

تحسين خصائص الهوائي البوقي بإضافة مواد عازلة

الدكتور علي العلي*

(تاريخ الإيداع 3 / 5 / 2009. قُبل للنشر في 5/8/2009)

□ ملخص □

يقدم هذا البحث دراسة نظرية وعملية لتحسين خصائص الهوائي البوقي الهرمي بإضافة مواد عازلة على فتحته. إن الغاية من هذه الدراسة هي الإجابة على السؤال التالي: هل تؤثر المواد العازلة على المخطط الإشعاعي والرياح والاتجاهية؟ وهل يختلف هذا التأثير باختلاف ثابت العازلية الكهربائي النسبي (ϵ_r)؟ تمت الإجابة على هذا السؤال من خلال تصنيع وإضافة مواد عازلة مختلفة القيمة لثابت العازلية الكهربائي (ϵ_r) على شكل قطع مكافئ ولصقها على فتحة الهوائي البوقي. إن استخدام طريقة الفروقات المنتهية بالزمن (FDTD) لإجراء التحليل الرياضي اللازم، أظهرت أن إضافة المواد العازلة يؤثر على التوزيع الصفحي وعلى الاستطاعة عند فتحة البوق، مما يؤدي إلى نقصان في اتساع الفص الرئيسي للإشعاع ونقصان في مستوى الفصوص الثانوية، ولكن مع زيادة في قيمة الاتجاهية. بالإضافة لذلك تم إجراء الاختبارات العملية قبل وبعد إضافة المواد العازلة على فتحة الهوائي البوقي، وجرى مقارنتها مع نتائج طريقة (FDTD).

الكلمات المفتاحية: الهوائي البوقي الهرمي، المواد العازلة، طريقة (FDTD)، عدسات العزل الكهربائي.

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

Improvement of Characteristics of An Horn antenna Using Dielectric Material

Dr. Ali AL-Ali*

(Received 3 / 5 / 2009. Accepted 5 / 8 / 2009)

□ ABSTRACT □

This research represents theoretical and practical as well as study about the effect of dielectric materials on horn antenna properties.

The aim of this study is answering the following questions. Do the dielectric materials affect the radiation pattern, the directivity and gain? Does this effect differ according to the relative dielectric constant. These questions are answered by dielectric materials of different values of the relative dielectric constant on parabolic shape and pasting it on the aperture of the horn antenna .

Using differentiating way ending in time (FDTD) to make the necessary mathematical analysis shows that adding the dielectric materials affects the phase and power distribution on the aperture of the horn. This leads to reducing the width of main lobes of the radiation and reducing the level of side lobes, but increasing the level of directivity.

In addition ,practical experiments are done before and after adding the dielectric materials on the aperture of the horn antenna and they are compared to the results of (FDTD) method.

Keywords: Horn Antenna, Dielectric Material, Dielectric Lens, FDTD Method.

* Associate Prof, Department Of Communication And Electronic Engineering, Faculty Of Mechanical And Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

تعتبر هوائيات الفتحة الأكثر استخداماً في مجالات الترددات الميكروية، وتوجد أشكال مختلفة ومتنوعة لهذه الهوائيات إذ يمكن أن تأخذ شكل دليل الموجة أو البوق ذي فتحات بمقاطع مربعة، مستطيلة، دائرية، قطع مكافئ أو أي شكل آخر. تستخدم هذه الهوائيات في الاتصالات والتطبيقات الفضائية .

في التطبيقات العملية لا تستخدم أدلة الموجة ذات الفتحة المستطيلة أو الدائرية بمفردها كهوائي، لأن الاتجاهية التابعة لها تكون منخفضة. وغالباً ما تستخدم كمغذٍ أولي للهوائيات العاكسة على شكل قطع مكافئ وكذلك الأمر بالنسبة لأدلة الموجة البوقية.

يُعتبر الهوائي البوقي من الهوائيات المرجعية في قياس المخططات الإشعاعية للهوائيات الأخرى، نظراً لبنائه الهندسية الانسيابية التي تؤمن الملائمة بين خط النقل ووسط الانتشار. من جهة أخرى فإن البنية الهندسية للبوق تتسبب في نشوء فروقاتٍ صفحية بين الأشعة الموجية داخل البوق والتي تؤدي إلى تشكيل موجة ذات جبهة كروية على فتحة البوق.

يتميز الهوائي البوقي بريح عالٍ ومردود جيد، كما أنه يتميز أيضاً بخفة وزنه ورخص ثمنه وبساطة وسهولة تصميمه وتنفيذه عملياً. فالهوائي البوقي، بالإضافة لما ذكر سابقاً، فإن الصفة البارزة والمفيدة جداً لهذا النوع من الهوائيات البوقية تطابق ثوابتها المحسوبة نظرياً إلى درجة كبيرة جداً مع القيم المقاسة لهذه الثوابت . كما أن له تطبيقات مفيدة ومتنوعة في المجال العسكري .

في هذا النوع من الهوائيات لا يعرف توزع التيار بشكل دقيق عليها ، بل نستفيد من القياسات التجريبية في التحديد التقريبي لهذا التوزيع. ولحساب الخواص الإشعاعية لهذه الهوائيات التي لا تعتمد على توزع التيار إنما على التقريبات المعقولة للحقول على الهوائي في منطقة مجاورة. وحسب مبدأ العالم هويغز في الإشعاع فإننا نحصل على منبع لموجات ثانوية تشكل جبهة كروية على فتحة البوق ، وهذا يلعب دور عاملٍ سلبي في دقة قياس المخطط الإشعاعي . لكن وكما هو معلوم فإن دقة الحساب والقياس تكون أفضل عندما تكون جبهة الموجة مستوية . ومن هنا جاءت فكرة استخدام المواد العازلة وتصنيعها على شكل عدسة قطع مكافئ توضع في مقدمة الهوائي البوقي، بغية الحصول على موجة مستوية، وللتقليل ما أمكن من الفروقات الطورية الناتجة، ومن أجل زيادة دقة القياس سيتم اعتماد طريقة (FDTD). والمقصود بذلك: (Finit-Difference Time-Domain) [1,2,3,4].

أهمية البحث وأهدافه:

تأتي أهمية البحث في الحصول على دقة قياس مناسبة وزيادة عاملي الريح والاتجاهية ، وهذا يتطلب دراسة الانحرافات الطورية للتقليل منها. و يمكن أن يتحقق ذلك بالاستفادة من خوارزمية طريقة (FDTD) والتي تعتمد أساساً على مجموعة معادلات ماكسويل بالشكل التفاضلي في المجال الزمني ، وهذه المعادلات يتم اشتقاقها بالشكل الخطي بواسطة الفروقات المركزية المحدودة ، ويكون المطلوب عندئذ هو فقط حدوث التأثير المتبادل ما بين المواقع المتجاورة ، وذلك خلال تقدم الحقول بخطوات زمنية متقطعة على الخلايا الفراغية [5,13].

طرائق البحث ومواده:

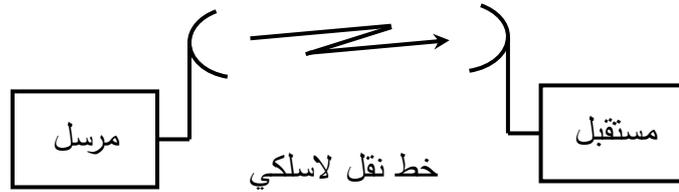
تتلخّص طريقة الدراسة في النقاط التالية:

- 1- دراسة تحليلية ورياضية للهوائي البوقي الهرمي واستخراج المعادلات الرياضية .
- 2- دراسة الطريقة (FDTD) بتفصيل ودقة ، واستخدامها لحساب وإظهار توزيع مركبات الحقل الكهرومغناطيسي، على محيط البنية المدروسة.
- 3- النمذجة الرقمية للحقل الكهرومغناطيسي.
- 4- دراسة وتصميم وتنفيذ الشكل الهندسي للمادة العازلة المدروسة.
- 5- إجراء الاختبارات العملية للهوائي قبل وبعد إضافة المواد العازلة ، وإظهار دور (ϵ_r).
- 6- المقارنة بين النتائج العملية والنظرية للهوائي لإظهار مقدار التحسن في خصائصه.

النتائج والمناقشة:

مقدمة

ازدادت أهمية منظومات الاتصال اللاسلكية يوماً بعد يوم نتيجةً للتطور العلمي السريع وللحاجة إلى إقامة الاتصال مع الوسائط المتحركة، وتلعب الهوائيات دوراً رئيسياً في هذه المنظومات لما تؤمنه من ربط بين طرفي المنظومة من جهة ووسط الانتشار من جهة أخرى، كما يوضح الشكل (1-1):



الشكل(1-1): منظومة اتصال لاسلكية

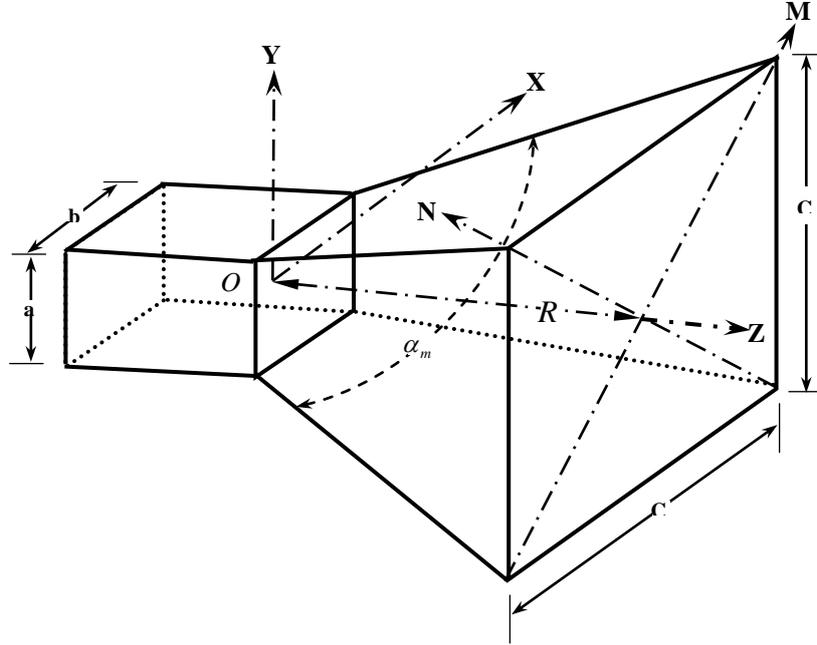
تعتبر بارامترات الهوائي المؤشرات الأساسية التي تحدد إمكانية استخدامه. إن عملية الحصول على هذه البارامترات تحتاج إلى زمن طويل وتجهيزات عديدة، لكن يمكن إعطاء تصوّر جيد عنها من خلال المخطط الإشعاعي الفراغي (ثلاثي الأبعاد) للهوائي.

لزيادة دقة القياس ورفع مستوى الإشارة، سيتم تقليل الانحرافات الطورية للهوائي المستخدم في المستقبل من خلال إضافة مادة عازلة بسمحية كهربائية معينة ودراسة المخطط الإشعاعي للهوائي باستخدام طريقة (FDTD)، بحيث تؤمن الحصول على مخطط إشعاعي ضيق وريح كبير.

التحليل الرياضي بعد إضافة المادة العازلة.

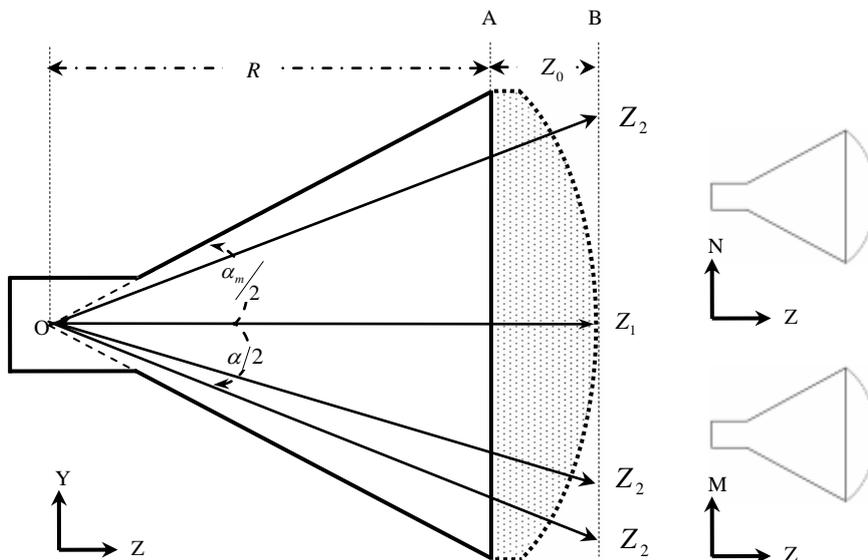
يعتبر الهوائي البوقي الهرمي أكثر أنواع الهوائيات البوقية ذات الفتحات القائمة الزوايا استخداماً في الحياة العملية. فهو يبدأ بمقطع هو نفس مقطع دليل الموجة المضلع القائم الزوايا والذي يستعمل كمغزٍ للهوائي نفسه ، ثم ينفذ متسعاً بشكل انسيابي في أحد المستويين E أو H، أو كليهما معاً، وبزيادة الفتحة في المستويين معاً يمكن أن

نطلق على الهوائي اسم الهوائي البوقي الهرمي. يؤدي هذا التكوين إلى تضيق عرض الحزمة الرئيسية للإشعاع في كلا المستويين الرئيسيين. وتسهيلاً للدراسة الرياضية فقد تم دراسة هوائي بوقي هرمي مربع الفتحة، مؤّضح في الشكل (1-1) [4,5,14]:



الشكل (1-1): هوائي بوقي هرمي مربع الفتحة.

- حيث: α_m - زاوية فتحة البوق العظمى. R - عمق البوق.
 a, b - أبعاد فتحة دليل الموجة. c - طول فتحة البوق.



الشكل (1-2): يبين مقاطعاً للهوائي بعد إضافة المادة العازلة على فتحة في المستويات YZ, MZ, NZ:

يمكن استخراج و كتابة المعادلة التي توصف الشكل الهندسي للمادة العازلة كالتالي [6]:

$$Z = \frac{Z_0 \times \left(1 - \frac{\sqrt{\epsilon_r}}{\cos(\alpha)}\right) - \sqrt{\epsilon_r} \times R \times \left(\frac{1}{\cos(\alpha)} - 1\right)}{1 - \sqrt{\epsilon_r}} \quad (1-1)$$

حيث :

Z : تغير سماكة المادة العازلة على فتحة الهوائي.

Z_0 : السماكة العظمى للمادة العازلة.

ϵ_r : السماحية الكهربائية النسبية للمادة العازلة.

α_m : زاوية فتحة البوق العظمى.

α : زاوية شعاع الموجة في البوق ($0 \leq \alpha \leq \alpha_m$).

R : عمق البوق.

في المعادلة (1-1) جميع القيم معلومة عدا Z_0 والتي يتم الحصول عليها من الشرط الحدي (سماكة المادة العازلة عند زوايا فتحة الهوائي البوقي معدومة):

$$\alpha = \alpha_m \Rightarrow Z = 0$$

وبالتالي يمكن تحديد السماكة العظمى للمادة العازلة من العلاقة (1-2):

$$Z_0 = \frac{\sqrt{\epsilon_r} \times R \times \left(\frac{1}{\cos(\alpha_m)} - 1\right)}{1 - \frac{\sqrt{\epsilon_r}}{\cos(\alpha_m)}} \quad (1-2)$$

طريقة FDTD.

تعتبر هذه الطريقة من أفضل الطرق لدراسة و تحليل انتشار الأمواج الكهرومغناطيسية ضمن بنية الهوائيات وخطوط النقل [7].

تعتمد طريقة FDTD على تجزئة الحيز المكاني المدروس بشبكة دقيقة، ترتبط أبعاد خلاياها بمدى الدقة المطلوبة في وصف البارامترات الكهربائية الأساسية البنوية (σ, ϵ, μ) للشكل المدروس. ومن ثم إيجاد الحقل الكهربائي والمغناطيسي عند كل خلية تبعاً للزمن [8,9].

نقطة البداية في هذه الطريقة هي الشكل التفاضلي لمعادلات ماكسويل:

$$\frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = -\frac{1}{\mu} \nabla \times \vec{E} - \frac{\rho'}{\mu} \vec{H} \quad (1-3)$$

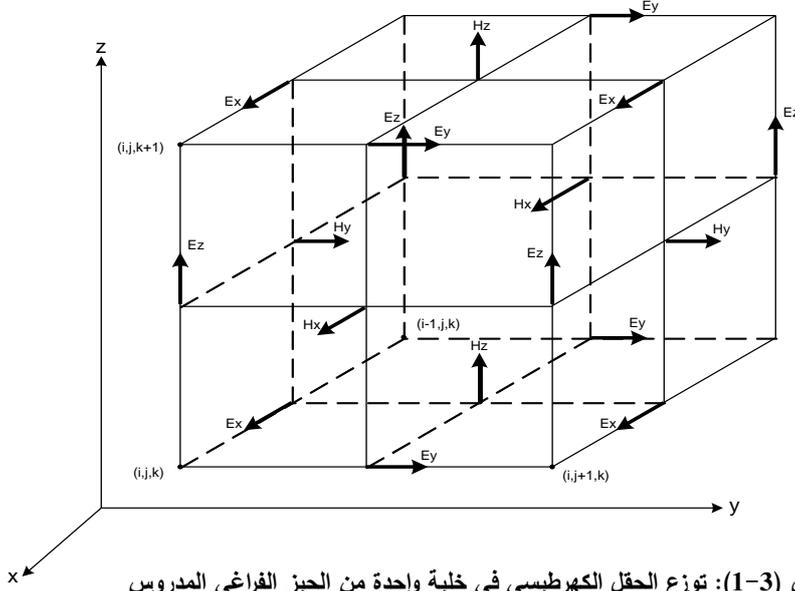
$$\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \frac{1}{\epsilon} \nabla \times \vec{H} - \frac{\sigma}{\epsilon} \vec{E} \quad (1-4)$$

حيث:

μ, ϵ - هما ثابت العازلية الكهربائية النسبي والنفوذية المغناطيسية للمادة .

ρ', σ - هما الناقلية الكهربائية والمقاومة النوعية المغناطيسية على التوالي.

سيتم التعامل في هذا البحث مع مادة متجانسة ومنظمة، وليس لها أي خصائص مغناطيسية $\mu_r = 1$.
يبين الشكل (1-3) توزيع الحقل الكهربائي والمغناطيسي في خلية واحدة:



الشكل (1-3): توزيع الحقل الكهربائي في خلية واحدة من الحيز الفراغي المدروس

توصّف المعادلات التفاضلية التالية مركبات الحقل الكهربائي والمغناطيسي في الجملة الإحداثية الديكارتيّة لخلية

واحدة:

$$H_x|_{i,j,k}^{n+1/2} = D_a|_{i,j,k} \times H_x|_{i,j,k}^{n-1/2} + D_b|_{i,j,k} \times \left\{ \frac{E_y|_{i,j,k+1/2}^n - E_y|_{i,j,k-1/2}^n}{\Delta z} - \frac{E_z|_{i,j+1/2,k}^n - E_z|_{i,j-1/2,k}^n}{\Delta y} \right\} \quad (1-5)$$

$$H_y|_{i,j,k}^{n+1/2} = D_a|_{i,j,k} \times H_y|_{i,j,k}^{n-1/2} + D_b|_{i,j,k} \times \left\{ \frac{E_z|_{i+1/2,j,k}^n - E_z|_{i-1/2,j,k}^n}{\Delta x} - \frac{E_x|_{i,j,k+1/2}^n - E_x|_{i,j,k-1/2}^n}{\Delta z} \right\} \quad (1-6)$$

$$H_z|_{i,j,k}^{n+1/2} = D_a|_{i,j,k} \times H_z|_{i,j,k}^{n-1/2} + D_b|_{i,j,k} \times \left\{ \frac{E_x|_{i,j+1/2,k}^n - E_x|_{i,j-1/2,k}^n}{\Delta y} - \frac{E_y|_{i+1/2,j,k}^n - E_y|_{i-1/2,j,k}^n}{\Delta x} \right\} \quad (1-7)$$

$$E_x|_{i,j,k}^{n+1} = C_a|_{i,j,k} \times E_x|_{i,j,k}^n + C_b|_{i,j,k} \times \left\{ \frac{H_z|_{i,j+1/2,k}^{n+1/2} - H_z|_{i,j-1/2,k}^{n+1/2}}{\Delta y} - \frac{H_y|_{i,j,k+1/2}^{n+1/2} - H_y|_{i,j,k-1/2}^{n+1/2}}{\Delta z} \right\} \quad (1-8)$$

$$E_y|_{i,j,k}^{n+1} = C_a|_{i,j,k} \times E_y|_{i,j,k}^n + C_b|_{i,j,k} \times \left\{ \frac{H_x|_{i,j,k+1/2}^{n+1/2} - H_x|_{i,j,k-1/2}^{n+1/2}}{\Delta z} - \frac{H_z|_{i+1/2,j,k}^{n+1/2} - H_z|_{i-1/2,j,k}^{n+1/2}}{\Delta x} \right\} \quad (1-9)$$

$$E_z|_{i,j,k}^{n+1} = C_a|_{i,j,k} \times E_z|_{i,j,k}^n + C_b|_{i,j,k} \times \left\{ \frac{H_y|_{i+1/2,j,k}^{n+1/2} - H_y|_{i-1/2,j,k}^{n+1/2}}{\Delta x} - \frac{H_x|_{i,j+1/2,k}^{n+1/2} - H_x|_{i,j-1/2,k}^{n+1/2}}{\Delta y} \right\} \quad (1-10)$$

حيث:

C_a, C_b, D_a, D_b - ثوابت تعتمد على طبيعة المادة وعلى الخطوة الفراغية والخطوة الزمنية.

تعتبر هذه الثوابت بمثابة البارامترات الأساسية التي تصف المواد المختلفة في المجال الحسابي لطريقة FDTD.

وهذا ما يجعل هذه الطريقة ذات مرونة كبيرة في استخدامها مع الأشكال البنوية المختلفة.

يعتمد استقرار طريقة FDTD على البارامترات البنوية للمادة وعلى التصميم المناسب للشبكة. لذلك فإن شرط

الاستقرار هو:

$$\Delta t \leq \frac{1}{V_{\max}} \left(\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} + \frac{1}{\Delta z^2} \right)^{-1/2} \quad (1-11)$$

حيث أن:

V_{\max} : أقصى سرعة للموجة في البنية المدروسة.

Δt : الخطوة الزمنية بين حسابين متتابعين للحقل على كامل خلايا البنية (الشبكة).

$\Delta x, \Delta y, \Delta z$: أبعاد الخلية في الإحداثيات الديكارتية.

ومن المفيد أن نذكر أن هناك طرقاً أخرى يمكن استخدامها في التحليل الرياضي في مثل هذه الحالات ، ومن

هذه الطرق طريقة MUR [10]، وطريقة PML [11].

الحالة الأولى: جبهة الموجة دون مادة عازلة:

أجريت الدراسة على هوائي بوقي موضَّح في الشكل (1-1) له البارامترات التالية:

$$\alpha_m = 40^\circ, f = 9GHz, a = 1 Cm, b = 2 Cm, c = 7.5 Cm, R = 15 Cm$$

لإيجاد مركبات الحقل داخل الهوائي البوقي وحوله باستخدام طريقة FDTD [12]، تم تقسيم الحيز الفراغي

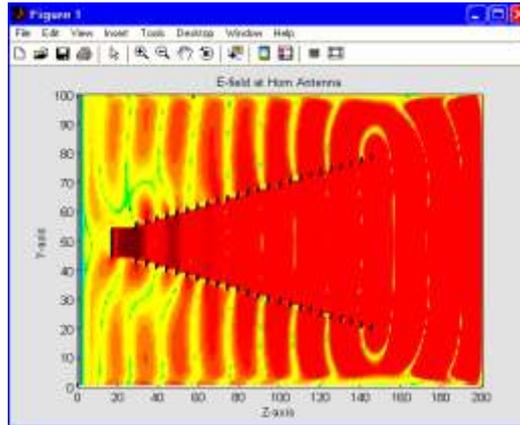
الذي يشمل الهوائي البوقي إلى $100 \times 100 \times 220$ $(X \times Y \times Z)$ أي 2×10^6 خلية وبأبعاد

$\Delta x = \Delta y = \Delta z = 1mm$ للخلية الواحدة.

-A جبهة الموجة في المستوى E:

يبين الشكل (1-4) توزيع مركبة الحقل الكهربائي E_y داخل البوق وفي المنطقة القريبة منه في المستوي yz ،

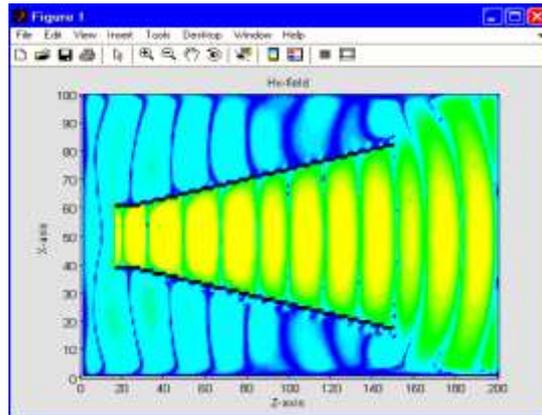
حيث تشير زيادة كثافة اللون إلى كثافة عالية لمركبة الحقل الكهربائي E_y .



الشكل (1-4): مركبة الحقل الكهربائي E_y داخل الهوائي البوقي وحوله.

B- جبهة الموجة في المستوى H:

يبين الشكل (1-5) توزيع مركبات الحقل المغناطيسي H_x داخل البوق وفي المنطقة القريبة منه في المستوى xz ، حيث تشير زيادة كثافة اللون إلى كثافة عالية لمركبة الحقل المغناطيسي H_x .



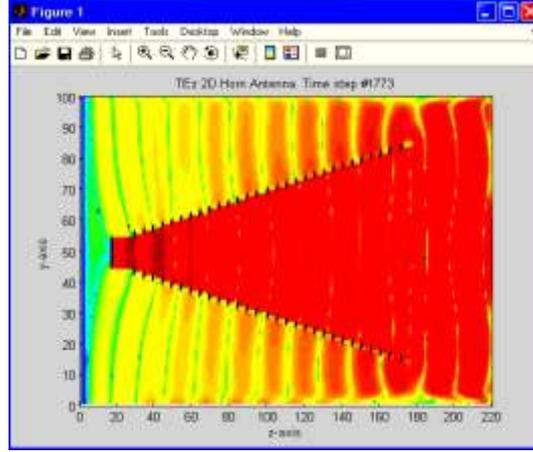
الشكل (1-5): مركبات الحقل المغناطيسي H_x داخل الهوائي البوقي وحوله.

الحالة الثانية: جبهة الموجة بعد إضافة مادة عازلة ثابت عازليتها النسبي: ($\epsilon_r = 5.6$)

تم حساب أبعاد المادة العازلة الواجب إضافتها على فتحة البوق من أجل التصحيح من العلاقتين (1-1)، (1-2)، بعد أن تم اختيار البارامترات الكهربائية لها: ($\epsilon_r = 5.6, \sigma = 0, \mu = 1$).

A- جبهة الموجة في المستوى E:

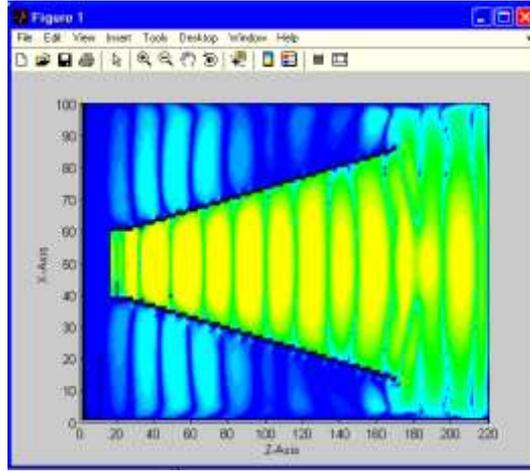
يبين الشكل (1-6) مركبة الحقل الكهربائي E_y في المستوى YZ، بعد إضافة المادة العازلة:



الشكل (1-6): مركبة الحقل الكهربائي E_y في المستوي YZ، بعد إضافة المادة العازلة.

B- جبهة الموجة في المستوي H:

يبين الشكل (1-7) مركبة الحقل المغناطيسي H_x في المستوي XZ، بعد إضافة المادة العازلة:



الشكل (1-7): مركبة الحقل المغناطيسي H_x في المستوي XZ، بعد إضافة المادة العازلة

يُلاحظ من الشكلين (1-6) و (1-7) أن شكل جبهة الموجة قد تغير ليصبح قريباً من الشكل المستوي، وهذا التقريب ناتج عن إهمال انعكاسات وانكسارات الأشعة عند إضافة المادة العازلة. يمكن زيادة وضوح شكل جبهة الموجة بتكبير أبعاد الحيز الفراغي، لكن لا تستطيع الحواسيب المتوفرة التعامل مع حيز فراغي أكبر من الحيز المدروس.

الدراسة العملية:

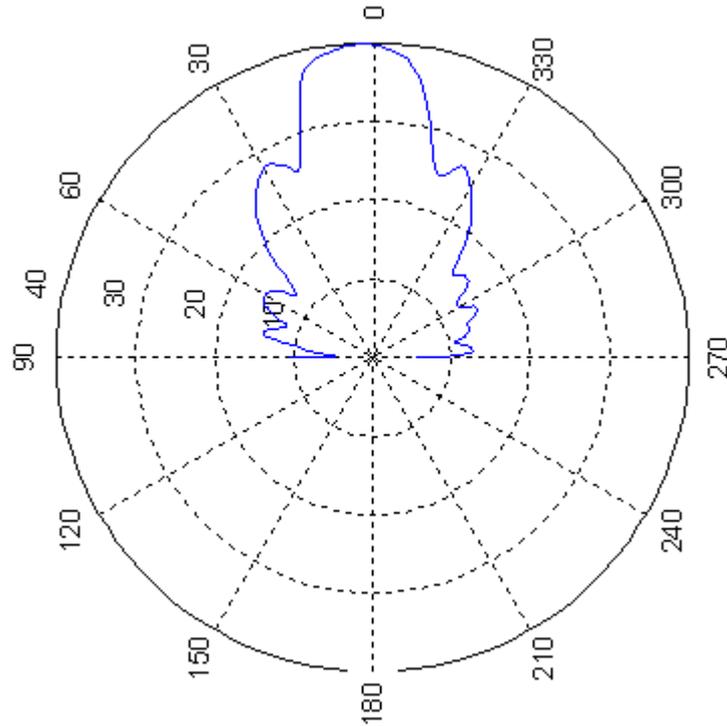
تم تصنيع المادة العازلة في كلية الهندسة بالاستفادة من العلاقتين (1-1)، (1-2) بسماحية كهربائية $\epsilon_r = 5.6$ ، و تم تثبيتها على فتحة البوق كما في الشكل (1-8). ثم أعيدت نفس العملية لأجل $\epsilon_r = 3.8$



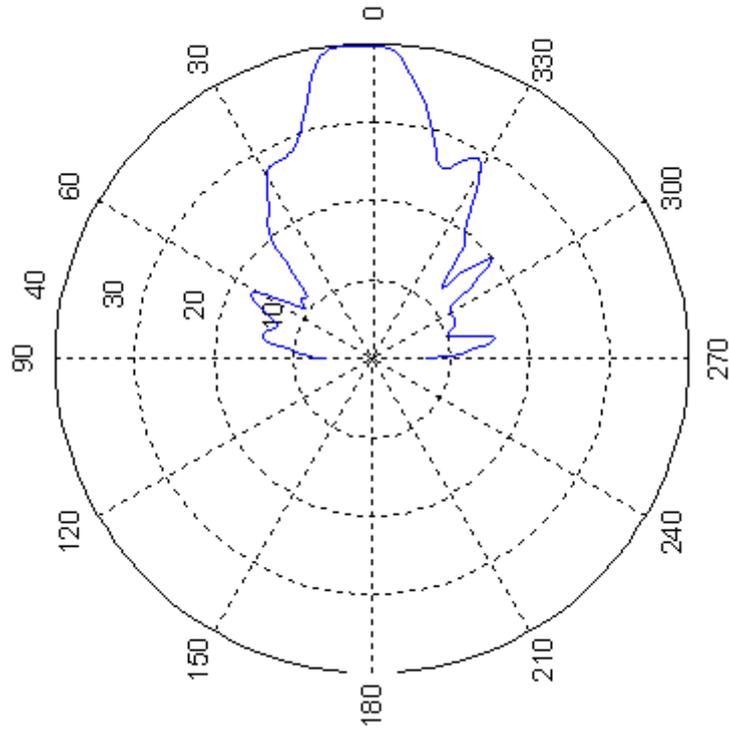
الشكل (8-1): الهوائي البوقي والمادة العازلة

المخطط الإشعاعي العملي في المستوي (H) :

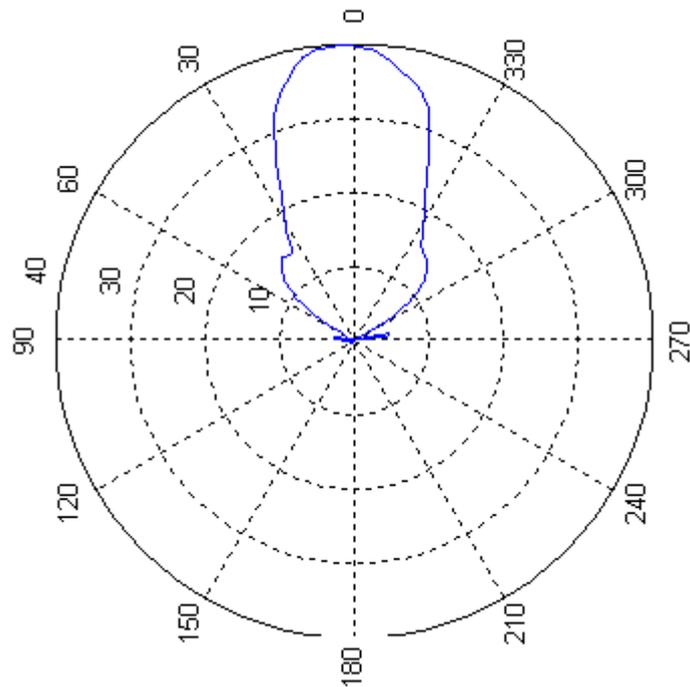
- a دون إضافة مادة عازلة.
 - b بعد إضافة مادة عازلة، ثابت العازلية الكهربائي لها ($\epsilon_r = 3.8$).
 - c بعد إضافة مادة عازلة، ثابت العازلية الكهربائي لها ($\epsilon_r = 5.6$).
- تمّ قياس المخطط الإشعاعي في المستوي H للحالات الثلاث، والشكل (1-9a,b,c) يبين المخطط الإشعاعي العملي في هذا المستوي:



-a دون إضافة مادة عازلة.



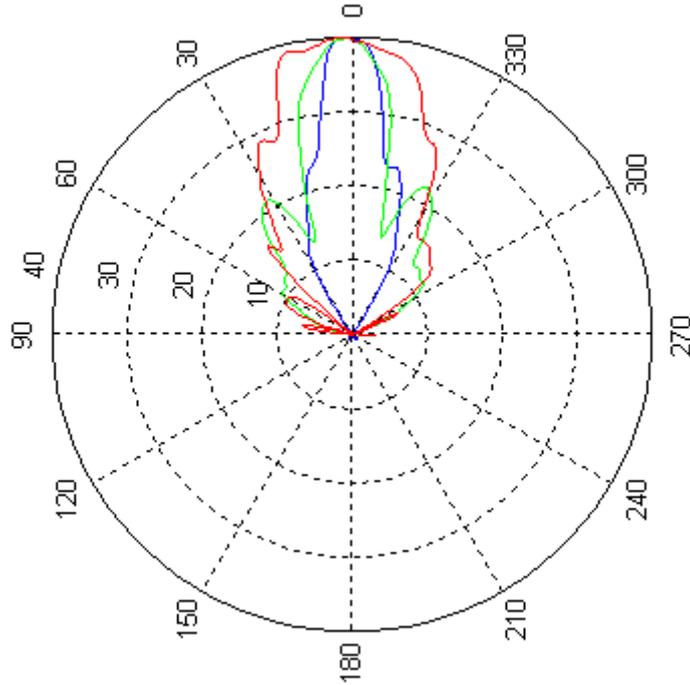
-b بعد إضافة مادة عازلة حيث ($\epsilon_r = 3.8$).



-c بعد إضافة مادة عازلة حيث ($\epsilon_r = 5.6$).

الشكل (1-9): المخطط الإشعاعي العملي للهوائي البوقي في المستوى H

يُلاحظ تناقص عرض المخطط الإشعاعي في المستوي H عند إضافة المادة العازلة على فتحة الهوائي البوقي، وانخفاض مطال الفصوص الثانوية. وللمقارنة يمكننا جمع المخططات الإشعاعية الثلاثة بشكل واحد لإظهار الفرق بين هذه المخططات الثلاثة قبل وبعد إضافة المادة العازلة، نوضح ذلك في الشكل d أدناه.



d-الشكل يظهر الحالات الثلاث السابقة مجتمعة

المخطط الإشعاعي العملي في المستوي (E) :

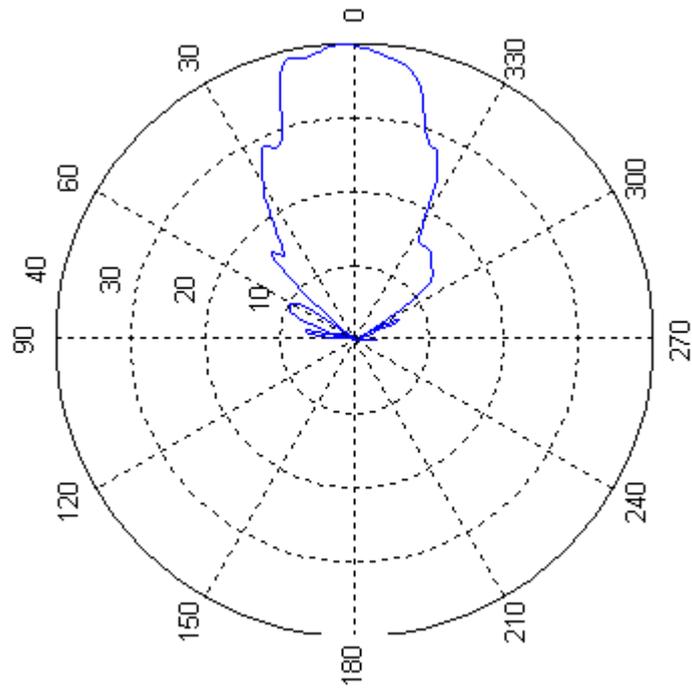
a- دون إضافة مادة عازلة.

b- بعد إضافة مادة عازلة حيث ($\epsilon_r = 3.8$).

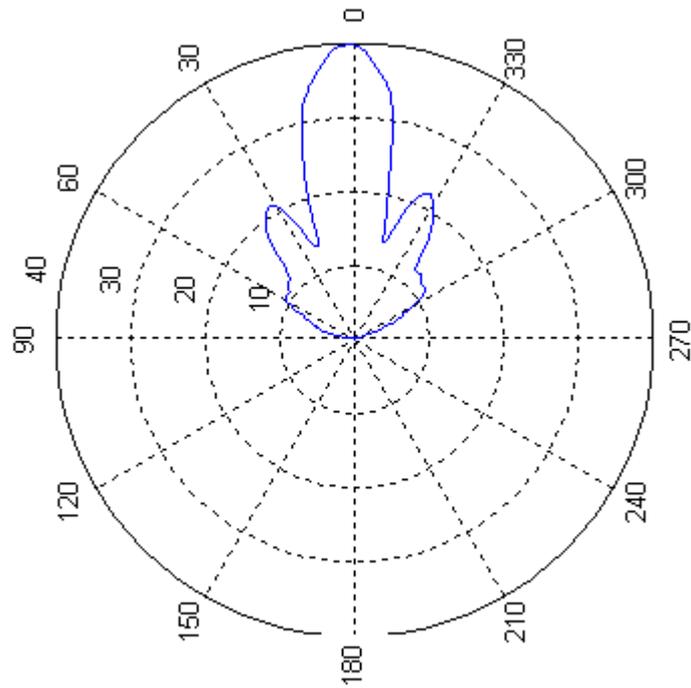
c- بعد إضافة مادة عازلة حيث ($\epsilon_r = 5.6$).

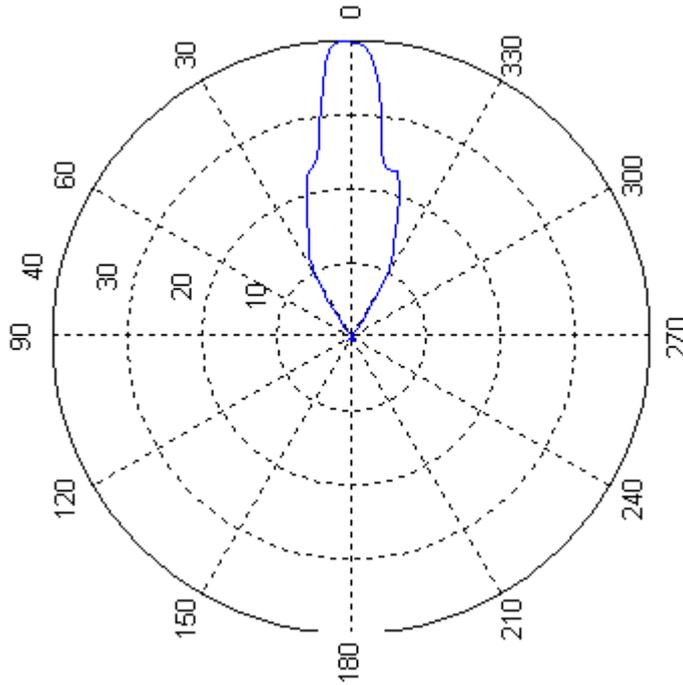
تمّ قياس المخطط الإشعاعي في المستوي E للحالات الثلاث، والشكل (1-10a,b,c) يبين المخطط الإشعاعي

العملي في هذا المستوي:



a- دون إضافة مادة عازلة.

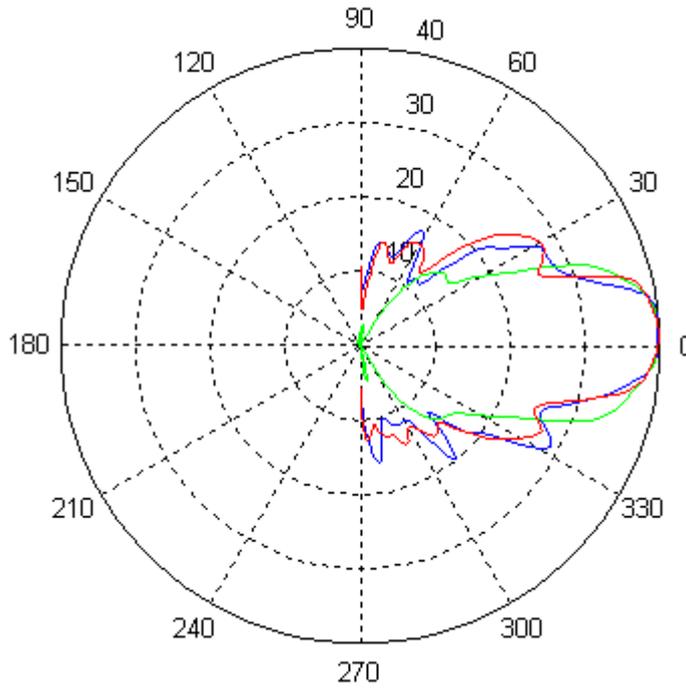
b- بعد إضافة مادة عازلة حيث ($\epsilon_r = 3.8$).



c بعد إضافة مادة عازلة حيث ($\epsilon_r = 5.6$).

الشكل (10-1): المخطط الإشعاعي العملي للهوائي البوقي في المستوى E

يُلاحظ تناقص عرض المخطط الإشعاعي في المستوى E عند إضافة المادة العازلة على فتحة الهوائي البوقي، وزيادة مطال الفصوص الثانوية. وللمقارنة يمكننا جمع المخططات الإشعاعية الثلاثة بشكل واحد لإظهار الفرق بين هذه المخططات الثلاثة قبل وبعد إضافة المادة العازلة، كما هو موضح في الشكل d.



d- الشكل يظهر الحالات الثلاث السابقة مجتمعة.

تُبين النتائج النظرية زيادة شدة الحقل في اتجاه الإشعاع الأعظمي بعد إضافة المادة العازلة، أي زيادة الريح والاتجاهية للهوائي، وهذا متوافق مع المخطط الإشعاعي العملي.

الاستنتاجات والتوصيات:

عند استخدام طريقة FDTD في معالجة المواد العازلة تم الحصول على النتائج التالية :

1- لأجل مادة عازلة ثابت عاز ليبتها النسبي يساوي : $\epsilon_r = 3.8$

a. انخفض عرض الفص الرئيسي في المستوي H من (24^0) إلى (19^0) ، عند مستوي نصف الاستطاعة.

b. انخفض عرض الفص الرئيسي في المستوي E من (21^0) إلى (18^0) ، عند مستوي نصف الاستطاعة.

c. بحساب التوجيهية [1]:

- قبل إضافة المادة العازلة:

$$D_1 = 19.13 \text{ dB}$$

- بعد إضافة المادة العازلة:

$$D_2 = 20.814 \text{ dB}$$

بمقارنة القيمتين السابقتين يُلاحظ زيادة في الاتجاهية بمقدار (1.684 dB) أي زيادة بنسبة (8.8%) .

2- لأجل مادة عازلة، ثابت عاز ليبتها النسبي يساوي : $\epsilon_r = 5.6$

a. انخفض عرض الفص الرئيسي في المستوي H من (24^0) إلى (17^0) ، عند مستوي نصف الاستطاعة.

b. انخفض عرض الفص الرئيسي في المستوي E من (21^0) إلى (16^0) ، عند مستوي نصف الاستطاعة.

c. بحساب التوجيهية [1]:

- قبل إضافة المادة العازلة:

$$D_1 = 19.13 \text{ dB}$$

- بعد إضافة المادة العازلة:

$$D_2 = 21.808 \text{ dB}$$

بمقارنة القيمتين السابقتين يُلاحظ زيادة في الاتجاهية بمقدار (2.678 dB) أي زيادة بنسبة (14%) .

3- نضيف إلى ذلك أنه تم تصحيح جبهة الموجة الكروية إلى مستوية بإضافة مواد عازلة.

المراجع:

- 1-الكمشوشي،حسن . هندسة الهوائيات وانتشار الموجات والكمبيوتر،دار الراتب الجامعية، بيروت ، المجلد الثاني، 1988م،539-576.
- 2-يونس، معين . الهوائيات وانتشار الأمواج ،مديرية الكتب والمطبوعات، جامعة تشرين، 1995- 1996م، 237-290.
- 3-سماق،هنادي . الهوائيات وانتشار الأمواج ، مديرية الكتب والمطبوعات ، جامعة حلب، 1998م ، 292-314 .
- 4- البعيني يوسف،شريف . دراسات نظرية في الهوائيات و حسابات عملية في تصميمها،مطبعة الكاتب العربي بدمشق ،1988م،377-400.
- 5-Kunz,K.S.; Luebbers,R.J."The Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetic", CRC press,1993.
- 6-LO,Y.T.; LEE. *Antenna Theory*.Vol.II,2003,16-7-16-12.
- 7- BABNIS, C. A. *Antenna Theory-Analysis And Design*, New York, Harper & Row, 2nd ed , 1997, 941.
- 8-TAFLORE,A. *Computational Electrodynamics*, Attach House, Boost London,2nd ed, 2000,599.
- 9-MITKEES, A. ; ALLAM, A.; HAMEEDARD, H.; ALI, O. *Time-Domain Analysis Of Micro Strip Line Using FDTD*, Al-Azhar University Engineering Journal, Vol. 5, 2000,239-302.
- 10-MITKEES, A .; ALLAN, A .; ALI, O. *Implored Locally Distorted Conformal FDTD Algorithm For Modeling 3D Structure*, MTC. 9th International Conference Or Aerospace Sciences & Aviation Technology, 2001,29-32.
- 11-MUR, G. *Absorbing Boundary Conditions For The Finite -Difference Approximation of The Time-Domain Electromagnetic-Field Equations*. IEEE Trans. Electromagn Compact, Vol. EMC-22,1981,377-382.
- 12-BEREGGER, J.P. *Perfectly Matched Layer For The FDTD Solution Of Ware Structure Interaction Problems*. IEEE Trans Antenna Propagate, 44, 1996,110-117.
- 13- SCHNEIDER,J.B.; SHLAGER, k. L. *FDTD Simulation Of TEM horn And The Implications For Stair Cased Representations*, IEEE Trans. Antennas Propagate, 45, N^o.12, 1997,830-838.
- 14-ORFANIDIS, S.J. *Electromagnetic Wave & Antenna*, 2004,591-603.

