

تحليل وتصميم الهوائيات الشرائحية المطبوعة باستخدام نظرية Galerkin

الدكتور السموعل صالح*

الدكتور معين يونس**

أمجد سعدي***

(تاريخ الإيداع 18 / 2 / 2010. قُبل للنشر في 13 / 7 / 2010)

□ ملخص □

يقدم هذا البحث نتائج تحليل وتصميم الهوائيات الشرائحية المطبوعة باستخدام نظرية Galerkin . تم في هذا البحث استنتاج المعادلات الرياضية الممثلة لنظرية Galerkin التي تهدف إلى دراسة الانقطاع في دليل الموجة، وحساب الممانعة المكافئة لهذا الانقطاع من أجل استخدامها في تحليل وتصميم الهوائيات الشرائحية المطبوعة .

إن استخدام نظرية Galerkin في تصميم الهوائي الشرائحي مكنا من تحديد تردد الهوائي الشرائحي بدقة وزمن قياس مناسبين مقارنة بباقي طرق تصميم الهوائي الشرائحي، ومكنا أيضاً من تحديد ورسم القسم التخيلي والحقيقي لممانعة دخل الهوائي الشرائحي، ثم تمت دراسة علاقة تردد الهوائي الشرائحي بأبعاده، وملاحظة تغير تردد الهوائي الشرائحي وفقاً لأبعاده، وأيضاً دراسة علاقة تردد عمل الهوائي مع عدد الأنماط اللازمة لتصميمه، ودراسة أثر تغير السماحية الكهربائية للمادة العازلة المكونة لبنية الهوائي الشرائحي على الخواص الإشعاعية لهذا الهوائي.

الكلمات المفتاحية: نظرية Galerkin ، الهوائي الشرائحي، الانقطاع في دليل الموجة، السماحية الكهربائية، ممانعة دخل الهوائي.

* مدرس - قسم هندسة الاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

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

*** طالب دراسات عليا (ماجستير) - قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Analyses and Design of Microstrip Printed Antennas using Galerkin theory

Dr. Alsamawal Saleh *
Dr. Moen Yones **
Amjad Saedy ***

(Received 18 / 2 / 2010. Accepted 13 / 7 / 2010)

□ ABSTRACT □

This search describes results of analysis and design of Microstrip Printed Antennas using Galerkin theory.

In this search, we have concluded the mathematical equations that represent Galerkin theory, which aims to study the cut in a waveguide, and calculate its equivalent impedance, to analyze and design microstrip antennas.

Using Galerkin theory for designing enabled us to calculate the microstrip antenna frequency, in a precise and fast way, comparing with other ways of designing. It also enabled us to determine and plot the real and imaginary part of the input impedance of the antenna. After that, we studied the relationship between the antenna frequency and its dimensions, and how frequency changes according to dimensions, and also the relationship between frequency and number of modes needed to design the antenna, and how changing the electrical permittivity of the isolator in the antenna affects its radiation characteristics.

Key words: Galerkin theory, Microstrip Antenna, waveguide, Input Impedance of the antenna, Electrical Permittivity .

*Assistant Professor, Department of communication, Faculty of mechanical and electrical engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**Professor, Department of communication, Faculty of mechanical and electrical engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

***Postgraduate student, Department of communication, Faculty of mechanical and electrical engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

إن عملية إرسال واستقبال المعلومات فيما بين الناس، سواء أكانت بين المدن، أو بين القارات، أو بين الأرض والفضاء الخارجي، تتطلب نظام اتصال لاسلكي يقوم بتأمين عملية تبادل هذه المعلومات. ويُعدّ الهوائي العنصر الأساسي، والرئيس في نظم الاتصالات اللاسلكية، والذي يقوم بهذه المهمة بكل وثوقية وضمانة أكيدة، وذلك لما يتمتع به من مميزات وخواص إشعاعية تؤمن نقل واستقبال المعلومات في الاتجاه المرغوب . وبحسب طبيعة النظام المقام فإن عملية ارسال واستقبال المعلومات تكون تبعاً لأطوال موجية مختلفة، وبالتالي تبعاً لترددات مختلفة، وهذا يتطلب استخدام أنواع مناسبة من الهوائيات تكون ملائمة لإجراء الاتصال المطلوب، وهذه الهوائيات تتباين عن بعضها من حيث الشكل والحجم والنوع.

أهمية البحث وأهدافه:

إن الهدف الأساسي من هذا البحث هو دراسة وتصميم الهوائيات الشرائحية المطبوعة التي تُعد أحد أكثر الهوائيات انتشاراً؛ إذ تستخدم بشكل واسع في الاتصالات الخليوية والاتصالات الفضائية لما تتميز به من بنية تركيبية بسيطة وتكلفة منخفضة، وذلك على الرغم من عرض الحزمة الصغير والفعالية المنخفضة الناتجة من الضياع في الناقل و العازل .

طرائق البحث ومواده:

إن الطريقة المستخدمة في دراسة وتصميم الهوائي الشرائحي المطبوع في هذا البحث هي طريقة Galerkin التي تهدف إلى دراسة الانقطاع في دليل الموجة، وحساب الممانعة المكافئة لهذا الانقطاع؛ إذ يأخذ الهوائي مكان الانقطاع في دليل الموجة، وبالتالي يتم حساب تردد الهوائي بحساب الممانعة المكافئة له .

مخطط البحث:

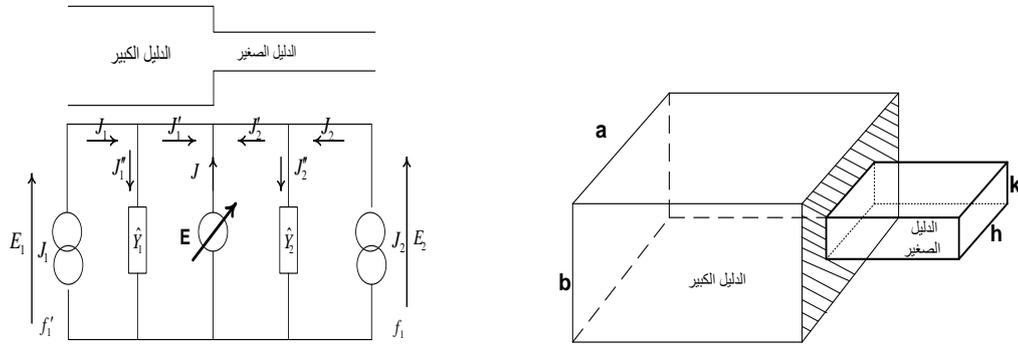
- 1- دراسة نظرية Galerkin واستخراج المعادلات الرياضية التي سوف نستخدمها في دراسة وتصميم الهوائيات الشرائحية.
 - 2- دراسة توزيع الأنماط وتوزيع الجهد وتوزيع التيار على الهوائي المراد تصميمه.
 - 3- دراسة تأثير تغير أبعاد الهوائي في توزيع الأنماط وتوزيع الجهد وتوزيع التيار.
 - 4- تصميم الهوائي الشرائحي (تحديد التردد - الممانعة).
 - 5- مقارنة طريقة Galerkin ببعض طرق حساب تردد الهوائي الشرائحي.
 - 6- دراسة منحنيات التقارب والاستقرار .
 - 7- تحديد العوامل المؤثرة في تردد الهوائي الشرائحي.
- تم إجراء هذا البحث في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات - جامعة تشرين في الفترة الواقعة بين 2008/6/15 و 2010/2/10.

الدراسة النظرية لطريقة Galerkin :

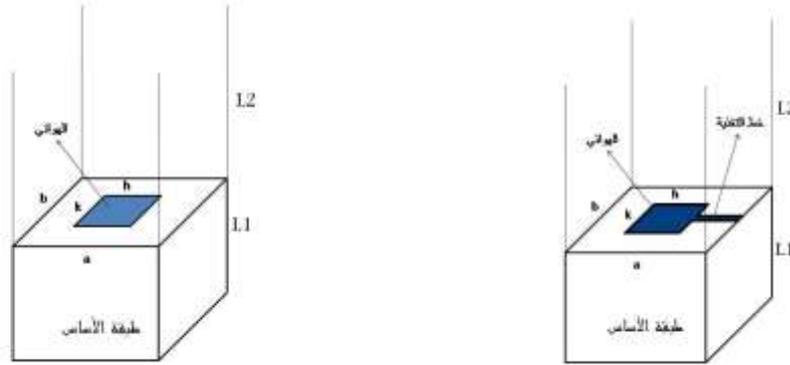
تهدف نظرية Galerkin إلى دراسة الانقطاع في دليل الموجة وحساب الممانعة المكافئة لهذا الانقطاع. يتم حساب الممانعة المكافئة للانقطاع في دليل الموجة بمكافئة دليل الموجة بدارة كهربائية، ثم حساب الممانعة المكافئة لهذه الدارة [1].

بفرض أن أبعاد دليل الموجة a, b وأبعاد الانقطاع c, d أو h, k ($h=c, k=d$).
يبين الشكل (1-أ): الانقطاع في دليل الموجة والدارة الكهربائية المكافئة له.

يبين الشكل (1-ب): تطبيق نظرية Galerkin على الهوائي الشرائحي المطبوع في الحالتين (بوجود خط تغذية - دون وجود خط تغذية)، حيث يأخذ الهوائي مكان الانقطاع في دليل الموجة، لذلك عند حساب الممانعة المكافئة للانقطاع في دليل الموجة كأننا حسبنا الممانعة المكافئة للهوائي، وبالتالي نتمكن من حساب تردد عمل الهوائي.



الشكل (1-أ): الانقطاع في دليل الموجة والدارة الكهربائية المكافئة له



الشكل (1-ب): تطبيق نظرية Galerkin على الهوائي الشرائحي المطبوع

Y_1 : السمانية المكافئة المعبرة عن الدليل الكبير، Y_2 : السمانية المكافئة المعبرة عن الدليل الصغير وتقدر بـ $[S]$.
 J_1 : التيار الناتج من أنماط الدليل الكبير، J_2 : التيار الناتج من أنماط الدليل الصغير ويقدر بـ $[A]$.
 E_1 : منبع الجهد الناتج من أنماط الدليل الكبير، E_2 : منبع الجهد الناتج من أنماط الدليل الصغير.
 E : منبع الجهد المعبر عن الانقطاع في دليل الموجة ويقدر بـ $[volt]$.

من الدارة الكهربائية المكافئة نجد:

$$E = E_1 = E_2$$

$$J + J'_1 + J'_2 = 0 \Rightarrow J = -J'_1 - J'_2 \quad (1)$$

$$J = -J_1 - J_2 + (Y_1 + Y_2)E \quad (2)$$

وبالتالي يمكن كتابة المعادلتين (1) و (2) بالشكل:

$$\begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ J \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & Y_1 + Y_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_1 \\ J_2 \\ E \end{bmatrix} \quad (3)$$

بفرض أنه لدينا نمط واحد منتشر في الدليل الكبير هو f'_1 ونمط واحد منتشر في الدليل الصغير هو f_1 :
لذلك يمكن أن نكتب:

$$E_1 = V_1 f'_1 \Rightarrow J_1 = I_1 f'_1$$

$$E_2 = V_2 f_1 \Rightarrow J_2 = I_2 f_1 \quad (4)$$

$$E = \sum_q X_q f_q$$

V_1, V_2 : قيمة الجهد الناتج من الأنماط المنتشرة في الدليل الكبير والدليل الصغير ويقدر ب [volt].

X_q : ممانعة الانقطاع، تقدر ب [ohm] ، F_q : الأنماط الأساسية المؤثرة في الانقطاع.

أما في حال وجود عدة أنماط في كل دليل فيكون لدينا:

$$J_1 = \sum_n I_{1n} f'_n$$

$$J_2 = \sum_n I_{2n} f_n \quad (5)$$

لذلك تصبح المعادلة (3) بالشكل:

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \langle f'_1 / f_p \rangle \\ 0 & 0 & \langle f_1 / f_p \rangle \\ -\langle f_p / f'_1 \rangle & -\langle f_p / f_1 \rangle & \langle f_p (Y_1 + Y_2) f_q \rangle \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \sum_q X_q \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & [A] \\ 0 & 0 & [B] \\ -[A]' & -[B]' & [D] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ [X] \end{bmatrix} \quad (7)$$

f_p : يعبر عن تغير تابع المحاولة حتى قيمة q .

[A]: مصفوفة تتعلق بالأنماط المنتشرة في الدليل الأول.

[B]: مصفوفة تتعلق بالأنماط المنتشرة في الدليل الثاني.

[D]: مصفوفة تتعلق بالأنماط المنتشرة في الدليلين الأول والثاني وسماحيته الدليلين الأول والثاني.

$$[Z] = \begin{bmatrix} [A] \\ [B] \end{bmatrix} [D]^{-1} [[A] [B]'] \quad (8)$$

وبالتالي تكون المعادلة (8) هي المعادلة المعبرة عن الانقطاع في دليل الموجة

حساب المصفوفة D:

$$D_{pq} = \sum \frac{|\langle g_e / f_{mn}(TE) \rangle|^2}{y_1(TE) + y_2(TE)} + \sum \frac{|\langle g_e / f_{mn}(TM) \rangle|^2}{y_1(TM) + y_2(TM)} \quad (9)$$

حيث: g_e هي نفسها تابع المحاولة f_p or f_q ،

$$\begin{aligned} y_1(TE) &= (\gamma_1 / jw\mu_0) \cot(\gamma_1 l_1), y_2(TE) = (\gamma_2 / jw\mu_0) \cot(\gamma_2 l_2) \\ y_1(TM) &= (jw\epsilon_0 / \gamma_1) \cot(\gamma_1 l_1), y_2(TM) = (jw\epsilon_0\epsilon_r / \gamma_2) \cot(\gamma_2 l_2) \end{aligned} \quad (10)$$

$$l_1 = l, l_2 \gg l_1, w = 2\pi f, k_0 = 2\pi / \lambda$$

$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7}, \epsilon_0 = 1/36\pi 10^9$$

حيث: l : سماكة المادة العازلة للهوائي الشرائحي المطبوع وتقدر بـ [m].

γ_1, γ_2 : ثابت الانتشار ويعطى بالعلاقة التالية:

$$\gamma_2^2 = \frac{m^2 \pi^2}{a^2} + \frac{n^2 \pi^2}{b^2} - k_0^2, \gamma_1^2 = \frac{m^2 \pi^2}{a^2} + \frac{n^2 \pi^2}{b^2} - k_0^2 \epsilon_r \quad (11)$$

النتائج والمناقشة:

1- دراسة توزيع الأنماط على الهوائي المراد تصميمه:

تمت دراسة توزيع الأنماط في أربع حالات: TE/te, TE/tm, TM/te, TM/tm

بتطبيق قانون الجداء السلمي بين النمطين المنتشرين [2]: حيث إن f^* هو مرافق f .

$$I = \langle f_p / f_q \rangle = \iint_{xy} (f_{px}^* f_{qx} + f_{py}^* f_{qy}) dx dy \quad (12)$$

$$I = \langle TE / te \rangle = A'_{mn} A_{mn} \left[\frac{nn'}{db} I_1 I_2 + \frac{mm'}{ca} I_3 I_4 \right] \quad (13)$$

$$I_1 = \int_{-\frac{c}{2}}^{\frac{c}{2}} \cos \frac{m' \pi x}{c} \cos \frac{m \pi x}{a} dx = i_{cx} \quad (14)$$

$$I_2 = \int_{-\frac{d}{2}}^{\frac{d}{2}} \sin \frac{n' \pi y}{d} \sin \frac{n \pi y}{b} dy = i_{sy} \quad (15)$$

$$I_3 = \int_{-\frac{c}{2}}^{\frac{c}{2}} \sin \frac{m' \pi x}{c} \sin \frac{m \pi x}{a} dx = i_{sx} \quad (16)$$

$$I_4 = \int_{-\frac{d}{2}}^{\frac{d}{2}} \cos \frac{n' \pi y}{d} \cos \frac{n \pi y}{b} dy = i_{cy} \quad (17)$$

وبالطريقة نفسها يتم حساب:

$$\langle TE / tm \rangle = A'_{mn} A_{mn} \left[\frac{-nm'}{bc} I_1 I_2 + \frac{n'm}{da} I_3 I_4 \right] \quad (18)$$

$$\langle TM / te \rangle = A'_{mn} A_{mn} \left[\frac{-n'm}{da} I_1 I_2 + \frac{m'n}{cb} I_3 I_4 \right] \quad (19)$$

$$\langle TM / tm \rangle = A'_{mn} A_{mn} \left[\frac{mm'}{ac} I_1 I_2 + \frac{nn'}{bd} I_3 I_4 \right] \quad (20)$$

حيث:

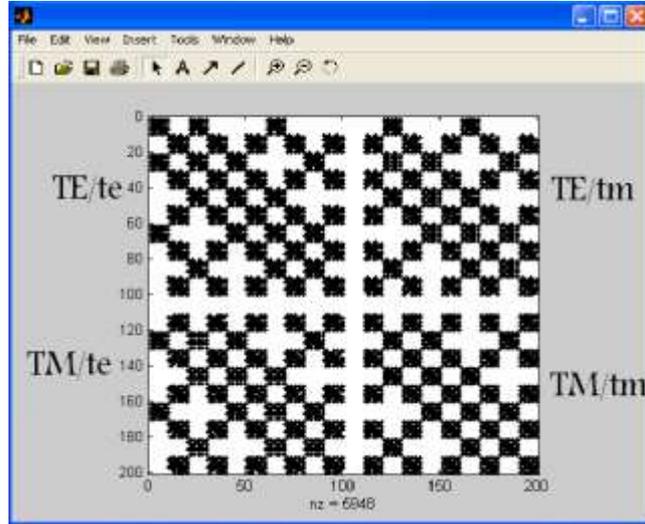
عدد الأنماط في الدليل الأول (m,n) وعدد الأنماط في الدليل الثاني (m',n').
 λ : طول الموجة، يقدر بـ [m] ، c: سرعة الضوء في الخلاء، تقدر بـ [m/S] ، f: تردد الهوائي الشرائحي، يقدر بـ [Hz].

A'_{mn} ، A_{mn} : ثوابت المطال وتعطى بالعلاقة المستنتجة (21).

τ_{mn} ، $\tau_{m'n'}$: ثوابت تتعلق بالأنماط و تساوي 2 عندما $m \neq n$ أو تساوي 1 عندما $m = n$.

$$A'_{m'n'} = \sqrt{\frac{2\tau_{m'n'}}{cd}}, \quad A_{mn} = \sqrt{\frac{2\tau_{mn}}{ab}}, \quad k_0 = \frac{2\pi}{\lambda} : \lambda = \frac{c}{f} \quad (21)$$

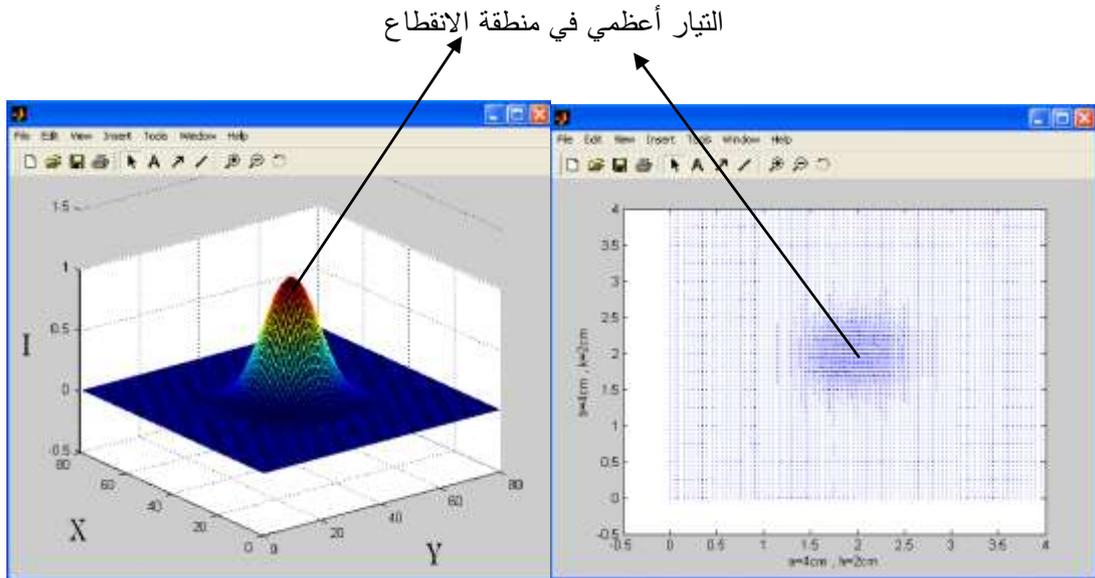
يبين الشكل(2) تأثير الانقطاع في توزيع الأنماط في الحالات الأربع السابقة، حيث مكان اللون الأسود يعني وجود نمط منشور، ومكان الأبيض يكون النمط مساويا للصفري، وبالتالي يمكن تحديد جميع الأنماط (الموجودة والمعدومة) في كل حالة.



الشكل(2): تأثير الانقطاع في توزيع الأنماط $m=n=10, m'=n'=10$

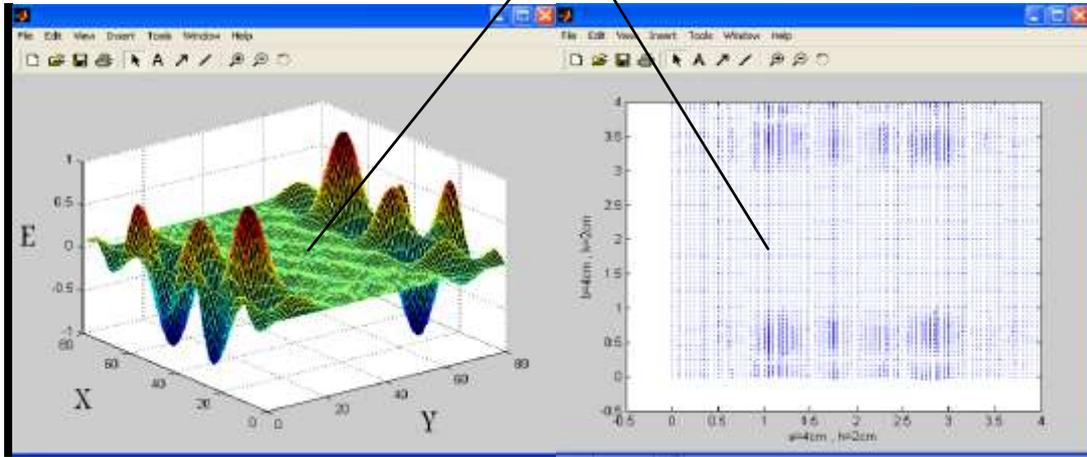
2- دراسة توزيع الجهد والتيار على الهوائي المراد تصميمه:

بما أن الهوائي الشرائحي المطبوع عبارة عن شريحة معدنية على طبقة عازلة، يكون توزيع التيار أعظماً في منطقة الهوائي (منطقة الانقطاع) ومعدوماً قبل وبعد منطقة الهوائي، ويكون توزيع الجهد معدوماً في منطقة الهوائي (منطقة الانقطاع) وأعظماً قبل وبعد منطقة الهوائي [3].



الشكل(3): توزيع التيار أعظمي في منطقة الانقطاع ($a=b=4\text{cm}, h=k=2\text{cm}$)

الجهد معدوم في منطقة الانقطاع

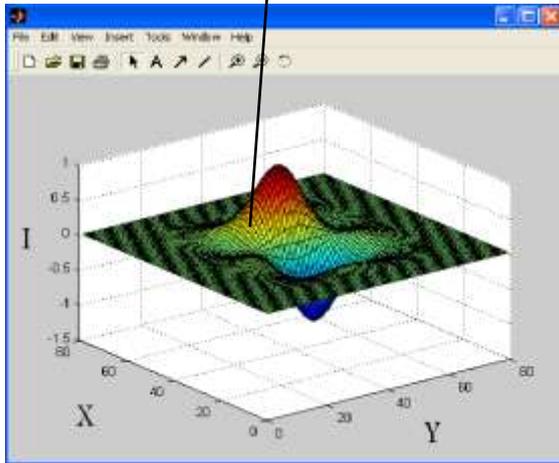


الشكل(4): توزيع الجهد معدوم في منطقة الانقطاع ($a=b=4\text{cm}$, $h=k=2\text{cm}$)

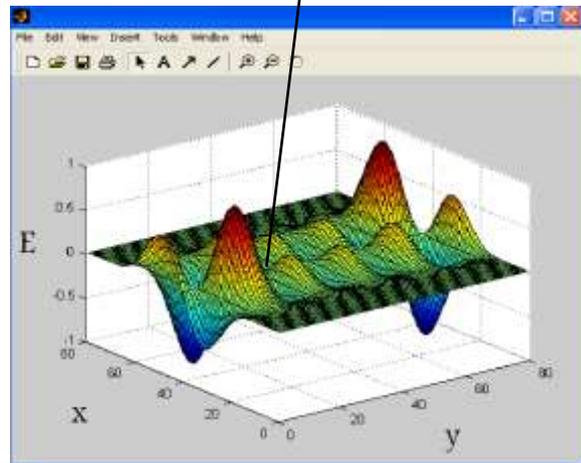
3-دراسة تأثير تغيير أبعاد الهوائي في توزيع الجهد وتوزيع التيار وتوزيع الأنماط:

من المهم الملاءمة بين أبعاد الهوائي وأبعاد الدليل؛ لأن زيادة أبعاد الهوائي بالنسبة لأبعاد الدليل تؤدي إلى زيادة توزيع الأنماط في منطقة الانقطاع، بسبب وجود الانعكاسات عن جدران الدليل، وبالتالي ينتج من ذلك تشوه في توزيع الجهد وتوزيع التيار في منطقة الانقطاع (منطقة الهوائي) وهذا يزيد من صعوبة دراسة الممانعة وتصميم التردد [3].

تشوه التيار في منطقة الهوائي



تشوه الجهد في منطقة الهوائي



الشكل(5): تشوه الجهد والتيار بعد زيادة أبعاد الهوائي

($a=b=4\text{cm}$, $h=k=3\text{cm}$)

نلاحظ من الشكل (5) أن توزيع التيار ليس أعظماً في منطقة الانقطاع، وتوزيع الجهد ليس معدوماً في منطقة الانقطاع بسبب زيادة أبعاد الهوائي بالنسبة لأبعاد الدليل.

4- تصميم الهوائي الشرائحي (تحديد التردد - ممانعة الدخل):

تم تصميم تردد الهوائي الشرائحي باتباع الخطوات التالية:

1- تحديد البرمترات الأساسية للهوائي الشرائحي (أبعاد الهوائي الشرائحي (h,k)) - ثابت العازلية للمادة العازلة - سماكة المادة العازلة).

2- تحديد البرمترات الأساسية لدليل الموجة (a,b) .

3- تطبيق شرط الملازمة بين دليل الموجة والهوائي لمنع الانعكاسات والتشوه في توزع الأنماط والجهد والتيار: المسافة بين الهوائي ودليل الموجة أكبر من ربع طول الموجة [5].

4- رسم العلاقة المعبرة عن التردد بدلالة المصفوفة D والتي تضم الأنماط و السماحيات الموجودة في الدارة الكهربائية المكافئة لتطبيق نظرية Galerkin على الانقطاع في دليل الموجة.

5- إن أصفار المصفوفة D هي ترددات دارات رنين الهوائي الشرائحي، ويكون تردد الهوائي الشرائحي المطلوب هو التردد الذي يحصل عنده أقل تغيير في حال تغيير أبعاد دليل الموجة، وأكبر تغيير في حال تغيير أبعاد الهوائي الشرائحي.

4-1- تصميم تردد الهوائي الشرائحي (دون وجود خط تغذية):

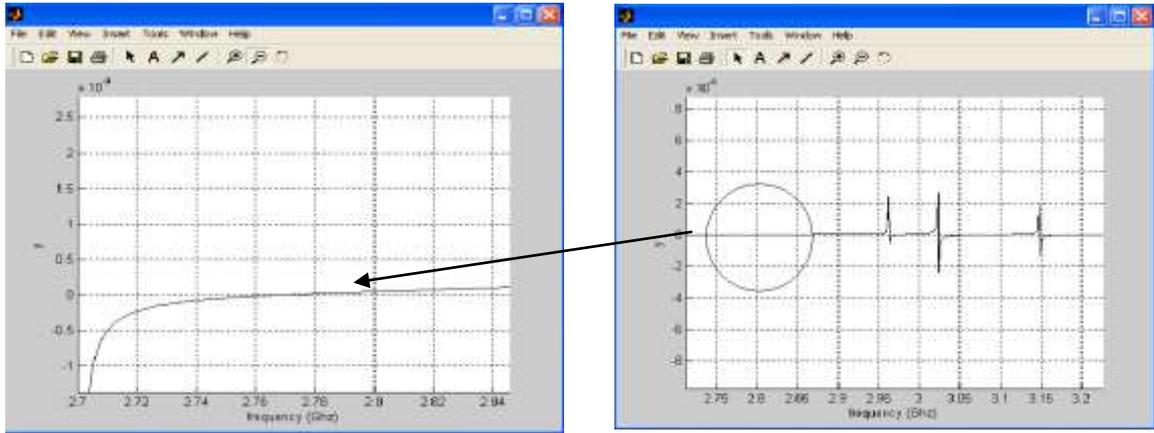
أبعاد الهوائي الشرائحي: $h=k=50\text{mm}$

ثابت العازلية للمادة العازلة: $\epsilon_r = 1.1$ وسماكة المادة العازلة $l=5\text{mm}$

أبعاد دليل الموجة $a=b=110\text{mm}$

نلاحظ في الشكل (6) لدينا عدة تقاطعات مع الصفر، ويكون التردد الذي يحصل عنده أقل تغيير في حال

تغيير أبعاد دليل الموجة، وأكبر تغيير في حال تغيير أبعاد الهوائي الشرائحي $f=2.768\text{GHZ}$



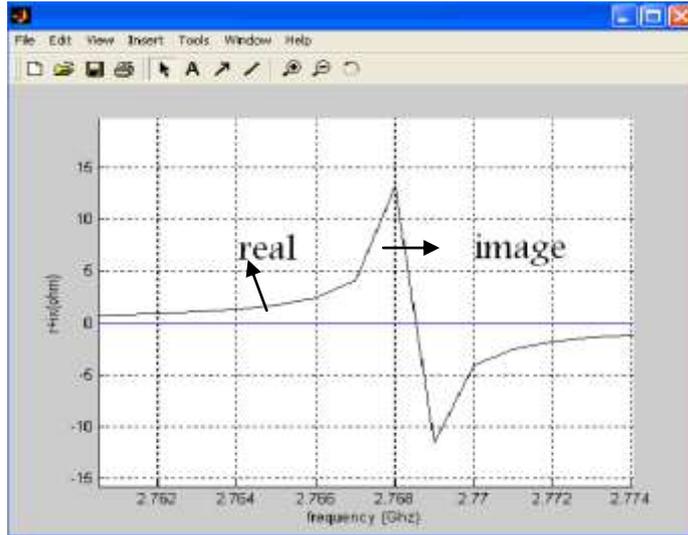
الشكل (6): يبين قيمة تردد الهوائي الشرائحي (دون وجود خط تغذية) من أجل القيم :

$$a=b=110\text{mm} , l=5\text{mm} , \epsilon_r = 1.1 , h=k=50\text{mm} , f=2.768\text{GHZ}$$

4-2- رسم القسم الحقيقي والتخيلي لممانعة دخل الهوائي (دون وجود خط تغذية):

نلاحظ في الشكل (7) أن القسم التخيلي ينعدم عند التردد $(f=2.768\text{GHZ})$ أما القسم الحقيقي لممانعة دخل

الهوائي فلا يأخذ قيمة أعظمية لعدم وجود تغذية للهوائي الشرائحي [4].



الشكل (7): رسم القسم التخيلي والحقيقي لممانعة دخل الهوائي الشرائحي (دون وجود تغذية)

3-4- تصميم تردد الهوائي الشرائحي (بوجود خط تغذية):

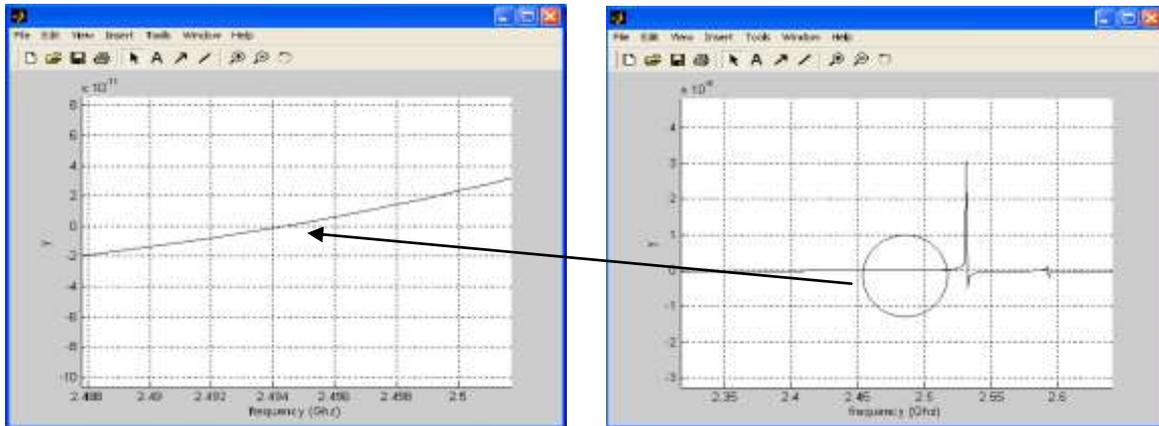
أبعاد الهوائي الشرائحي: $h=k=50\text{mm}$

ثابت العازلية للمادة العازلة: $\epsilon_r = 1.1$ وسماكة المادة العازلة $l=3\text{mm}$

أبعاد خط التغذية: $h_1=20\text{mm}$, $k_1=5\text{mm}$, أبعاد دليل الموجة $a=b=110\text{mm}$

نلاحظ في الشكل (8) لدينا عدة تقاطعات مع الصفر، ويكون التردد الذي يحصل عنده أقل تغيير في حال

تغيير أبعاد دليل الموجة، وأكبر تغيير في حال تغيير أبعاد الهوائي الشرائحي $f=2.494\text{GHZ}$



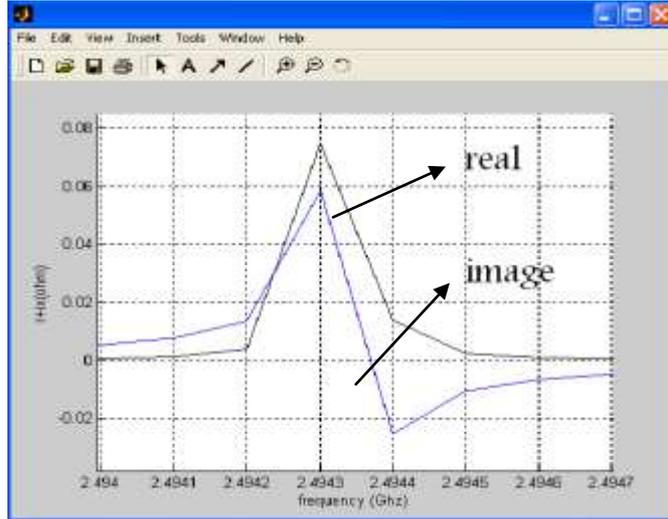
الشكل (8) يبين قيمة تردد الهوائي الشرائحي (بوجود خط تغذية) من أجل القيم:

$a=b=110\text{mm}$, $l=3\text{mm}$, $\epsilon_r = 1.1$, $h=k=50\text{mm}$, $h_1=20\text{mm}$, $k_1=5\text{mm}$, $f=2.494\text{GHZ}$

4-4- رسم القسم الحقيقي والتخيلي لممانعة دخل الهوائي (بوجود خط تغذية):

نلاحظ في الشكل (9) أن القسم التخيلي ينعدم عند التردد $(f=2.494\text{GHZ})$ والقسم الحقيقي لممانعة دخل

الهوائي يأخذ قيمة أعظمية عند هذا التردد [4].



الشكل (9): رسم القسم التخيلي والحقيقي لممانعة دخل الهوائي الشرائحي (بوجود خط تغذية)

5- مقارنة طريقة Galerkin ببعض طرق حساب تردد الهوائي الشرائحي:

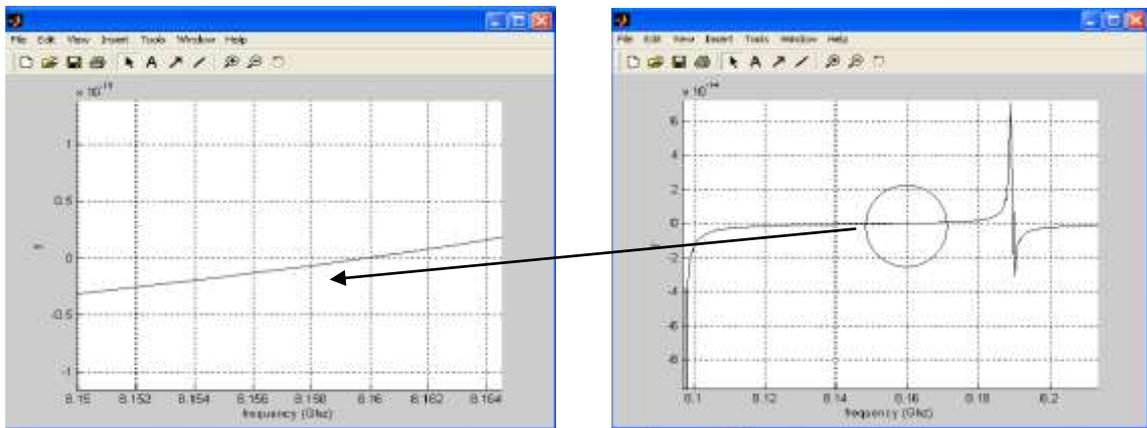
5-1- مقارنة طريقة Galerkin بطريقة Genetic Algorithm في حساب التردد [5]:

من أجل القيم: $\epsilon_r = 2.55$, $h=11.5\text{mm}$, $k=10\text{mm}$, $l=3\text{mm}$

1- طريقة Genetic Algorithm : $f=8\text{GHZ}$

2- طريقة Galerkin : $f=8.16\text{GHZ}$ كما هو مبين في الشكل (10)

- الفرق بين الطريقتين: 2 %



الشكل (10): قيمة التردد عند القيم $\epsilon_r = 2.55$, $h=11.5\text{mm}$, $k=10\text{mm}$, $l=3\text{mm}$

باستخدام طريقة Galerkin ($f=8.16\text{GHZ}$)

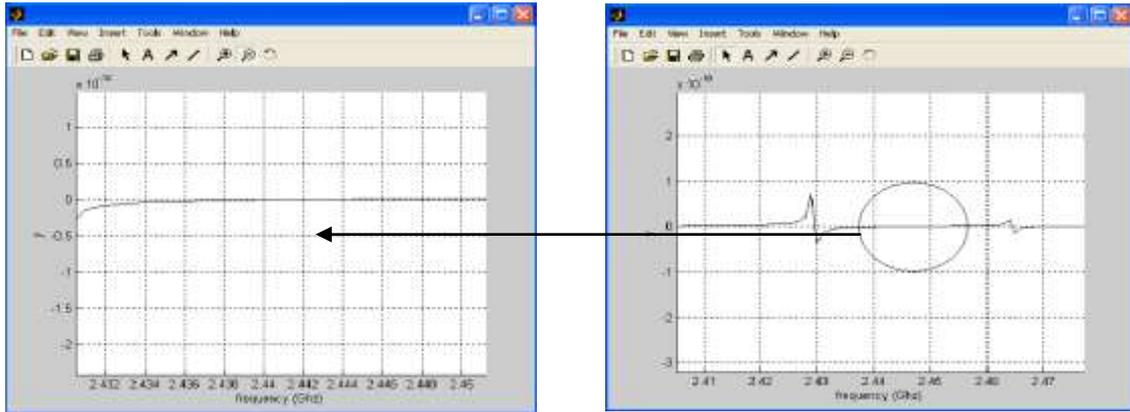
5-2- مقارنة طريقة Galerkin بالطريقة التكاملية في حساب التردد [6] :

من أجل القيم: $\epsilon_r = 2.32$, $h=275\text{mm}$, $k=37.5\text{mm}$, $l=3.18\text{mm}$

1- الطريقة التكاملية: $f=2.48\text{GHZ}$

2- طريقة Galerkin: $f=2.44\text{GHZ}$ كما هو مبين في الشكل (11)

- الفرق بين الطريقتين: 1.61 %



الشكل (11): قيمة التردد عند القيم $\epsilon_r = 2.32$, $h=275\text{mm}$, $k=37.5\text{mm}$, $l=3.18\text{mm}$ باستخدام طريقة Galerkin ($f=2.44\text{ GHz}$)

6- دراسة منحنيات التقارب والاستقرار:

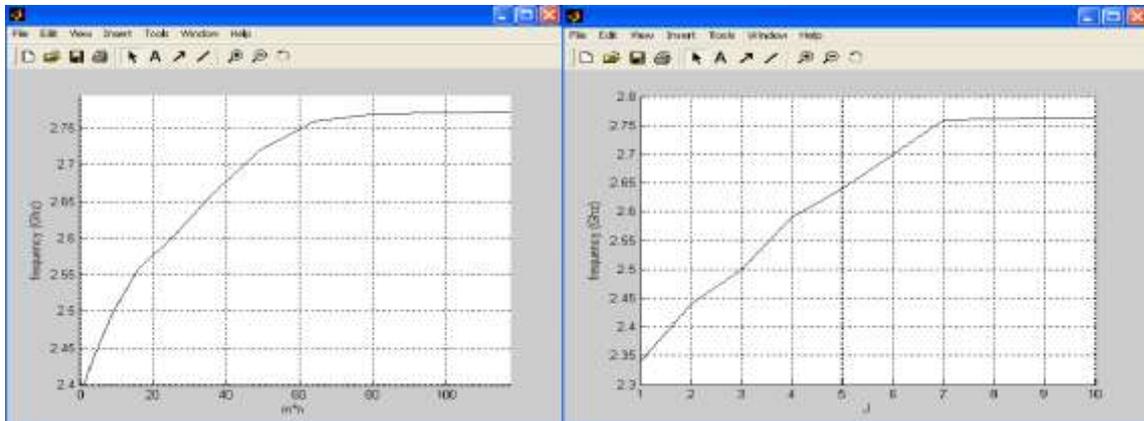
يقصد بدراسة منحنيات التقارب والاستقرار تحديد عدد الأنماط وعدد توابع المحاولة اللازمة لاستقرار الدارة المكافئة لتطبيق نظرية Galerkin على الانقطاع في دليل الموجة.

الجدول (1) : تحديد عدد الأنماط اللازمة للاستقرار

100	81	64	49	36	25	16	9	4	1	عدد الأنماط
2.762	2.761	2.74	2.72	2.66	2.6	2.56	2.5	2.44	2.4	التردد GHZ

الجدول (2) : تحديد عدد توابع المحاولة اللازمة للإستقرار

10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	عدد توابع المحاولة
2.762	2.76	2.76	2.76	2.7	2.64	2.6	2.5	2.44	2.34	التردد GHZ



الشكل (12): تحديد عدد الانماط وعدد توابع المحاولة اللازمة للاستقرار

نلاحظ من منحنيات الاستقرار في الشكل (12) أن تغير التردد يكون كبيراً في البداية بالنسبة لتغير صغير في عدد الأنماط، وذلك بسبب أننا لم نبلغ حالة الطنين بعد، وبزيادة عدد الأنماط يتناقص هذا التغير ليتأرجح حول تردد عمل الهوائي، وبالتالي من أجل دراسة الهوائي والحصول على النتائج الصحيحة يُكتفى بأخذ عدد محدود من الأنماط (81 نمط) وعدد محدود من توابع المحاولة (7 توابع) ، حيث الزمن كاف كي تصل الموجه إلى حواف الرقعة وترتد، ثم تصل إلى حالة الاستقرار .

7- تحديد العوامل المؤثرة في تردد الهوائي الشرائحي:

7-1- علاقة تردد عمل الهوائي بحجمه:

من أجل التأكد من تردد عمل الهوائي نلجأ إلى تغيير حجم الهوائي، حيث يكون تغير تردد عمل الهوائي متناسبا مع تغير حجمه [7] .

لاحظنا أن قيمة تردد الهوائي الشرائحي (دون وجود خط تغذية) هي ($f1=2.768\text{GHZ}$) من أجل القيم:

أبعاد الهوائي الشرائحي: $h=k=50\text{mm}$

ثابت العازلية للمادة العازلة: $\epsilon_r = 1.1$ وسماكة المادة العازلة $l=5\text{mm}$

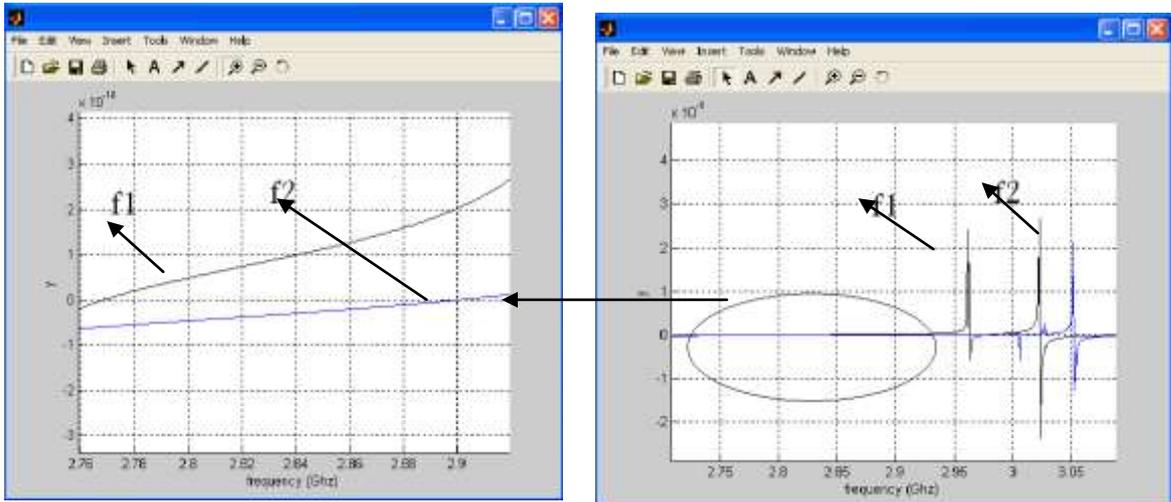
بفرض تم تغيير طول الهوائي بمقدار 3mm :

أبعاد الهوائي الشرائحي: $h=k=47\text{mm}$

ثابت العازلية للمادة العازلة: $\epsilon_r = 1.1$ وسماكة المادة العازلة $l=5\text{mm}$

نلاحظ من الشكل (13) أن قيمة التردد ($f2=2.9\text{GHZ}$) .

أي أن نقصان طول الهوائي بمقدار 6% أدى إلى زيادة التردد بمقدار 5.7%



الشكل (13): علاقة تردد الهوائي بحجمه

$f1=2.768\text{ GHZ}$: ($h=k=50\text{mm}$, $l=5\text{mm}$)

$f2=2.9\text{ GHZ}$: ($h=k=47\text{mm}$, $l=5\text{mm}$)

نلاحظ من النتائج السابقة التوافق بين التغيرات التي حصلت على أبعاد الهوائي و ما أدت به من تغيرات على تردد الهوائي، لأن أبعاد الهوائي تتناسب عكسا مع تردد عمله، وهذا يدعم صحة الطريقة التي تم اختيارها وبرمجتها بشكل كامل باستخدام الـ *Matlab*.

2-7- علاقة تردد عمل الهوائي بثابت العازلية:

تُعدّ عملية تحديد طبيعة المادة العازلة المكونة لبنية الهوائي وخواصها الكهربائية من العمليات الهامة جداً، وخاصة عند التصميم العملي، ولهذا كان لابد من دراسة علاقة تردد طنين عمل الهوائي بثابت العازلية (السماحية الكهربائية للمادة العازلة).

وما دام أي تغير في أحد بارامترات الهوائي يعني تغيراً في الخواص الإشعاعية لهذا الهوائي [7] فإن أهمية هذه المرحلة تكمن في تحقيق عملية التحكم بالخواص الإشعاعية للهوائي عن طريق ثابت العازلية الكهربائي للمادة العازلة المكونة لبنية الهوائي .

إن قيمة تردد الهوائي الشرائحي (دون وجود خط تغذية) هي ($f_1=2.768\text{GHZ}$) من أجل القيم:

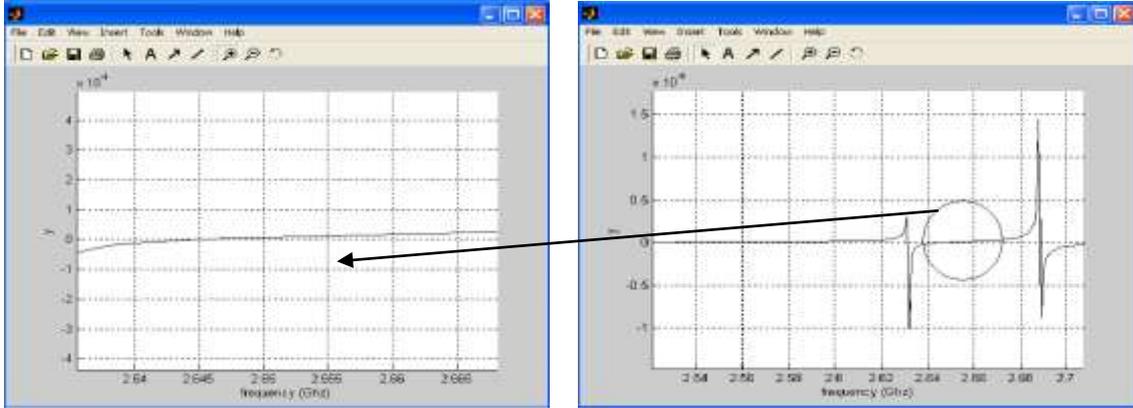
فأبعاد الهوائي الشرائحي: $h=k=50\text{mm}$

ثابت العازلية للمادة العازلة: $\epsilon_r = 1.1$ وسماكة المادة العازلة $l=5\text{mm}$

أما إذا كانت قيمة ثابت العازلية للمادة العازلة $\epsilon_r = 1.2$ وسماكة المادة العازلة $l=5\text{mm}$

أبعاد الهوائي الشرائحي: $h=k=50\text{mm}$:

نلاحظ من الشكل (14) : أن قيمة تردد الهوائي الشرائحي ($f_2= 2.645 \text{ GHZ}$)



الشكل (14): قيمة تردد الهوائي الشرائحي عند القيم $\epsilon_r = 1.2$

$l=5\text{mm}$, $h=k=50\text{mm}$

($f_2= 2.645 \text{ GHZ}$)

نلاحظ من النتائج السابقة أن تردد عمل الهوائي يتناقص بزيادة السماحية الكهربائية للمادة العازلة، وهذا يعود إلى أن التردد يتناسب عكسا مع $\sqrt{\epsilon_r}$ ، وبالتالي بتغيير قيمة السماحية الكهربائية ينتج تغير في قيمة تردد طنين عمل الهوائي، وهذا يفرض بالضرورة تغيراً في الخواص الإشعاعية للهوائي .

الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- إن استخدام نظرية Galerkin في دراسة وتصميم الهوائيات الشرائحية المطبوعة مكننا من رسم الدارة الكهربائية المكافئة للهوائي الشرائحي المطبوع، واستنتاج العلاقات التي نحصل من خلالها على تردد عمله وممانعة دخله، وتم بناء عليه إنشاء برنامج يحاكي هذه الطريقة باستخدام الماتلاب.
- 2- إن دراسة توزيع الأنماط وتوزيع الجهد والتيار في منطقة الهوائي هي الأساس في تحقيق الملاءمة بين الهوائي المراد تصميمه و دليل الموجة.
- 3- تم في هذا البحث تصميم تردد الهوائي الشرائحي المطبوع بزمن حساب صغير نسبياً، مقارنة بالطرق الأخرى المستخدمة في دراسة وتصميم الهوائيات الشرائحية المطبوعة نتيجة دراسة منحنيات التقارب والاستقرار، والتي حددت عدد الأنماط، وعدد توابع المحاولة اللازمة لحساب تردد عمل الهوائي الشرائحي المطبوع.
- 4- إن دراسة علاقة تردد عمل الهوائي الشرائحي المطبوع بثابت العازلية للمادة العازلة تمكنا من التحكم بالخواص الإشعاعية لهذا الهوائي.
- 5- هناك حاجة للتنفيذ العملي لهذا النوع من الهوائيات والقيام بعملية المقارنة بين المخطط الإشعاعي الناتج من عملية الحساب الرياضي والمخطط الإشعاعي العملي، وذلك عند توافر القاعدة المادية التي ستساعد على انجاز مثل هذا النوع من الهوائيات، من ناحية الدقة في تصنيع رقعة الهوائي، وتوافر طبقة عازلة يتوضع عليها الهوائي ذات مواصفات محددة ومستقرة، وتوافر كابلات وأقطاب التوصيل، إضافة إلى توافر أجهزة القياس والتحليل المناسبة للمجال الترددي للهوائي المدروس.

المراجع:

- [1]- BAUDRAND, H. *Introduction Au Calcul de Circuits Microondes*. Toulouse, 2001,125.
- [2]- POZAR, D. *Design of Rectangular Microstrip Patch Antennas for the 2.4 GHz Band*. 1997, 24-34.
- [3]- SALEH, A.; ALI, M. *Analyses and Design of Microstrip Antennas with radiation properties control*. Aleppo, 2006,128.
- [4]- IRSADI, S.; CHUANG, L. *On Slot-Coupled Microstrip Antennas and their Applications*. 1990,1225-1230.
- [5]- CHATTORAJ, N. S.; ROY, J. *Application of Genetic Algorithm to the Optimization of Microstrip Antennas with and without superstrate*. 2007, 32-35.
- [6]- ARUNK, B. *Long Rectangular Patch Antenna with a Single Feed*. 1995, 987-993.
- [7]- BALANIS, A. *Antenna Theory, Analyses and design*. seconde edition, New York, 1997, 941.