

## تصميم وتصنيع وقياس هوائيين تجزيئيين (فان كوخ) يعملان على الترددتين 1GHz و 10GHz

الدكتور السموعل صالح\*

بدور شرشر\*

(تاريخ الإيداع 20 / 1 / 2016. قُبِلَ للنشر في 9 / 5 / 2016)

### □ ملخص □

تعتبر الهوائيات التجزيئية حالياً من أهم هوائيات الحزمة العريضة، نظراً لمعاملات التصميم التي تضيفها الهندسة التجزيئية على هذه الهوائيات. الطول اللانهائي بين نقطتين محددتين للهوائي التجزيئي والتشابه الذاتي الداخلي الذي يتميز به يقدمان هوائيات متعددة ترددات الرنين، عريض الحزمة، ويمكن أن تعمل على عدة تطبيقات بنفس الوقت. استخدام هوائي الدايبول السلبي على شكل منحنى فان كوخ قدم عدة ترددات رنينية، تم تصميم هذا الهوائي باستخدام برنامج NEC ثم تم تصنيع التصميم المقترح عملياً وتم قياسه في مخبر الهوائيات وانتشار الأمواج على الترددتين المركزيين 1GHz و 10GHz. النتائج العملية والنظرية متطابقة بدرجة جيدة جداً رغم ظروف التجربة غير المثالية. هذا التطبيق العملي للهوائي فان كوخ والقياس في مخبر الهوائيات يعطي إمكانية تصميم هذه الهوائيات وتنفيذها رغم الإمكانيات المحدودة في المخبر كما يمكن دراسة التغيرات التي تحصل على معاملات الهوائي من الريح وعرض الحزمة وممانعة الهوائي عند تغيير المعاملات التجزيئية للهوائي المقترح بحيث نحصل على الهوائي الأمثل.

**الكلمات المفتاحية:** هوائيات عريضة الحزمة، الهوائيات التجزيئية، التطبيق العملي والقياسات، معاملات التجزيء

\* أستاذ مساعد - قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية .  
\* قائم بالأعمال - قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية .

## Tow Fractal (Van-Koch)Antenna Design, fabricate and measured work on 1 GHz and 10 GHz

Dr. Saleh Alsamawal\*  
sharshar boudour\*

(Received 20 / 1 / 2016. Accepted 9 / 5 / 2016)

### □ ABSTRACT □

Fractal antenna are considered actually as the most important large band antenna, due to their design parameters that are based on fractal geometry. The long distance between two specific points of antenna and hisself similarity allow to obtain a multiple resonance frequencies (Wide Band), which is used for several application. The using of dipole antenna in form of Van-Koch curve offer multi-resonance antenna, the Nec simulator is used to design this antenna. The proposed antenna had been fabricated and measured in the antenna laboratory at two central frequencies 1GHz and 10 GHz. Both theoretical and experimental results were very closed in spite of imperfect experiment condition. The Van-Koch antenna fabrication and measurement in laboratory gives the possibility to designing and applying this antenna type, additionally we can study the change of antenna parameters ( gain, rayon diagram ... ) when the fractal parameters varies.

**Key words:** Large Band Antennas, Fractal Antennas, Fractal Parameter, Application and measurements.

---

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

\*Technician Member ,Department of communication and electronics Engineering, Faculty of Mechanical and electrical Engineering ,Tishreen University ,Lattakia ,Syria.

## مقدمة:

تستخدم الهندسة التجزئية لوصف أشكال في الطبيعة تتميز بخاصية التشابه الداخلي، وتعرف بأنها أجسام تجزئية. مثل هذه الأجسام لا يمكن وصفها بدقة باستخدام الهندسة الإقليدية، وإنما كانت تقرب إلى الأشكال المعروفة في الهندسة الإقليدية من هذه الاجسام الجبال والغيوم، التي تقرب عادةً إلى شكل مخروط أو كرة .  
تتمتع الأجسام التجزئية بخصائص هندسية نوعية، أهمها إمكانية وضع أو حصر منحنى لانهائي الطول ضمن منطقة محدودة. ويكون الشكل الناتج عبارة عن منحنى تجزئي يحوي أجزاء متشابهة، مما يجعلها مناسبة لتصميم الهوائيات متعددة الترددات .

تم استخدام الهندسة التجزئية من أجل تطوير تقنيات الاتصالات. لقد تم استخدام الأجسام التجزئية في مجال الهوائيات من أجل الحصول على عرض حزمة كبير أو على هوائي متعدد الحزم وفي مجال الاستشعار عن بعد تم استخدام هذه الأجسام لتوصيف الأجسام الطبيعية بدقة، كذلك تم استخدام الأشكال التجزئية السلكية والمسطحة والفراغية في مجال الهندسة المكروية والضوئية (مرشحات، هوائيات) بهدف زيادة الريح وإعطاء درجات حرية أكبر في التصميم

## أهمية البحث وأهدافه

اعتمدت القفزة النوعية لعلم الاتصالات وبشكل واسع على تطور آليات ولغات البرمجة وإقامها في مجال الاتصالات لإنشاء خوارزميات وبرامج لحل ونمذجة كل المسائل والمشاكل التي يمكن أن نواجهها مهما كانت معقدة. سرّعت هذه البرامج الحديثة وسهّلت الحصول على التصميم المناسب (هوائي، دليل موجة، مرشح...) ومن ثم تحليله وإيجاد عناصره التصميمية اللازمة من أجل هدف أو غاية ما. من هذه البرامج المستخدمة والمطورة باستمرار برنامج HFSS: High-Frequency Structural Simulator أو Nec: Numerical electromagnetic code.  
سنقوم في هذا البحث بدراسة وتصميم وتصنيع هوائي تجزئي يعمل على التردد 1Ghz واخر على التردد 10Ghz، باستخدام إحدى المحاكيات Nec ودراسة المخطط الإشعاعي وممانعة الهوائي وتغيراتها مع زيادة درجة التجزيء، بالإضافة إلى تصميم هوائي عملي وقياس برامتراته من مخطط اشعاعي وممانعة دخل ومقارنتها مع الهوائي المصمم وفق المحاكى Nec.

## طرائق البحث ومواده

### الهوائيات التجزئية

تعمل الهوائيات التجزئية على ملء الحجم نفسه الذي تشغله الهوائيات السلكية ولكن بطول أكبر بكثير، إضافة إلى أن الهوائيات التجزئية (الصغيرة و الطويلة ) تحل مشكلة عدم الفعالية في الهوائيات الصغيرة ذات الطول الأقل بكثير من طول الموجة، التي تنقص فيها مقاومة الإشعاع.  
تم اتباع الطريقة التجزئية في تصميم الهوائيات السلكية عندما لوحظ أن التشكيل التجزئي لعناصر هوائي خطي تضيف درجات حرية جديدة لتصميم الهوائيات، حيث أن الهوائي التجزئي يختلف في بنيته الهندسية عن الهوائي العادي بعدة عوامل إضافية، معاملات الجسم التجزئي، التي تسمح بزيادة عدد بارامترات التصميم للهوائي.

الهوائي التجزيئي يتكون بتجزئة الشكل الأساسي إلى أصغر فأصغر وفق عدة عوامل منها: البعد التجزيئي، درجة التجزئة، ومعامل تغير أبعاد الفجوات.

-البعد التجزيئي (fractal dimension): هو المعامل الأساس للجسم التجزيئي ويعبر عن بعد هذا الجسم وعن شكله أيضاً، ونستطيع أن نعبر عنه بالقانون التالي :

$$D = \frac{\log(N)}{\log(1/\rho)}$$

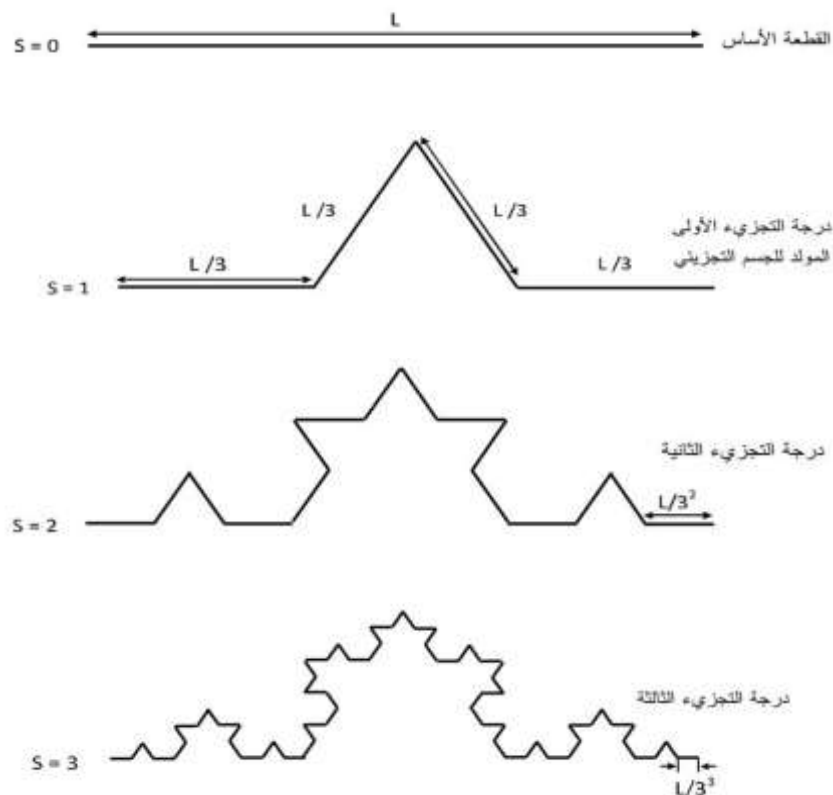
حيث أن N يمثل عدد القطع الموجودة في الجسم التجزيئي  $\rho$  يمثل درجة التقسيم لهذا الجسم  
2-درجة التجزئة (S): وهي عدد المرات التي يتكرر بها الجسم المولد في الجسم التجزيئي. تعتبر عملية التكرار في الحصول على الجسم التجزيئي أهم عملية في الهندسة التجزيئية والتي تبدأ من الدرجة S=0 التي تعبر عن الجسم الأساسي تليها مرحلة التجزئة الأولى والتي تعبر عن الجسم المولد للشكل التجزيئي، وتستمر حتى اللانهاية حيث تنعدم المادة أي تصبح قطع الجسم صغيرة جداً. هذه العملية تقوم بتطبيق علاقة البعد التجزيئي في كل مرحلة من مراحل التجزئة S.

3-معامل تغيير كثافة المادة في الجسم التجزيئي: يعبر عن توزع الفجوات داخل الجسم التجزيئي، ويطلق عليه أيضاً معامل تغير الفجوات في الجسم التجزيئي. تدرس تغيرات هذا المعامل من أجل قيم ثابتة للبعد التجزيئي ودرجة التجزئة، و لكنها تختلف بعض البعض بتوزيع الفراغات الموجودة ضمنها، أو بشكل آخر تختلف بتوزيع المادة أو بكثافة المادة ضمن درجة تجزئة ما للجسم.

هوائي أحادي قطب فان كوخ :

هوائي أحادي قطب فان كوخ هو هوائي بسيط ويعد أول هوائي صغير تجزيئي تم تصميمه الذي حسن ميزات بعض الهوائيات الكلاسيكية من ناحية عرض الحزمة وتردد الرنين ومقاومة الإشعاع. ويعتبر مثال جيد لتبيان ميزات الهوائيات التجزيئية في تحسين خواص أشكال الهوائيات السلكية العادية.

يوصف هذا الهوائي كمنحني متكسر كل جزء فيه مشابه للشكل الأساسي مما يجعله غير سلس الانسياب ويلتف بشدة ويزداد طوله عند كل تكرار بمقدار  $(4/3)N$ .



الشكل (1) شكل الهوائي عند درجات التجزيء الأولى والثانية والثالثة

يبدأ الهوائي بقطعة مستقيمة ذات طول  $L$  المحددة النهائيين، ثم نقوم بتقسيم هذه القطعة إلى ثلاثة أقسام متساوية بمعامل تقسيم  $\rho = 1/3$ ، نحذف القسم الأوسط ونستعيض عنه بقطعتين لهما نفس الطول  $\rho l = l/3$  وموضوعتين بشكل مثلث فينتج عندها درجة التجزيء  $S = 1$  أو ما يسمى بمولد الجسم التجزيئي. في درجة التكرار الثانية  $S = 2$  نقوم بتقسيم كل قطعة من المولد إلى ثلاثة أقسام و نكرر عملية الاستعاضة بعد حذف القسم الأوسط فيصبح طول كل قطعة مستقيمة في هذه الدرجة من التجزيء  $\rho^2 l = l/9$ ، ثم نقوم بتكرار العملية من أجل درجة التجزيء  $S = 3$  ويكون لدينا الطول  $\rho^3 l = l/27$  وبالنسبة لدرجة التجزيء  $S = 4$  يكون لدينا الطول  $\rho^4 l = l/81$  من خلال المناقشة السابقة يمكننا تحديد طول القطعة المستقيمة المكونة للدرجة  $S$  من درجات تجزيء الجسم حيث يمكن أن نكتب:

$$D = \frac{\log(N)}{\log(\frac{1}{\rho})} = \frac{\log(4)}{\log(3)} = 1.26186$$

إذاً في البداية يكون المنحى ذا طول  $l$  و يصبح ذا طول لانتهائي عند درجة تجزيء عالية جداً. يكون طول المنحى عند درجة تجزيء ما  $S$  هو  $(X_{V-S})$  معطى بالعلاقة الاستقرائية التالية:

$$X_{V-S} = (N \rho)^S l = (4/3)^S l$$

إذاً لهذا المنحي طول لانهائي متعدد القطع (الأطوال مختلفة) ولكن يبقى محدود النهايتين، وهذه الخاصية مهمة جداً في عملنا المتعلق بالهوائيات التجزيئية الخطية، حيث سنعتبر هذا المنحي دايبول محدود النهايتين ولكن بطول كبير تحده درجة تجزئته ومعامل تخميده.

### البيئة البرمجية Nec

هو اختصار لكلمة Numerical Electromagnetic Code وتعني الشيفرة العددية الكهرومغناطيسية وهو عبارة عن برنامج يستخدم لمحاكاة الهوائيات السلكية يقوم بتحليل الاستجابة الكهرومغناطيسية للهوائيات عن طريق كتابة شيفرة عددية تتضمن البارامترات الأساسية للهوائي ويمكن أيضاً تصميم الهوائي باستخدام الرسم وهي الطريقة الأسهل والأسرع. وقد تم شرح آلية عمله بالمرجع [9].

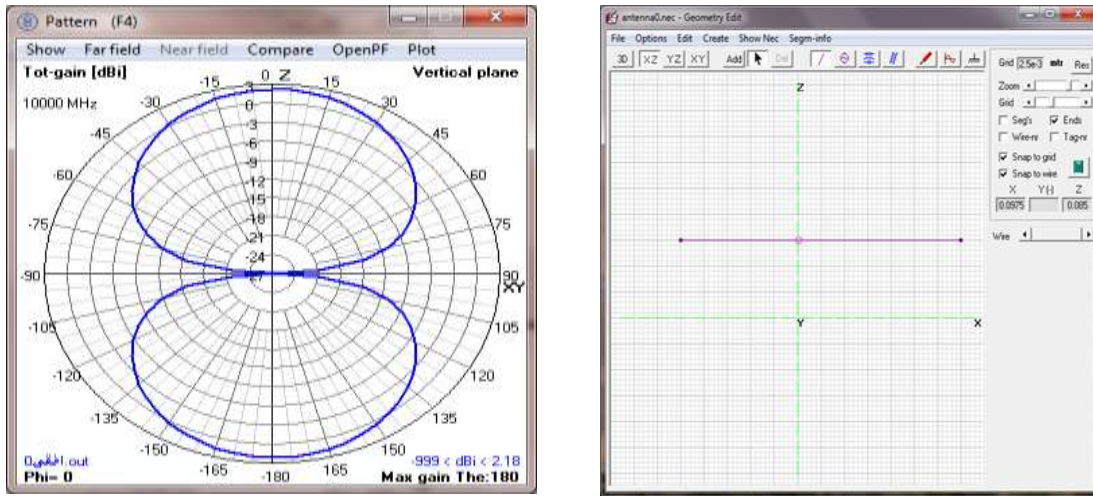
### النتائج والمناقشة

تصميم هوائي سلكي ( $\lambda/2$ ) على التردد 1GHz باستخدام برنامج 4nec2 من أجل البدء في تصميم الهوائي نقوم بتحديد التردد، وثم نقوم بحساب نصف طول الموجة ( $\lambda/2$ ) ويكون التردد مساو إلى 1 غيغا هرتز ونصف القطر المستخدم مساو إلى 1.02626 ونحسب طول الموجة من العلاقة التالية:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{1 \times 10^9} = 0.3 \text{ m}$$

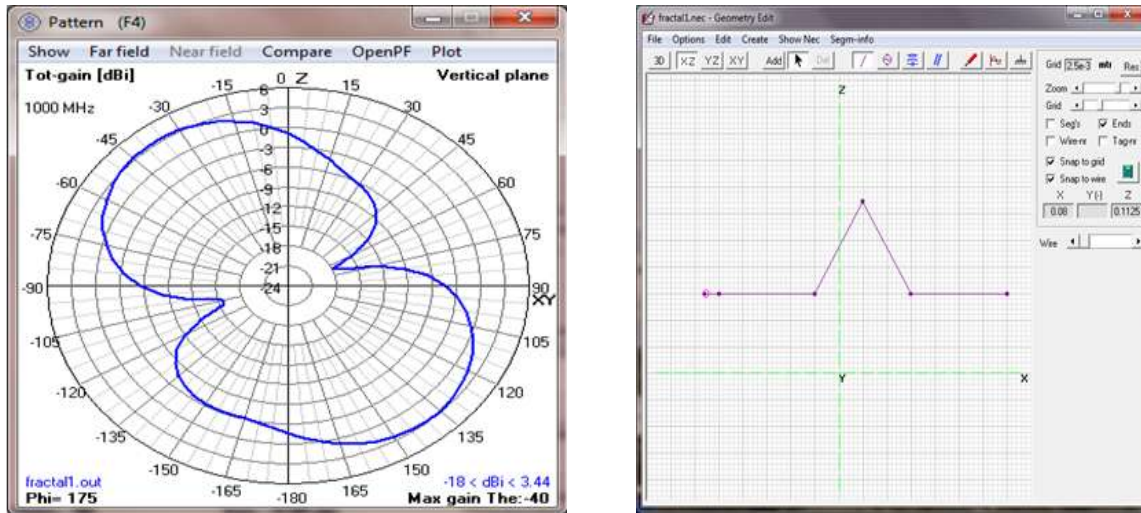
$$\frac{\lambda}{2} = \frac{0.3}{2} = 0.15 \text{ m}$$

بعد اختيار التردد نستطيع البدء برسم الهوائي الذي طولها مساو إلى نصف طول الموجة ونقوم بوضع التغذية في المنتصف. نقوم بأظهار المخطط الإشعاعي والمقاومة Z عن طريق الايقونة run nec فينتج:



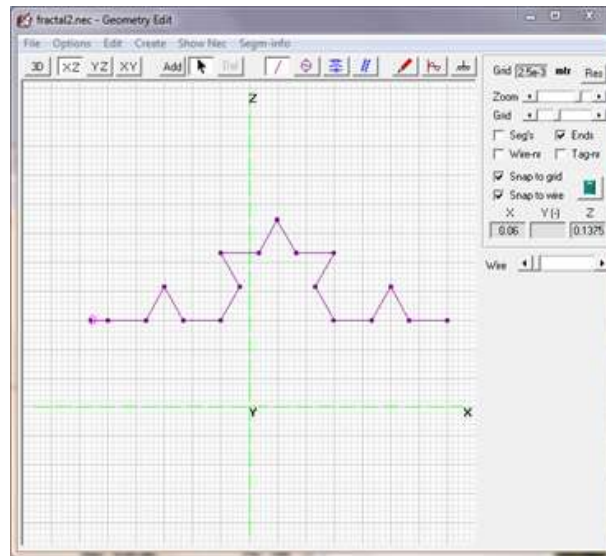
الشكل (2) الهوائي  $\lambda/2$  ومخطظه الإشعاعي

لتصميم الهوائي التجزيئي الآن سنقوم ببناء هذا الهوائي لذلك نختار عدد المقاطع التي نريدها وهو 3 مقاطع، ثم نحذف القطعة الموجودة في المنتصف ونضع مكانها خطين (سلكين) على شكل مثلث، ويكون لدينا شكل المخطط الإشعاعي كما في الشكل (3).



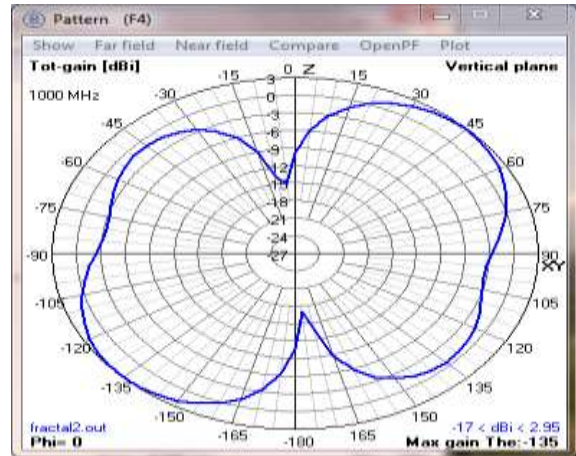
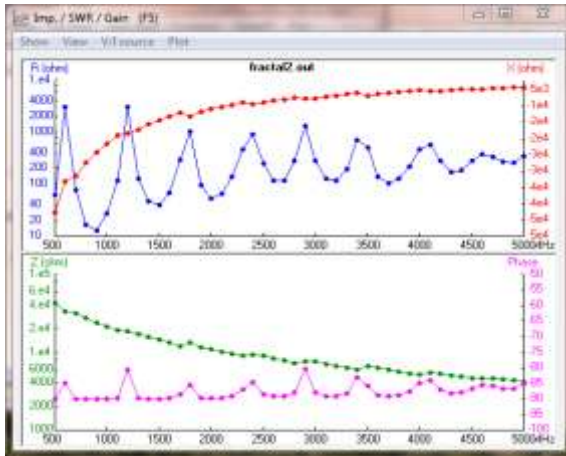
الشكل (3) الهوائي عند درجة التجزيء الأولى ومخططه الإشعاعي

للحصول على المستوي الثاني نقوم بتجزئة كل قطعة من المستوي الأول الى ثلاث مقاطع ونحذف القطعة في المنتصف لكل مقطع ونصل الطرفين فنحصل على الهوائي التجزيئي في المستوي الثاني والمبين بالشكل (4).



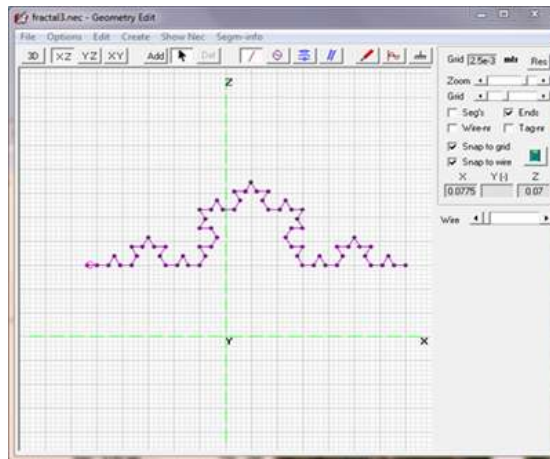
الشكل (4) شكل الهوائي عند درجة التجزيء الثانية

يكون مخططه الإشعاعي وممانعته مبينان بالشكل (5).



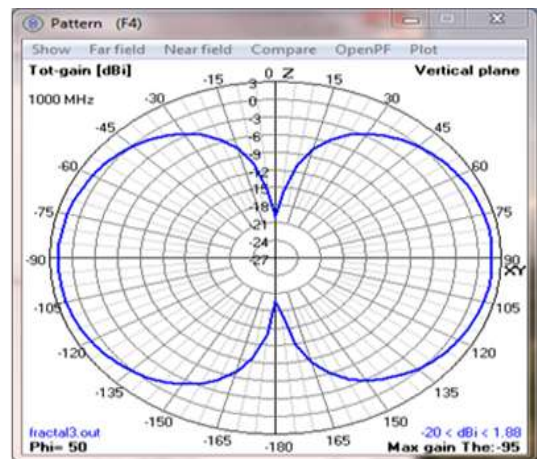
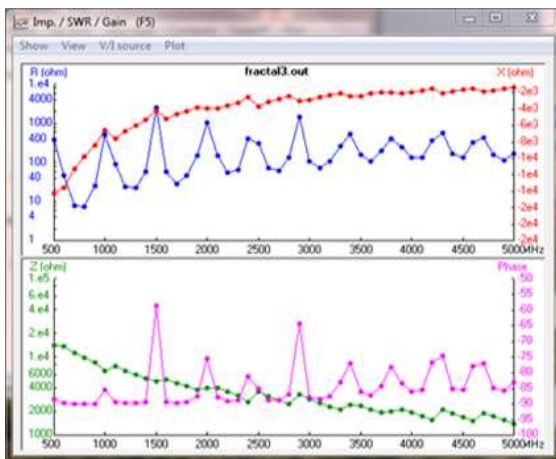
الشكل (5) المخطط الإشعاعي والممانعة عند درجة التجزيء الثانية عند التردد 1GHz

وبالنسبة للمستوى الثالث  $s=3$  نقوم بتجزئة كل قطعة في المستوى الثاني الى ثلاث مقاطع ونحذف القطعة في المنتصف لكل مقطع ونصل الطرفين فينتج الهوائي بدرجة التجزيء الثالثة كما في الشكل (6).



الشكل (6) شكل الهوائي عند درجة التجزيء الثالثة

يكون مخططة الاشعاعي وممانعته مبينان بالشكل (7).

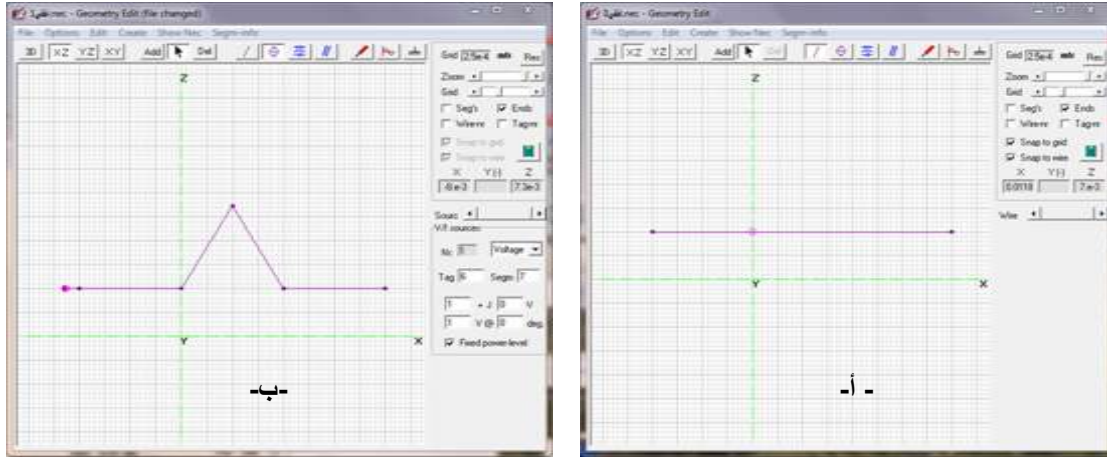


الشكل (7) المخطط الإشعاعي والممانعة عند درجة التجزيء الثالثة عند التردد 1GHz



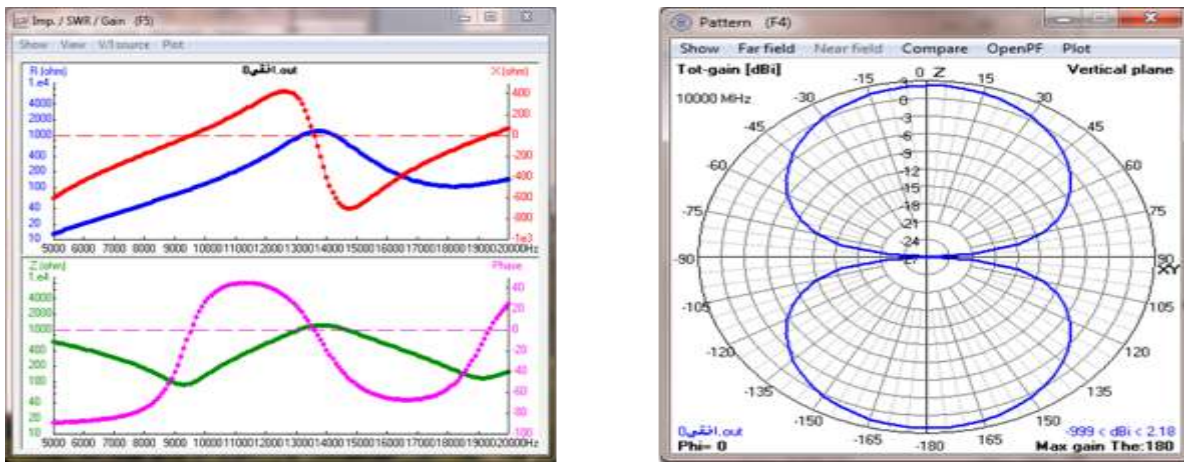
يمكن ملاحظة أنه كلما دخلنا بالتجزئة أكثر كلما زادت ترددات الرنين وهذا ما يدل على أن الهوائي التجزيئي يعطي مجالاً ترددياً واسعاً أو عريضاً ويمكن استخدامه لعدة تطبيقات بنفس الوقت مما يخدم الأجهزة الحديثة في الاتصالات.

تصميم هوائي ( $\lambda/2$ ) تجزيئي على التردد GHZ10 باستخدام البرنامج 4NEC2:



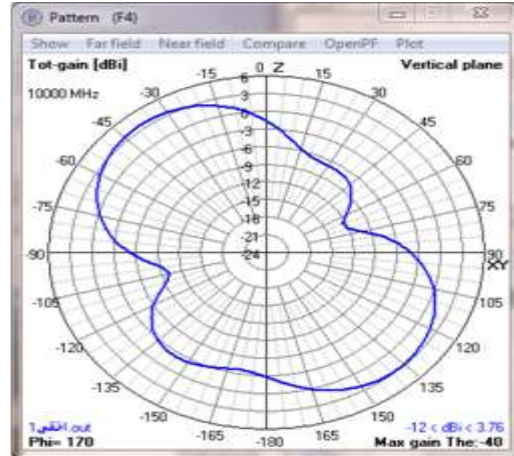
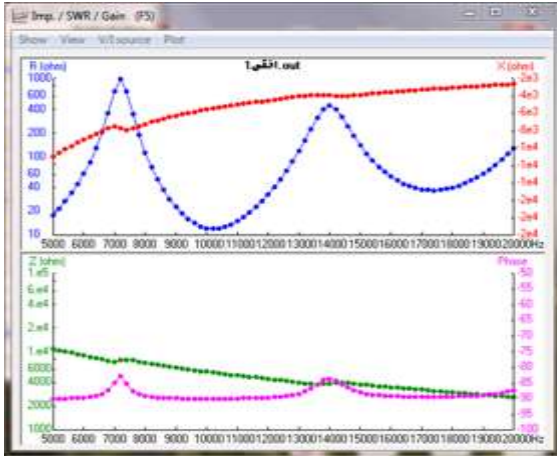
الشكل (8) - أ- هوائيات دايبول بطول  $\lambda/2$  ، ب- الهوائي عند درجة التجزئة الأولى

نرسم الهوائي ( $\lambda/2$ ) باستخدام البرنامج ونظهر الهوائي ودرجة التجزئة الأولى ومخططه الإشعاعي وممانعته وفق الأشكال (8) و(9).



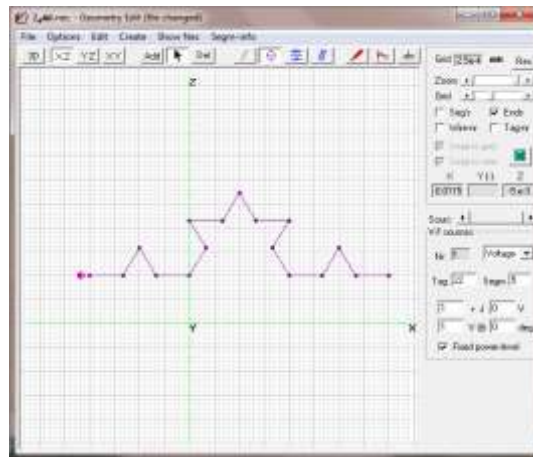
الشكل (9) المخطط الإشعاعي والممانعة للهوائي  $\lambda/2$  عند التردد 10GHz

بالنسبة للمخطط الإشعاعي والممانعة الخاصة بالهوائي في المستوى الأول  $S=1$  فهو معطى بالشكل (10)،

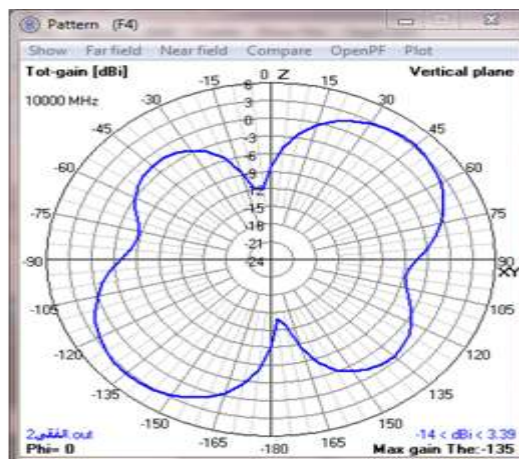
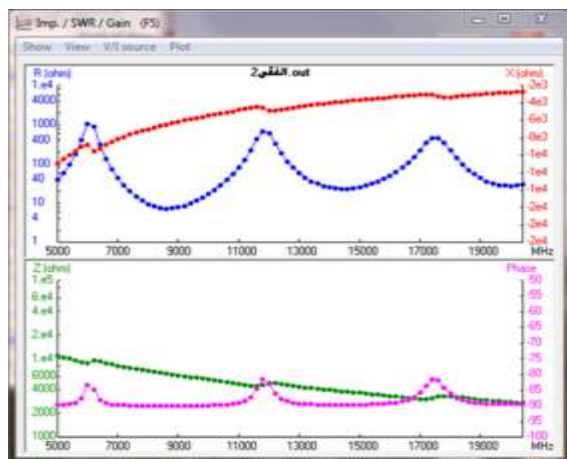


الشكل(10)المخطط الإشعاعي والممانعة عند درجة التجزيء الأولى عند التردد 10GHz

أما في المستوي الثاني  $S=2$  فشكل الهوائي معطى وفق الشكل ( 11 ) ومخططة الإشعاعي وممانعته بالشكل(12).



الشكل (11) الهوائي عند درجة التجزيء الثانية



الشكل (12) المخطط الإشعاعي والممانعة عند درجة التجزئة الثانية عند التردد 10GHz

وهنا أيضاً نلاحظ أنه كلما دخلنا بالتجزئة أكثر كلما زادت عندنا ترددات الرنين وبالتالي إعطاء مجال ترددي واسع أو عريض يفيد في استخدام عدة تطبيقات معاً.

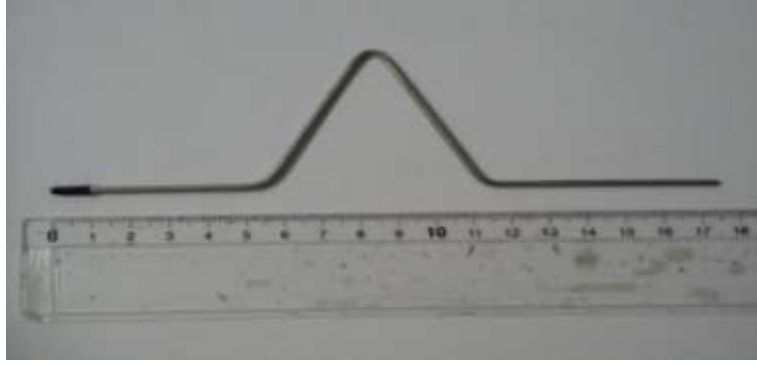
#### التصميم العملي للهوائي التجزيئي

استفدنا من وجود تجهيزات Lab-Volt ضمن مخبر الهوائيات وانتشار الأمواج حيث قدم لنا المخبر مولد الإشارة الراديوية الذي يعطي الاستطاعة الراديوية بترددين إما 1GHz أو 10GHz للهوائي المرسل، ومحدد مكان الهوائي المستقبل حيث يسمح للهوائي بالدوران 360 درجة وبالتالي قياس الاستطاعة الممتصة من قبل الهوائي في كل نقطة حوله ورسم المخطط الإشعاعي للهوائي المستقبل عن طريق تمرير الإشارة المستقبلية إلى وحدة الربط البينية لتحصيل المعطيات الموصولة مع الحاسب ورسم المخطط الإشعاعي عن طريق برمجية خاصة تظهر المخطط الإشعاعي للهوائي على دوائر الاستطاعة وتعطي بارامترات MSL أي المستوى الأعظمي للإشارة أو شدة الإشعاع الأعظمية، MSP موضع الإشارة الأعظمية وهي الزاوية بين جهة الإشعاع الأعظمي للهوائي المستقبل مع خط انتشار الإشارة بين المرسل والمستقبل، و HPBW وهي فتحة الإشعاع عند مستوى نصف الاستطاعة. بالإضافة إلى السواري التي تؤمن وضع الهوائي المرسل والمستقبل (المدرّوس) في وضعيتي الاستقطاب الأفقي والعمودي. للدراسة عند التردد 1GHz استخدمنا هوائي ياغي أودا كهوائي مرسل أما عند التردد 10GHz استخدمنا الهوائي البوقي. وقد حصلنا على نتائج مقارنة مع اختلاف في شكل المخطط الإشعاعي وذلك لأن البيئة المستخدمة في البرنامج مثالية وقد قمنا بتصميم الهوائي بشكل يدوي وبما أن القياسات في المخبر خاضعة لبيئه غير مثالية تولد لدينا بعض التشوهات، حتى أن آلية الوصل وخاصة للهوائي المصمم على التردد 10GHz غير مثالية بالتالي تشكلت مقاومة لاتوافق مقاومة الملاءمة 50Ω وهذا ما سبب الفارق بين المخططين العملي والنظري. وقد تم تصميم الهوائي في المستويين الأول والثاني.

#### تصميم الهوائي عملياً على التردد 1GHz:

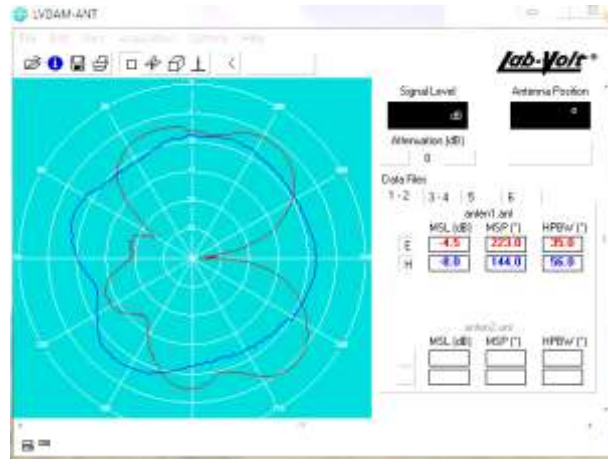
تم تصميم هوائي تجزيئي يدوي باستخدام سلك طوله (  $\lambda / 2$  ) واستخدمنا نفس الأبعاد والقياسات التي ظهرت

لدينا في البرنامج عند تصميم الهوائي على نفس التردد، في المستوي الأول  $S=1$



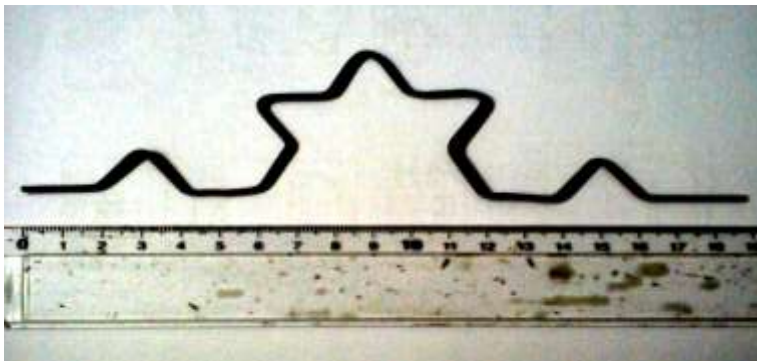
الشكل (13) الهوائي العملي عند درجة التجزيء الأولى

المخطط الإشعاعي في الحقلين E و H موضح في الشكل (14).

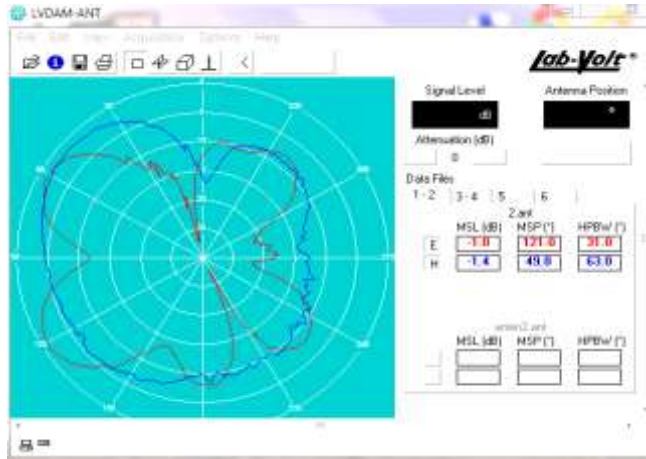


الشكل (14) المخطط الإشعاعي للحقلين E و H عند درجة التجزيء الأولى عند التردد 1GHz

أما التصميم للهوائي في المستوى الثاني  $S=2$  فهو موضح بالشكل (15) والمخطط الإشعاعي في الشكل (16).



الشكل (15) الهوائي عند درجة التجزيء الثانية



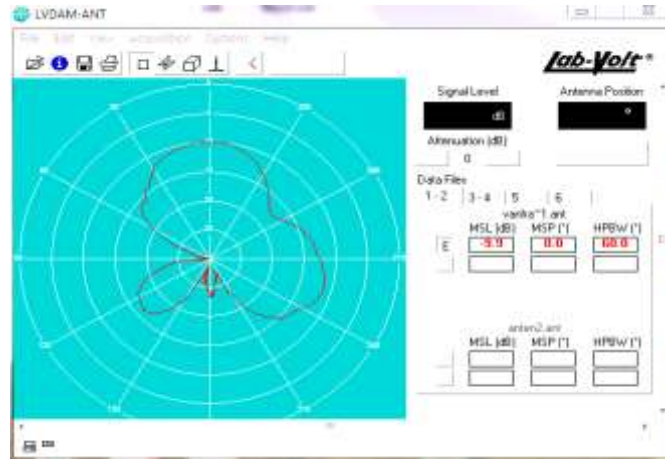
الشكل (16) المخطط الإشعاعي للحقلين E و H عند درجة التجزيء الثانية عند التردد 1GHz

تصميم الهوائي على التردد 10 GHz:

يظهر الشكل (17) الهوائي التجزيئي المقترح في درجة التجزيء الأولى  $s=1$  أما الشكل (18) فيظهر المخطط المقاس في مخبر الهوائيات وانتشار الأمواج.

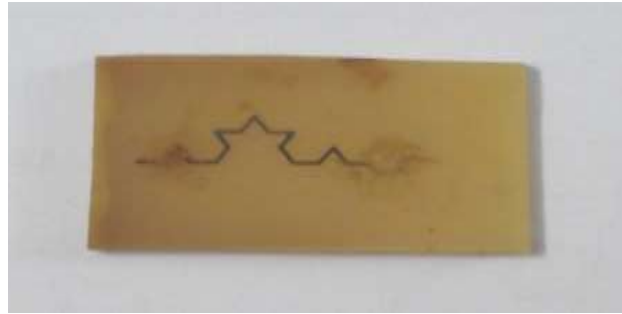


الشكل (17) الهوائي عند درجة التجزيء الأولى

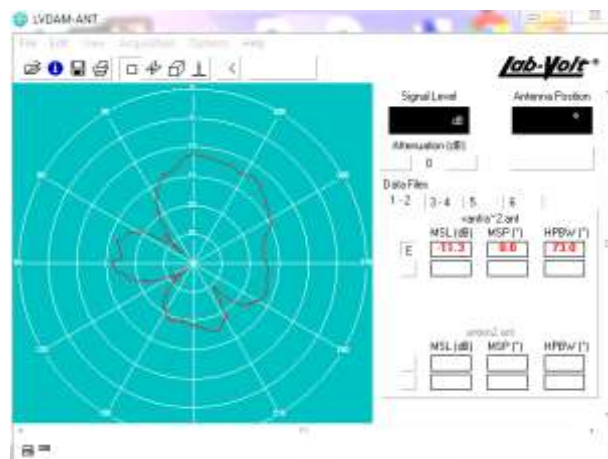


الشكل (18) المخطط الإشعاعي للحقل E عند درجة التجزئ الأولى عند التردد 10GHz

التصميم في درجة التجزئ الثانية للهوائي  $S=2$  موضحة بالشكل (19) ومخططه الإشعاعي يظهر على الشكل (20).



الشكل (20) الهوائي عند درجة التجزئ الثانية



الشكل (20) المخطط الإشعاعي للحقل E عند درجة التجزئ الثانية عند التردد 10GHz

بمقارنة المخططات الإشعاعية الناتجة لدينا عند درجات تجزيء مختلفة نلاحظ زيادة اتجاهية وريح الهوائي مع زيادة درجة التجزيء حيث كان الريح عند درجة التجزيء  $s=1$  مساوي إلى 2.25dbi، أما عند درجة التجزيء  $S=2$  فقد زاد الريح إلى 5.25dbi. أما بالنسبة إلى ممانعة الهوائي فقد أصبحت تقريباً مساوية لقيمة المقاومة البحتة.

### الاستنتاجات والتوصيات:

التصميم والتنفيذ العملي للهوائيات التجزئية متعددة الترددات الرنينية أصبح واقعا ومستخدما في عدة مجالات. الهوائي التجزئي الدايبول على شكل فان كوخ تم اقتراحه كهوائي سلبي يعمل عند الترددات المنخفضة ومطبوع ليعمل عند الترددات العالية، تم تصميم هذا الهوائي وتصنيعه عمليا ومن ثم مقارنته مع الهوائي العادي وقد وجدنا أن الهوائي التجزئي (فان كوخ) وكلما دخلنا في التجزيء أي زدنا درجة التجزيء زاد عدد الترددات التي يعمل عليها وبذلك نكون وسعنا من عرض الحزمة وهذا يفتح مجالا لاستخدامات عديدة وحديثة لهذا الهوائي. يمكن العمل على أشكال تجزئية اخرى ثلاثية الأبعاد حتى يتم تصميم هوائي بمعاملات جديدة ومختلفة.

### المراجع

[1] B,B, MANDELROT, *Les Objects Fractals forme Hasard et dimension*, Paris: Flammarion, 1975, 1984, 1989.

[2] D.H. WERNER; A. R. BRETONES and B.R. LONG, "Radiation characteristics of thin-wire ternary fractal trees," *Electronics Letters*. Vol35, N°8, April 2001, pp.609-611.

[3] D.H. WERNER; P.L. WERNER and K.H. Church, "Genetically engineered multiband fractal antenna," *Electronics Letters*. Vol37, September 2003, pp.1150-1152.

[4] A.-S. SALEH; H.AUBERT, "Use of variable Lacunarity Multi-gap Cantor Slabs in Waveguides for the Design of Microwave filters," *Microwave and optical technology letters*, vol.28, N°2, January 2001, pp.127-130.

[5] F.SURRE, A.-S. SALEH; H.AUBERT, "Frequency Response of Self-Similar Planar Waveguides," *Microwave and optical technology letters*, vol.37, N°3, may 2003.

[6] د.م. السموع صالح، أ. د.م. تاج الدين جركس " تحليل و تصميم مصفوفة الهوائيات التجزئية ومقارنتها بالمصفوفة الخطية منتظمة المسافات والتغذية " تم قبوله للنشر في مجلة بحوث جامعة تشرين لعام 2008، ص 113-

128

[7] T.C.A MOLTENO and P.J. WILLIAMS, "NEC2<sup>++</sup>: High Performance Numerical Electromagnetic Code," University of Otago-NewZeland. Dep of Physics.2005.

[8] C.PUENTE, J. ROMEN, A. CARDAMA, "The Koch monopole: A small fractal antenna," *IEEE Transaction on Antennas and propagation*, vol.48, N°11, November 2001, pp.1773-1781.

[9] د.م. السموع صالح، " تصميم و تحليل الهوائيات السلكية التجزئية باستخدام برنامج Nec " تم قبوله

لنشر فيمجلة بحوث جامعة تشرين لعام 2010، ص 169-182.