Study And Analysis The Effect Of Changing The Distance Between The Elements Of A (1x2) Patch Antenna Array On Antenna Performance

Rama Ahmad*

(Received 8 / 8 / 2024. Accepted 2 / 12 / 2024)

□ ABSTRACT □

Microstrip patch antennas are the most widespread and widely used antennas due to their ease of manufacturing, light weight and small size, which makes them suitable for applications in wireless communications systems such as GPS, Wi-Fi, Bluetooth, satellite communications and medical applications. This research presents a model of a (1x2) array of inset-feed patch antennas which connected to each other by a tree feed network with a distance r separating them. The array is on top of a FR4_epoxy substrate.

The HFSS program was used to simulate the antenna array model and compare it with the single element model. The radiation patterns and scattering matrix S_{11} were obtained after verifying the convergence curves in the HFSS program to ensure accuracy in the results. It turns out that for a distance separating the centers of the two patches r =82mm, we obtain an antenna operating at the frequency of 2.43GHZ with a value of reflection coefficient S_{11}=-41.16dB and bandwidth BW=102MHZ, and for a stand wave ratio VSWR<2 the antenna can operate on a very wide range of frequencies such as the X-band.

Keywords: Inset-feed microstrip antennas, Parallel (Tree) feed, Scattering matrix, Radiation pattern, HFSS Program.

Copyright **:**Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* **Academic Assistant, Department of Communications and Electronics Engineering - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Tishreen University - Latakia - Syria**

دراسة وتحليل أثر تغير البعد بين عناصر هوائي مصفوفي مطبوع (1x2) على أداء الهوائي

راما أحمد*

(تاريخ الإيداع 8 / 8 / 2024. قُبِل للنشر في 2/ 12 / 2024)

□ ملخّص □

الهوئيات الشرائحية المطبوعة من الهوائيات الواسعة الإنتشار والإستخدام لما تتميز به من سهولة في التصنيع وخفة الوزن والحجم وهو الأمر الذي يجعل منها مناسبة لتطبيقات نظم الاتصالات اللاسلكية مثل GPS ,Wi-Fi, Bluetooth وفي الاتصالات الفضائية والتطبيقات الطبية. يقدم هذا البحث نموذج عن مصفوفة (1x2) من الهوئيات الشرائحية ذات التغذية المتداخلة والمرتبطة مع بعضها بشبكة تغذية شجرية وبمسافة r تفصل بين الشريحيتين المتوضعتين فوق طبقة أساس نوع FR4_epoxy.

استخدم برنامج HFSS لمحاكاة نموذج الهوائي المصفوفي المقترح وتمت مقارنته مع نموذج الهوائي ذو العنصر المفرد، تم الحصول على المخططات الإشعاعية ومصفوفة التبعثر S11 بعد التأكد من منحنيات التقارب في برنامج HFSS لضمان دقة النتائج. تبين أنه من أجل مسافة r=82mm تفصل بين مركزي الشريحتين نحصل على هوائي يعمل عند التردد 2.43GHZ وعرض حزمة ترددية BW=102MHZ، وقيمة معامل انعكاس ضمن الحزمة (S11=-41.16dB). من أجل نسبة أمواج مستقرة VSWR<2 يمكن للهوائي العمل على مجال واسع جداً من الترددات وأهمها الحزمة الترددية X-band .

الكلمات المفتاحية: الهوائيات الشرائحي ذات التغذية المتداخلة، التغذية التفرعية (الشجرية)،مصفوفة التبعثر S11،المخطط الإشعاعي، برنامج HFSS.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

* عضو هئية فنية – قائم بالأعمال – قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات -كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية- سورية. eng.rama1@gmail.com

مقدمة:

تعتبر الهوائيات المصفوفية المطبوعة (مصفوف الرقع) شكل من أشكال الهوائيات المصفوفية المكونة من عدة رقع مرتبة وفق تنسيق محدد لتعطي نتائج محددة ومطلوبة من حيث المخطط الاشعاعي والربح والاتجاهية.

تعتبر مصفوفة الرقع من الهوائيات واسعة الإستخدام لما تتميز به من بساطة في الشكل وخفة بالوزن بالإضافة إلى سهولة التصنيع وهو الأمر الذي يجعل منها حاليا مناسبة لتطبيقات نظم الاتصالات اللاسلكية مثل ,Wi-Fi, GPS Bluetooth وفي الاتصالات الفضائية والتطبيقات الطبية.

تتصل كل الرقع في المصفوفة إلى شبكة تغذية تحقق توزيع القدرة بالتساوي على كل العناصر بهدف زيادة الربح والاتجاهية مقارنة مع هوائي العنصر المفرد .

أهمية البحث وأهدافه:

إن الهدف الأساسي من هذا البحث هو دراسة وتصميم مصفوفة (1x2) من الهوائيات الشرائحية المطبوعة ودراسة تأثير تغير قيم أبعاد التصميم على شكل المخطط الاشعاعي والربح والاتجاهية مقارنة مع الهوائي المكون من العنصر المفرد، واختيار الأبعاد الأمثل لتصميم هوائي مصفوفي عامل عند التردد 2.4 GHz.

طرائق البحث ومواده:

تقوم الطريقة المستخدمة في دراسة وتصميم الهوائي المصفوفي المطبوع على التحليل الرياضي والمحاكاة باستخدام برنامج HFSS الذي يعتبر أحد أفضل برامج المحاكاة المستخدمة، والذي يساعد بدراسة تأثير تغير معاملات التصميم على الخصائص الاشعاعية للهوائي.

مخطط البحث:

1-دراسة الهوائي الشرائحي المطبوع المكون من عنصر مفرد وتحديد الشكل الأمثل لتغذيته.

2- دراسة العلاقات الرياضية للهوائي المطبوع وتحديد تردد العمل ومعاملات تصميم الهوائي.

3- تصميم الهوائي المصفوفي الشرائحي المطبوع (1x2).

4- تحليل ومحاكاة للهوائي المصفوفي عند قيم التصميم الأولية مقارنة مع هوائي العنصر المفرد .

5- دراسة تأثير المسافة الفاصلة بين مركزي الرقعتين على الخصائص الاشعاعية للهوائي المصفوفي .

6- تحديد القيم الأفضل لمعاملات التصميم والحصول على مصفوف متعدد الحزم وعريض النطاق الترددي.

7- دراسة منحنى التقارب في برنامج HFSS وتحديد القيم المناسبة للحصول على أدق النتائج.

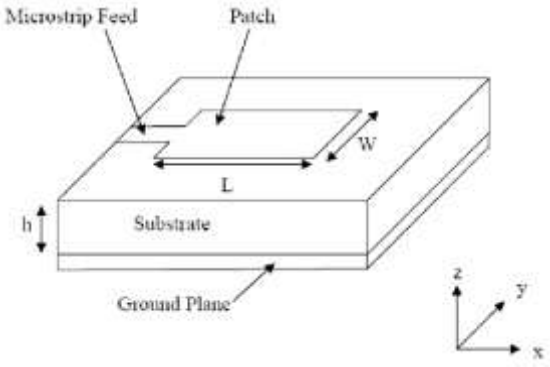
تم إجراء هذا البحث في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات –جامعة تشرين -2024.

الدراسة النظرية :

الهوائيات الشرائحية المطبوعة وحيدة العنصر :

يتكون الهوائي المطبوع من شريحة ناقلة تأخذ أشكال مختلفة مربع أو دائري أو مستطيل وغيرها الكثير حيث يؤثر شكل الشريحة وأبعادها على الخصائص الاشعاعية للهوائي[1] .

تتوضع الشريحة الناقلة فوق طبقة أساس ذات ثابت عازلية صغير وسماكة محددة ومن أسفلها توضع طبقة أرضي من مادة ناقلة. كما هو مبين في الشكل (1)



الشكل (1) هوائي شرائحي مطبوع بتغذية شريطية

يتم تغذية الشريحة بعدة طرق [2]:

1-خط شريطي Transmission Line مبين في الشكل(1)

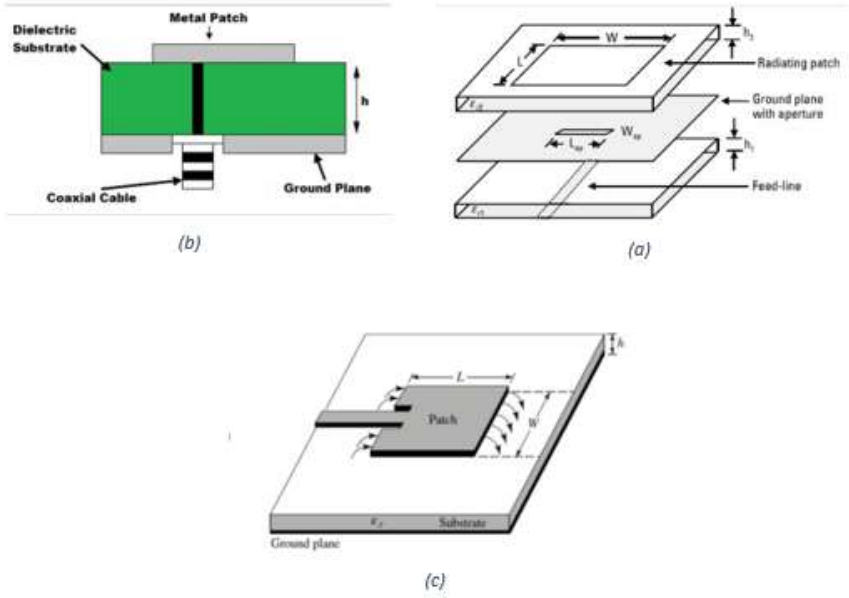
2-الفتحات Aperture Feeds مبين في الشكل(2-a)

3-مسبار عبر طبقتي الارضي والأساس Coaxial Cable or Probe Feed مبين في الشكل(2-b)

4- inset feed التغذية المتداخلة المبين في الشكل (2-c).

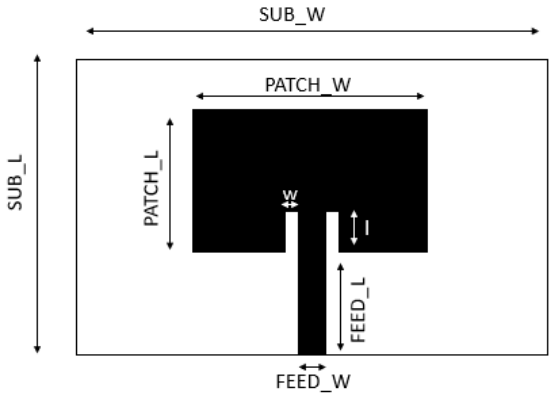
وتعتبر عملية اختيار التغذية الأمثل للهوائي عملية مهمة في تحديد ممانعة الدخل والتحكم بشكل المخطط الاشعاعي وفعالية الهوائي ومردوده.

اعتمد البحث طريقة inset Feeds في الهوائي المصمم لسهولة تطبيقها ونتائجها الأفضل مقارنة ببقية الطرق في تأمين توافق الممانعات بين الهوائي وخط النقل وزيادة عرض الحزمة الترددية للهوائي العامل[3].



الشكل (2) أنواع الهوائيات الشرائحية : (a) هوائي الفتحات – (b) التغذية بكبل محوري (مسبار) – (c) التغذية المتداخلة

يبين الشكل(3) هوائي شرائحي مطبوع مصمم للعمل على تردد 2.4 GHz.



الشكل (3) نموذج الهوائي المدروس المصمم للعمل على التردد 2.4Ghz

تُحدد أبعاد الهوائي بناءً على مجموعة العلاقات الرياضية التالية [4] :

$$w = \frac{c}{2f_0\sqrt{\frac{(\varepsilon_r + 1)}{2}}}$$

$$\varepsilon_{eff} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2}\left(1 + 12\frac{h}{W}\right)^{\frac{-1}{2}}$$

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412\frac{(\varepsilon_{reff} + 0.3)(\frac{W}{h} + 0.264)}{(\varepsilon_{reff} - 0.258)(\frac{W}{h} + 0.8)}$$

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad \text{with} \quad L_{eff} = \frac{\lambda_0}{2\sqrt{\varepsilon_{reff}}}$$

حيث: W : عرض الرقعة. c : سرعة الضوء في الخلاء. f_0 : تردد العمل وقيمته 2.4GHz.

ε_r: ثابت العازلية النسبي لطبقة الأساس. ε_{eff}: القيمة الفعالة لثابت العازلية.

h: سماكة المادة العازلة. L_{eff}: الطول الفعال للهوائي .

ويوضح الجدول التالي الأبعاد الهندسية المعتمدة في التصميم :

جدول 1 قيم معاملات التصميم لنموذج الهوائي المدروس

عرض طبقة الأساسSubstrate–w	58.43mm
طول طبقة الأساسSubstrate–L	76.37mm
سماكة طبقة الأساسSubstrate thickness –h	2.5mm
ε_r	4.4
عرض الرقعةPatch–w	38.19mm
طول الرقعةPatch–L	29.22mm
Feed–L	24mm
Feed–W	4.821mm
Ins–l	10.39mm
Ins–W	0.724mm

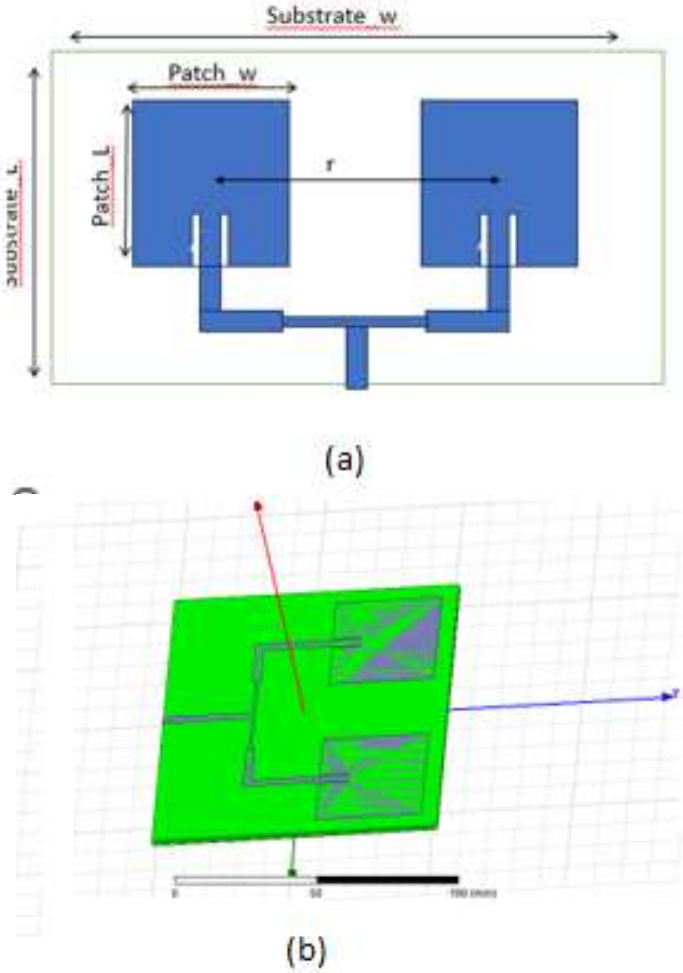
مصفوفة الهوائيات الشرائحية المطبوعة :

مصفوفة الهوائيات الشرائحية هي نوع من الهوائيات المصفوفية المكونة من عدد من الرقع المتوضعة وفق ترتيب محدد ومتصلة بشبكة تغذية مناسبة لتعمل مع بعضها كهوائي مفرد.

استخدم هذا النوع من الهوائيات المصفوفية في نظم الاتصالات الفضائية واللاسلكية، والتطبيقات الطبية لسهولة التصميم والشكل البسيط المتكيف تبعاً لمجال استخدامه [7] [6] [5] .

وحققت نتائج جيدة جداً من حيث الربح والاتجاهية وعرض الحزمة الترددية مقارنة بالهوائي المكون من عنصر مفرد[8].

يبين الشكل(4) الهوائي المصفوفي المكون من عنصرين بالشكل الهندسي(a–4) ومن خلال برنامج المحاكاة (b–4)



الشكل (4) مصفوفة الهوائي المدروس: (a) النموذج الهندسي المقترح – (b) التصميم ضمن برنامج المحاكاة

تعتبر شبكة التغذية في الهوائيات المصفوفية معامل مهم جداً في التصميم،حيث تحدد كيف تتوزع القدرة على العناصر بشكل مفرد. يوجد العديد من الطرق لتغذية العناصر المفردة وهي :

1- التغذية التسلسلية: في هذه الطريقة تغذى الرقع بشكل تسلسلي بحيث يغذي كل عنصر العنصر الذي يليه. تتصف هذه الطريقة بسهولة التصميم ولكن بالمقابل تتوزع القدرة على العناصر بشكل غير متساوي وتزيد من مستوى الوريقات الجانبية لوجود التأثير المتبادل بين العناصر[9].

2- التغذية التفرعية (الشجرية): تعتبر طريقة أفضل من سابقتها من حيث امكانية التحكم بالقدرة الموزعة على العناصر بشكل مفرد وذلك من خلال مقسمات الاستطاعة والأطوال المختلفة لخطوط النقل وبالنتيجة إمكانية التحكم بشكل المخطط الاشعاعي بسهولة [9].

3- التغذية بالإقتران Proximity coupling: تقوم هذه الطريقة على الإقتران الكهرومغناطيسي بين خط النقل المتوضع تحت الرقعة وتفصل بينهما طبقة الأساس. تتميز هذه الطريقة بعرض الحزمة الترددية والفعالية العالية ولكنها تصنف من الطرق الصعبة تصميمياً [10].

4- التغذية عبر الفتحات: تتميز هذه الطريقة بعرض الحزمة الترددية الكبير والفعالية العالية أيضا ولكن تتميز بصعوبتها والدقة العالية في التصميم، حيث تغذى الرقع من خلال شقوق أو فتحات في المستوي الارضي وتوضع خط النقل في الاتجاه المعاكس لموضع الرقعة بالنسبة للأرضي [11] .

في هذ البحث تم اختيار التغذية التفرعية (الشجرية) للرقعتين لما تتميز به من سهولة في التصميم و إلغاء للتأثير المتبادل بين العناصر المتجاورة. وحُددت الأبعاد بحيث تكون الرقعتان مهيجتان بنفس الطور.

فُرضت المسافة r بين مركزي الرقعتين بقيمة أولية مساوية لنصف طول موجة تردد التشغيل f=2.4GHz. وبالمقارنة مع بارامترات هوائي العنصر المفرد فُرض عرض طبقة الأساس وطولها كما يلي :

$$Substrate-w=58.43*2+patc_w$$

$$Substrate-L=76.37+feed_l$$

برنامج المحاكاة HFSS ومنحنيات التقارب :

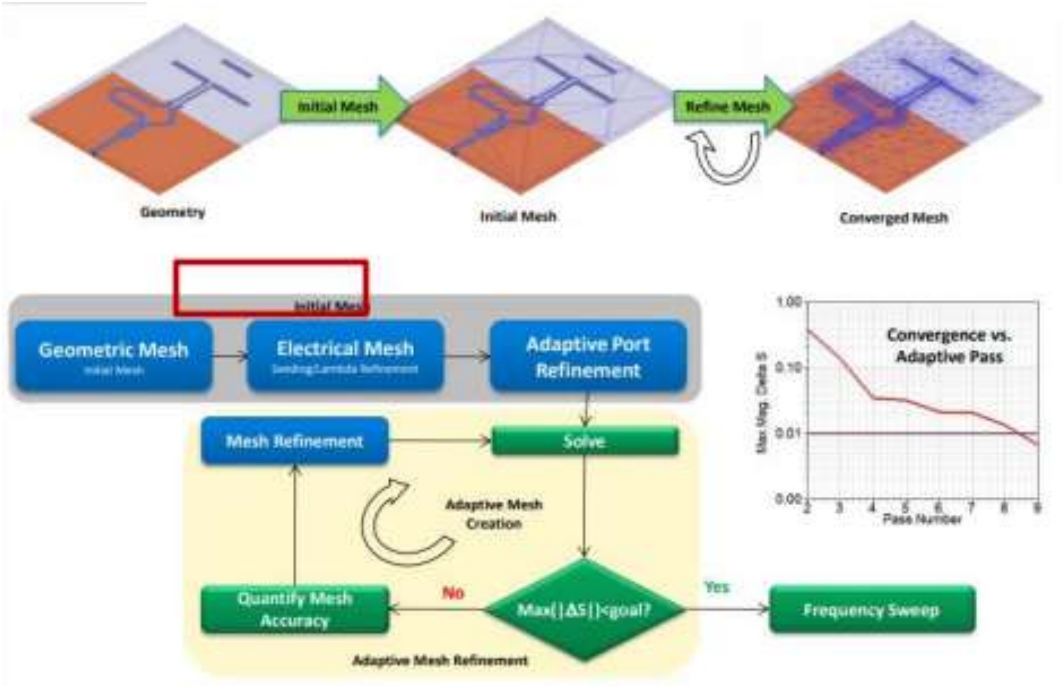
في برنامج المحاكاة (High frequency structure simulator) HFSS يتم تقسيم البنية المصممة إلى شبكة ثنائية أو ثلاثية البعد تبعاً لنموذج التصميم. تبدأ بشبكة أولية يحدد البرنامج أبعادها ويعطي على أساسها نتائج بقيم أولية تُقارن مع نتائج التكرار الثاني والموافق لإنشاء شبكة أكثر تحديداً لمكان توزع التيار(الحقول) في البنية كما هو مبين في الشكل(5).

تتوقف عملية التحليل والتقسيم للوصول إلى الشبكة المتكيفة المناسبة لاستكمال المحاكاة وفق:

1- تبعا لعدد مرات التكرار المفروضة من المستخدم.

2- أن نصل الى قيمة S-parameter بفارق عن قيمتها في التكرار السابق (التحليل السابق) أقل من قيمة Δs المفروضة .

من المعروف أن زيادة عدد مرات التكرار أو اختيار قيمة صغير جدا لـΔs يحقق نتائج أكثر دقة ولكن يطول بالمقابل زمن المحاكاة، لذلك من المفضل رسم منحني التقارب الذي يوضح عدد التكرارات الكافية للوصول إلى قيمة Δs المفروضة وبالتالي التأكد من صحة ودقة نتائج محاكاتنا للنموذج المصمم [12] [13].



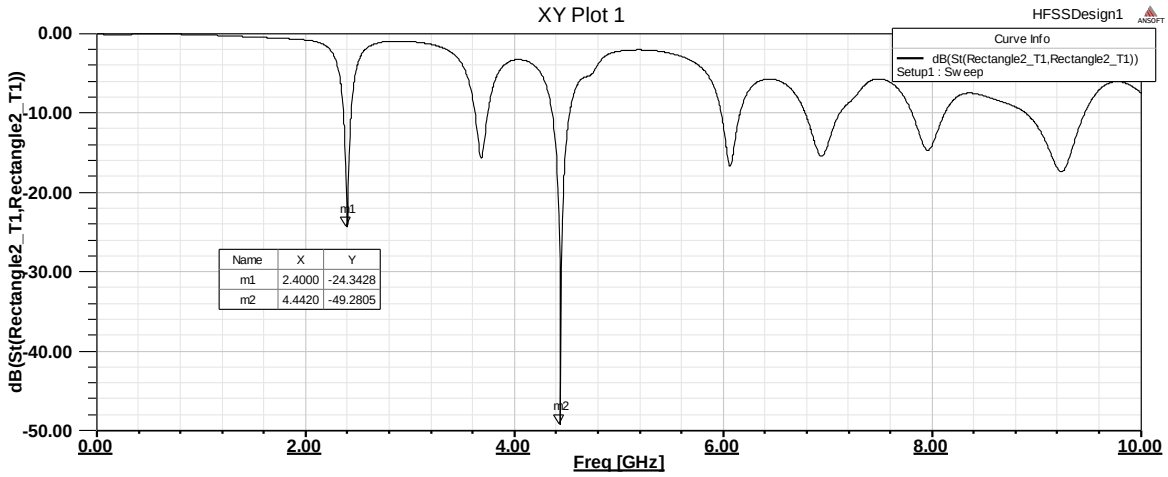
الشكل (5) مبدأ عمل برنامج HFSS في تقسيم البنية والتحليل

النتائج والمناقشة:

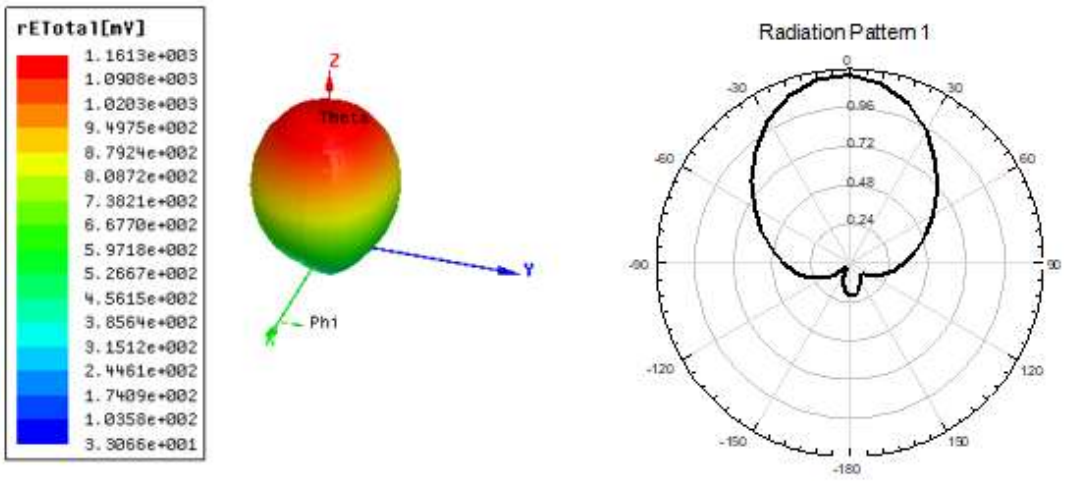
دُرس الهوائي المطبوع المبين في الشكل (3) ومن أجل الأبعاد التصميمية الموضحة في الجدول(1) ليعمل عند التردد 2.4 GHz وكانت النتائج كما يلي :

في الشكل (6) تم دراسة S_{11} كتابع للتردد ليتبين أنه يملك قيمة S_{11} =−24.34 dB عند التردد f=2.4GHZ، مع ملاحظة أنه هوائي يمكن له العمل عند أكثر من حزمة ترددية (f=4.4GHz , 2.4GHz). ويرسم المخطط الاشعاعي للهوائي عند التردد f=2.4 GHz المبين في الشكل(7) نلاحظ شدة الحقل الكلية:

$$E_{total} = 1.16 * 10^3\ mv$$



الشكل (6) ضياع العودة لهوائي العنصر المفرد S_{11} كتابع للتردد



الشكل(7) المخطط الاشعاعي ثنائي وثلاثي البعد لهوائي العنصر المفرد

وانطلاقاً من النتائج السابقة تم تصميم هوائي رقعي من عنصرين موضح في الشكل (4-a) ، و عنصره المفرد هو الهوائي السابق.

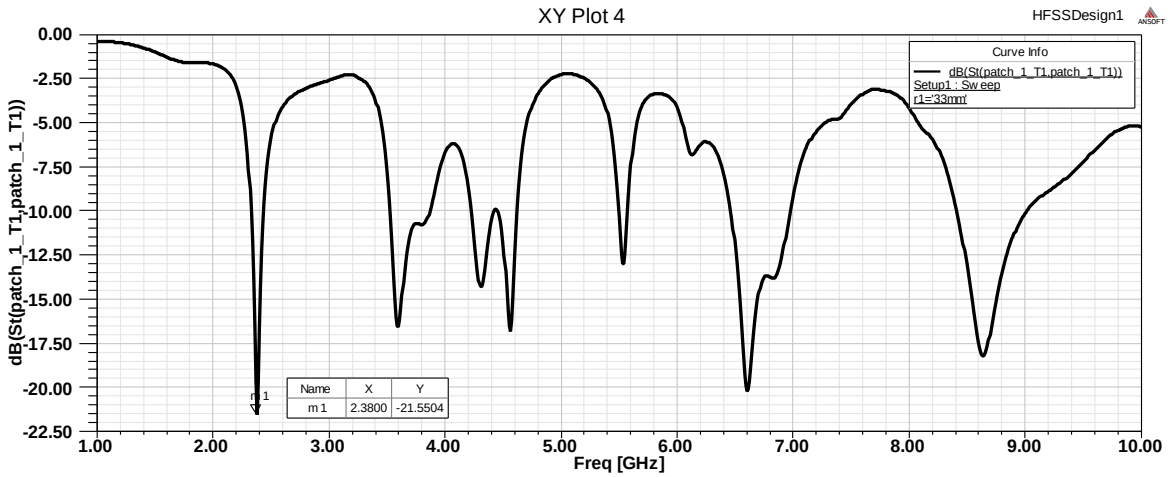
في المرحلة الأولى رسمت الرقعتان بحيث تكون المسافة الفاصلة بين مركزيهما مساوية لنصف الموجة حيث f=2.4 GHz .

وبدراسة المعامل S_{11} كتابع للتردد والموضح في الشكل(8) ودراسة تغيرات VSWR الموضحة في الشكل (9) تبين أنه:

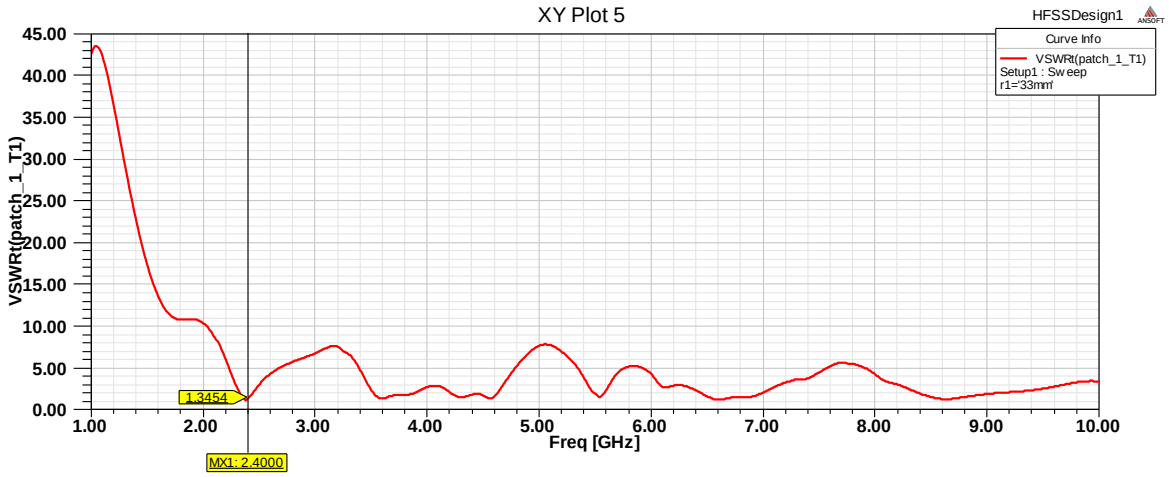
نحصل على أقل قيمة $s_{11} = -21.55\ db$ عند التردد f=2.38GHz.

هوائي يعمل عند قيم ترددية مختلفة عن العنصر المفرد كما هو مبين من خلال قيم S11 و VSWR.

تكون قيمة $s_{11} \backsimeq -16.63db$ و VSWR = 1.34 عند القيمة الترددية f=2.4 GHz وهي ليست أفضل من قيمها السابقة.



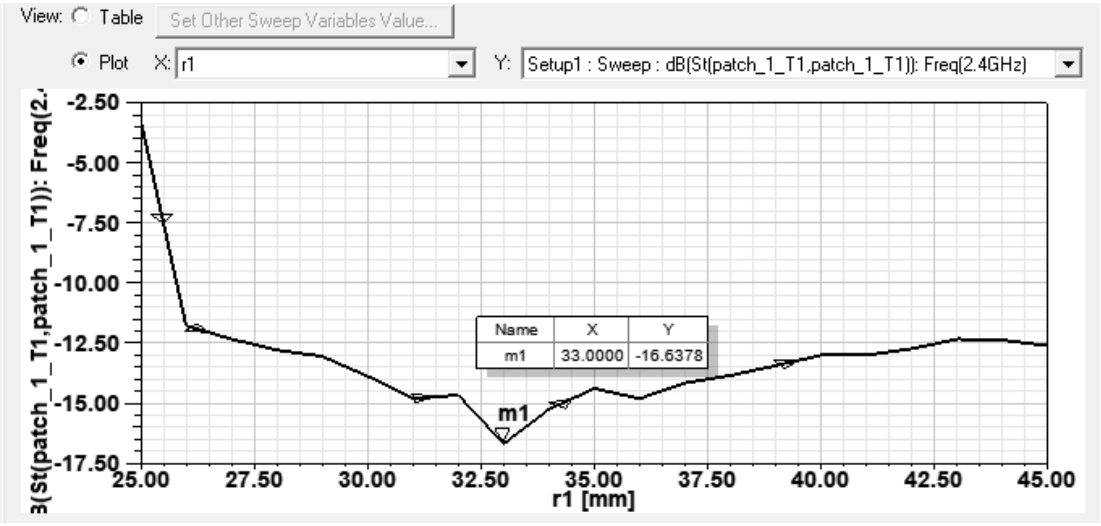
الشكل (8) ضياع العودة(معامل الانعكاس) s_{11} لهوائي مصفوف من عنصرين كتابع للتردد



الشكل (9) VSWR كتابع للتردد لهوائي مصفوف من عنصرين بمسافة نصف طول الموجة بين مركزي الرقعتين

وبهدف تحسين الخصائص الاشعاعية للهوائي المصفوفي ليعمل عند التردد 2.4GHz قمنا بدراسة تغير S_{11} كتابع للمسافة الفاصلة بين مركزي الرقعتين كما هو موضح في الشكل (10) .

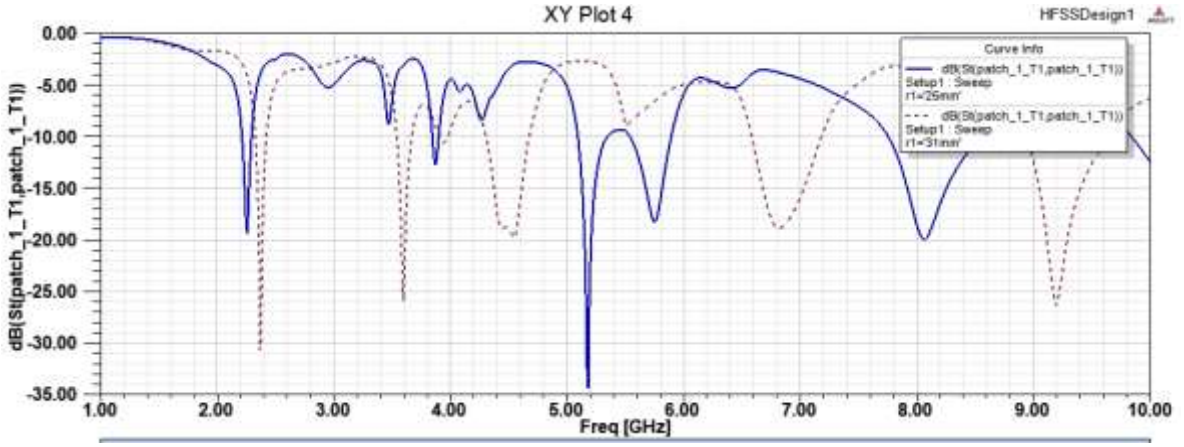
وذلك بفرض $r_1 = \frac{r}{2}$ تتغير ضمن مجال التصميم من 25mm – 45 mm ، وتردد التشغيل f=2.4GHz.



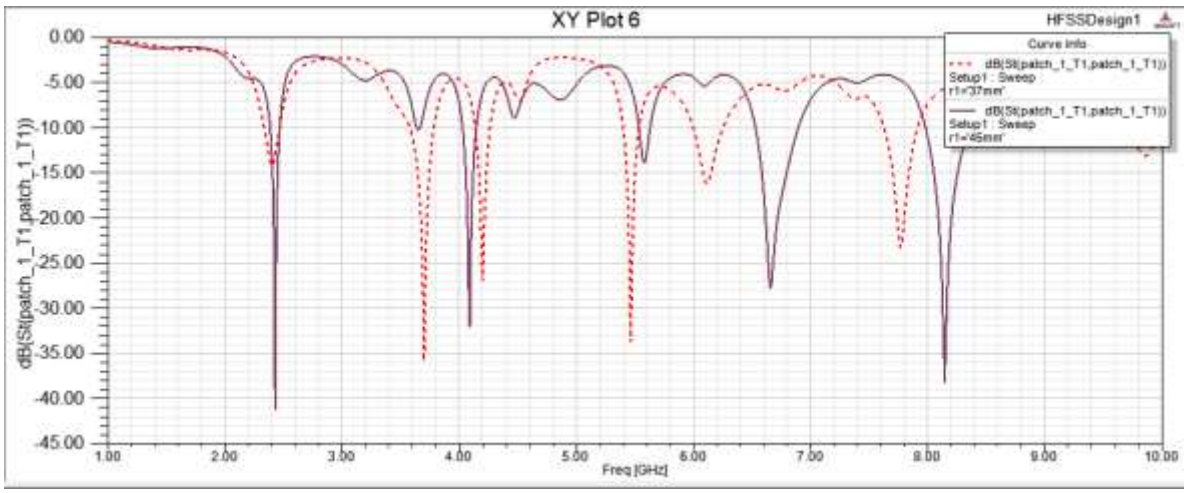
الشكل (10) تغير S_{11} كتابع للمسافة r_1 في مصفوف الهوائي

نلاحظ من المنحني أن أقل قيمة لـ S_{11} حصلنا عليها عند قيمة تصميمية لـ r_1 =33mm والتي درست بشكل منفرد سابقاً.

وبهدف دراسة سلوك الهوائي عند مجال ترددي عريض(1 GHz – 10GHz) ومن أجل قيم مختلفة لـ r_1 (25mm–31mm–37mm–45mm) درسنا أيضا تغيرات s_{11} المبينة في الشكلين (11–b), (11–a) والتي توضح الأثر الكبير لتغير المسافة الفاصلة بين الرقعتين على المجال الترددي الذي يعمل عليه الهوائي.



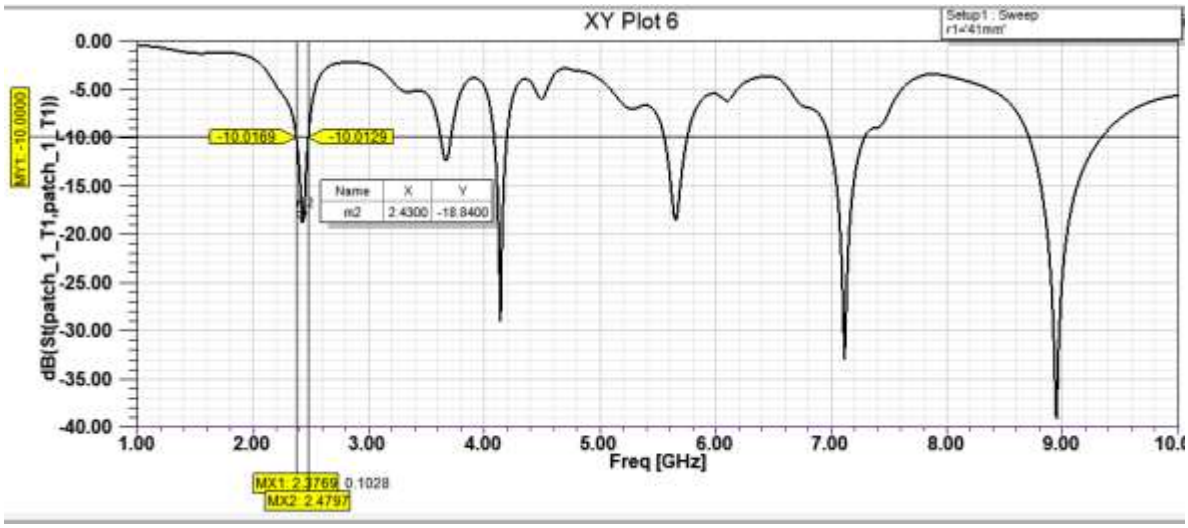
الشكل (11-a) تغيرات S_{11} كتابع للتردد من أجل قيم r1=25mm,31mm



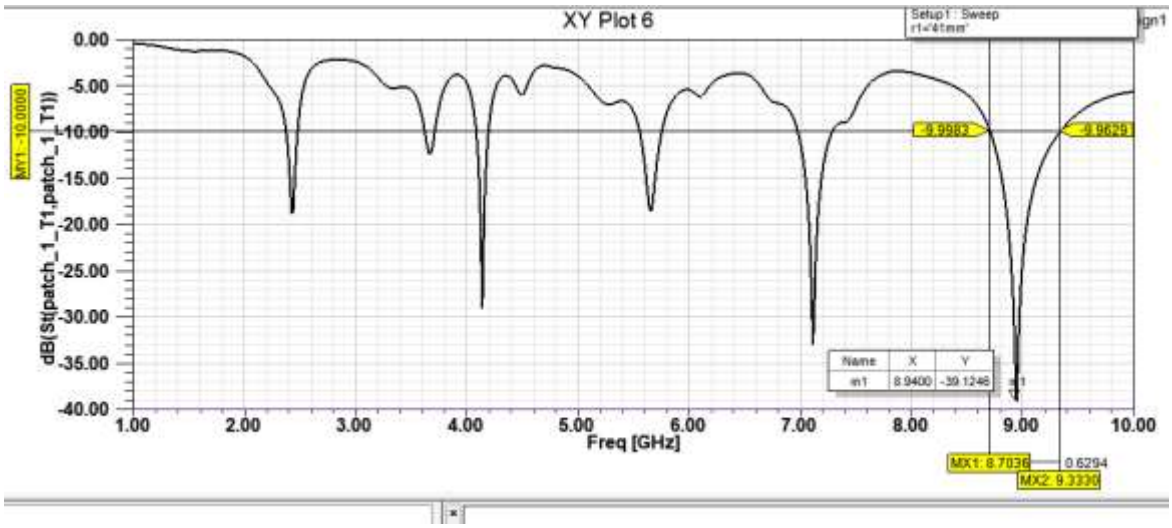
الشكل (11-b) تغيرات S_{11} كتابع للتردد من أجل قيم r1=45mm,37mm

من خلال متابعة النتائج أثناء التحليل و من أجل القيم المفروضة لـ r1 نلاحظ أن الهوائي المصفوفي عند r_1=41mm هو هوائي متعدد الحزم وعريض الحزمة الترددية مقارنة مع هوائي العنصر المفرد حيث تكون BW=102MHZ من أجل التردد f=2.43GHZ المبين في الشكل(12) ، بينما في هوائي العنصر المفرد كانت BW=67 MHZ عند التردد f=2.42GHz.

كما أنه هوائي مناسب للعمل على الحزمة الترددية x- band [14] ، وذلك عند التردد f=8.94 GHz بعرض حزمة ترددية BW=630 MHZ كما هو مبين في الشكل (13).

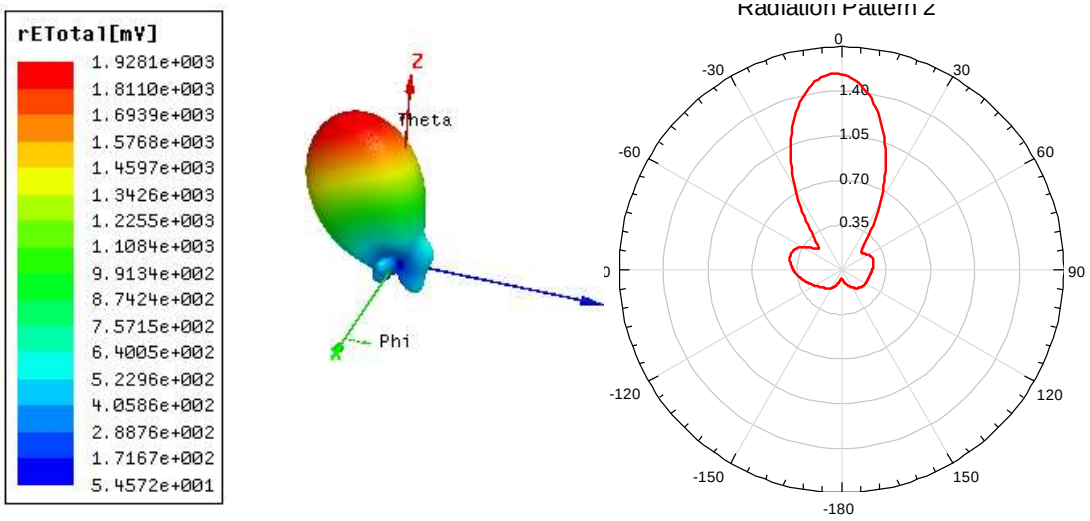


الشكل (12) عرض الحزمة BW لهوائي مصفوفي r_1=41mm عند التردد f=2.43GHZ



الشكل (13) عرض الحزمة BW لهوائي مصفوفي r_1=41mm عند التردد f=8.94GHZ

ولمقارنة المخططات الاشعاعية للمصفوف مع عنصره المفرد تمت المحاكاة والتوصل إلى النتائج الأفضل التالية من حيث عرض حزمة الاشعاع الأقل والزيادة في الربح والاتجاهية وشدة الحقل الكهربائي الكلية كما هو موضح في الشكل(13).

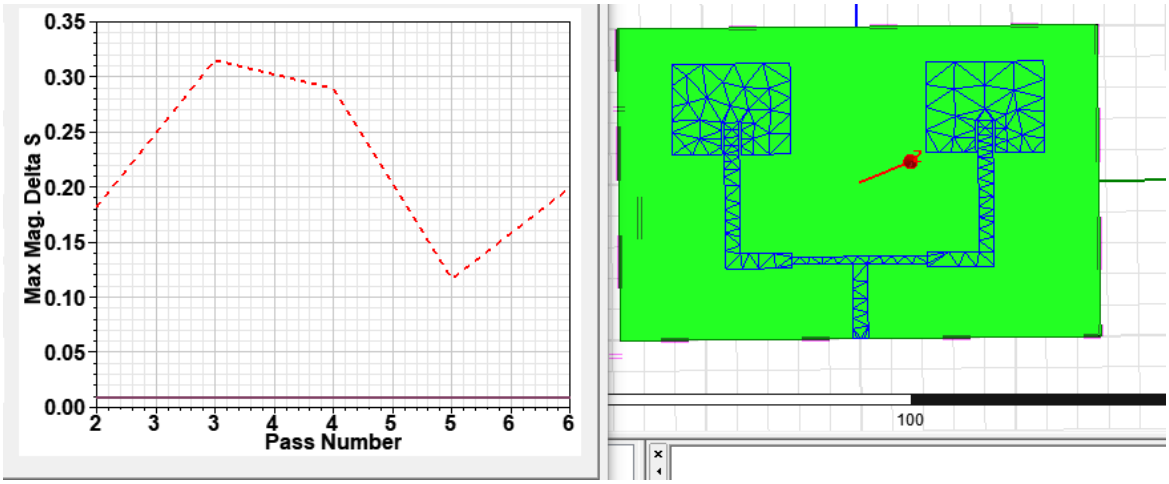


الشكل (14) المخطط الاشعاعي ثنائي وثلاثي البعد لمصفوف الهوائي من أجل r_1=45mm

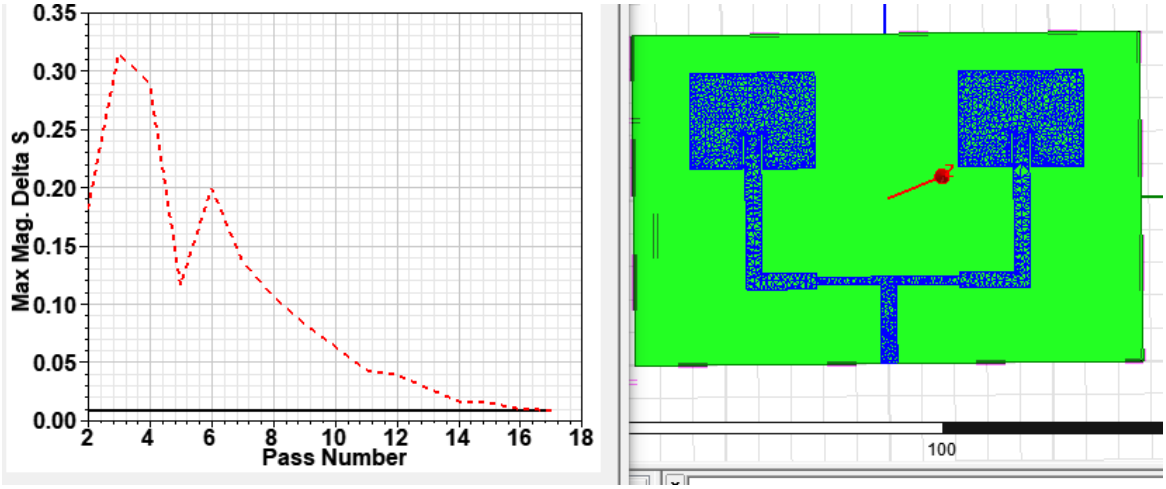
دراسة منحنيات التقارب :

فرضت قيمة $\Delta s = 0.01$ بهدف الحصول على نتائج محاكاة دقيقة ، وأجريت مقارنة بين منحنيات التقارب من أجل عددين مختلفين لمرات التكرار (Number of passes) 6 و 20 على التوالي مع ملاحظة تأثير الأمر على الشبكة المتكيفة التي يرسمها البرنامج وتتحدد على أثرها دقة النتائج الحسابية والمحاكاة .

يبين الشكل (16) أن عدد مرات التكرار=20 هو الأنسب من 5 للحصول على منحني يقارب قيمة $\Delta s = 0.01$ المفروضة. وعليه تم اختيار $\Delta s = 0.01$ ، عدد مرات التكرار= 17 خلال دراستنا لنتائج الهوائي المصمم ضامنين بذلك صحة ودقة النتائج التي نحصل عليها خلال المحاكاة.



الشكل(15) منحني التقارب والشبكة المتكيفة من أجل عدد مرات تكرار =6



الشكل(15) منحني التقارب والشبكة المتكيفة من أجل عدد مرات تكرار =20

الاستنتاجات والتوصيات:

تعطي مصفوفة الهوائيات المطبوعة نتائج أفضل بالمقارنة مع الهوائي وحيد العنصر من حيث عرض حزمة الإشعاع وعرض الحزمة الترددية والإتجاهية والربح .كما يمكن العمل على أكثر من قيمة ترددية بفعالية عالية مقارنة مع الهوائي وحيد العنصر.

من الممكن العمل على تطوير النموذج المدروس بعدة طرق :

- زيادة عدد عناصر المصفوف.
- اختيار نوع مختلف لطريقة تغذية العناصر.
- دراسة التغذية المختلطة (تسلسلية –تفرعية) لعناصر المصفوف الكثيرة والتي أعطت نتائج ايجابية في العديد من الدراسات.

References:

1-BALANIS, C.A. Antenna Theory: Analysis and Design,4thEd Wiley, New York,2016, 1104.

2- HUANG, Y, BOYLE, K. Antennas from Theory to Practice, John Wiley & sons, New York, ,2008, 384.

3-AB WAHAB, N, NORDIN,S.A, Muhamad, W.N, Sarnin, .S. *Microstrip Rectangular Inset Fed Patch Array Antenna for WiMax Application*, IEEE International RF and Microwave Conference (RFM), 2020.

4-MOHAN, N, HIMAJA, K.H. *Effective Microstrip Feed Line Length in Ultra-Wideband Responses and Wireless Applications*, Journal of Physics: Conference Series Vol.1804, 2021.

5- BARROU, O, ELAMRI, A, REHA, A. *Microstrip patch antenna array and its applications: A survey*, IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering, Vol. 15, No. 1, 2020, 26-38.

6- IRFANSYAH, A, HARIANTO, B, PAMBUDIYATNO, M. *Design of Rectangular Microstrip Antenna 1x2 Array for 5G Communication*, Journal of Physics: Conference Series Vol 2117,2021.

7-PATNAIK, P.K, MALIJEDDI, M, PANDA, D.C. *Wearable Microstrip Patch Antenna for Disease Detection and WiMAX Application, 2*nd International Conference on Range Technology (ICORT*)*, Chandipur, Balasore, India,2021, pp. 1-4.

8-MOHD, A, SHAIK, S.S, SIDDIQUI, M.A. *Design of Microstrip Patch Antenna Array*. International Journal of Wireless and Microwave Technologies. Vol. 13, No.3,2023 39-48.

9- MAHARJAN, J, CHOI, D. *Four-Element Microstrip Patch Array Antenna with Corporate-Series Feed Network for 5G Communication*, Hindawi International Journal of Antennas and Propagation*,*2020, pp. 12.

10- LANKA, M.D, CHALASANI, S.R, BOPPANA, S.L. *Analysis of Proximity Coupled Micro Strip Feed Linear Antenna Array for 5G Applications,* 4th International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT), Tirunelveli, India,2022, pp. 497-500.

11- ANANDKUMARM, D, SANGEETHA, R.G. *Design and analysis of aperture coupled microstrip patch antenna for radar applications*, International Journal of Intelligent Networks, Volume 1,2020, Pages 141-147.

12- An Introduction to HFSS: Fundamental Principles, Concepts, and Use. ANSYS, Inc. 275 Technology Drive Canonsburg, PA 15317 USA, 2013.

13- User's guide – High Frequency Structure Simulator. Ansoft Corporation 225 West Station Square Drive Suite 200 Pittsburgh, PA 15219 USA,2005.

14- PRADEEP, H. S. *Inset Fed Microstrip Patch Antenna for X-Band Applications*, International Journal of Engineering Research in Electronics and Communication Engineering (IJERECE) Vol 5, Issue 7, July 2018.