

تأثير زاوية ورود الأمواج في المرشح التجزيئي الميكروي

فاتن سرحيل*

(تاريخ الإيداع 3 / 12 / 2013. قُبل للنشر في 11 / 2 / 2014)

□ ملخص □

دُرست المرشحات التي تعتمد على البنى التجزيئية سابقاً وتم تحليل التأثير الناجم عن معاملات البنى التجزيئية في تصميم المرشح , وذلك بافتراض ورود الأمواج بشكل ناظمي , بينما يقدم هذا البحث دراسة حول تأثير ورود الأمواج بشكل مائل في تصميم المرشحات التجزيئية , إذ اخترنا الشريط الكانتوري (Cantor bar) كنموذج عن البنى التجزيئية (Fractals) , حيث نناقش أولاً معاملات الإرسال والانعكاس عنه عند ورود الأمواج الكهرومغناطيسية بشكل مائل, ثانياً نرسم مخططات الانعراج (twist plots) التي تنطلق منها عملية تصميم المرشحات التجزيئية الانتقائية, أخيراً نبرهن أن انحراف الأمواج بمقدار بسيط لا يكون له تأثير ملحوظ في المرشح التجزيئي.

الكلمات المفتاحية: البنى التجزيئية, الشريط الكانتوري, زاوية الورد , مخططات الانعراج, المرشح التجزيئي.

* قائم بالأعمال - قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

The Effect of the Wave Incident Angle on the Microwave Fractal Filter

Faten Sarhel*

(Received 3 / 12 / 2013. Accepted 11 / 2 / 2014)

□ ABSTRACT □

Fractal filters have been studied before, and the effect of fractal parameters on the design of filter has been discussed for normal incident. In this paper, we propose a study for the effect of the angle of incidence on fractal filters. We choose a Cantor bar as an example of fractals. Firstly, we investigate its reflection and transmission coefficients when an electromagnetic wave obliquely occurs. Secondly, we draw twist plots which can be help design selective fractal filters. Finally, we demonstrate that the little deviation of the wave incident angle gives very small changes in terms of resonant frequency and bandwidth of fractal filters.

Keywords: fractals, cantor bar, angle of incidence, lacunarity, twist plots, fractal filter.

*Work Supervisor, Department of Communications Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

اعتبرت معظم الدراسات أن الأمواج الكهرطيسية ترد بشكل ناظمي على البنى التجزئية , لذا سنفترض في هذا البحث أن هذه الأمواج تنحرف لسبب ما , وسندرس معاملات الانعكاس والإرسال في هذه الحالة , ثم سنبين أثر هذا الانحراف في المرشحات التجزئية الميكروية التي تم تصميمها اعتماداً على الشريط الكانتوري كنموذج عن البنى التجزئية .

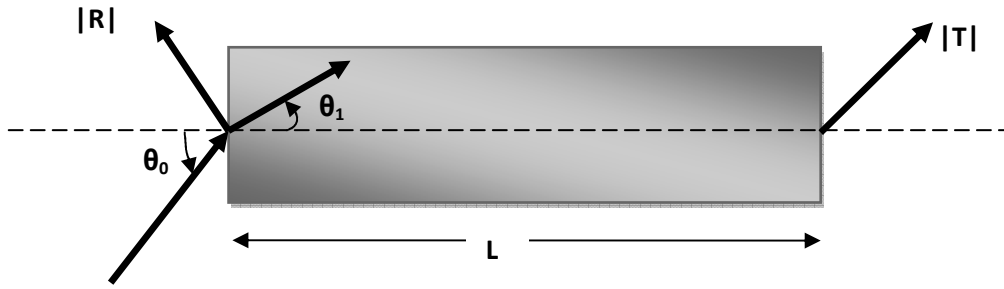
أهمية البحث وأهدافه:

يقدم البحث المطروح مساهمة جديدة في دراسة تأثير زاوية ورود الأمواج في المرشحات التجزئية , ويبرهن أنه من أجل قيم صغيرة لهذه الزاوية , يكون تأثير هذا الانحراف بسيط (ضمن الحدود المقبولة) في هذه المرشحات.

طرائق البحث ومواده:

1- معاملات الإرسال والانعكاس عن الشريط الكانتوري من أجل زوايا ورود مائلة:

يبين الشكل (1) ورود الأمواج بشكل مائل (oblique incidence) على الشريط الكانتوري ذي الطول [1] .



الشكل (1) ورود الأمواج بشكل مائل على الشريط الكانتوري

إذ θ_0 هي زاوية ورود الأمواج وهي أيضاً زاوية الانتشار في جميع المناطق ذات عامل الانكسار n_0 . تمثل الزاوية θ_1 زاوية الانكسار وهي أيضاً زاوية الانتشار في جميع صفائح كانتور ذات عامل الانكسار n_1 , وهي ترتبط مع زاوية الورد وفق قانون سنل:

$$n_0 \sin(\theta_0) = n_1 \sin(\theta_1) \quad (1)$$

ولذا تصبح المعادلات الخاصة بحساب معاملات الإرسال والانعكاس (Transmission and Reflection

Coefficients) للشريط الكانتوري عند درجة التجزء الأولى [1], [2]:

$$\bar{R}(d) = -r + \frac{rtt' \exp(2in_1 kdcos\theta_1)}{1-r^2 \exp(2in_1 kdcos\theta_1)} \quad (2)$$

$$\bar{T}(d) = \frac{tt' \exp(in_1 kdcos\theta_1)}{1-r^2 \exp(2in_1 kd \cos\theta_1)} \quad (3)$$

تعطى معاملات فرينسل (Fresnel Coefficients) للإرسال والانعكاس على السطح الفاصل بين الوسط ذي عامل الانكسار n_1 وبين الوسط ذي عامل الانكسار n_0 عند ورود الأمواج بشكل مائل بالعلاقات :

$$r_{ij} = -\frac{\hat{n}_i - \hat{n}_j}{\hat{n}_i + \hat{n}_j} \quad (4)$$

$$t_{ij} = \frac{2\hat{n}_i}{\hat{n}_i + \hat{n}_j} \theta_{ij} \quad (5)$$

تختلف قيمة θ_{ij} حسب نوع الاستقطاب إما استقطاب موازي (parallel polarization) (الاستقطاب الموازي أو الاستقطاب المغناطيسي العرضي TM: يكون الحقل الكهربائي مواز لمستوى الورد) , أو استقطاب عمودي (perpendicular polarization) (الاستقطاب العمودي أو الاستقطاب الكهربائي العرضي TE : يكون الحقل الكهربائي عمودي على مستوى الورد) وفق العلاقة:

$$\theta_{ij} = \begin{cases} \cos\theta_i / \cos\theta_j & \text{for parallel polarization} \\ 1 & \text{for perpendicular polarization} \end{cases} \quad (6)$$

أيضاً يختلف عامل الانكسار حسب نوع الاستقطاب:

$$\hat{n}_i = \begin{cases} n_i / \cos\theta_i & \text{for parallel polarization} \\ n_i \cos\theta_i & \text{for perpendicular polarization} \end{cases} \quad (7)$$

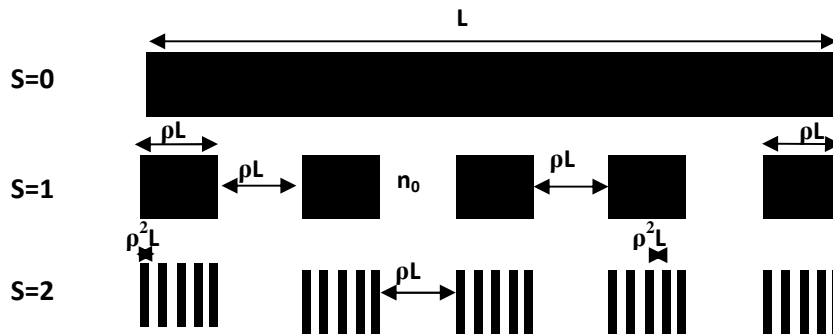
النتائج والمناقشة:

• تأثير زاوية الورد في معاملات الانعكاس عن الشريط الكانتوري:

يبين الشكل (2) التوزيع الكانتوري ذي البعد $D = \log 5 / \log 9$ عند درجات التجزيء الثلاث الأولى [3], حيث

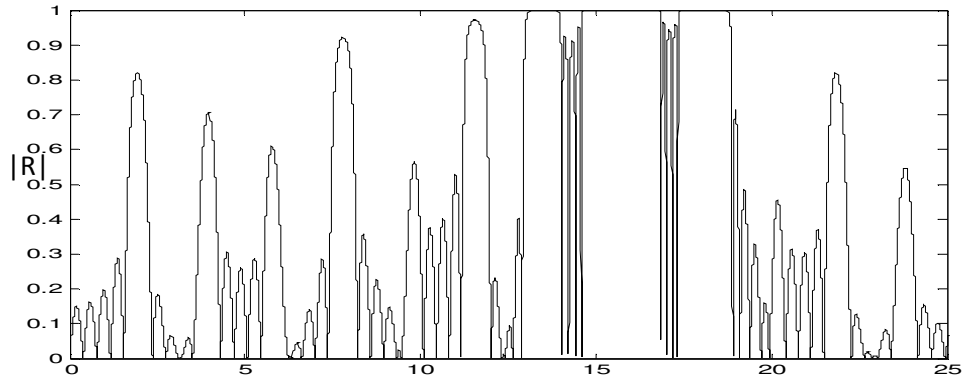
عامل التقسيم هنا

$$\rho = 1/9$$

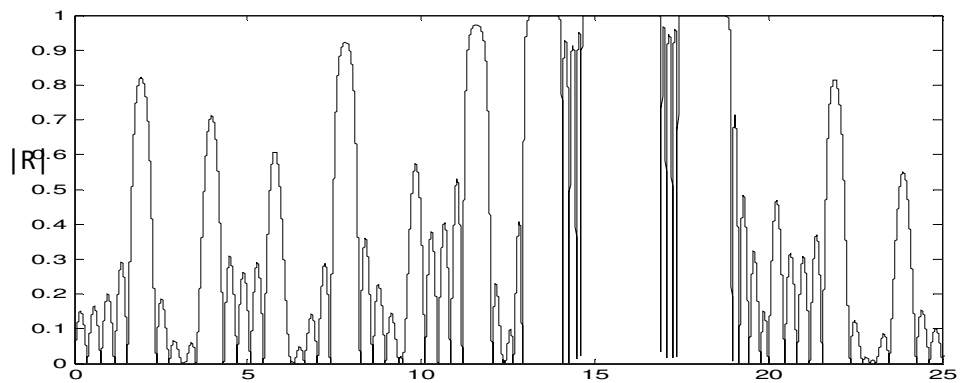


الشكل (2) الشريط الكانتوري ذي البعد $D = \log 5 / \log 9$ عند درجات التجزيء الثلاث الأولى

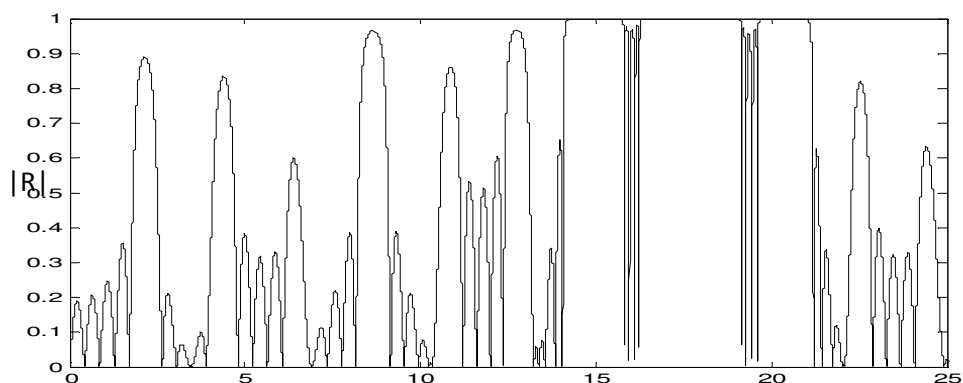
تمت برمجة العلاقات من (1) حتى (7) باستخدام لغة الماتلاب لإيجاد معاملات الانعكاس عن هذا التوزيع من أجل درجة التجزيء (Stage Of Growth S=2) [4],[5], مع افتراض أن استقطاب الموجة هو استقطاب عمودي:



(a) L/λ_0



(c) L/λ_0



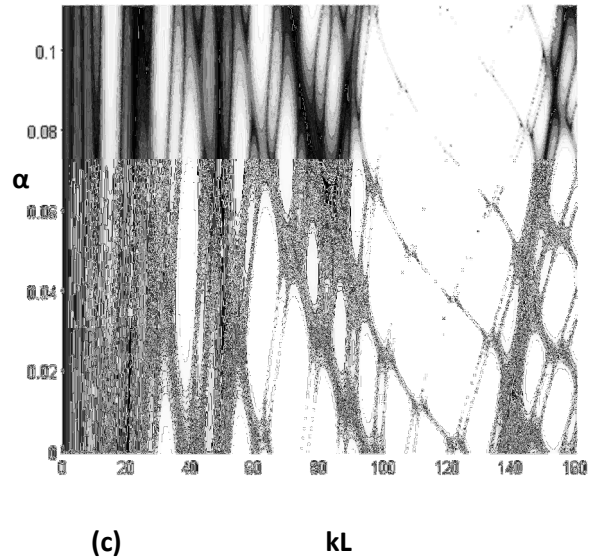
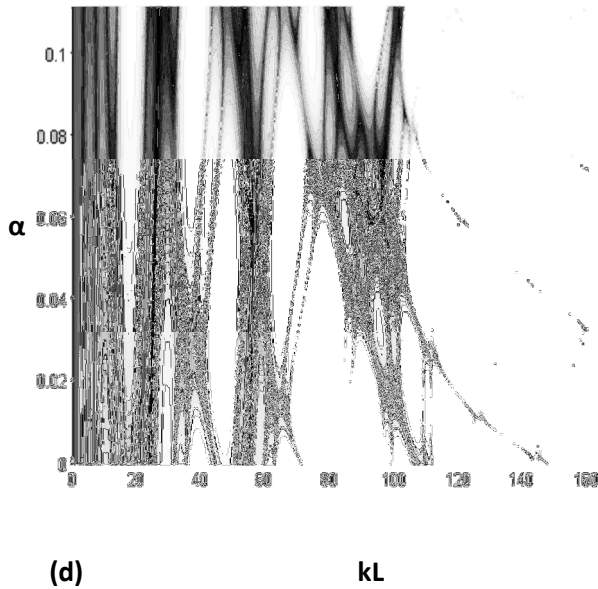
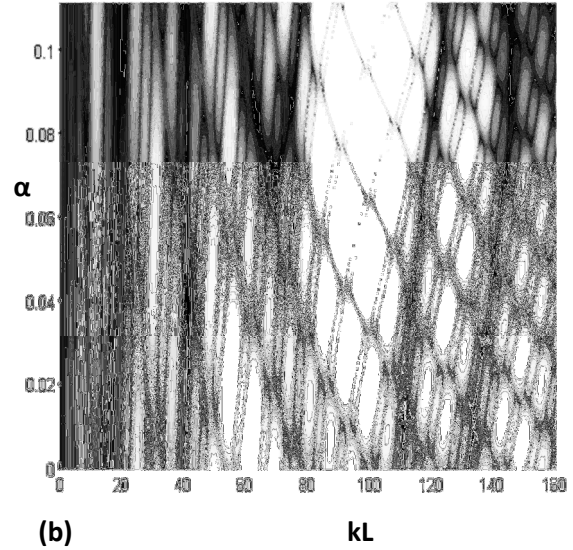
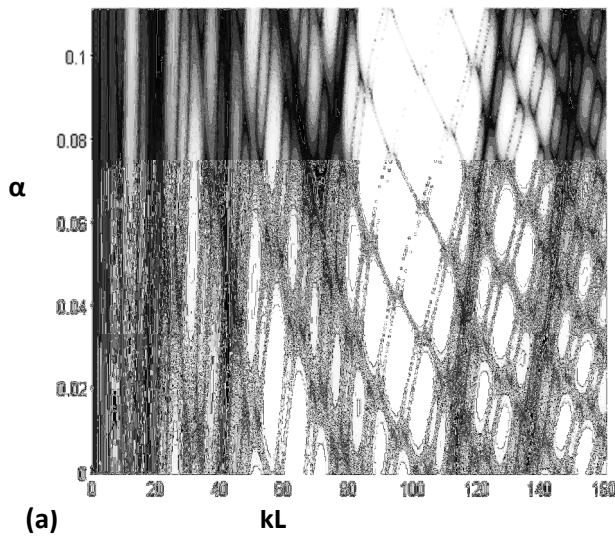
(e) L/λ_0

الشكل (3) معامل الانعكاس عن الشريط الكانتوري ذي البعد $D=0.732$ من أجل زوايا الورود: (a) $\theta_0=0^\circ$, (b) $\theta_0=5^\circ$, (c) $\theta_0=30^\circ$

نلاحظ أنه من أجل قيم صغيرة لزاوية الورد تتحرف مواقع حزم التمرير (the peaks) وحزم المنع (High Attenuation Bands) بشكل بسيط , لكن عند قيم كبيرة لزاويا الورد تتغير مواقع حزم التمرير وحزم المنع كذلك يزداد عمق وعرض حزم المنع .

•مخططات الانعراج عند زوايا ورود مائلة:

إن مخططات الانعراج (Twist plots) هي عبارة عن رسم ثلاثي البعد يمثل معامل الانعكاس (أو الإرسال) عن الشريط الكانتوري بوصفه تابعاً للقيمة KL و لعامل توزع المادة ضمن الشريط الكانتوري (α) lacunarity). تم رسم هذه المخططات باستخدام لغة الماتلاب من أجل عدة قيم لزاويا الورد, إذ يمثل معامل الانعكاس تدريجاً رمادياً من القيمة العظمى لمعامل الانعكاس (اللون الأبيض) إلى القيمة الصفرية (الأسود).



Reflection

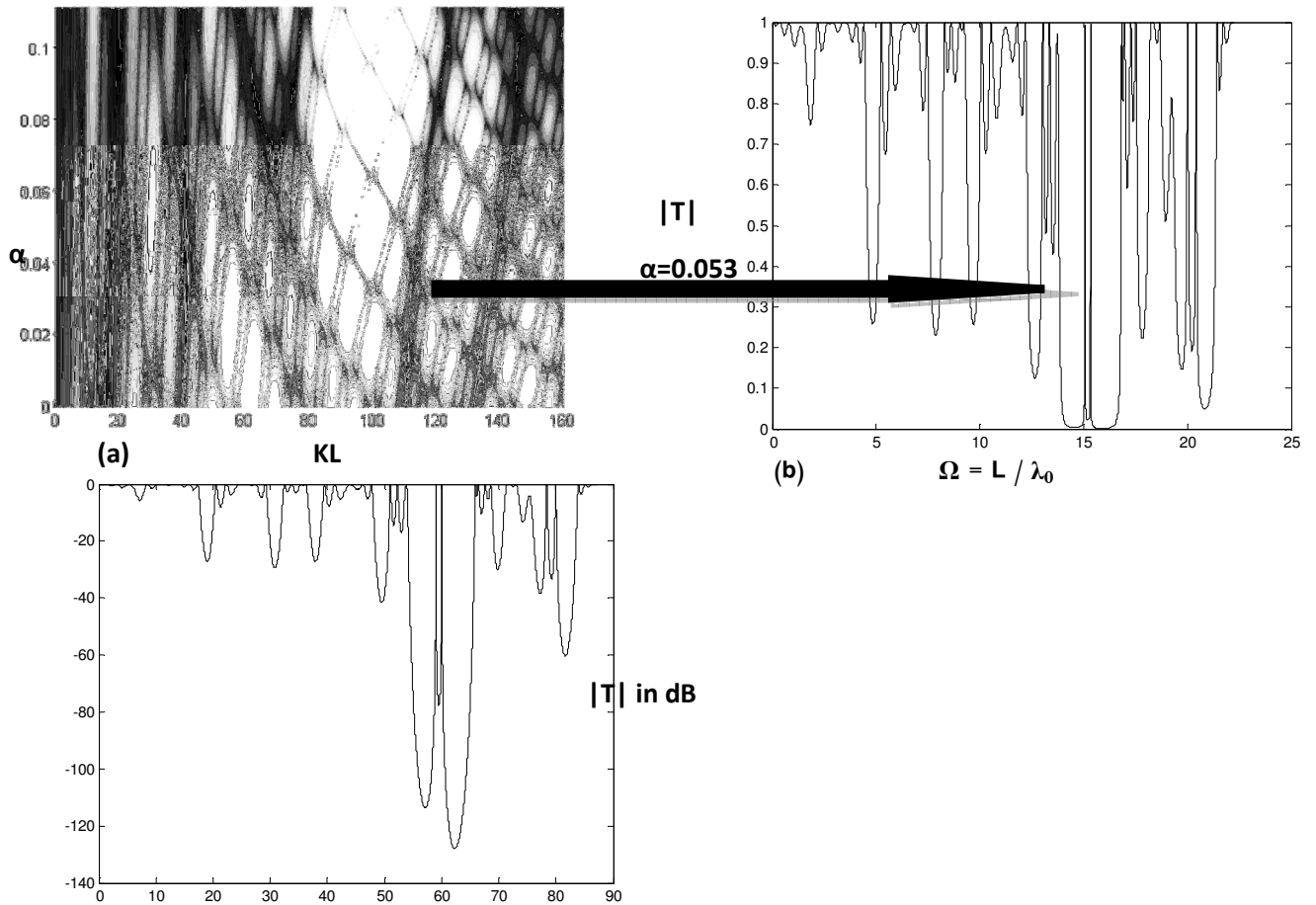


الشكل (4) مخططات الانعراج للشريط الكانتوري ذي البعد $D=0.732$ من أجل زوايا ورود: (a) $\theta_0=0^\circ$, (b) $\theta_0=15^\circ$, (c) $\theta_0=45^\circ$, (d) $\theta_0=60^\circ$

نستنتج من هذا الشكل أنه لا توجد تغيرات ملحوظة في مخططات الانعراج من أجل زوايا ورود صغيرة (حتى 10°).

• تأثير زاوية الورود في انتقائية المرشح الذي يعتمد البنى التجزئية:

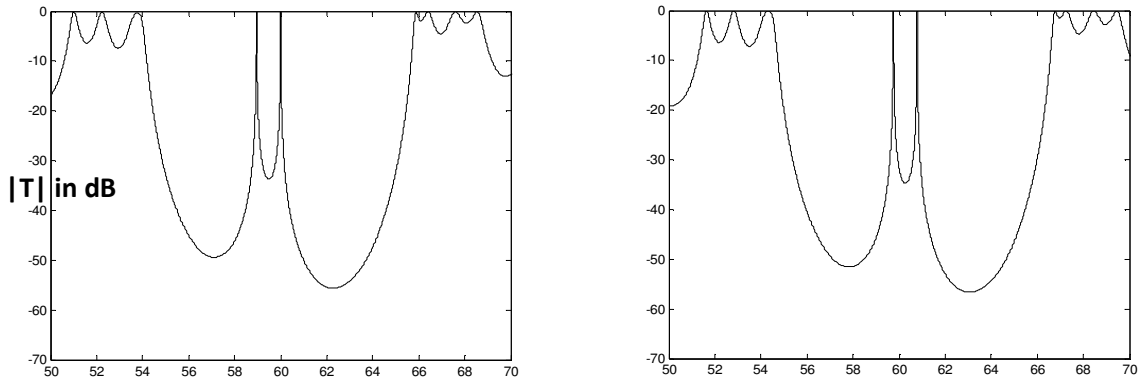
يمكن تصميم مرشح تجزئي انتقائي (selective fractal filter) انطلاقاً من مخطط الانعراج الموافق [8],[9],[10], إذ نختار منه قيمة مثلى لعامل توزع المادة هي $\alpha=0.053$ من ثم نرسم معامل الإرسال الموافق, حيث نعتبر صفائح الشريط الكانتوري مصنوعة من الزجاج (ذي عامل الانكسار $n_1=1.5$) ومتوضعة في الفراغ الحر (ذي عامل الانكسار $n_0=1$) (مع اعتبار $\theta_0=0^\circ$).



الشكل (5) (a) $f=1\text{GHz}$ الانعراج للشريط الكانتوري ذي البعد $D=0.732$ من أجل $n_1=1.5, n_0=1$ معامل الإرسال عند القيمة $\alpha=0.053$ بوصفه تابعاً لـ L/λ_0 . (c) معامل الإرسال بالديسيبل بوصفه تابعاً للتردد

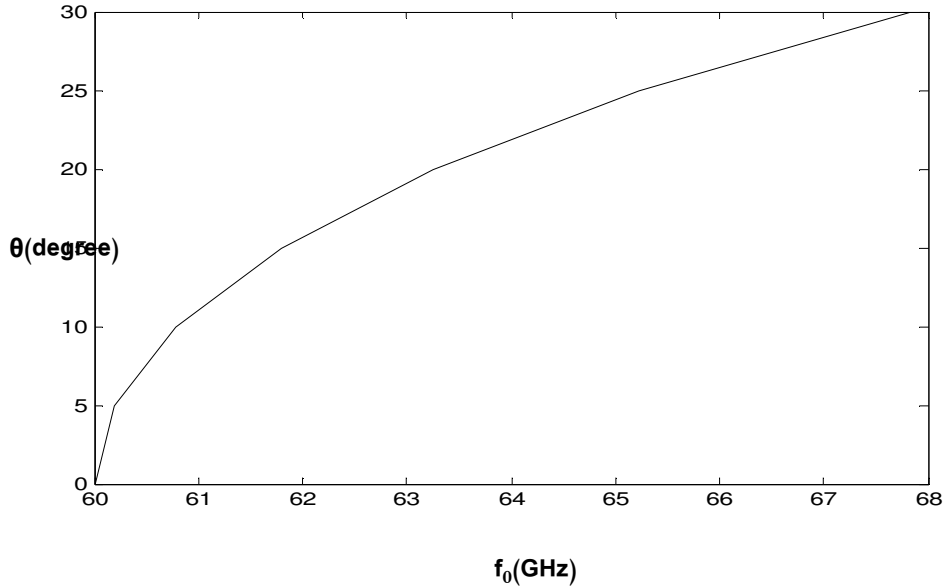
نلاحظ وجود حزمتي إرسال عند القيمة $\Omega_1=15.0597$ يقابلها التردد $f_0=58.955[\text{GHz}]$ ، والقيمة الثانية $\Omega_2=15.3266$ يقابلها التردد $f_0=60 [\text{GHz}]$.

نختار تصميم مرشح عند حزمة الإرسال الثانية ويتم حساب عرض الحزمة عند نقطتي منتصف الاستطاعة f_1, f_2 ، ثم حساب عامل الجودة (Quality Factor) وقيمته $Q = \frac{f_0}{\Delta f} = 5714.28$ ، كما ينتج عرض حزمة تمرير ضيق نسبياً حيث يكون مساو للقيمة $\Delta f = f_2 - f_1 = 60.0048 - 59.9943 = 0.0105 [\text{GHz}] = 10.5 [\text{MHz}]$.
يبين الشكل (6) مقارنة بين معامل الإرسال للمرشح التجزيئي مقدراً بالديسيبل من أجل قيمتين مختلفتين لزاوية الورد.



(a) $\theta_0 = 0^\circ$, (b) $\theta_0 = 10^\circ$ الشكل (6) معامل الإرسال مقدراً بالديسيبل للمرشح التجزيئي من أجل زوايا الورد:

برسم العلاقة بين تردد الطنين (resonant frequency) للمرشح التجزيئي مع زاوية ورود الأمواج الكهرطيسية:



الشكل (7) علاقة زاوية ورود الأمواج بتردد الطنين للمرشح التجزيئي

نلاحظ من الشكل أنه بزيادة قيم الزوايا بشكل بسيط يزداد التردد بشكل بسيط (حتى الزاوية 10° يكون مقدار انحراف تردد الطنين حوالي $\pm 1\%$ وهي نسبة مقبولة).

الاستنتاجات والتوصيات:

برهنت هذه الدراسة أن انحراف الأمواج الكهرطيسية عن زاوية ورود ناظمية يبقى تأثيره في المرشح التجزيئي ضمن الحدود المقبولة إذا بقي هذا الانحراف صغيراً حتى حدود 10° درجة.

المراجع:

- 1- JAGGARD,D;JAGGARD,L. *Scattering from fractal superlattices with variable lacunarity* . Optical Society USA,Vol54,No6 ,1998 ,pp.1626-1635.
- 2- ADI, H.P; ENTEZAR, S.R. *Transmission Properties of One Dimensional Fractal Structures*. International Journal of Optics and Photonics (IJOP), Vol 6, No1,winter-spring ,2012,pp.21-29.
- 3- KHAN.Sh.I ;ISLAM .*An Exploration Of The Generalized Cantor Set* .INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH VOL2, ISSUE 7, JULY 2013.
- 4- JAGGARD,D,L;SUN,X .*Reflection from fractal multilayers* .Optics Letters ,USA, Vol.15,No24,1990,pp.1428-1430.
- 5- BERTOLOTTI,M; MASCIULLI,P ;SIBILIA,C;WIJNANDS,F; HOEKSTRA,H. *Transmission properties of a cantor corrugated waveguide* .Optical Society of America Vol13,No3,1996, pp.628-634.
- 6- SALEH ,A; AUBERT,H. *Transmission sharp peaks in the bounds of forbidden frequency gaps using a Lacunar fractal structure*. Electronic Letters,2001.
- 7- ZHUKOVSKY,S ; LAVRINENKO ,V. *Spectral self-similarity in fractal one – dimensional photonic structure*. Elsevier, Photonics and Nanostructures-Fundamentals and Applications,Vol3,2005,pp.129-133.
- 8- SALEH ,A; AUBERT,H. SURRE, F.*Frequency Response of Self-Similar Planar Waveguides*. Microwave and optical technology letters, vol 37, N°3, may 2003.
- 9- CHIADINI . F ; FIUMARA .V; GALLINA.I ;PINTO.I ; SCAGLIONE .A. *Filtering properties of defect-bearing periodic and triadic cantor multilayers*.Optics Communications,Vol 281 ,2008,pp.633 -639.
- 10- SALEH ,A; AUBERT,H. *Use of Variable Lacunarity multi-gap Cantor Slabs in Waveguides for the Design of Microwave Filters*. Microwave and Optical Technology Letters, Vol 28, No 2, 2001, pp. 127-130.