loss $S_{11}[dB]$ بالتردد وبطول المغذي $\ell_m = 0.2, 0.6, 1.0, 1.4, 1.8 mm$] للهوائي المبين في الشكل (14)

تغير ممانعة الدخل للهوائي $re.[Z_{11}], im.[Z_{11}]$ مع التردد وطول المغذي $\ell_m = 0.2, 0.6, 1.0, 1.4, 1.8 mm$ فبينة في الشكل (16) .



الشكل (16) ممانعة دخل الهوائي الدائري المطبوع $re.[Z_{11}], im.[Z_{11}]$

بينما يبين الشكل (17) الخواص الإشعاعية له عند التردد 1500 MHz .



الشكل (17) المخطط الإشعاعي للهوائي الدائري المطبوع عند التردد 1500MHz

تم تنفيذ الهوائي المبين بالشكل (7) و الهوائي المطبوع المبين بالشكل (14) و قياس فقد العودة له، و تم تثبيت نتائج القياس بنقط على الشكلين (8 , 15)، و قد بينت النتائج العملية تأثّر $S_{11}dB$ بطريقة ربط مجس التغذية للهوائي و تثبيته بصفيحة الأرضي . و لكن كانت القياسات العملية مطابقة تقريباً للحسابات النظرية عند معظم الترددات التي أجريت عندها القياسات.

الاستنتاجات والتوصيات:

بينت الدراسة إمكانية تحقيق هوائي دائري مكسر ومسطح عريض المجال الترددي، يصلح لاستخدامه لأنواع متعددة من الاتصالات المتنقلة الحديثة .

2- من خلال تغيير أبعاد الهوائي ونسب التكسير يمكن ضبط المجال الترددي المطلوب .

3- أثبتت الدراسة أن الهوائي المسطح وحيد القطب الدائري الشكل والمكسر هو الشكل المناسب لتحقيق أقصر هوائي يمكن أن يحقق أدنى تردد مطلوب (طول الهوائي أقل من ربع طول الموجة بكثير مقدار التقصير بلغ 40%) .

4- تأثير الرياح على الهوائي المكسر أقل من تأثيره على الهوائي المصمت .

5- يمكن تصنيع الهوائي الدائري المكسر على شكل دارة مطبوعة أو لصقه مباشرة على زجاج السيارة .

6- إن طلي الهوائي بمادة عازلة رقيقة ثابت عازليتها قريبة من الواحد لا يؤثر على خواص الهوائي الترددية والإشعاعية .

7- أن استخدام المغذي كعنصر توافق يزيد من عرض مجال الهوائي ويقلل تكلفة تصنيع دارات التوافق عريضة المجال .

المراجع:

1) GSCHWENDNER, E. *Breitbandig Multifuktions Antennen für den konformen Einbau in Kraftfahrzeuge*, Institut für Hochfrequenztechnik und Elektronik, Universität Karlsruhe (TH), 2001,191 .

2) WONG, K.L. *Compact and Broadband Micro strip Antennas*, John weley & sons , inc. 2003 , 335.

3) KUMAR ,G.; RAY, K.P. *Broadband Micro strip Antennas* , Artech House , inc. 2003 , 415.

4) WATEWHOUSE ,R.B. *Micro strip Patch Antennas*, A Designer's Guide RMIT University Academic Publishers 2003 , 418 .

5) ALI ,M.; HWANG,H.S.; SITTIRONNARIT,T. *Design and Analysis of an R-Shaped Dual-Band Planar Inverted-F Antenna for Vehicular Applications*, IEEE Transactions on Vehicular Technology , Vol.53 , No. 1 , 1,Jan. 2004 , 29 – 37.

6) MURAD, N. A.; ESA, M.; YUSOFF, M. ; ALI, S. H. A. *Hilbert Curve Fractal Antenna for RFID Application*, International RF and MW Conference Proceedings, Putrajaya, Malaysia, September 12-14, 2006,182-185.

7) SARAMANIAM, K.; ESA, M.; SUBAHIR, S. *Compact Printed Square Meander Loob Antenna for Bluetooth Headset* , Proceeding of the 2005 Asia Pacific

Conference on Applied Electromagnetics (APACE2005), Johor Mahru Hohor , Malaysia, 20-21 December, 2005, 86-90.

8) DA COSTA, K.Q.; DMITRIEV, V. *Theoretical Analysis of a Modified Koch Monopole with Reduced Dimensions*._ IEE Proc.-Microw., Antennas Propag., Vol.153 , No.5, 475-479.

9) PANOUTSOPOULOS, B. *Printed Circuit Fractal Antennas*. IEEE,0 -7803 -7721 -4 / 03 , 2003,288-289.

10) SONG, N.S. ; CHIM, K.L. ; LIANG, D. B. ; ANYI ,M. *Design of Broadband Dual-Frequency Microstrip Patch Antenna with Modified Sierpinski Fractal Geometry*._ IEEE, 1 – 4244 - 0411- 8/06 , 2006,182-185.

11).RIUS, J.M. ; MOSING, J. R. *Method of Moments Enhancement Tchnique for the Analysis of Sierpinski Pre-Fractal Antennas.* ,IEEE Transaction on Antennas and Propagation, Vol.51,No.8,August 2003 ,1872-1875.

12) SONG, C.T.P.; HALL, P. S.; GHAFOURI-SHIRAS, H. ; WAKE, D. *Quasilog Periodic Circular Ring Monopole Antenna*, in AP2000 Conference, 391 – 393.

13) DONNAN, R.; TANG, H.; PARINI,C. *Feed Gap Influence for Printed Multiple Ring Fractal Antennas*. IEEE, 0 – 7803 – 9128 – 4 / 05 , 2005 .

14) TANG, H.; DONNAN, R. ; PARINI, C. *Printed Multiple Ring Fractal Antennas*. IEEE, 0 -7803 – 9015 - 6/05 , 2005,489-492.

15) WERNER, D.; GANGULY, S. *An Overview of Fractal Antenna Engineering Research* . IEEE Antennas and Propogation Magazine ,Vol.45,No.1.Februery 2003,38-57.

References:

[1] Safwan AlAssaf, *Towards Better Climatic Responses in Architectural and Urban Design,* College of Architecture, Al Baath University,2002.

[2] Safwan AlAssaf, *An Intelligent Spatial Data Base for Strategic Housing Management*, International Regional and Planning Studies / Middle East Forum, 1996, 41-61.

[3] Safwan AlAssaf, *Methods of Predicting Housing Requirements for Local Housing Policy in Syria ,* Beirut Arab University Publication, 1995,137-155.

[4] Safwan AlAssaf, *A Conceptual Model for housing Planning Information System,* Arab Cities Organization (G.C.A.C.O) 10th, Dubai 3, 1994, 2475-2524.

[5] Safwan AlAssaf, *Data and Information requirements for Housing Planning,* Arab Cities Organization (G.C.A.C.O) 10th, Dubai 3,1994, 2445-2473.

[6] 1) GSCHWENDNER, E. *Breitbandig Multifuktions Antennen für den konformen Einbau in Kraftfahrzeuge*, Institut für Hochfrequenztechnik und Elektronik, Universität Karlsruhe (TH), 2001,191 .

[7] 2) WONG, K.L. *Compact and Broadband Micro strip Antennas,* John weley & sons , inc. 2003 , 335.

[8] 3) KUMAR ,G.; RAY, K.P. *Broadband Micro strip Antennas* , Artech House , inc. 2003 , 415.

[9] 4) WATEWHOUSE ,R.B. *Micro strip Patch Antennas,* A Designer's Guide RMIT University Academic Publishers 2003 , 418 .

[10] 5) ALI ,M.; HWANG,H.S.; SITTIRONNARIT,T. *Design and Analysis of an R-Shaped Dual-Band Planar Inverted-F Antenna for Vehicular Applications,* IEEE Transactions on Vehicular Technology , Vol.53 , No. 1 , 1,Jan. 2004 , 29 – 37.

[11] 6) MURAD, N. A.; ESA, M.; YUSOFF, M. ; ALI, S. H. A. *Hilbert Curve Fractal Antenna for RFID Application*, International RF and MW Conference Proceedings, Putrajaya, Malaysia, September 12-14, 2006,182-185.

[12] 7) SARAMANIAM, K.; ESA, M.; SUBAHIR, S. *Compact Printed Square Meander Loob Antenna for Bluetooth Headset* , Proceeding of the 2005 Asia Pacific Conference on Applied Electromagnetics (APACE2005), Johor Mahru Hohor , Malaysia, 20-21 December, 2005, 86-90.

[13] 8) DA COSTA, K.Q.; DMITRIEV, V. *Theoretical Analysis of a Modified Koch Monopole with Reduced Dimensions*._ IEE Proc.-Microw., Antennas Propag., Vol.153 , No.5, 475-479.