

تحليل الهوائي المصفوفي التجزيئي المربعي ونمذجته، ومقارنته بالهوائي المصفوفي المنتظم

الدكتور السموع صالِح*
راما أحمد**

(تاريخ الإيداع 3 / 4 / 2011. قُبِلَ للنشر في 29 / 5 / 2011)

□ ملخص □

أدى دمج مفهوم الهندسة التجزيئية (التراكيب التجزيئية) بالهوائيات المصفوفية إلى زيادة درجات حرية تصميم هذه الهوائيات، وذلك من خلال إضافة معاملات التركيب التجزيئي (درجة التجزيء، البعد التجزيئي، معامل تغير توزع كثافة المادة في التركيب (Lacunarity)) إلى معاملات التصميم للهوائي المصفوفي المنتظم. الأمر الذي مكنا من تحسين بعض الخصائص الإشعاعية لهذه الهوائيات. من أهم نتائج هذا الدمج هو التغير الإيجابي الحاصل في عرض فتحة الإشعاع عند مستوى نصف الإستطاعة. فقد رأينا أن هذا العرض يقل مع زيادة درجة التجزيء. أما بالنسبة للمصفوفة المربعة، التي تم تصميمها على أساس التوزع المنتظم للعناصر على المحور Z والتوزع التجزيئي لها على المحور Y، فقد أثر هذا التوزع في عرض فتحة الإشعاع للهوائي المصفوفي، بحيث قل عرض الفتحة مع زيادة البعد التجزيئي. وقد أدى تغيير معامل توزع كثافة مادة الجسم التجزيئي، الذي يؤثر في توزع المسافات بين عناصر المصفوفة على كل من المحورين Y,Z، إلى تخفيض مستوى الوريقات الجانبية.

الكلمات المفتاحية: الهندسة التجزيئية، درجة التجزيء، البعد التجزيئي، معامل تغيير أبعاد الفجوات، الهوائيات المصفوفية المربعة المنتظمة، الهوائيات المصفوفية المربعة التجزيئية.

* أستاذ مساعد - قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية .
** طالبة دراسات عليا (ماجستير) - قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Analysing and Modelling of Square Fractal Antenna Array and Comparing it With Regular Array

Dr. Alssamoul Saleh *
Rama Ahmad **

(Received 3 / 4 / 2011. Accepted 29 / 5 / 2011)

□ ABSTRACT □

The combination of fractal geometry with antenna array led to increase the freedom degrees of design parameters of this antenna array, by adding the fractal shape's parameters (stage of growth, fractal dimension and Lacunarity) to the regular antenna array's parameters, thus helping us to improve some of the radiation characteristics of these antennas. One of the most important results of this combination is the advantage of the half-power beamwidth (HPBW). We find that this HPBW decreases when the stage of growth increases.

The antenna array, which has regular distribution of its elements on Z axis and fractal distribution of its elements on Y axis, experiences a decrease in its HPBW when its fractal dimension increases.

Changing the value of Lacunarity which affects the distance between array elements led to decrease the side-lobes level.

Keywords: Fractal geometry, Stage of growth, Fractal dimension, Lacunarity, Regular antenna array, Fractal antenna array.

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

**Postgraduate student, Department of communication and electronics Engineering, Faculty of Mechanical and electrical Engineering , Tishreen University, Latakia , Syria.

مقدمة:

تشهد نظم الاتصالات الحديثة تطوراً سريعاً وملموساً، الذي بدوره يتطلب تطوير الهوائيات المستخدمة في هذه النظم، ويتم تصميم الهوائي ليلائم متطلبات نظام الاتصال من حيث حجمه وعرض فتحة الإشعاع والاتجاهية وغيرها من الخصائص الإشعاعية، وتعتمد معظم الهوائيات المستخدمة حالياً في بنيتها على الهندسة الإقليدية، أهمها الهوائيات الخطية والدائرية والكروية، ومن جانب آخر نجد الهوائيات التجزئية الحديثة التي تعتمد في توصيف بنيتها على الهندسة التجزئية، وهي الهندسة الأكثر شمولاً والتي تستطيع توصيف أجسام لا يمكن توصيفها بشكل دقيق في الهندسة الإقليدية، منها الجبال والأشجار والغيوم وأمواج البحر، التي تتميز بخاصية التشابه الداخلي [1].

درست الهوائيات المصفوفية المنتظمة بشكل دقيق، وتم تحديد العوامل اللازمة لتصميم هذا النوع من الهوائيات: المسافة الفاصلة بين العناصر ومطال تيار التغذية وطوره، بالإضافة إلى نوع عنصر المصفوف. لوحظت محدودية بارومترات التصميم لهذه الهوائيات، مما أدى إلى إدخال مفهوم التراكييب أو الأجسام التجزئية في تصميمها، لأن بنية الجسم التجزئي تزيد من عدد معاملات تصميم الهوائي، وبذلك تزيد من عدد درجات الحرية في تصميم الهوائيات المصفوفية عن طريق تحليل العلاقة بين هذه المعاملات والخصائص الإشعاعية للهوائي مما يسمح بتصميم الهوائي المطلوب لتطبيق ما وبدقة كبيرة [2].

أهمية البحث وأهدافه:

تعدُّ الهوائيات المصفوفية المربعة المنتظمة من الهوائيات الواسعة الاستخدام، لما تتميز به من عرض فتحة إشعاع ضيقة ورياح عالٍ واتجاهية عالية، ونطاق ترددي عريض، مقارنة بالهوائيات وحيدة العنصر. إلا أن محدودية معاملات التصميم دفع الباحثين إلى البحث عن طرق جديدة لرفع سوية هذا النوع من الهوائيات. البحث المعروض يقدم نموذجاً جديداً من الهوائيات المصفوفية المربعة، تعتمد في بنيتها على مفهوم الجسم التجزئي، بحيث يدرس الهوائيات المصفوفية المربعة التجزئية بثلاثة أشكال، ويقارنها بالهوائيات المصفوفية المربعة المنتظمة، وذلك من أجل معرفة تأثير زيادة عدد معاملات التصميم في الخصائص الإشعاعية للهوائي.

طرائق البحث ومواده :**1- الجسم التجزئي:**

تستخدم الهندسة التجزئية لوصف أشكال في الطبيعة تتميز بخاصية التشابه الداخلي، وتعرف بأنها أجسام تجزئية. مثل هذه الأجسام لا يمكن وصفها باستخدام الهندسة الإقليدية، وإنما كانت تقرب إلى الأشكال المعروفة مثل الجبال والغيوم أو أوراق الأشجار، التي تقرب عادة إلى شكل مخروط أو كرة [3],[4].
يوصف الجسم التجزئي بثلاث معاملات [6],[5],[4] وهي:

1- البعد التجزئي (D) Fractal dimension :

هو عدد ليس صحيحاً كما في الهندسة الإقليدية، ويعبر عنه بالعلاقة التالية :

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

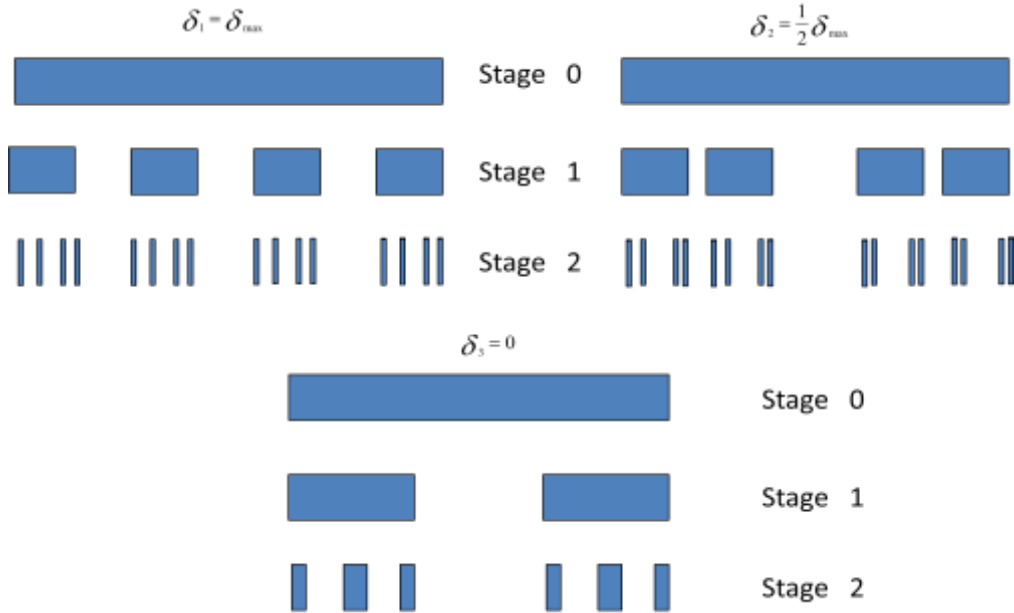
حيث N تمثل عدد القطع الموجودة في الجسم التجزئي، ρ معامل التقسيم .

2-درجة التجزيء (S) Stage of growth

تعبّر درجة التجزيء عن درجة التكرار التي من خلالها نحصل على الجسم التجزيئي . حيث يُعدّ الجسم الموافق لـ $S=0$ هو العنصر الأساسي للجسم التجزيئي، وعندما $S=1$ يُعدّ الشكل الموافق لهذه الدرجة العنصر المولد للجسم التجزيئي . وتكون كل الأبعاد والقيم الموافقة لدرجة التجزيء S هي الأبعاد والقيم الموافقة لدرجة التجزيء $S-1$ نفسها ولكن مضروبة بمعامل التقسيم p .
ويجب الإشارة إلى أن البعد التجزيئي يملك قيمة ثابتة من أجل أي درجة تجزيء.

3-معامل تغيير توزيع كثافة مادة الجسم التجزيئي أو معامل تغيير أبعاد الفجوات (Lacunarity): δ

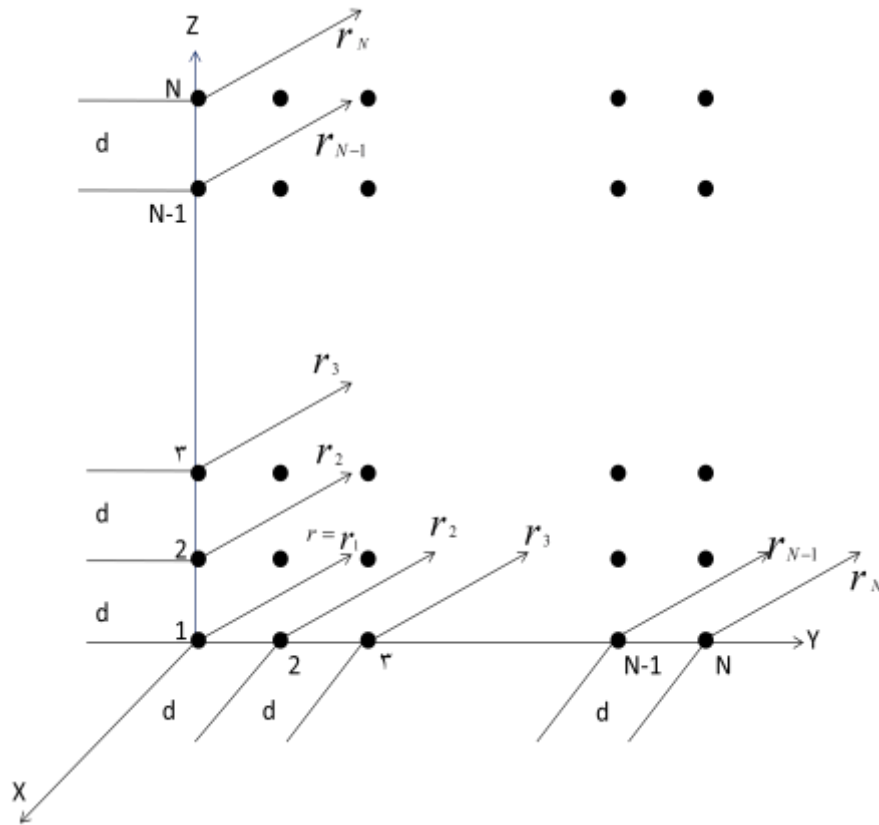
يعبر عن توزيع الفراغات داخل الجسم التجزيئي . وبتعبير آخر يمثل كثافة مادة الجسم التجزيئي الموجود ضمن دائرة ما ذات قطر R ، وفي حالتنا فإنّ هذا القطر يتغير من 0 إلى δ_{max} .
يوضح الشكل (1) جسماً تجزيئياً بطول L من أجل درجات التجزيء الثلاث الأولى، وثلاث قيم لمعامل تغيير أبعاد الفجوات δ حيث البعد التجزيئي $D = \log(4)/\log(7)$ [5] .



الشكل (1) درجات التجزيء الأولى للجسم التجزيئي حيث $D=0.63$ من أجل قيم مختلفة لمعامل تغيير أبعاد الفجوات

2-الهوائي المصفوفي المربع ذو (NXN) عنصر منتظم المسافات والتغذية:

تغذى هذه العناصر بتيارات متساوية القيمة، مع وجود فرق بالطور بين التيار المغذي لكل عنصرين متتاليين قيمته α ، والمسافة الفاصلة بين كل عنصرين متتاليين تساوي d ، كما هو موضح في الشكل (2).



الشكل (2) الهوائي المصفوفي المربعي (NxN) منتظم المسافات والتغذية

سنقوم بدراسة الحقل الكهربائي الناتج عن هذا الهوائي وذلك في نقطة $P(r, \theta, \phi)$ تقع في منطقة المجال البعيد. تعرف علاقة الحقل الكهربائي لهذا الهوائي بأنها حاصل جداء معامل المصفوفة مضروباً بالحقل الكهربائي الناتج عن عنصر من عناصر المصفوفة والمتوضع في مبدأ الإحداثيات [7].

يعطى الحقل الكهربائي الناتج عن العنصر المتوضع في مبدأ الإحداثيات بالعلاقة الآتية:

$$E_{\theta_1} = \frac{J60\pi I_1 l}{\lambda \cdot r_1} \cdot \sin \theta \cdot e^{-jBr_1}$$

$$E_{\theta_1} = E_{\theta} = \frac{J60\pi I l}{\lambda \cdot r} \cdot \sin \theta \cdot e^{-jBr} \quad \text{: وبالتالي} \quad r_1 = r, \quad I_1 = I$$

والحقل الكهربائي الناتج عن العنصر الثاني المتوضع على المحور Z هو :

$$E_{\theta_2} = \frac{J60\pi I_2 l}{\lambda \cdot r_2} \cdot \sin \theta \cdot e^{-jBr_2}$$

لكن لدينا المعطيات التالية : $I_2 = I \cdot e^{j\alpha_1}$ ، $r_2 = r - d \cdot \cos(\theta)$ ، وبالتقريب من أجل المجال البعيد

فإن E_{θ_2} تكتب على الشكل الآتي:

$$E_{\theta_2} = \frac{J60\pi I l}{\lambda \cdot r} \cdot \sin \theta \cdot e^{-jBr} \cdot e^{j(Bd \cos \theta + \alpha_1)}$$

بإتباع الطريقة نفسها نحصل على الحقول الكهربائية الناتجة عن N عنصر ، وبالتالي فإن الحقل الكهربائي

الكل الناتج عن مصفوفة العناصر الخطية المتوضعة على المحور Z يعطى كما يلي :

$$E_{\theta_{t1}} = E_{\theta_1} + E_{\theta_2} + E_{\theta_3} + \dots + E_{\theta_N}$$

نعوض قيم $E_{\theta_1}, E_{\theta_2}, E_{\theta_3}, \dots, E_{\theta_N}$ فيكون :

$$E_{\theta_{t1}} = \frac{J60\pi I l}{\lambda r} \cdot \sin \theta \cdot e^{-jBr} \cdot [1 + e^{j(Bd \cos \theta + \alpha_1)} + e^{j2(Bd \cos \theta + \alpha_1)} + \dots + e^{j(N-1)(Bd \cos \theta + \alpha_1)}]$$

ومنه :

$$E_{\theta_{t1}} = E_{\theta} \cdot AF_1$$

حيث إن AF_1 تمثل معامل المصفوفة الخطية، ويعطى بالعلاقة:

$$AF_1 = 1 + e^{j(Bd \cos \theta + \alpha_1)} + e^{j2(Bd \cos \theta + \alpha_1)} + \dots + e^{j(N-1)(Bd \cos \theta + \alpha_1)}$$

بفرض أن : $\Psi_1 = Bd \cdot \cos \theta + \alpha_1$ يمكن كتابة معامل المصفوفة الخطية على الشكل المختصر

الآتي:

$$AF_1(\Psi_1) = 1 + e^{j\Psi_1} + e^{j2\Psi_1} + \dots + e^{j(N-1)\Psi_1} = \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)\Psi_1}$$

وبإجراء مجموعة من العمليات الرياضية والتقريبات يصبح عندها معامل المصفوفة الخطية على الشكل:

[7],[8],[9]

$$AF_1(\Psi_1) = \frac{\sin \frac{N}{2} \Psi_1}{N \cdot \frac{\Psi_1}{2}}$$

الآن لإيجاد الحقل الكهربائي الكلي للمصفوفة المربعة نعتبر لدينا N مصفوفة خطية (حيث كل مصفوفة تتكون

من N عنصر) والبعد بين كل مصفوفة ومصفوفة هو d ؛ الآن وبإتباع الأسلوب السابق نفسه نجد :

$$E_{\theta_{total}} = E_{\theta_{t1}} + E_{\theta_{t2}} + E_{\theta_{t3}} + \dots + E_{\theta_{tN}}$$

حيث إن :

$$E_{\theta_{t1}} = K \cdot AF_1$$

$$E_{\theta_{t2}} = K \cdot AF_1 \cdot e^{j(Bd \sin(\theta) \cdot \sin(\varphi) + \alpha_2)}$$

$$E_{\theta_{t3}} = K \cdot AF_1 \cdot e^{j2(Bd \sin(\theta) \cdot \sin(\varphi) + \alpha_2)}$$

$$K = \frac{J60\pi I l}{\lambda r} \cdot \sin \theta \cdot e^{-jBr} \quad \text{حيث:}$$

نعوض في علاقة $E_{\theta_{total}}$ فنجد :

$$\begin{aligned} E_{\theta_{total}} &= K \cdot AF_1 \cdot [1 + e^{j(Bd \sin(\theta) \cdot \sin(\varphi) + \alpha_2)} + e^{j2(Bd \sin(\theta) \cdot \sin(\varphi) + \alpha_2)} + \\ &\quad + \dots + e^{j(N-1)(Bd \sin(\theta) \cdot \sin(\varphi) + \alpha_2)}] \\ &= K \cdot AF_1 \cdot AF_2 \end{aligned}$$

$$\Psi_2 = Bd \sin(\theta) \cdot \sin(\varphi) + \alpha_2 \quad \text{بفرض أن:}$$

$$AF_2 = 1 + e^{j\Psi_2} + e^{j2\Psi_2} + \dots + e^{j(N-1)\Psi_2} \quad \text{نحصل على:}$$

$$AF_2 = \frac{\sin \frac{N}{2} \psi_2}{\frac{N}{2} \psi_2} \quad \text{الآن وبإتباع الأسلوب السابق نفسه نجد:}$$

ومنه فإن شدة الحقل الكلية الناتجة عن المصفوفة المربعة المنتظمة في منطقة المجال البعيد تعطى بالعلاقة :

$$E_{\theta_{total}} = \frac{J60\pi I l}{\lambda \cdot r} \cdot \sin(\theta) \cdot e^{-jBr} \cdot \frac{\sin \frac{N}{2} \psi_1}{N \frac{\psi_1}{2}} \cdot \frac{\sin \frac{N}{2} \psi_2}{N \frac{\psi_2}{2}}$$

نلاحظ من العلاقة السابقة أنه يمكن تغيير الخصائص الإشعاعية لأي هوائي مصفوفي من خلال تغيير المسافة الفاصلة بين العناصر، و طور تيار التغذية ومطاله، بالإضافة إلى نوع عنصر المصفوف المستخدم .

3- الهوائيات المصفوفية المربعة التجزئية:

إنّ استخدام التراكيب التجزئية في تصميم الهوائيات يزيد عدد معاملات تصميم الهوائيات المصفوفية المربعة، وذلك لأنه يتم إضافة معاملات هذه التراكيب وهي (درجة التجزئ، البعد التجزئي، معامل تغيير توزع كثافة المادة) إلى معاملات تصميم الهوائيات المصفوفية المربعة المنتظمة .

وعند تصميم هذا النوع من الهوائيات وجد لدينا ثلاث مصفوفات مختلفة من حيث توزيع العناصر وهي :

1- المصفوفة الأولى : العناصر موزعة بشكل منتظم على المحور Y ، وبشكل تجزئي على المحور Z.

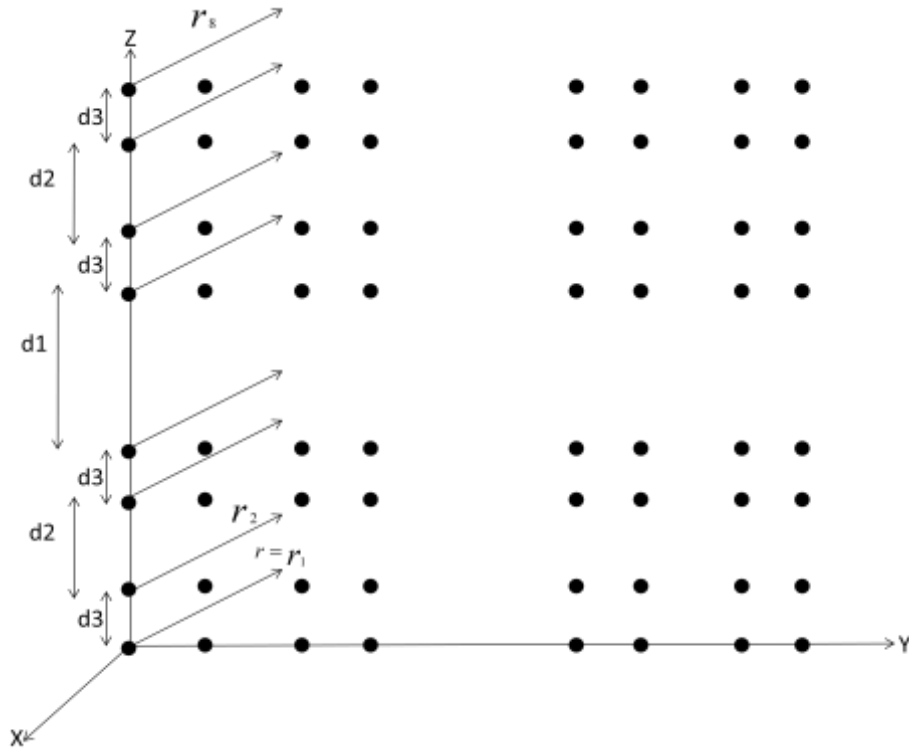
2- المصفوفة الثانية : العناصر موزعة بشكل منتظم على المحور Z ، وبشكل تجزئي على المحور Y.

3- المصفوفة الثالثة : العناصر موزعة بشكل تجزئي على كلا المحورين Y&Z.

إذا فرضنا وجود ثمانية عناصر (ثنائي قصير كهربائياً) متوزعة بشكل تجزئي على المحور Z ؛ فإن شدة الحقل الكلية الناتجة عن هذه المصفوفة الخطية في منطقة المجال البعيد يعطى بالعلاقة [8] :

$$E_{\theta_{total}} = E_{\theta} \cdot [1 + e^{j(Bd_3 \cos \theta + \alpha_1)} + e^{j(B(d_3+d_2) \cos \theta + 2\alpha_1)} + \dots + e^{j(B(4d_3+2d_2+d_1) \cos \theta + 7\alpha_1)}]$$

$$= E_{\theta} \cdot AF_{fz}$$



الشكل (3) الهوائي المصفوفي المربعي التجزيئي حيث درجة التجزيء $S=3$ والبعد التجزيئي $D=0.63$

وأيضاً بالأسلوب نفسه يمكن حساب الحقل الكلي الناتج عن مصفوفة خطية ذات عناصر موزعة بشكل تجزيئي ومتوضعة على المحور Y . فنحصل على العلاقة الآتية:

$$E_{\theta total} = E_{\theta} \cdot [1 + e^{J(Bd_3 \cdot \sin(\theta) \cdot \sin(\varphi) + \alpha_2)} + e^{J(B(d_3 + d_2) \sin(\theta) \cdot \sin(\varphi) + 2 \cdot \alpha_2)} + \dots + e^{J(B(4d_3 + 2d_2 + d_1) \sin(\theta) \cdot \sin(\varphi) + 7 \cdot \alpha_2)}]$$

$$= E_{\theta} \cdot AF_{fy}$$

وبالتالي تكون شدة الحقل الكلية الناتجة عن المصفوفة المربعة التجزيئية ذات العناصر الموزعة بشكل تجزيئي

على كلا المحورين (Z و Y) و الموضحة في الشكل (3) معطاة بالعلاقة الآتية:

$$E_{total F} = E_{\theta} \cdot AF_{fy} \cdot AF_{fz}$$

النتائج والمناقشة:

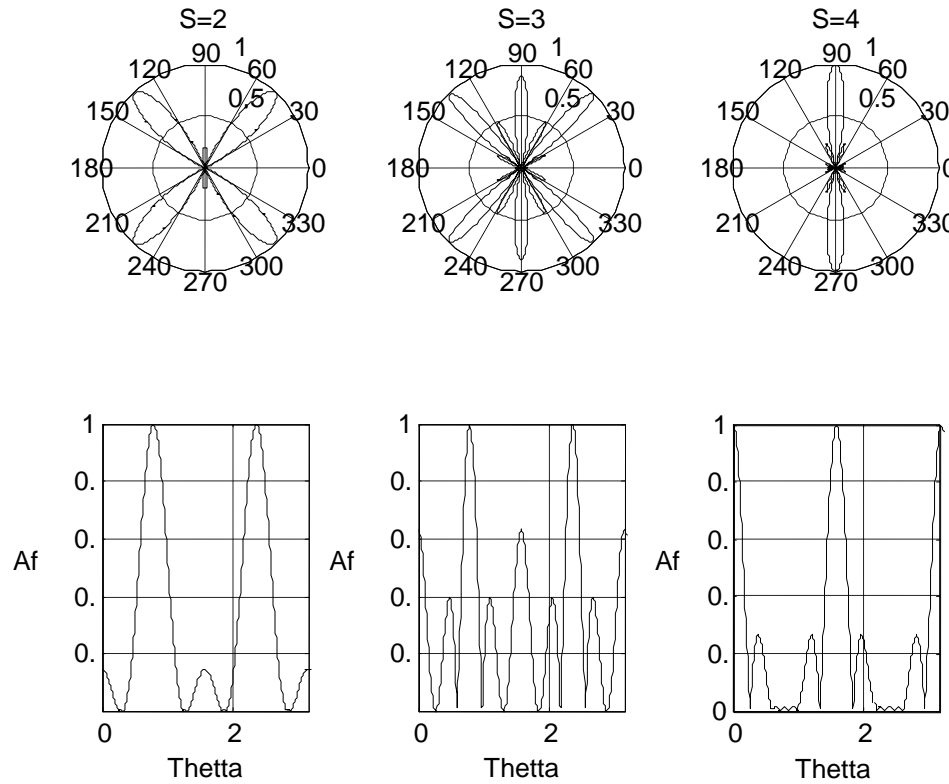
سنقوم في هذا البحث بدراسة تأثير تغيير هذه المعاملات في المخطط الإشعاعي لهذه الهوائيات، ونقارن النتيجة بالهوائيات المصفوفية المنتظمة .

سنفرض في دراستنا أن نوع عنصر المصفوفة هو ثنائي قطب قصير كهربائياً ، وأنّ مطال التيار ذو قيمة ثابتة،

alpha1: فرق الصفحة بين تيارات العناصر المتوضعة على المحور Z .

alpha2: فرق الصفحة بين تيارات العناصر المتوضعة على المحور Y .

تُمدَّجَت الهوائيات المصفوفية المربعة التجزئية من خلال برنامج بلغة الماتلاب يحل العلاقة بين معاملات التصميم والخصائص الإشعاعية لهذه الهوائيات، وعند دراسة تأثير تغير درجة التجزئ على المصفوفة التجزئية، فرضت قيم ثابتة لبقية المعاملات: البعد التجزئي $D=0.63$ حيث معامل التقسيم $(\rho = 1/3)$ ، $\alpha_1=0$ ، $\alpha_2=0$ ، طول الجسم التجزئي $(L=7*\lambda/2)$ ، معامل تغيير أبعاد الفجوات δ_{max} . وبينت النتائج أنه مع زيادة درجة التجزئ يقل عرض فتحة الإشعاع عند مستوى نصف الاستطاعة، وبالتالي تزداد الاتجاهية، مع ملاحظة الحصول على وريقة رئيسية واحدة من أجل درجات التجزئ العالية؛ كما هو موضح في الشكل (4).



الشكل (4) المخطط الإشعاعي ومعامل المصفوف للهوائي التجزئي الموافق للبعد التجزئي $D=0.63$ وذلك من أجل قيم مختلفة لدرجة التجزئ ($S=2,3,4$)

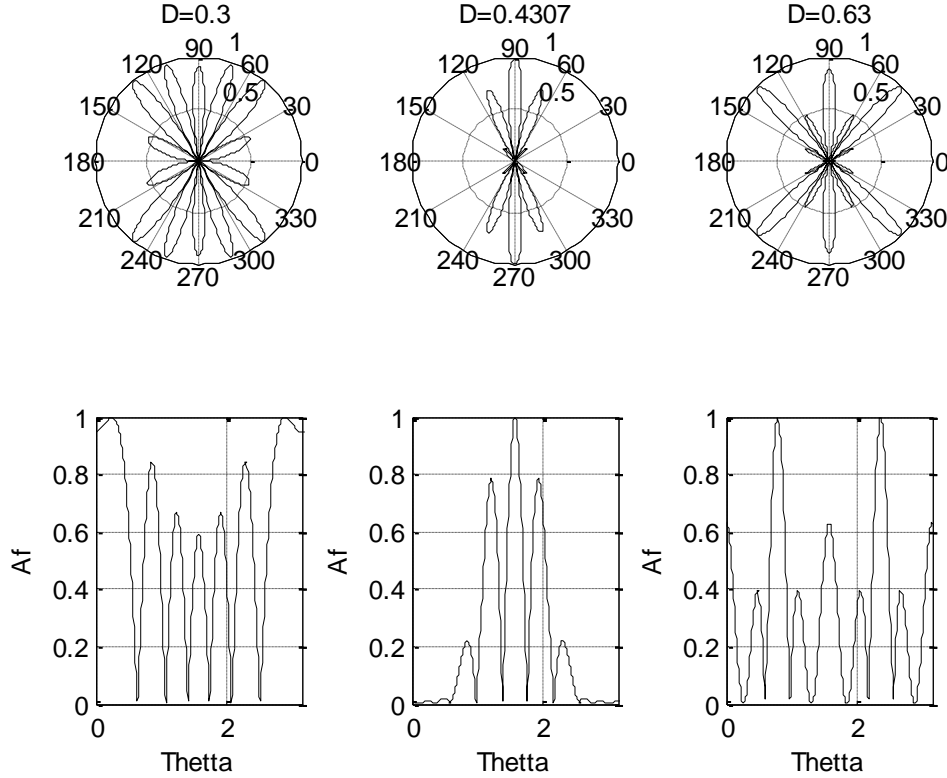
لدراسة تأثير تغير البعد التجزئي في المخطط الإشعاعي للهوائي المصفوفي المربع التجزئي، فرضت ثلاث قيم مختلفة للبعد التجزئي وهي:

$$(D=0.63, \rho = 1/3) , (D=0.4307, \rho = 1/5) , (D=0.3, \rho = 1/10)$$

وذلك من أجل قيم ثابتة لبقية معاملات التصميم: درجة التجزئ $S=3$ ، $\alpha_1=\alpha_2=0$ ، طول الجسم التجزئي $(L=7*\lambda/2)$ ، معامل تغيير توزيع كثافة المادة δ_{max} .

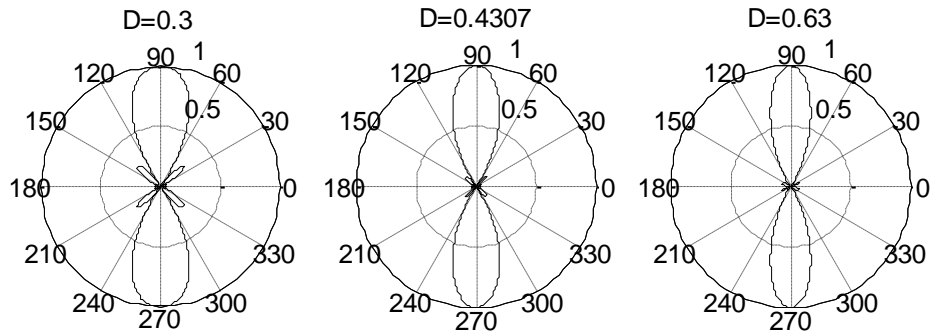
تبين النتائج الموضحة في الشكل (5) الاختلاف في المخططات الإشعاعية للهوائي المفروض تبعاً لقيمة البعد التجزئي. حيث نلاحظ تعدد الوريقات الرئيسية في الحالتين الموافقتين للقيم $(D=0.3, D=0.63)$ ، الأمر الذي يجعل هذا الهوائي أحد التطبيقات جيدة الاستخدام في الهوائيات الذكية. ويبين الشكل أيضاً ارتفاعاً في مستوى الوريقات الجانبية، مع ملاحظة أن بعضاً من هذه الوريقات ذو استطاعة عالية ويمكن الاستفادة منها. أما من أجل

قيمة البعد التجزيئي ($D=0.4307$) فقد حصلنا على ورقة رئيسية واحدة . وبذلك يمكننا تغيير اتجاهية الهوائي من خلال تغيير معامل وحيد فقط (البعد التجزيئي) أما فيما يتعلق بمستوى الوريقات الجانبية فيمكن إنقاصه من خلال تغيير معامل توزيع كثافة المادة، وهذا ما سنتطرق إليه في مقالات لاحقة .



الشكل (5) المخطط الإشعاعي ومعامل المصفوف للهوائي التجزيئي الموافق لدرجة التجزيء $S=3$ وذلك من أجل قيم مختلفة للبعد التجزيئي ($D=0.3, 0.4307, 0.63$)

إلا أنه وكما ذكرنا سابقاً هناك ثلاث مصفوفات تجزيئية، نحصل عليها تبعاً لاختلاف توزيع العناصر بين المحاور . لذا سنقوم بدراسة تأثير تغيير البعد التجزيئي في المصفوفة المربعة ذات العناصر الموزعة بشكل منتظم على المحور Z وبشكل تجزيئي على المحور Y ، وذلك من أجل القيم التالية لبقية معاملات التصميم : درجة التجزيء $S=3$ ، طول الجسم التجزيئي $L=3*\lambda / 2$ ، معامل تغيير أبعاد الفجوات δ_{max} ، المسافة الفاصلة بين العناصر الموزعة بشكل منتظم $d=L/7$ و $\alpha_1=\alpha_2=0$.
يبين الشكل (6) انخفاض عرض فتحة الإشعاع عند مستوى نصف الاستطاعة، ونقصان مستوى الوريقات الجانبية مع زيادة البعد التجزيئي، وذلك من أجل القيم الفروضة سابقاً لبقية المعاملات، الأمر الذي لم نحصل عليه في المصفوفة ذات العناصر الموزعة بشكل تجزيئي على كلا المحورين، مايبين التنوع في النتائج الذي تقدمه لنا الهوائيات المصفوفية التجزيئية بأشكالها الثلاث.

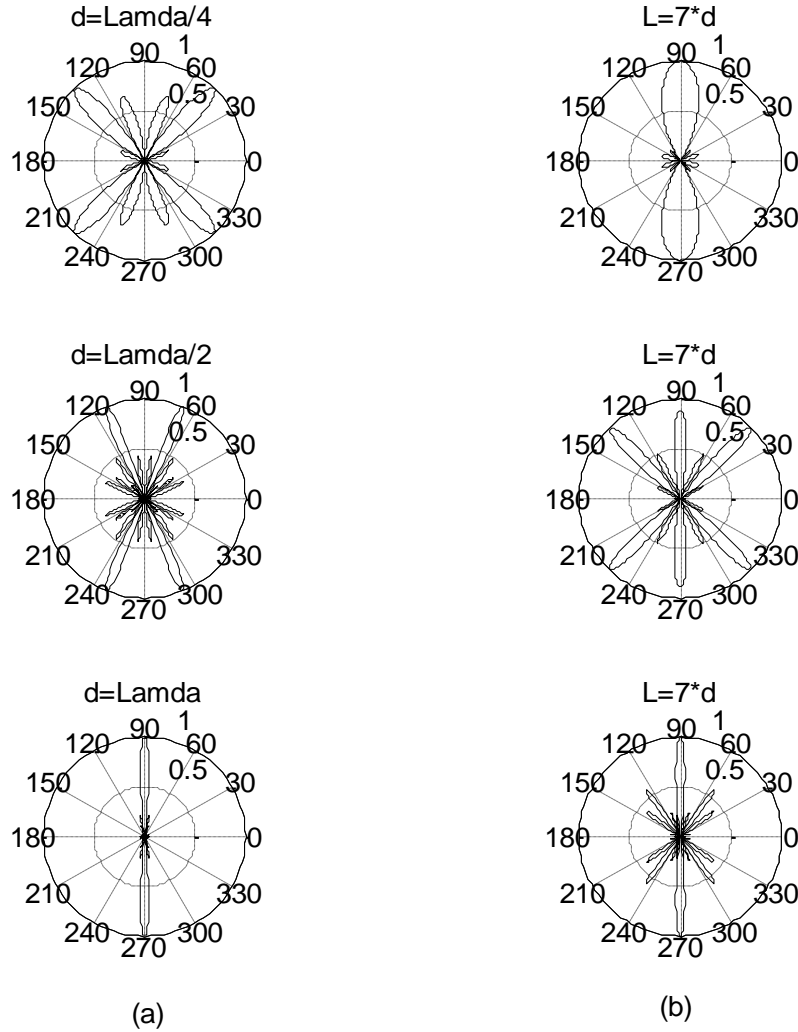


الشكل (6) المخطط الإشعاعي للهوائي المصفوفي التجزيئي ذي العناصر الموزعة بشكل منتظم على المحور Z وبشكل تجزيئي على المحور Y حيث $d = \lambda / 2$, $L = 3 * \lambda / 2$, $S = 3$ وذلك من أجل قيم مختلفة للبعد التجزيئي .

بالنسبة للهوائيات المصفوفية المربعة المنتظمة ، ومن أجل الفرضيات السابقة بتحديد نوع عنصر المصفوف ومطال التيار، فإن معاملات التصميم المتبقية التي تتحكم بالخصائص الإشعاعية هي المسافة الفاصلة بين العناصر (d) وطور التيار المغذي لها ، وتبين النتائج أنه مع زيادة المسافة الفاصلة بين العناصر يقل عرض فتحة الإشعاع عند مستوى نصف الاستطاعة كما هو موضح في الشكل (7) . وبالمقارنة بالهوائيات المصفوفية التجزيئية (Y&Z) فإن زيادة المسافة السابقة يكافئ زيادة طول الجسم التجزيئي. بشكل أكثر وضوحاً: من أجل مصفوفة مربعة منتظمة (8x8) المسافة الفاصلة بين العناصر هي d ، يكون عندها طول الجسم التجزيئي المشكل للمصفوفة التجزيئية $L = 7 * d$. ومنه من أجل الفرضيات الآتية:

$$S=3, D=0.63, \alpha_1=\alpha_2=0, \delta_{\max}$$

نلاحظ من الشكل (7) أنه مع زيادة طول الجسم التجزيئي يقل عرض فتحة الإشعاع عند مستوى نصف الاستطاعة ولكن نلاحظ ارتفاع مستوى الوريقات الجانبية مقارنة بالمصفوفة المنتظمة.



الشكل (7) المخطط الإشعاعي للهوائيات المصفوفية المربعة المنتظمة والتجزئية (8x8)

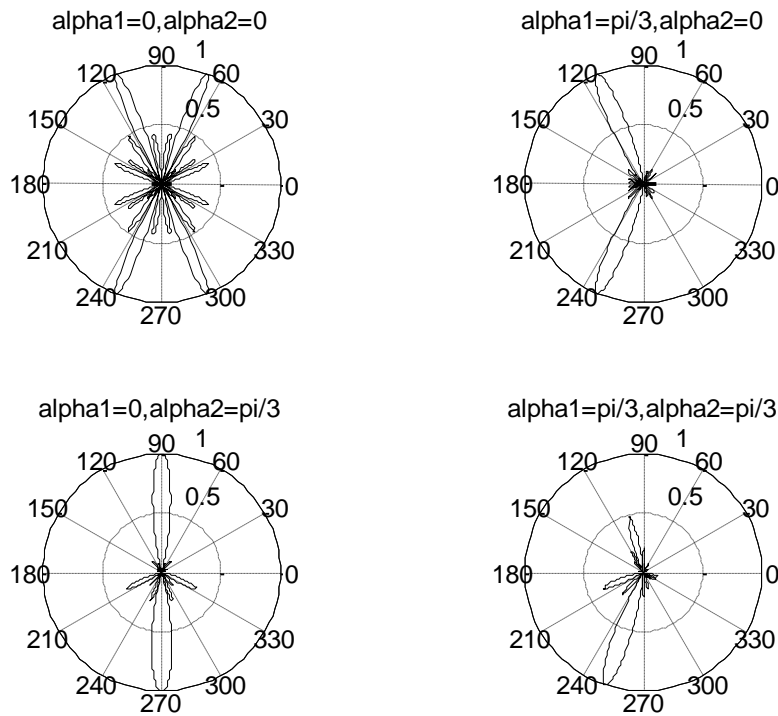
وذلك من أجل قيم مختلفة لطول المصفوفة $L=7*d$.

(a): المصفوفة المنتظمة

(b): المصفوفة التجزئية

أما بالنسبة لتأثير تغيير صفحة التيار فهو أمر مدروس ومعروف بالنسبة للمصفوفة المنتظمة، سواء الخطية أو المستوية، بأنه يمكن تغيير اتجاه الوريقة الرئيسية فقط من خلال تغيير صفحة التيار دون الحاجة إلى تدوير الهوائي. وهو الأمر ذاته الذي نلاحظه بالنسبة للمصفوفة التجزئية، إلا أن ما تمّ ملاحظته وتوثيقه هو عدد الاحتمالات الكبير الناتج عن حالات المصفوفة التجزئية الثلاث .

يبين الشكل (8) تأثير تغيير صفحة التيار على المصفوفة المنتظمة (8x8) حيث $d = \lambda / 2$.

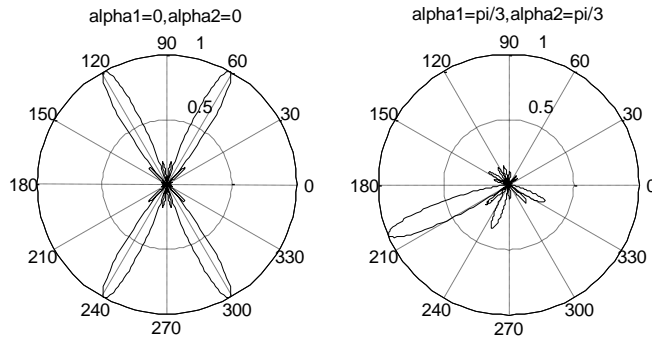


الشكل (8) المخطط الإشعاعي للهوائي المصفوفي المربعي (8x8) منتظم المسافات حيث $d = \lambda / 2$ وذلك من أجل قيم مختلفة لطور تيار التغذية

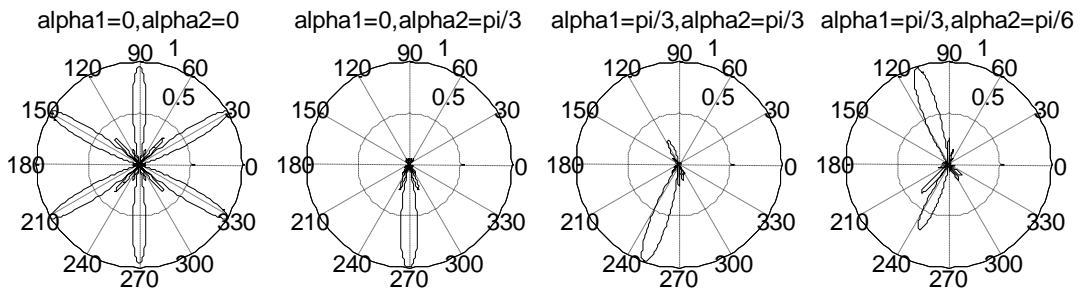
بينما بالنسبة للهوائيات المصفوفية التجزئية بحالاتها الثلاث والموافقة للبارومتراآت الآتية:

$$d = \lambda / 2, \quad L = 7 * d, \quad D = 0.63, \quad \delta_{max}$$

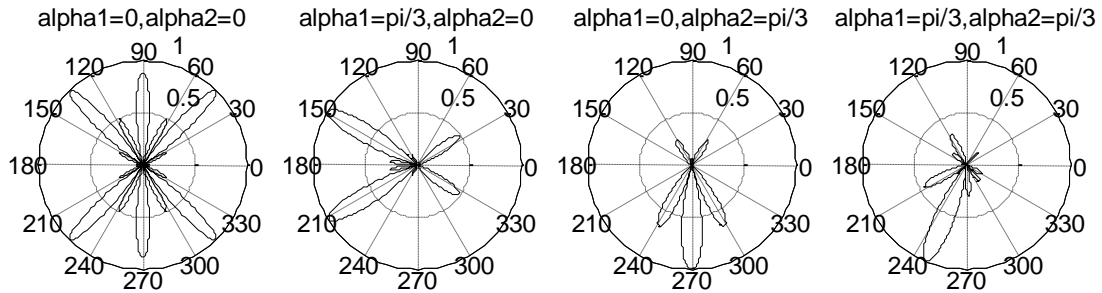
فبيبن الشكل (9) قيماً مختلفة لصفحة التيار، مع توزيعات مختلفة للعناصر بين المحورين Y & Z ، حيث نلاحظ أنه يتم مسح قطاع زاوي كبير في هذه الحالة مقارنة بالمصفوفة المنتظمة. نرى في الشكل (9.a) حالتين ناتجتين عن توزيع العناصر بشكل منتظم على المحور Y ، وبشكل تجزئي على المحور Z ، وذلك من أجل صفحات التيار المفروضة، أما الشكل (9.b) فبيبن حالات ناتجة عن توزيع العناصر بشكل منتظم على المحور Z وبشكل تجزئي على المحور Y ، بينما يبين الشكل (9.c) الحالات الناتجة عن توزيع العناصر بشكل تجزئي على كلا المحورين .



(a)



(b)



(c)

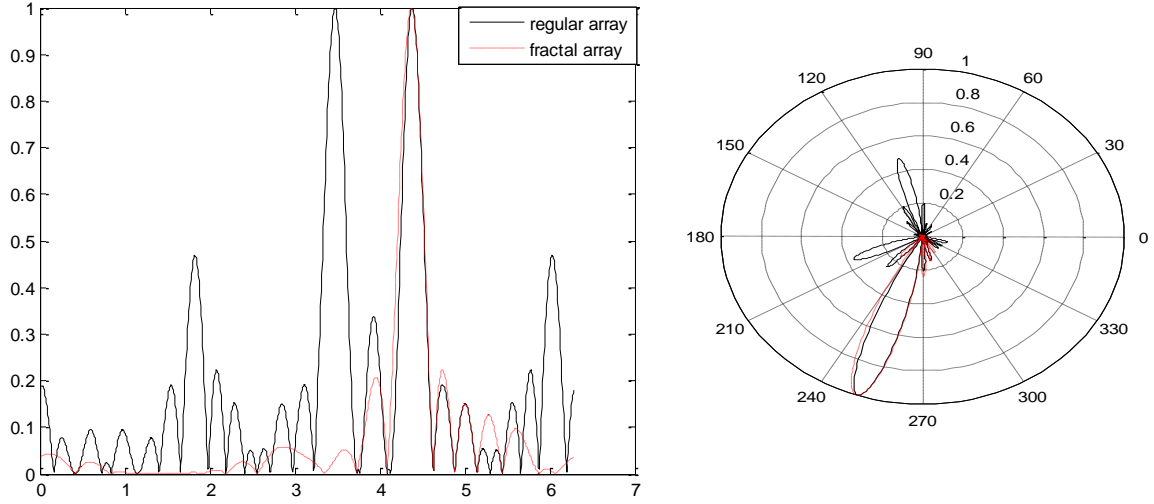
الشكل (9) المخطط الإشعاعي للهوائي المصفوفي التجزيئي بحالاته الثلاث والموافقة لـ $d = \lambda / 2$, $D=0.63$ وذلك من أجل قيم مختلفة لطور تيار التغذية (a): الهوائي المصفوفي التجزيئي ذو العناصر الموزعة بشكل منتظم على المحور Y وبشكل تجزيئي على المحور Z . (b) : الهوائي المصفوفي التجزيئي ذو العناصر الموزعة بشكل منتظم على المحور Z وبشكل تجزيئي على المحور Y . (c): الهوائي المصفوفي التجزيئي ذو العناصر الموزعة بشكل تجزيئي على المحورين (Y&Z).

نلاحظ من الشكل السابق وجود بعض الحالات التي تبين أنه من أجل صفحة التيار نفسها يمكن تغيير المخطط الإشعاعي ليوافق تطبيقاً ما، من خلال إعادة توزيع العناصر على المحاور . الأمر الذي يخفض من عدد مبدلات الطور (shift phase , modulator) وبالتالي تخفيض تكلفة التصنيع .

أما بالنسبة للمعامل الثالث من معاملات الجسم التجزيئي، الذي هو معامل تغيير توزيع كثافة المادة، فيمكن الإيجاز فيما يلي تأثير تغييره في المخطط الإشعاعي، ويمكن اعتبار هذا الموجز مقدمة لمقال لاحق يتحدث فقط عن تأثير هذا المعامل في المصفوفة المربعة التجزيئية بدءاً من دراسة أثره في المصفوفة الخطية التجزيئية. تبين النتائج أن تأثير معامل تغيير توزيع كثافة المادة يختلف تبعاً لقيمة البعد التجزيئي. إذ في حالة $(D=0.63, \rho = 1/3)$ يزداد عرض فتحة الإشعاع عند مستوى نصف الاستطاعة مع زيادة كثافة مادة الجسم التجزيئي، بينما يقل عرض الفتحة في حالة $(D=0.7124, \rho = 1/7)$. و بالنسبة لمستوى الوريقات الجانبية فهو يقل مع زيادة كثافة مادة الجسم التجزيئي، إلا أن نسبة النقصان تختلف بين أشكال المصفوفة التجزيئية الثلاث وأيضاً تتعلق بقيمة البعد التجزيئي. تبين النتائج أنه من أجل الهوائيات المصفوفية ذات العناصر الموزعة بشكل تجزيئي على المحور Z وبشكل منتظم على المحور Y ، ومن أجل المصفوفة ذات العناصر الموزعة بشكل تجزيئي على كلا المحورين، والموافقتين لقيمة البعد التجزيئي $D=0.7124$ ، فإن مستوى الوريقات الجانبية يقل مع زيادة كثافة المادة بنسبة نقصان هي أفضل مما نحصل عليه في المصفوفات الموافقة لقيمة البعد التجزيئي $D=0.63$. أما من أجل الهوائيات المصفوفية ذات العناصر الموزعة بشكل تجزيئي على المحور Y وبشكل منتظم على المحور Z ، فإننا نحصل على نتيجة معاكسة. حيث يكون نقصان مستوى الوريقات الجانبية مع زيادة كثافة المادة في الحالة الموافقة لـ $D=0.63$ ، تكون أفضل منها في حالة $D=0.7124$.

وبناءً على ما سبق من تحليل للعلاقة بين معاملات التصميم والخصائص الإشعاعية للهوائيات المصفوفية المنتظمة والتجزيئية، يبين الشكل (10) مقارنة بين المخطط الإشعاعي ومعامل المصفوف لهوائي مصفوفي مربعي منتظم (8×8) وهوائي آخر تجزيئي تم توزيع عناصره بشكل منتظم على المحور Z ، وبشكل تجزيئي على المحور Y من أجل القيم التالية لمعاملات التصميم: درجة التجزيء $S=3$ ، البعد التجزيئي $D=0.63$ ، المسافة الفاصلة بين العناصر الموزعة بشكل منتظم $d = \lambda/2$ ، معامل تغيير توزيع كثافة المادة $\delta = \rho * \frac{L}{8}$ حيث L طول الجسم التجزيئي $L = 7 * \lambda/2$ ، $\alpha_1 = \alpha_2 = \pi/3$.

نلاحظ من المخطط انخفاض كبير في مستوى الوريقات الجانبية عند توزيع العناصر بشكل تجزيئي مقارنة مع التوزيع المنتظم لها، لكن مع زيادة طفيفة في عرض فتحة الإشعاع عند مستوى نصف الاستطاعة من الممكن غض النظر عنه نتيجة التحسن الحاصل في نسبة SLR.

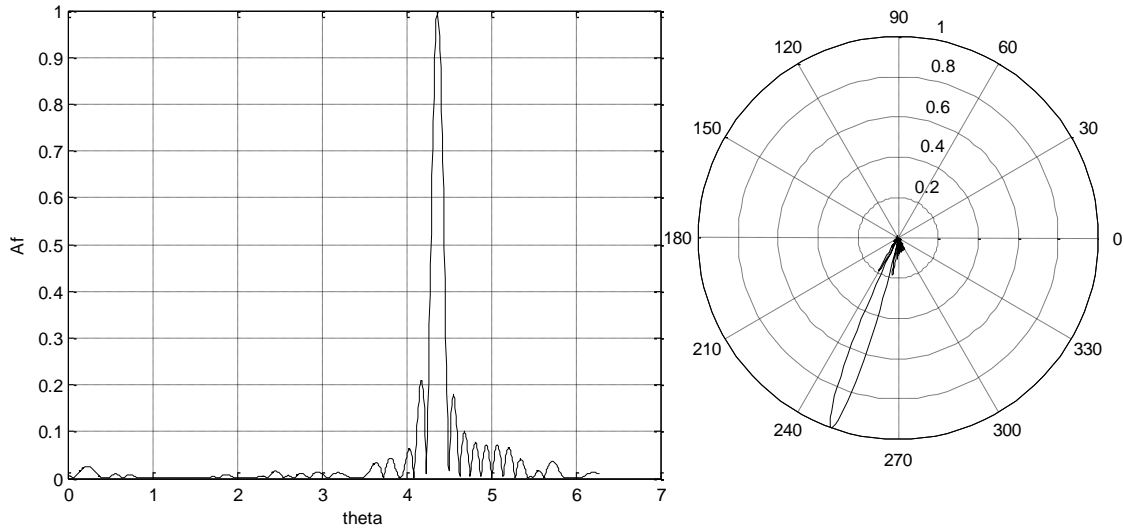


الشكل (10) مقارنة المخطط الإشعاعي بين الهوائي المصفوفي المربعي المنتظم (8x8) والتجزيئي ذي العناصر الموزعة بشكل منتظم

على المحور Z ، وبشكل تجزيئي على المحور Y ، حيث $d = \lambda / 2$ ، $\alpha_1 = \alpha_2 = \pi / 3$ ، $D = 0.63$ ، $S = 3$

الخط المستمر : المصفوفة المنتظمة ، الخط المتقطع : المصفوفة التجزيئية

وإذا كان المراد تصميم هوائي ذي عرض فتحة إشعاع منخفضة، ونسبة وريقات جانبية منخفضة أيضاً، لاستخدامه في الرادار على سبيل المثال، فإن الشكل (11) يبين المخطط الإشعاعي ومعامل المصفوف لهوائي مصفوفي تجزيئي تم توزيع عناصره بشكل منتظم على المحور Z ، وبشكل تجزيئي على المحور Y ، من أجل القيم التالية لمعاملات التصميم : درجة التجزيء $S = 4$ ، البعد التجزيئي $D = 0.63$ ، المسافة الفاصلة بين العناصر الموزعة بشكل منتظم $d = \lambda / 2$ ، معامل تغيير أبعاد الفجوات $\delta = \rho * \frac{L}{3}$ حيث L طول الجسم التجزيئي $\alpha_1 = \alpha_2 = \pi / 3$ ، $L = 15 * \lambda / 2$.



الشكل (11) المخطط الإشعاعي ومعامل المصفوف لهوائي مصفوفي تجزيئي تم توزيع عناصره بشكل منتظم

على المحور Z وبشكل تجزيئي على المحور Y حيث درجة التجزيء $S = 4$ ، $d = \lambda / 2$ ، $D = 0.63$ ، $\alpha_1 = \alpha_2 = \pi / 3$

وبذلك نجد ما تؤمنه لنا الهوائيات المصفوفية التجزئية من تغيير أكثر فعالية في الخصائص الإشعاعية مقارنة بالمصفوفة المنتظمة التي تملك عدد العناصر نفسها والحجم نفسه.

الاستنتاجات والتوصيات:

دمج هذا البحث بين الهندسة التجزئية والهوائيات المصفوفية المنتظمة، حيث تشكل لدينا من خلال هذا الدمج الهوائيات المصفوفية المربعة التجزئية. تتميز الهوائيات التجزئية بعدد معاملات تصميم أكبر من المصفوفة المنتظمة، الأمر الذي يمكننا من الحصول على عدد نماذج تصميمية أكبر وأفضل من الهوائيات المنتظمة. بينت النتائج التي حصلنا عليها من خلال برنامج يحل العلاقة بين معاملات تصميم الهوائي وخصائصه الإشعاعية، أن عرض فتحة الإشعاع عند مستوى نصف الاستطاعة يقل مع زيادة درجة التجزئية. وبالنسبة للمصفوفة المربعة، التي تم تصميمها على أساس التوزيع المنتظم للعناصر على المحور Z والتوزيع التجزئي لها على المحور Y، فإن عرض فتحة الإشعاع عند مستوى نصف الاستطاعة يقل مع زيادة البعد التجزئي .

أما فيما يتعلق بمستوى الوريقات الجانبية فيمكن إنقاصه من خلال تغيير معامل توزيع كثافة المادة، وهذا ما سنتطرق إليه في مقالات لاحقة.

المراجع:

- [1] WERNER, D.H, GANGULY, S. *An Overview of Fractal Antenna Engineering Research*. IEEE Antenna's and Propagation Magazine, Vol. 45, No. 1, February 2003, 38-57.
- [2] RAVEU, N.; AUBERT, H.; LEGAY, H. *Number of elements in polyadic cantor arrays for Tx-band satellite applications* , IEEE AP-S International Symposium, Washington , USA, Vol.1B, 3-8 July 2005 , 782-785.
- [3] GIANVITTORIO, J.P.; SAMII, Y. *Fractal Antennas Novel Antenna Miniaturization Technique and Applications*. IEEE Antenna's and Propagation Magazine, Vol. 44, No.1, February 2002, 20-36.
- [4] MANDELBROTE, B.B. *The Fractal Geometry of Nature*, Freeman, New York, 1983,468.
- [5] JAGGARD, D.L.; JAGGARD, A.D. *Polyadic cantor super lattices with variable Lacunarity*, Opt. Lett , Vol. 22, No.3, February 1997, 145-147.
- [6] WERNER, D.H.; WERNER P.L. *On the synthesis of fractal radiation patterns*, Radio.sci, Vol. 30, No.1 , January-February 1995, 29-45.
- [7] MILLIGAN, T.A. *MODERN ANTENNA DESIGN*, second edition Wiley, New York, 2005, 633.
- [8] صالح، السموع، جركس، تاج الدين. *تحليل وتصميم مصفوفة الهوائيات التجزئية ومقارنتها بالمصفوفة الخطية منتظمة المسافات والتغذية*، مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية. سوريا، المجلد 30، العدد 4، 2008 ، 113-128 .
- [9] ABOUL-SEOUD, A.S.; MAHMOUD, A.K.; HAFEZ, A.S. *A side lobe level reduction (SLL) for planar array antennas with -30 dB attenuators weight precision*. Aerospace Science and Technology, Vol. 14, issue 5, July-August 2010, 316-320.