

## Design and Modeling of a Single and Matrix Printed Band Antenna Using HFSS Software

Suha Arraj\*

(Received 26 / 7 / 2023. Accepted 4 / 1 / 2024)

### □ ABSTRACT □

The research includes an introduction to the antennas and parameters of the study of each antenna in general, and definition of the types of antennas according to a simplified explanation before reaching the study of the printed slat antennas, their types methods of manufacturing and feeding them in the method of the transmission line model. then we continue to present the array antennas of which the second part of research is the practical section which includes a practical design study of a single segmental antenna using the HFSS simulation program and an array design of these antennas. the biggest problem facing this research is the difficulty of practical implementation of the required antennas, as a result of the unavailability of the required insulting materials to form the base layer, and the lack of laboratories necessary to measure, and test these antennas if they are designed. Therefore, we resorted to a design similar to the patch antennas found in the antenna laboratory at the university and compared the results obtained in the simulation with the practical results.

**Keywords:** printed striped antennas, array antennas, antenna characteristics, slat antenna design, HFSS simulation

**Copyright**



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

---

\*Work Supervisor, Faculty of Communication and Electronic Engineering; Tishreen University, Lattakia, Syria. suhaarraj@gmail.com

## تصميم ونمذجة هوائي شرائحي مطبوع مفرد ومصنوفي باستخدام برنامج HFSS

سهى عراج\*

(تاريخ الإيداع 26 / 7 / 2023. قُبِلَ للنشر في 4 / 1 / 2024)

### □ ملخص □

يتضمن البحث مقدمة في الهوائيات والبارامترات الخاصة بدراسة كل هوائي بشكل عام, وتعريف بأنواع الهوائيات وفق شرح مبسط قبل الوصول إلى دراسة الهوائيات الشرائحية المطبوعة, أنواعها وطرق تصنيعها وتغذيتها بالإضافة إلى الطريقة المتبعة في الدراسة وهي طريقة نموذج خط النقل, ثم نتابع في تقديم الهوائيات المصنوفية وفوائدها وخاصة الشرائحية منها. أما الجزء الثاني من البحث هو القسم العملي الذي يتضمن دراسة تصميمية عملية لهوائي شرائحي مفرد باستخدام برنامج المحاكاة HFSS والانتقال إلى تصميم مصنوف من هذه الهوائيات. إن المشكلة الأكبر التي تواجه هذا البحث هو صعوبة التنفيذ العملي للهوائيات المطلوبة, نتيجة عدم توفر المواد العازلة لتشكيل طبقة الأساس, وعدم توفر المخابر اللازمة لقياس واختبار هذه الهوائيات في حال تصميمها. لذلك لجأنا إلى تصميم مشابه للهوائيات الرقعية الموجودة في مخبر الهوائيات في الجامعة ومقارنة النتائج التي وصلنا إليها في المحاكاة مع النتائج العملية.

**الكلمات المفتاحية:** الهوائيات الشرائحية المطبوعة, الهوائيات المصنوفية, خصائص الهوائيات, تصميم الهوائي الشرائحية, المحاكاة باستخدام برنامج HFSS .

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية, يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

\* مشرف على الأعمال - قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات-كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة تشرين - اللاذقية- سورية.  
suhaarraj@gmail.com

**مقدمة:**

بدأ جيل جديد من الاتصالات و النهضة اللاسلكية تمثل في الاستفادة من خواص انتشار الأمواج في الفراغ المحيط بنا، واستدعى ذلك القيام باختراع وتصميم أجهزة مناسبة للتأقلم مع الواقع الجديد، وكان لا بد من إيجاد الأدوات المناسبة لإرسال واستقبال الإشارات فكانت الهوائيات التي تعتبر العصب الأساسي في أجهزة الاتصالات اللاسلكية. تأتي أهمية هذا البحث من كونه يقدم نظرة عامة حول واحدٍ من أهم وأحدث أنواع الهوائيات المستخدمة في الاتصالات اللاسلكية وهي الهوائيات الشرائحية المطبوعة. حيث تستخدم بشكل واسع في الاتصالات الخليوية والفضائية بسبب الميزات الفريدة التي تتمتع بها من خفة وزنها وانخفاض تكلفتها وتكيفها مع الأجسام التي تتوضع عليها.

**أهمية البحث وأهدافه:****1- الهدف من البحث:**

إن الهدف الأساسي من هذا المشروع هو دراسة نظرية وعملية لأحد أبرز وأهم أنواع الهوائيات في عصرنا الحالي وهو الهوائيات المكروية المطبوعة (أو ما يسمى بالهوائيات الرقعية)، التي تتميز بخفة وزنها وانخفاض تكلفتها، ومواصفاتها العالية من ربح وتوجيه جيد، إضافة إلى إمكانية التحكم في هذا التوجيه. إن الطريقة المستخدمة في تصميم الهوائي المطبوع ستكون نموذج خط النقل، لبساطتها وسهولة التعامل معها، وهي الطريقة الأكثر شيوعاً واستخداماً في دراسة هذه الهوائيات. يركز المشروع على تصميم هوائي مفرد يعمل على التردد 10GHz باستخدام برنامج HFSS، ومن ثم تصميم مصفوفة من العناصر المطبوعة ودراسة النتائج والتحسين الذي طرأ على بارامترات هذا الهوائي.

**2- الخصائص العامة للهوائيات:**

▪ مفهوم الهوائي: إذا أحدثنا اضطراب كهربي في وسط ما فإن هذا الاضطراب سيؤدي إلى انتشار أمواج كهربية في الوسط المحيط يمكن اعتبار هذا الاضطراب عبارة عن مرور تيار في ناقل يؤدي إلى انتشار أمواج في الوسط المحيط به، نسمي هذا الناقل في هذه الحالة بالهوائي.

إن أنواع الهوائيات تتبع بشكل عام لطول الموجة، وبما أن الترددات تقسم إلى مجالات عديدة هي: الطويلة أو القصيرة والقصيرة جداً وفوق القصيرة جداً.... الخ، يمكن أن تقسم الهوائيات أيضاً إلى مجموعات مثل الهوائيات السلكية في مجال الأمواج الطويلة (الترددات المنخفضة) وهوائيات العدسات والقطوع في مجال الترددات الميكروية وهكذا....

**▪ المجالات حول الهوائي:**

ترتبط القدرة الكهربية التي يشعها الهوائي أو يستقبلها بالمسافة المقاسة من الهوائي، بالتالي يمكن تقسيم المناطق حول الهوائي إلى ثلاث مناطق [1]:

**1. منطقة المجال القريب غير الفعال Reactive near field region :**

وهي منطقة قريبة جداً من الهوائي، وفيها تكون المركبات التخيلية للحقول الناتجة كبيرة جداً بالمقارنة مع المركبات الحقيقية، المركبات الحقيقية هي التي تشع، أما التخيلية فهي تنتج عن الشحنات الكهرومغناطيسية المتشكلة من الهوائي، والتي تتناسب مع مربع أو مكعب المسافة عن الهوائي، ولذا فهي تتخادم بسرعة وتهمل على بعد صغير من الهوائي.

**2. منطقة المجال القريب Near Field region :**

تسمى منطقة فريزل، وفيها يكون المخطط الإشعاعي متغير مع المسافة من الهوائي ومع زاوية المراقبة، لأن تلك المسافة تتغير بشكل ملموس بالتالي فإن مطال الحقول الناتجة و زاوية طورها تتغير بتغير نقطة المراقبة.

### 3. منطقة المجال البعيد Far Field region :

وتسمى منطقة فرانهورف، وفي هذه المنطقة تصبح الحقول مستعرضة تماماً تتناسب مطالاتها عكساً مع المسافة من الهوائي، يصبح المخطط الإشعاعي غير معتمد على المسافة من الهوائي أي أن الخواص الإشعاعية للهوائي في أي نقطة من هذه المنطقة مماثلة للخواص الإشعاعية على بعد لانهائي.

#### ▪ نظرية التبادل:

هنا الهوائي يمكن استخدامه كمرسل أو مستقبل، ويكون الهوائي تبادلي إذا لم يحتوي على مواد فريزية أو متأينة، أو أن الهوائي موجود في وسط غير متأين وأن يكون الوسط خطياً و متجانساً .

▪ السطح الفعال للهوائي Effective Area of Antenna : وهو السطح من الهوائي الذي يستقبل الاستطاعة المشعة، حيث ترتبط الاستطاعة المستقبلية مع كثافة الاستطاعة مع السطح الفعال بالعلاقة التالية [ 2 ] :

$$Pr=W.S \quad (1)$$

$S$  -السطح الفعال للهوائي  $[m^2]$

$W$  -كثافة القدرة الساقطة على الهوائي  $[w/m^2]$

$Pr$  -الاستطاعة التي يستقبلها الهوائي  $[watt]$

كما ويرتبط السطح الفعال للهوائي  $S$  مع السطح الهندسي له  $S_{geom}$  وفق العلاقة التالية [2]:

$$\eta_s = S/S_{geom} \quad (2)$$

تسمى  $\eta_s$  السطح المفيد للهوائي وتختلف من هوائي إلى آخر.

الطول الفعال للهوائي Effective Length of Antenna :

هو الجزء من طول الهوائي الذي يتوزع التيار عليه بشكل منتظم حيث يكون التوزيع على الطول الهندسي بشكل جيبى ، بالتالي فهو أقصر من الطول الهندسي. يمكن تعريف الطول الفعال للهوائي  $h_{eff}$  بشكل آخر بأنه طول مشع مثالي يتوزع التيار عليه بشكل منتظم ، ويعطي في اتجاه الإشعاع الأعظمي نفس الشدة التي يعطيها المشع الحقيقي، أما تياره فله نفس قيمة تيار الهوائي الحقيقي في نقطتي تغذيته. التعريف الرياضي للطول الفعال للهوائي ويقاس بوحدة  $m$  [3]:

$$h_{eff} = V/E \quad (3)$$

$V$  - قيمة الجهد المتشكل في الهوائي ويقاس بوحدة الفولت.

$E$  - قيمة الحقل الكهربائي قرب الهوائي ويقاس بوحدة  $V/m$ .

▪ كثافة الاستطاعة المشعة Radiation Power Density :

الأمواج الكهرومغناطيسية تحمل استطاعة يتم التعبير عنها بشعاع بوينتنتغ اللحظي ويعطى بالعلاقة:

$$W = \frac{1}{2} Real\{E \times H\} \quad (4)$$

$W$  -شعاع بوينتنتغ اللحظي وادته  $[w/m^2]$

$E$  -شدة الحقل الكهربائي اللحظي وادته  $[v/m]$

$H$  - شدة الحقل المغناطيسي اللحظي واحده  $[A/m]$

إن شعاع بوينتغ يمثل كثافة الاستطاعة , بالتالي فإن الاستطاعة الكلية على السطح المغلق  $s$  تساوي لتكامل شعاع بوينتغ على هذا السطح وتعطى بالعلاقة [ 3 ] :

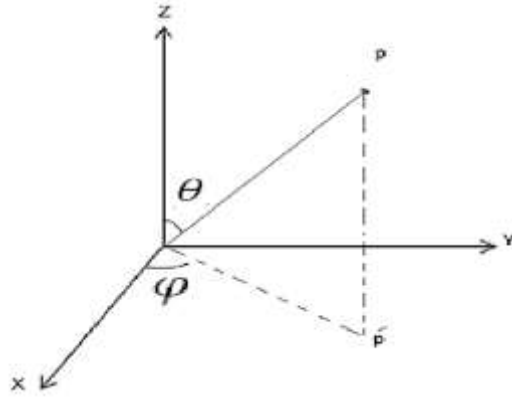
$$P = \oint W \cdot ds \quad (5)$$

### 3- معاملات الهوائي Parameters of Antenna :

يوجد لكل هوائي في الحالة العامة الإرسال أو الاستقبال مجموعة من البارامترات التي تميزه وتحدد مجال استخدامه, من هذه البارامترات:

▪ المخطط الإشعاعي Radiation Graphic :

أحد أهم البارامترات التي تستخدم لتمييز الهوائيات، ويعبر عن المحل الهندسي للحقل الكهربائي أو المغناطيسي أو للاستطاعة كتابع للمتغيرات  $(\theta, \varphi)$  متغيرات الجملة الكروية، وذلك عند بعد ثابت عن الهوائي.



الشكل (1) المخطط الإشعاعي للهوائي

بفرض أن الهوائي نقطي يتوضع في مركز الإحداثيات , بالتالي تتحدد أي نقطة في هذا المستوي بالنسبة للهوائي ببعدها عنه، والزوايتين  $(\theta, \varphi)$  كما هو مبين بالشكل (1). إذا كان هذا المشع مثالياً، فإن الاستطاعة المشعة من المنبع ستتوزع بشكل متساوي حول المركز وتعطى الاستطاعة عندها بالعلاقة [4]:

$$P(\theta, \varphi) = Prad / 4\pi r^2 \quad (6) \quad [W/m^2]$$

حيث  $Prad$  الاستطاعة المشعة من الهوائي.

$4\pi r^2$  مساحة سطح الكرة التي يشع وفقها الهوائي.

بالتالي تكون الاستطاعة المشعة في واحدة الزوايا الصلبة ( عندما  $r=1$  ) هي:

$$P(\theta, \varphi) = Prad / 4\pi \quad (7)$$

في الحياة العملية يصعب تحقيق الحالة المثالية المنتظمة، بالتالي فإن الاستطاعة المشعة لن تكون منتظمة وستتبع لتغيرات الزوايتين  $(\theta, \varphi)$  والتي تتبع بدورها لخصائص الهوائي. بسبب التوزع غير المنتظم للاستطاعة المشعة، فإنه يوجد اتجاه  $(\theta_0, \varphi_0)$  يكون الإشعاع أعظمية ويأخذ التابع  $P(\theta, \varphi)$  قيمته الأعظمية في هذا الاتجاه فإذا أخذنا النسبة  $P(\theta, \varphi) / P(\theta_0, \varphi_0)$  تكون للنسبة السابقة قيمة أعظمية مساوية الواحد وتغيرات هذه النسبة غير تابعة للبعد عن الهوائي، ورسم هذه التغيرات يعطي التوزع الفراغي للاستطاعة المشعة، والذي يسمى بالمخطط الإشعاعي للهوائي [4].

▪ الاتجاهية Directivity :

مقدار يصف الخواص الاتجاهية للهوائي وآلية التحكم بالمخطط الإشعاعي ، وتعرف الاتجاهية لمنبع غير أيزوتروبي على أنها نسبة شدة الإشعاع الأعظمية الناتجة عن الهوائي إلى شدة الإشعاع الناتجة عن منبع أيزوتروبي وذلك عند نفس مقدار الاستطاعة المقدمة ، ويكتب بالعلاقة [5]:

$$D = U_{max}/U_0 = 4\pi U_{max}/Prad \quad (8)$$

حيث  $D$ : الاتجاهية، وهي قيمة نسبية بدون وحدة.

$$U_{max}: \text{شدة الإشعاع الأعظمية لهوائي غير أيزوتروبي، وتقدر بوحدة } \left[ \frac{W}{\text{واحدة الزوايا الصلبة}} \right]$$

$$U_0: \text{شدة الإشعاع للمنبع الأيزوتروبي، وتقدر بوحدة } \left[ \frac{W}{\text{واحدة الزوايا الصلبة}} \right]$$

وبناء على ذلك يمكن تعريف مفهوم الريح الاتجاهي  $Dg$  وهو عبارة عن نسبة شدة الإشعاع في اتجاه ما إلى شدة الإشعاع من هوائي مرجعي ويكون الهوائي الأيزوتروبي هو المرجعي غالباً. بالنسبة للمنابع الأيزوتروبية يكون الريح الاتجاهي والاتجاهية مساويان القيمة 1 بسبب التوزع المنتظم والمتساوي للاستطاعة المشعة في كافة الاتجاهات [5]. أما في المنابع غير الأيزوتروبية يكون للاتجاهية قيمة أكبر من الريح الاتجاهي وأكبر من الواحد وتتراوح قيمهما وفق

$$0 < Dg < D_0$$

الريح Gain :

مقدار لوصف وتقييم أداء الهوائي، ويرتبط بشكل مباشر بالاستطاعة المشعة من الهوائي، ويعطى ربح الهوائي في اتجاه ما بأنه  $4\pi$  من نسبة الإشعاع في ذلك الاتجاه إلى الاستطاعة القادمة إلى هوائي الإرسال. وفي الحالة العامة يؤخذ الاتجاه الأعظمي للإشعاع للحصول

$$Gain = 4\pi \frac{U(\theta, \varphi)}{P_{in}} \quad (\text{دون وحدة}) \quad \text{على الريح ويعبر عنه بالعلاقة}$$

التالية [5]:

(9)

يتم التعامل أيضاً مع مفهوم الريح النسبي الذي هو نسبة ربح الهوائي في اتجاه ما إلى ربح هوائي مرجعي بشرط كون استطاعتي دخل الهوائيين متساوية يمكن الاعتماد على هوائي بوقي أو دايبول أو أي هوائي آخر وحساب ربحه بدقة كهوائي مرجعي عند القياس.

■ ممانعة الدخل لهوائي Input Impedance :

وهي الممانعة الناتجة بين أطراف الهوائي، أو عبارة عن نسبة الجهد إلى التيار المقاسين عند طرفي الدخل للهوائي. إذا فرضنا ان الهوائي في حال الإرسال موصول إلى منبع إشارة وغير موصول إلى أي حمل فإن ممانعة الهوائي  $Z_A$

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (10) \quad \text{تعطى بالعلاقة:}$$

حيث  $R_A$  : مقاومة الهوائي وتقدر بالأوم.

$X_A$  : مفاعلة الهوائي وتقدر بالأوم.

و تقسم مقاومة الهوائي إلى قسمين : مقاومة الإشعاع للهوائي و مقاومة الضياع.

$$RA=Rr+RL \quad (11) \quad \text{حيث:}$$

في حالة الملائمة الكاملة مع حمل فإن الاستطاعة التي يقدمها منبع الإشارة إلى الهوائي يصرف نصفها بشكل حراري في المقاومة الداخلية للمنبع, أما النصف الثاني فيقدم للهوائي, يتم إشعاع جزء من هذه الاستطاعة من خلال مقاومة الإشعاع للهوائي أما القسم الثاني فيضيع بشكل حراري وهو ما يؤثر على فعالية الهوائي. عندما يكون الهوائي بلا ضياع ( أفضل الحالات ) فإن نصف الاستطاعة الكلية التي يقدمها المنبع يتم إشعاعها عن طريق الهوائي الملائم مع خط الارسال [6].

#### ▪ استقطاب الهوائي Polarization of Antenna :

يعرف استقطاب الهوائي في اتجاه محدد على أنه استقطاب الموجة المشعة من قبل الهوائي, ويعرف استقطاب الموجة بأنه المنحني الذي يمثل تغيرات نقطة النهاية لشعاع الحقل الكهربائي اللحظي في الفراغ كتابع للزمن. يصنف الاستقطاب إلى ثلاثة أنواع : خطي، دائري، قطعي.

يكون الاستقطاب خطياً عندما يكون الشعاع الذي يمثل الحقل الكهربائي في نقطة من الفراغ كتابع للزمن يتغير على طول خط (باتجاه واحد) ويكون عندها فرق الطور بين مركبتي الحقل الكهربائي مساوياً:

$$\Delta\phi=\phi_x-\phi_y=n\pi ; n=0,1,2\dots$$

أما عندما يكون منحنى التغيرات بشكل إهليلجي يقال عن الاستقطاب بأنه قطعي ويكون عندها فرق الطور بين مركبتي الحقل الكهربائي هي من المضاعفات الفردية لـ  $\pi/2$  أما مطالات المركبتين تكون غير متساوية. في حال تساوي مطالي المركبتين يصبح الاستقطاب دائري، يعتبر الاستقطابان الخطي والدائري حالة خاصة من الاستقطاب القطعي [7].

#### 4-أنواع الهوائيات Types of Antennas :

يمكن تصنيف الهوائيات بحسب تصميمها إلى المجموعات التالية[4]:

- الهوائيات السلكية wire antennas.
- هوائيات الفتحات aperture antennas.
- هوائيات العواكس reflector antennas.
- الهوائيات الشرائحية microstrip antennas.
- الهوائيات المتكاملة الفعالة active integrated.
- هوائيات المصفوفات antenna arrays.
- الهوائيات الشرائحية المطبوعة Microstrip Patched Antenna.

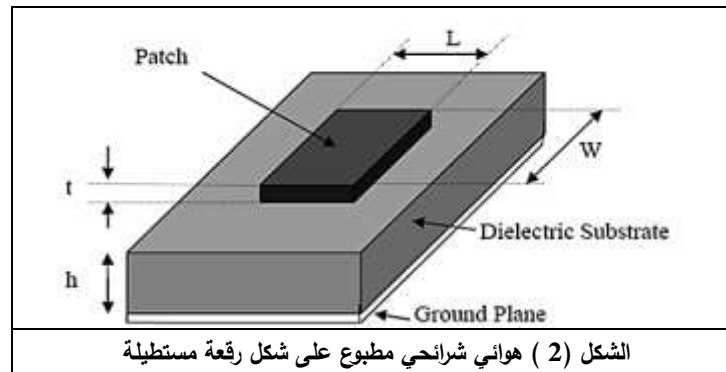
سنقوم في هذا الفصل بدراسة الهوائيات الشرائحية المطبوعة من حيث البنية وطريقة التصنيع والتغذية والاستخدامات العامة بالإضافة إلى المعادلات الرياضية التصميمية وأنواع وميزات هذا النوع من الهوائيات.

#### 5-بنية الهوائيات الشرائحية المطبوعة:

يتكون الهوائي الشرائحي المطبوع من شريط معدني رفيع جداً مصنع من الذهب أو النحاس فوق طبقة من مستوى أرضي, ويفصل المستوى الأرضي عن الشريط ( الذي يمثل الرقعة ) بطبقة من مادة عازلة تسمى طبقة الأساس. يمكن أن تأخذ الرقعة الشريطية أي شكل كالمستطيل والدائري والمثلثي وغيرها, ويمكن التحكم بهذا الشكل بسهولة بسبب تقنية التصنيع المستخدمة وهي طباعة العناصر المشعة, وخطوط التغذية ضوئياً على طبقة الأساس العازلة كهربائياً, ولكن الشكلين المستطيل والدائري هما الأكثر شيوعاً نظراً لسهولة التصنيع والتحليل الرياضي. إن خطوط التغذية يمكن كما

ذكرنا طباعتها على نفس الشريحة العازلة ويكون عبارة عن شريط ناقل ذو عارض أصغر من الشريحة الأساسية التي تمثل الهوائي وتتبع أبعاد الشريحة وخط التغذية لتردد التصميم [8].  
 في هوائيات الشريط الميكروي يعتبر ضابط ثابت العازلية لطبقة الأساس السفلية ذو أهمية قصوى، فهو العامل المؤثر في ثابت الانتشار للمادة وتردد الطنين والخواص الإشعاعية للهوائي المصمم. عند اختيار المادة العازلة يجب أن نأخذ بالحسبان ثابت العازلية للمادة، والضياع المماسي كتابع للتردد وكثافة وسماكة العازل بالإضافة إلى أبعاد الطبقة.  
 من أهم ميزات الهوائيات الشرائحية المطبوعة:

- الوزن الخفيف والحجم الصغير الذي يزيد من الحاجة إلى استخدامها.
  - تكلفة منخفضة مع إمكانية تصميم كميات كبيرة منها بأقل ما يمكن.
  - متكيفة مع الظروف الجوية واستخدامها على سطوح صلبة دون أن تؤثر على خواصها.
- تستخدم هذه الهوائيات في مجالات واسعة مختلفة منها:
- الأقمار الصناعية.
  - الرادارات وأجهزة القياس الراديوية.
  - التحكم بالطائرات والسيارات والصواريخ.
  - أجهزة الاتصالات الخليوية.
- في المجالات الحديثة تستخدم هوائيات مطبوعة في الأجهزة اللاسلكية المرتبطة بالإنسان، و تقوم بمهمة مراقبة وظائف الجسم وإرسال معلومات المراقبة واستقبال أوامر تحكمية من مركز مراقبة معين.
- يمكن تشبيه الهوائي الرقعي المطبوع بشقين عرض كل منهما  $w$  يوضع بشكل عمودي على خط التغذية، يفصل بين الشقين بواسطة ممانعة صغيرة جداً، أما خط الإرسال يكون عبارة عن صفيحة متوازية بطول  $L$  ويساوي بشكل تقريبي نصف طول الموجة، ويشكل الشقان صفيين من العناصر يبعدان عن بعضهما مسافة  $L$ ، وتكون محصلة الحقول الناتجة عن الشقين هي الحقل الناتج عن الهوائي الرقعي، والشكل (2) يمثل هوائي شرائحي مطبوع على شكل رقعة مستطيلة [7,6].



#### 6-تغذية الهوائي الرقعي:

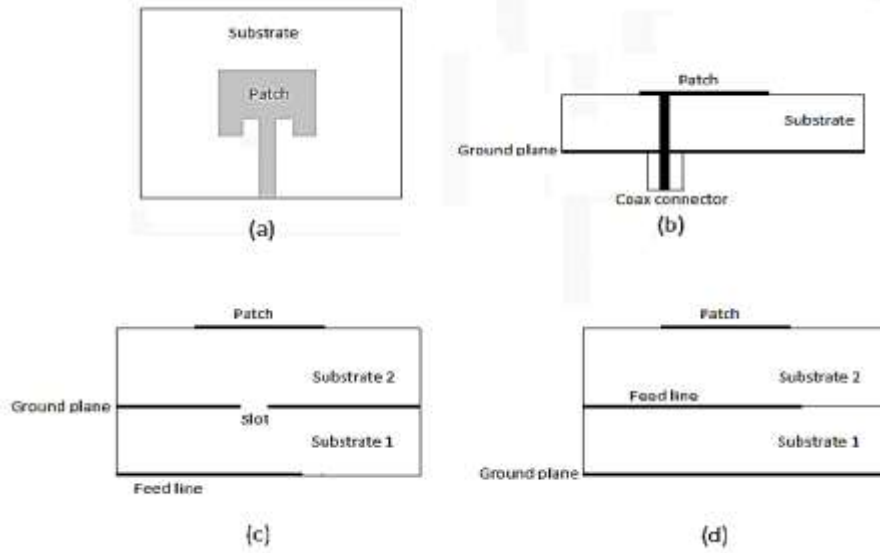
إن طرق التغذية واسعة جداً وذلك بسبب سهولة وبساطة التصاميم والتصنيع، ويمكن تصنيف هذه الطرق من حيث الاتصالية بالرقعة المطبوعة في مجموعتين المباشرة وغير المباشرة. في الطريقة المباشرة تتم عملية التغذية ونقل الإشارة الراديوية RF بشكل مباشر إلى الرقعة المشعة باستخدام عنصر وصل مثل شريط النقل الميكروي المطبوع. أما الطريقة



غير المباشرة فتكون عملية التغذية عن طريق الترابط الكهرطيسي لنقل الإشارة الراديوية بين خط النقل الميكروي والشريحة المشعة. والشكل (3) يبين نماذج التغذية سابقة الذكر.

نميز أربع طرق منتشرة لتغذية الهوائي الرقعي مصنفة في المجموعتين كالتالي [9]:

- 1- المباشرة: طريقة خط النقل الميكروي وطريقة الناقل المحوري the microstrip line, coaxial probe
- 2- غير المباشرة: طريقة الاقتران الشقي وطريقة الاقتران المتجاور aperture coupling and proximity Coupling



الشكل (3) يبين طرائق تغذية الهوائي

6-1- طريقة خط النقل الميكروي Microstrip Line Feed :

إحدى تقنيات تغذية الهوائي الرقعي وتستخدم الوصل المباشر بين الناقل الميكروي والشريحة المطبوعة. تعتبر هذه الطريقة الأكثر استخداماً بسبب سهولة التحليل والتصميم وكذلك التصنيع [9]. الشكل (4) يبين نموذجين لتصنيع هذا النوع من التغذية.

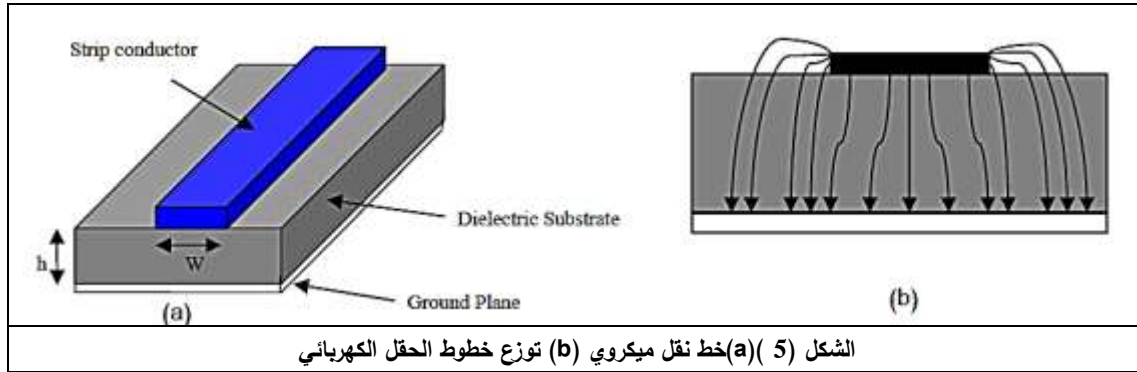


الشكل (4) (a) تغذية من الجانب Edge Feed (b) تغذية جانبية داخلية Insert Feed

يغذى الهوائي بواسطة خط تغذية مطبوع على سطح المادة العازلة ويتصل بحافة الرقعة مباشرة، أو في بعض الحالات يتم الوصل عن طريق وصلة من أجل تحقيق الملائمة بين الممانعات، ويعتبر موقع نقطة الوصل بالنسبة لمركز الرقعة معامل يؤثر على ممانعة دخل الهوائي. يتميز هذا النوع بعرض حزمة صغير مع وجود نسبة كبيرة من الإشعاع الزائف كون شبكة التغذية غير مفصولة عن الرقعة .

7- نموذج خط النقل transmission line model :

سنعتمد في دراستنا طريقة نموذج خط النقل الذي يعتبر أحد أبسط الطرق الفيزيائية لتحليل عمل الهوائي الرقعي حيث يقوم هذا النموذج بمكافئة الهوائي الرقعي بشقين عرض كل منهما هو  $W$  وارتفاع  $h$  مفصولين عن بعضهما مسافة  $L$  [10].



يبين الشكل (5) أن خطوط الحقل الكهربائي لخط النقل الميكروي تنتشر في طبقة الأساس والقليل منها ينتشر في الهواء. إن انتشار الأمواج الراديوية في طبقة الأساس يسبب تغير في قيمة ثابت العازلية الكهربائي لهذه المادة، ويؤخذ بالحسبان عند التصميم ثابت العازلية الكهربائي الفعال  $\epsilon_{\text{reff}}$  وذلك للتقليل من تهدب خطوط الحقل المنتشرة في الهواء، إن قيمة ثابت العازلية الكهربائي الفعال قريبة من ثابت العازلية الفعلي للمادة ولكنها أقل منه بسبب تهدب الحقل الكهربائي خارج الشريحة [10].

#### 7-1- ملائمة الممانعة Impedance Matching :

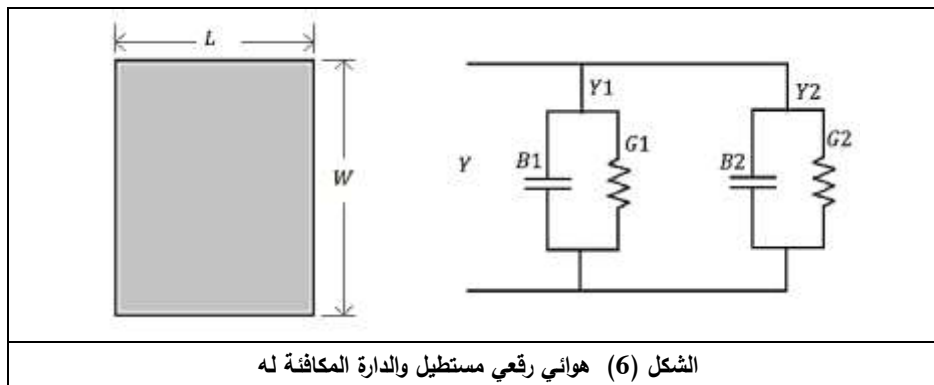
في الهوائيات يجب أن يتم نقل أكبر قدر من استطاعة المنبع إلى الهوائي ليتم إشعاعها، ويتحقق ذلك بحساب شرط جاكوبي عندما تتساوى كل من ممانعتي المنبع والحمل (الهوائي) أي:

$$Z_S = Z_L^*$$

ممانعة  $Z_S$  المنبع، الحمل  $Z_L$  ممانعة المنبع

\* (تشير إلى المرافق العقدي في حال لم تكن الممانعة أومية صرفة)

أغلب الهوائيات الرقعية يتم تصميمها بممانعة دخل قدرها 50 أوم وبالتالي من أجل وصلها مع أي منبع يلزمنا عملية ملائمة [11]. سنبدأ بتشكيل دائرة الممانعة المكافئة لرقعة:



حيث تعطى سماحية الدخل للرقعة  $Y$  بالعلاقة التالية:

$$Y = 1/Z_L = G + jB \quad (12)$$

$$Y_1 = Y_2 \rightarrow G_1 = G_2 \text{ \& } B_1 = B_2 \quad (13) \quad \text{بفرض لدينا :}$$

يمكن وصف الناقلية الكهربائية بشكل عام بالعلاقة التالية:

$$G1=2 P_{rad} / |V0|^2 \quad (14)$$

حيث  $V0$

: الجهد

على

مدخل

الرقعة

$$P_{rad} = \frac{|V_0|^2}{2\pi\eta_0} \int_0^\pi \left[ \frac{\sin\left(\frac{k_0 W}{2} \cos\theta\right)}{\cos\theta} \right]^2 \sin^3\theta \, d\theta$$

و  $P_{rad}$  الاستطاعة المشعة من الهوائي [12]: (15)

تصبح علاقة  $G1$  بالشكل التالي: (16)

$$G_1 = \frac{1}{120\pi} \int_0^\pi \left[ \frac{\sin\left(\frac{k_0 W}{2} \cos\theta\right)}{\cos\theta} \right]^2 \sin^3\theta \, d\theta$$

$$ZS=Rs+jXs=ZL*=RL-jXL \rightarrow ZS=1/Ys=Rs=1/2G1 \quad (17)$$

بالأخذ بالحسبان السماحية المتبادلة التفرعية  $Y1$  &  $Y2$  تكون مقاومة الدخل للرقعة:

$$Rin=1/2(G1\mp G2)$$

### 8- مصفوفات الهوائيات الشرائحية المطبوعة **Microstrip Patched Antenna Array**:

يعبر مصطلح مصفوف الهوائي عن تجمع اثنين أو أكثر من الهوائيات المرتبة في الفراغ والمترابطة مع بعضها البعض، إن مصفوف هوائي مكون من عناصر بسيطة كل منها هو هوائي بسيط، يمكن أن يقدم أداء مماثل لهوائي مفرد كبير ومعقد مع تجنب الصعوبات الناتجة عن المشاكل الميكانيكية المترافقة مع استخدام هوائيات ذات أحجام كبيرة. هناك فوائد أخرى لاستخدام الهوائيات المصفوفية، وذلك عند استخدام عدة هوائيات مفردة متماثلة في مصفوف واحد يؤدي إلى زيادة الريح والاتجاهية، وذلك بعد مراعاة الضبط الفردي لكل عنصر من هذه العناصر من حيث أطوار ومطالات الإشارات المغذية لكل منها بما يتناسب مع التطبيقات الخاصة لاستخدام الهوائي [12].

عند التعبير الديناميكي الآلي لأطوار التغذية مع الزمن يمكن استخدام المخطط الإشعاعي في عملية المسح الإلكتروني للفراغ المحيطة، وفي هذه الحالة نحصل على ما يسمى بالمصفوف الطوري للمصفوفات الطورية في كثير من التطبيقات مثل الرادار، ويتم التحكم بالمصفوفات الطورية عن طريق الحاسب باستخدام دارات الكترونية لضبط الأطوار التي تسمح لاتجاه الشعاع أن يكون موجهاً باتجاه الأعظمي أو في أي اتجاه مرغوب.

### 8-1معامل المصفوف:

يتحدد المخطط الإشعاعي للمصفوف بعدد من المعاملات المختلفة كنوعية العناصر المستخدمة وتوجيهها داخل المصفوف، بالإضافة إلى بنية وشكل المصفوف وعدد العناصر ومواضعها ومطالات وأطوار تيارات التغذية لهذه

العناصر. والمخطط الإشعاعي الكلي للمصفوف المعطى ينتج بقاعدة ضرب المخططات الإشعاعية الناتجة عن جداء المخطط الإشعاعي لكل عنصر مفرد مع معامل المصفوف [13].

### 2-8 ربح الهوائيات المصفوفية:

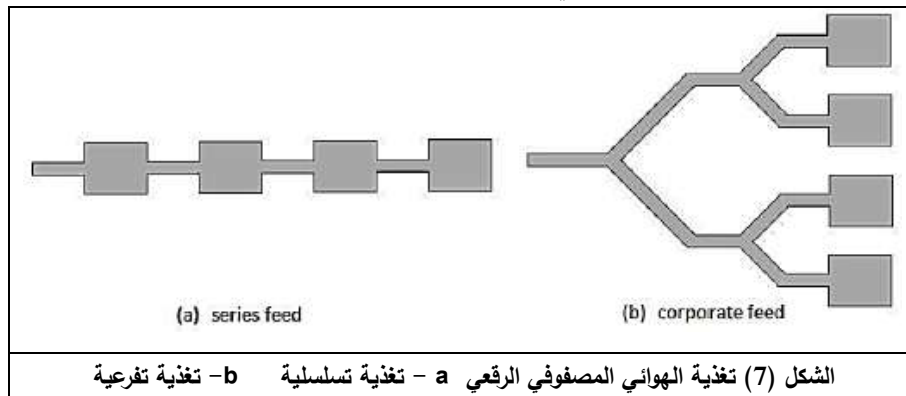
إن الاتجاهية والربح للمصفوف تكون أكبر منها للعنصر المشكل للمصفوف المفرد، ويمكن الاستفادة من هذه الميزات في عمليات الإرسال والاستقبال لمسافات بعيدة، في الإرسال يوجه الهوائي في اتجاهات محددة والتي تعطي نفس النتيجة بزيادة الاستطاعة في هوائي مفرد مرسل، وأما في حالة الاستقبال فيكون هذا المصفوف أكثر حساسية للإشارات المرغوبة وأقل تداخلاً من الاتجاهات الأخرى [13].

يمكن ملاحظة ما يلي في المصفوفات الهوائية:

- 1- تزداد الاتجاهية بزيادة العناصر في المصفوف.
- 2- يزداد الربح بمقدار 3db عند مضاعفة عدد العناصر.
- 3- تظهر حزم الإشعاع الزائف عند عدم ضبط أطوار التغذية للعناصر بشكل جيد من أجل الهوائي.

### 3-8 مصفوفات الهوائيات الرقعية:

تشكل الرقعة المفردة عنصراً أساسياً في تشكيل الهوائيات المصفوفية الميكروية وتملك عدة أنواع بحسب طريقة التغذية المتبعة لإيصال الإشارة الراديوية إلى كل عنصر، يتشكل المصفوف ذو العناصر الشرائحية الميكروية من مجموعة عناصر شبكة تغذية ميكروية، ويمكن لشبكة التغذية أن تتضمن عناصر سلبية مثل مجزئات الاستطاعة وخطوط النقل ومن عناصر غير فعالة مثل مزيجات الطور والمضخمات والهزازات والموازج، وتوصل خطوط التغذية مباشرة إلى العناصر المشعة ولا تؤثر على المخطط الإشعاعي [14].



تملك هذه المصفوفات وثوقية عالية، لأن المصفوف الكلي يتم إنجازه وتصنيعه باستخدام قطعة واحدة من النحاس، ويقلل ذلك من المشكلات التي سببها خلل التوصيلات المشتركة. تعد هذه الهوائيات من هوائيات المجال الترددي الضيق ويفضل استخدامها عند الترددات الموافقة لمجال عملها [15].

المصفوف الرقعي التفرعي:

إن البنية المستخدمة في تغذية هذا المصفوف مشابهة للبنية الشجرية والمسماة (تغذية مشتركة)، وذلك لأنها تسمح للاستطاعة بالتوزع بالتساوي على أطوارها، وتستخدم عناصر لملاءمة الممانعات مثل محولات ربع طول الموجة التي تسمح بإشعاع العناصر مع تحقيق الملاءمة مع خطوط النقل ذات الممانعة المميزة  $50\Omega$  والتي تربط مع منبع

التغذية، في هذا النوع من المصفوفات تحد ضياعات المغذي من الزيادة في الريح عند مضاعفة عدد العناصر، وتنتج هذه الضياعات عن الترابط التحريضي والسعوي بين العدد الكبير من خطوط التغذية [15]. المصفوف الرقعي التسلسلي:

ترتب العناصر هنا ضمن المصفوف بشكل خطي على طول محور واحد بشكل تسلسلي، ونلاحظ في هذا المصفوف عدم تساوي أطوار ومطالات التغذية للعناصر المختلفة ضمن المصفوف، ويعتبر تصميمه أكثر تعقيداً من المصفوف التفرعي بسبب التأثير المتبادل بين العناصر، ويمكن لكل رقعة أن تكافأ بشقين ويجب أن تؤخذ هنا تأثيرات الترابط بين العناصر بالحسبان، لتقييم تغيرات الممانعة في هذا المصفوف يكون توصيل العناصر خطياً وتتوضع بشكل لا يسبب إشكالات كبيرة أو مشاكل في الاقتران [16].

المصفوف الرقعي المترابط:

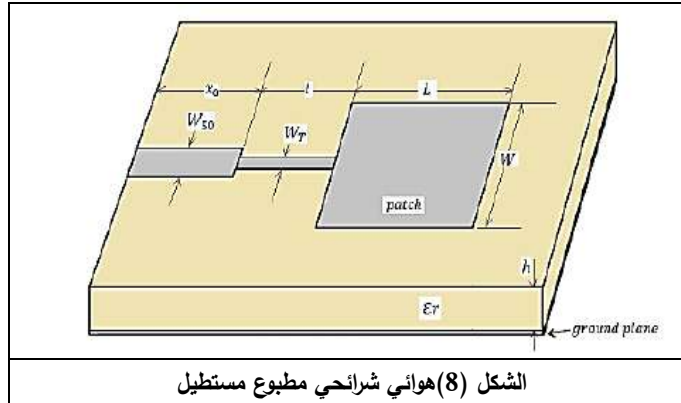
يستخدم في هذا النوع أكثر من عنصر من الهوائيات المفردة، حيث يوصل أحدها إلى منبع التغذية وتوضع بقية العناصر بالقرب منه ويتم تغذيتها عن طريق الاقتران أو الاهتزاز مختلف عن الترابط الكهرطيسي بين الحقول المشعة عن الرقعة الأساسية والرقع المجاورة لها. تستخدم هذه الطريقة في زيادة عرض الحزمة للهوائي الشرائحي المطبوع، حيث يكون لكل الرقع تردد اهتزاز مختلف عن الرقعة الأخرى مما يزيد عرض الحزمة [16].

#### 9- تصميم هوائي شرائحي مستطيل مطبوع

سنقوم بتصميم هوائي رقعي مفرد باستخدام برنامج المحاكاة HFSS ومن ثم سنقوم بتصميم مصفوفة تسلسلية من أربعة عناصر عند نفس التردد ومقارنة التغيير في الريح وفي خسارة العودة بين كلا التصميمين ونذكر هنا أننا سنتقيد بالتردد 10,52GHz فهو التردد العامل المتوفر في مخبر الهوائيات لدينا.

■ بارامترات تصميم الهوائيات الشرائحية المطبوعة:

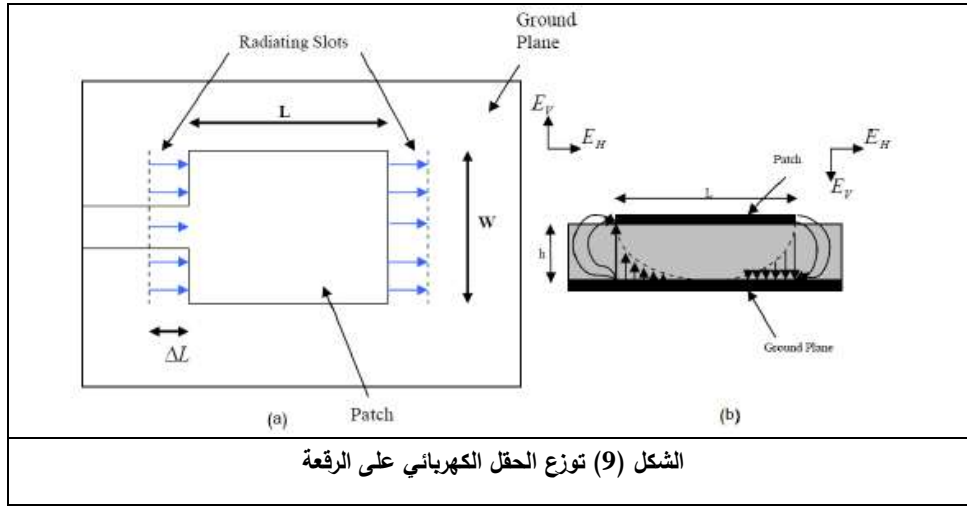
إن الهوائي الذي سنقوم بتصميمه هو هوائي شرائحي مستطيل ذو تغذية من النوع المباشر Rectangle edge feed patch وستتعرف بداية على البارامترات العامة التي يجب أخذها بالحسبان عند تصميم هذا الهوائي. يبين الشكل (8) الهوائي المدروس مع الأبعاد التي يجب حسابها من أجل عمل الهوائي بشكل دقيق.



يعتبر الطول L البعد الأكثر أهمية خلال عملية التصميم لأنه يتغير كهربائياً، وغالباً يجب أن يكون هذا الطول أقل من نصف طول الموجة المنتشرة في طبقة الأساس كهربائياً [14]، وبما أنه يرتبط بطول الموجة وبالتالي بالتردد فيجب معرفة التردد الذي يعمل عليه الهوائي وعلاقته ببارامترات التصميم.

■ علاقة تردد الهوائي الشرائحي المطبوع ببارامترات التصميم:

بفرض طول الرقعة (خط الإرسال) للهوائي هو  $L$  وعرضها  $W$  وسماكة طبقة الأساس العازلة  $h$ , يبين الشكل (9) الحقول الناتجة عند حافة الرقعة للهوائي الشرائحي المطبوع, إن كمية الحقل عند الحافة تابعة لأبعاد الهوائي وأبعاد المادة العازلة وسماكتها وثابت العازلية الكهربائي لهما, وبالتالي يمكننا القول أن الحقل الكهربائي تابع لنسبة طول الرقعة إلى سماكة المادة العازلة ( $L/h$ ) وثابت العازلية النسبي  $\epsilon_r$ , يجب أن يكون ثابت العازلية الفعلي المؤثر  $\epsilon_{reff}$  محسوباً من أجل انتشار الموجة في الرقعة, والإشعاع عند الحواف وقيمة هذا الثابت أقل من  $\epsilon_r$  بقليل بسبب حقول الحافة حول محيط الرقعة والتي لا يمكن حجز انتشارها في طبقة الأساس [15].



يمكن التعبير عن علاقة ثابت العازلية الفعال بالعلاقة التالية [15]:

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (18)$$

حيث  $\epsilon_{reff}$  ثابت العازلية الفعال لطبقة الأساس العازلة واعدته [F/m].

$\epsilon_r$  ثابت العازلية النسبي واعدته [F/m].

$h$  ارتفاع طبقة الأساس واعدته [m].

إن حقول الحافة على طول الرقعة  $w$  يمكن أن تمثل كشقين مشعين حيث يبدو الهوائي كأنه أكبر من أبعاده الفيزيائية, أي أن الطول  $L$  يمتد

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left( \frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left( \frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad \text{في كلا الاتجاهين} \quad (19)$$

:  $\Delta L$  مسافة

من أجل تردد طنين معطى  $f_0$

يكون الطول الفعال للهوائي:

$$L_{eff} = L + 2\Delta L$$

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (20)$$

من أجل هوائي رقعي مستطيل يعطى تردد الطنين من أجل النمط المنتشر TMnm بعلاقة جيمس وهول [16]:

$$f_0 = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_{reff}}} \left[ \left(\frac{m}{L}\right)^2 + \left(\frac{n}{W}\right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (21)$$

▪ حساب أبعاد خط النقل الميكروي مع الممانعات:

تعطى ممانعة الشريحة بالعلاقة التالية:

$$Z_a = 90 \frac{\epsilon_r^2}{\epsilon_r - 1} \left(\frac{L}{W}\right)^2 \quad (22)$$

بالتالي تكون قيمة ممانعة الملامعة مع خط النقل تعطى بالعلاقة:

$$Z_T = \sqrt{50 + Z_a} \quad (23)$$

ويحسب عرض خط النقل WT من العلاقة:

$$Z_T = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln\left(\frac{8d}{W_T} + \frac{W_T}{4d}\right) \quad (24)$$

طول خط النقل:

$$l = \frac{\lambda}{4} = \frac{\lambda_0}{4\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (25)$$

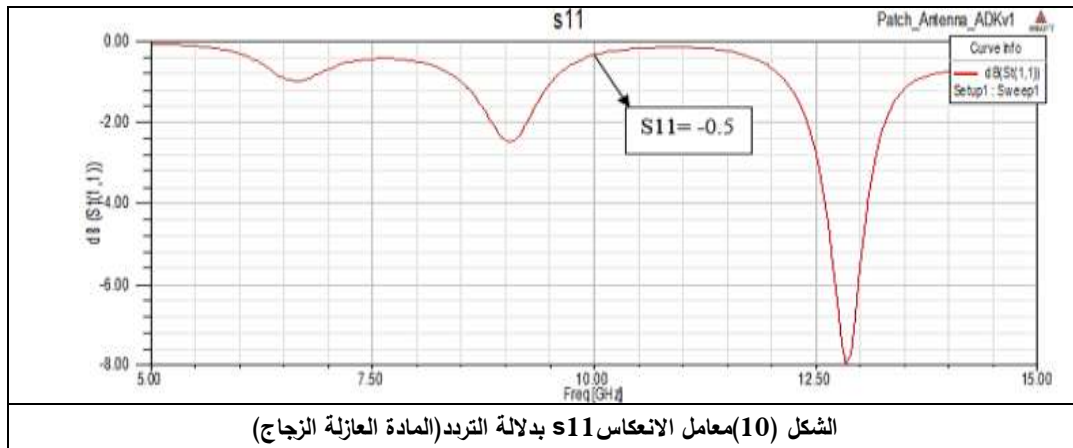
فإذا كانت قيمة ممانعة خط التغذية الميكروية مساوية  $50\Omega$  يحسب من العلاقة التالية [16]:

$$Z_o = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{reff}} \left(1.393 + \frac{W}{h} + \frac{2}{3} \ln\left(\frac{W}{h} + 1.444\right)\right)} ; Z_o = 50\Omega \quad (26)$$

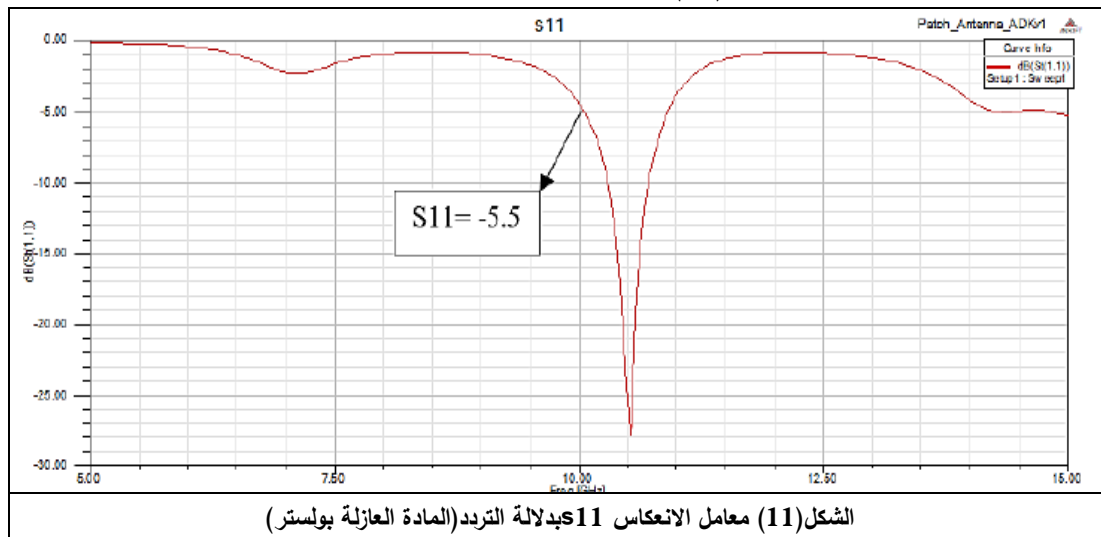
### 9-1 استخدام برنامج HFSS في عملية التصميم

دراسة تأثير تغير نوع المادة العازلة في طبقة الأساس على مصفوفة التبعثر :

- باختيار المادة العازلة الزجاج ذات ثابت العازلية  $\epsilon_r = 5.5$ : في الشكل (10) نستنتج انه عند استخدام الزجاج كمادة عازلة يكون افضل تردد هو 13 GHZ حيث نحصل عنده على اقل قيمة لمعامل الانعكاس.

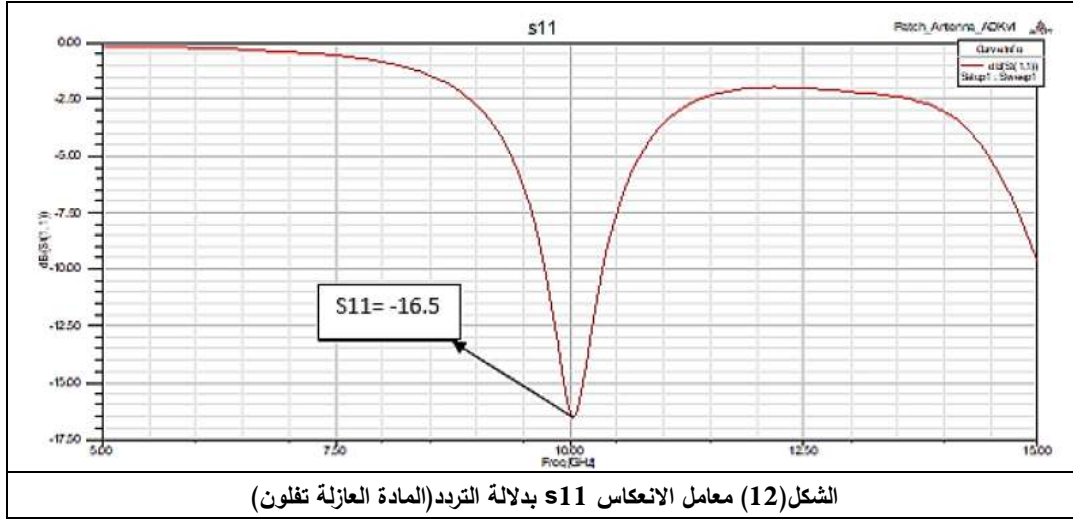


- باختيار المادة العازلة بوليستر polyster ذات ثابت العازلية  $\epsilon_r = 3,2$  تكون أقل قيمة لمعامل الانعكاس عند التردد 11GHz كما هو مبين بالشكل(11).



- باختيار المادة العازلة تيفلون Teflon ذات ثابت العازلية  $\epsilon_r = 2,1$  نلاحظ من الشكل(12) أن أقل قيمة لمعامل الانعكاس تكون عند التردد 10GHz وهو تردد التشغيل.





### 9-1-2 تأثير المادة العازلة على قيمة معامل الانعكاس (S11):

يبين الجدول (1) المواد العازلة المستخدمة وتأثير كل منها على معامل الانعكاس عند التردد 10GHz ومنه نجد أن أفضل مادة عازلة لتصميمنا هي التيفلون.

الجدول (1) يبين المواد العازلة المستخدمة وتأثير كل منها على معامل الانعكاس

المادة العازلة	زجاج	بوليستر	تيفلون
قيمة S11 عند التردد 10GHz	-0.5 dB	-5.5 dB	-16.5 dB
	$\epsilon_r = 5.5$	$\epsilon_r = 3.2$	$\epsilon_r = 2.1$

باختيار المادة العازلة من التيفلون ذات ثابت العازلية  $\epsilon = 2.1$  , وسماكة هذه الطبقة  $h=62\text{mm}$  وتردد العمل للهوائي هو  $f_0 = 10\text{GHz}$  بحسب العلاقات السابقة تكون الأبعاد:

طول الشريحة  $L=11,86\text{ mm}$

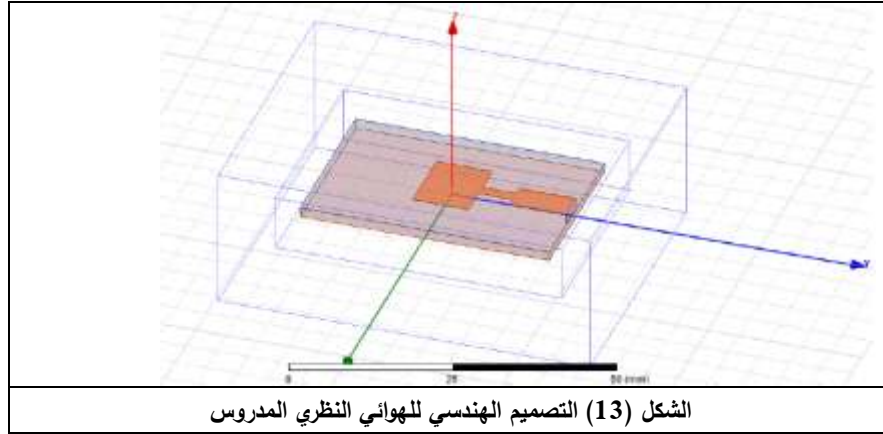
عرض الشريحة  $W=9,0\text{mm}$

طول خط التغذية  $l=5,62\text{ mm}$

عرض خط التغذية  $wt=1,885\text{ mm}$

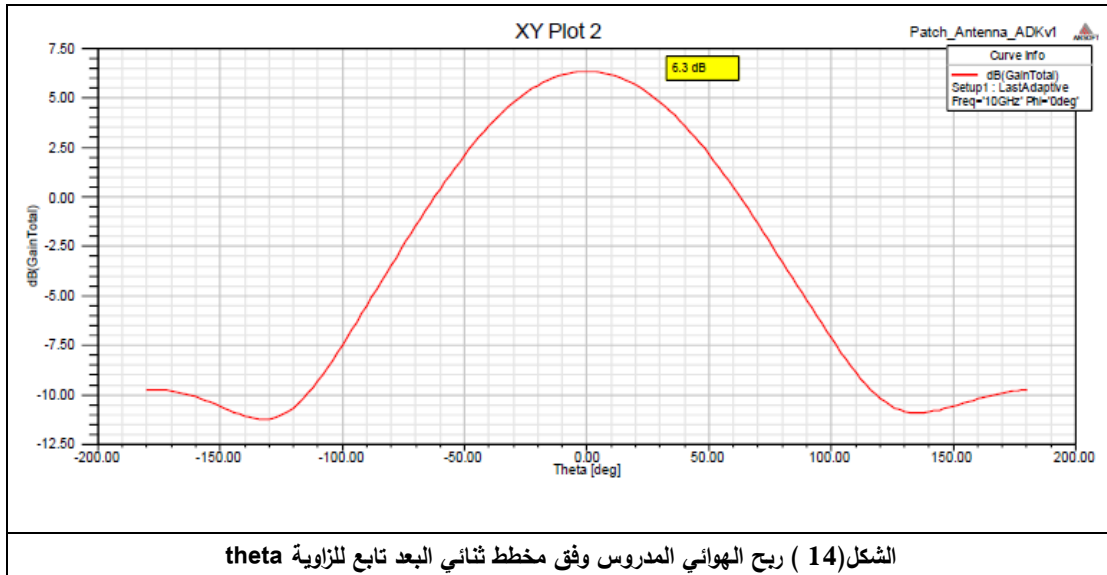
### 9-1-3 التصميم الهندسي على البرنامج:

يبين الشكل (13) التصميم الهندسي للهوائي المدروس على البرنامج المستخدم HFSS.

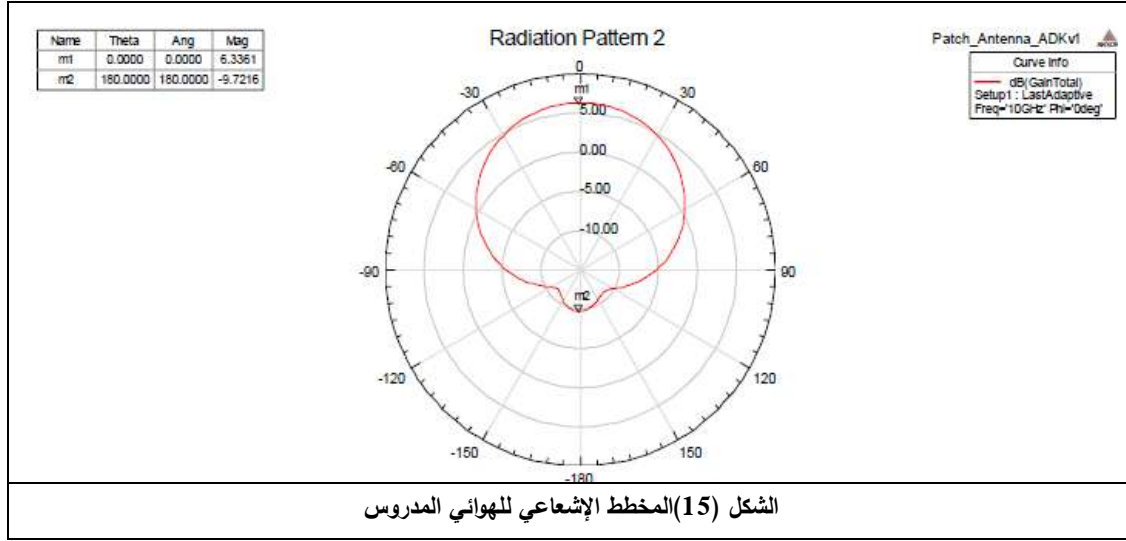


• نتائج المحاكاة تكون على الشكل التالي:

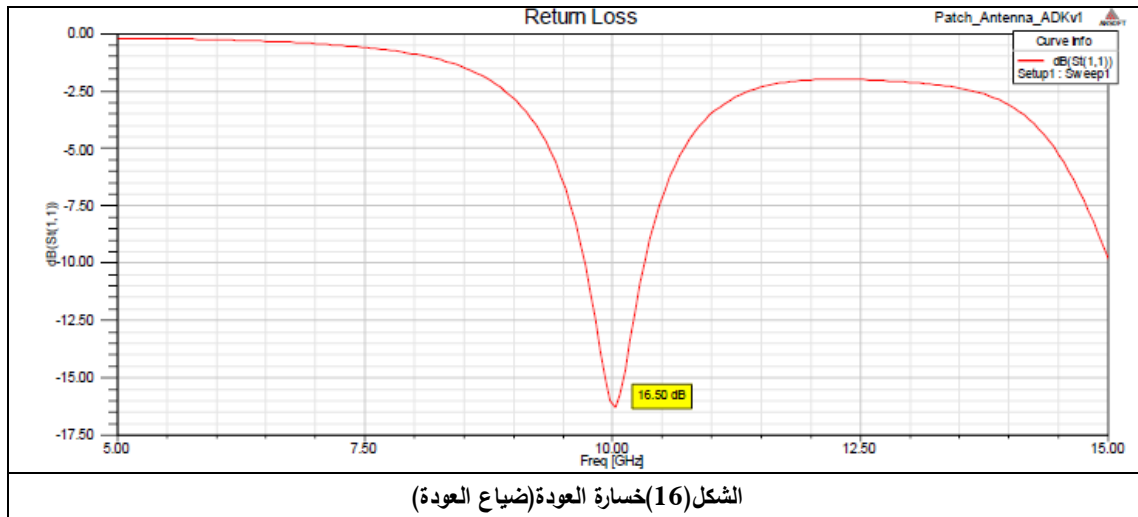
يوضح الشكل (14) قياس ربح الهوائي المدروس, وتكون قيمة الربح:  $gain=6,3db$  وهي قيمة ضمن المجال لهذا النوع من الهوائيات التي يجب أن يتراوح ربحها بين  $[6-9] db$ .



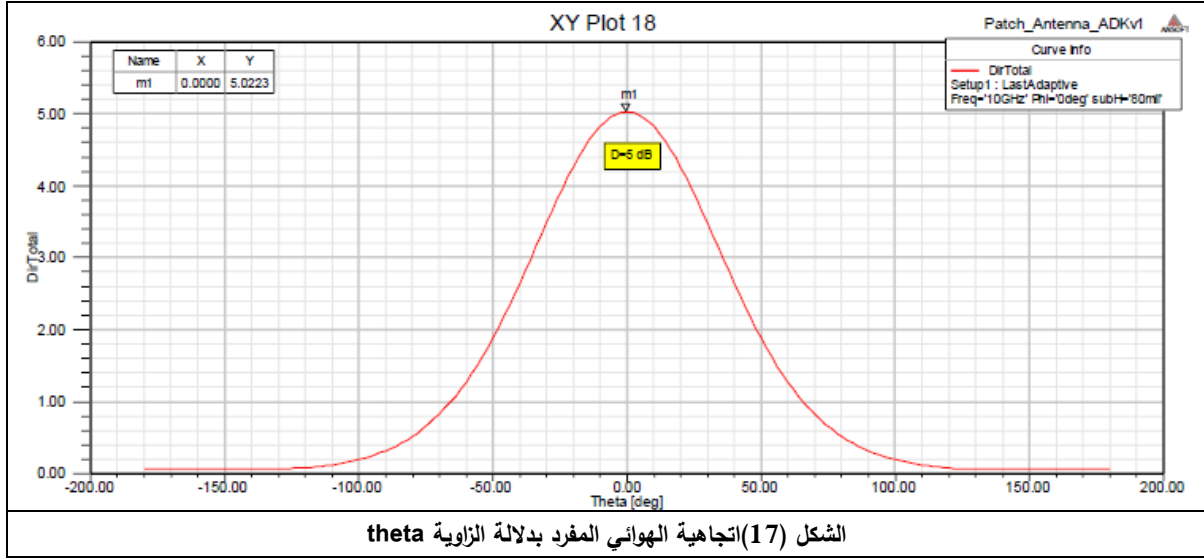
يبين الشكل (15) المخطط الإشعاعي للهوائي ونستنتج وجود وريقة رئيسية بقيمة أعظمية للحقل هي  $6,3db$  ووريقة ثانوية مفردة ذات قيمة منخفضة جداً هي  $-9,7db$ .



يبين الشكل (16) ضياع العودة للهوائي المدروس ونستنتج أنه ضمن الحزمة القريبة من التردد المدروس ويعطي قيمة 16,5db وهي قيمة عملية حيث يفترض في الهوائي المفرد أن تكون هذه القيمة فوق 10db.

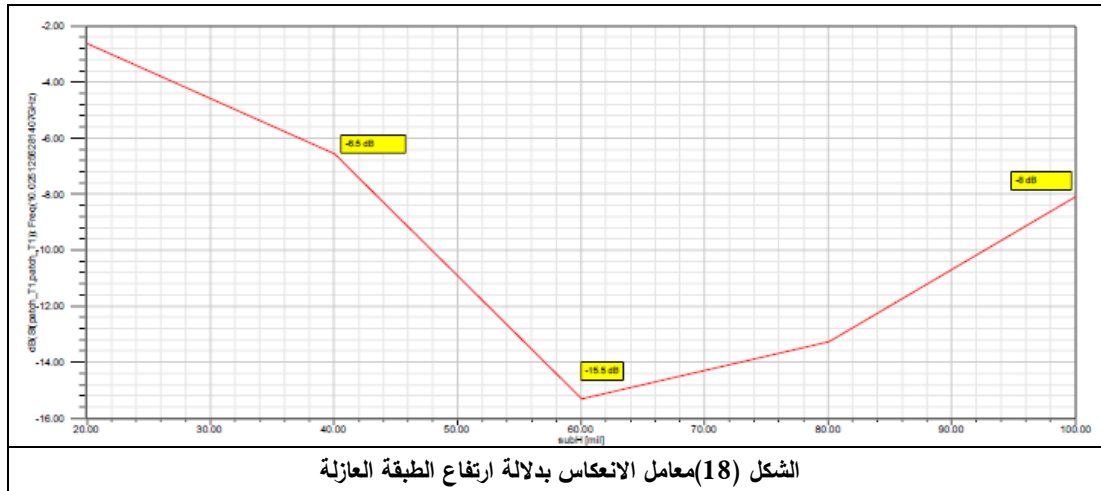


يبين الشكل (17) اتجاهية الهوائي وتأخذ قيمة  $D=5\text{db}$ .



الشكل (17) اتجاهية الهوائي المفرد بدلالة الزاوية theta

دراسة تأثير تغير ارتفاع سماكة الطبقة العازلة subH على مصفوفة التبعثر: يبين الشكل (18) المنحني البياني لعلاقة معامل الانعكاس مع سماكة الطبقة العازلة.



الشكل (18) معامل الانعكاس بدلالة ارتفاع الطبقة العازلة

بتنفيذ المحاكاة ضمن المجال (20-100mil) لسماكة الطبقة وبخطوة 10, نبين النتائج ضمن الجدول (2) وبالتالي نستنتج أنه مع زيادة سماكة الطبقة العازلة إلى حد معين تتخفض قيمة معامل الانعكاس ولكن مع الزيادة الكبيرة في السماكة تؤثر سلباً وتسبب زيادة في معامل الانعكاس.

الجدول (2) تأثير سماكة الطبقة على معامل الانعكاس	
معامل الانعكاس	سماكة الطبقة
$s_{11} = -6.5dB$	$subH = 40 mil$
$s_{11} = -15.5dB$	$subH = 60 mil$
$s_{11} = -8dB$	$subH = 100 mil$

**10- تصميم مصفوفة هوائيات رقعية تسلسلية:**

يتم استخدام الهوائيات المصفوفية كما ذكرنا من أجل زيادة ربح الهوائيات المفردة أو زيادة عرض الحزمة, يمكن استخدام هذه الهوائيات بشكل متكيف ووفق أنماط وأشكال مختلفة, يختلف أداء هذه الهوائيات وفق تقنية التغذية المستخدمة وتعتبر التغذية إحدى المحددات الأساسية لعملها ويجب عند إنشاء أي مصفوفة أن يتم التأكد من تغذية كل عنصر, بحيث نحصل على أقل ضياعات ممكنة وأقل تداخل بالإضافة إلى ذلك يجب مراعاة تحقيق الملاءمة بين ممانعة كل عنصر, وممانعة خطوط التغذية وممانعة المنبع من أجل تخفيف الضياعات أيضاً. سنقوم بتصميم هوائي مصفوفي رقعي من أربعة عناصر مغذاة بشكل تسلسلي تعمل على التردد 10GHZ ومقارنة تحسن أداء الهوائي المصفوفي بالمقارنة مع المفرد.

أبعاد كل رقعة:

طول الشريحة  $L=9,92\text{mm}$

عرض الشريحة  $W=8,42\text{mm}$

طول خط التغذية  $l=23.9\text{mm}$

عرض خط التغذية  $wt=2.2\text{mm}$

المسافة بين كل عنصرين  $d=10.36\text{ mm}$

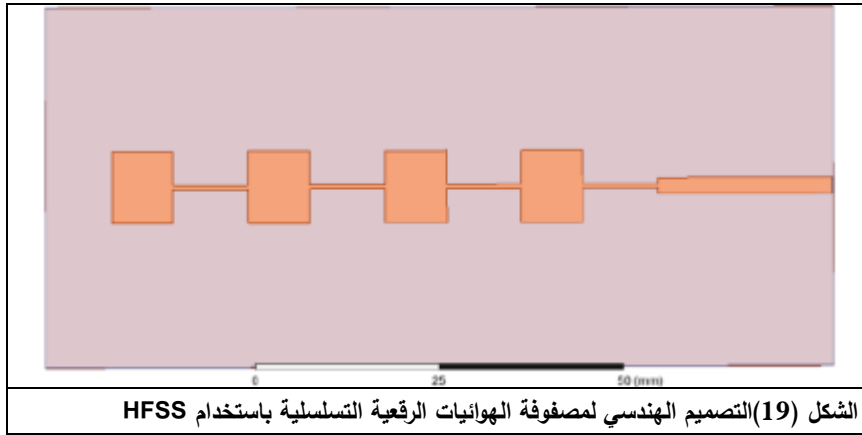
عرض الخط الميكروي بين كل عنصر  $t=0.55\text{ mm}$

سماكة المادة العازلة  $h=1.2\text{mm}$

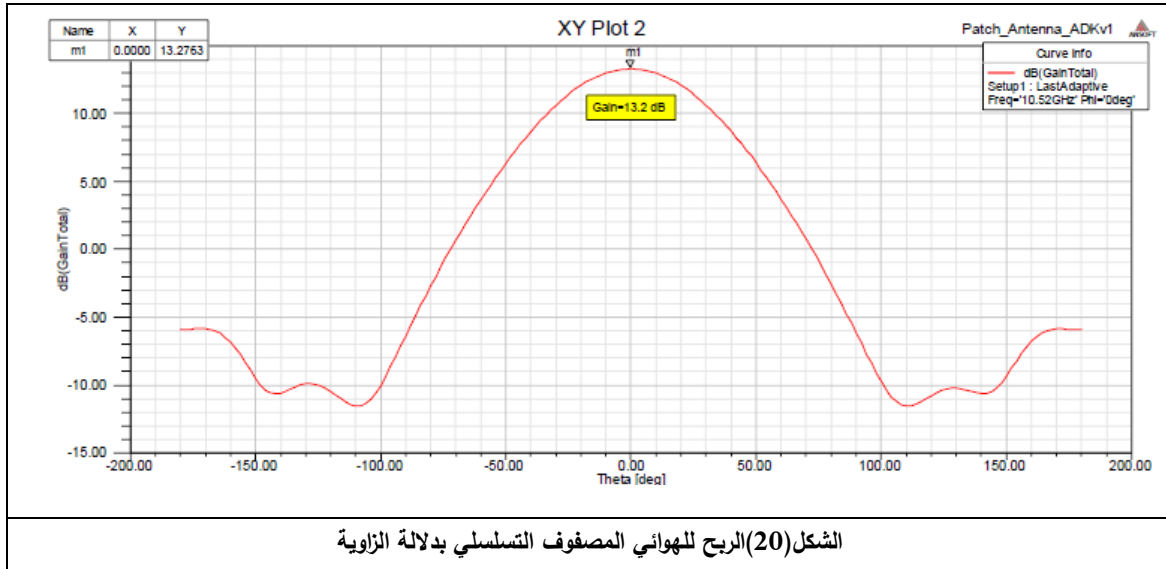
ثابت العازلية للمادة العازلة  $\epsilon r= 2.08$

أبعاد طبقة الأساس: طول الطبقة 108mm , عرض الطبقة 50mm

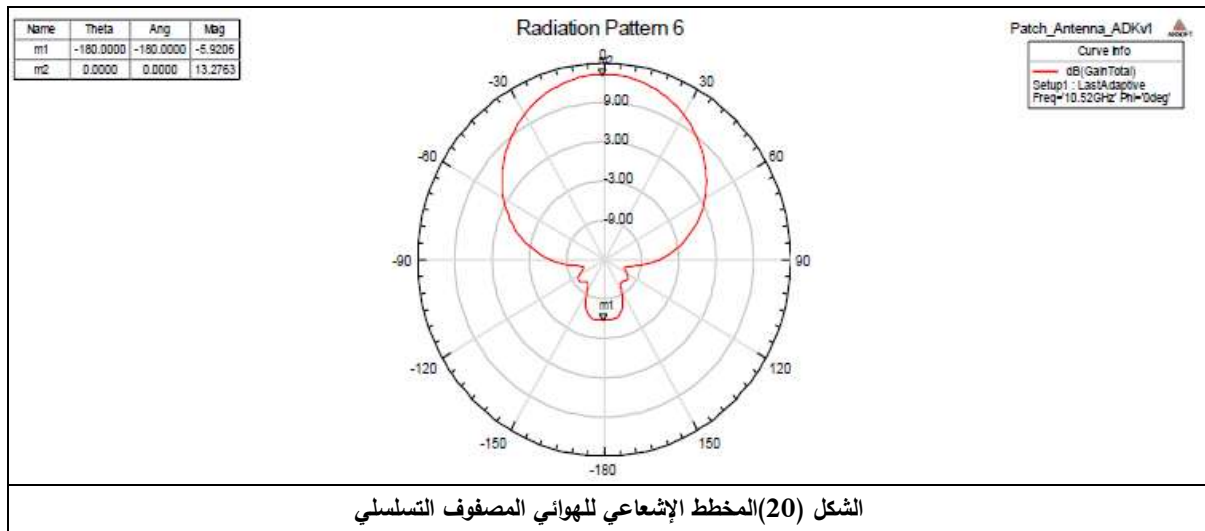
نقوم بإجراء التصميم وفق البارامترات السابقة لنحصل على الشكل (19) التالي ومن ثم ننفذ المحاكاة على المجال الترددي (5-15)GHZ ونرسم الرشح عند تردد 10GHZ تكون نتائج المحاكاة على الشكل التالي:



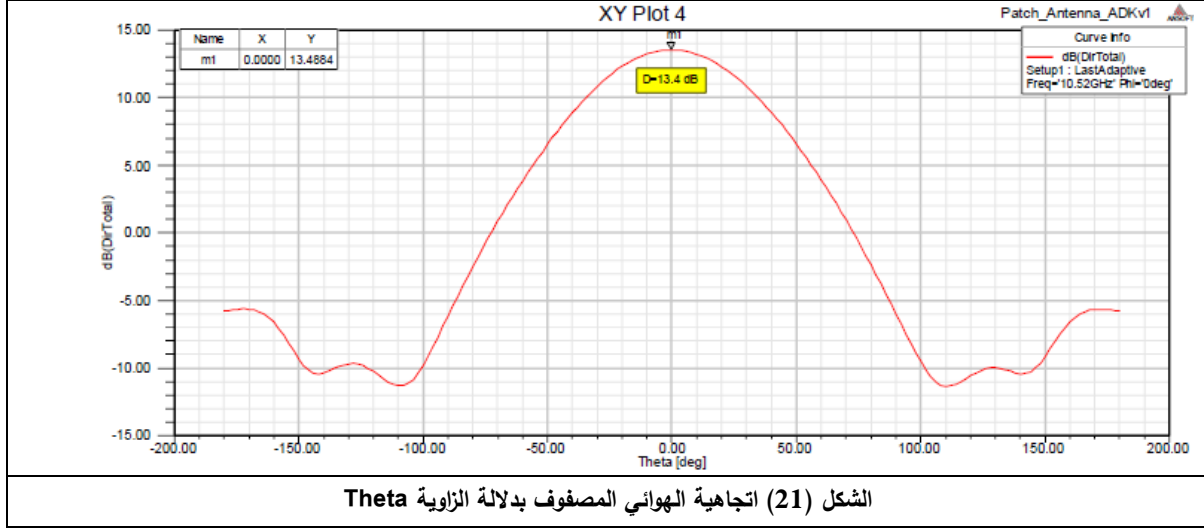
يظهر الشكل (20) التالي رشح الهوائي المصفوفي التسلسلي بدلالة الزاوية  $\theta$ , ومنه نستنتج أن الهوائي المصفوفي يملك رشحاً قدره  $G=13.2\text{db}$ .



من الشكل(20) نستنتج أن هذا الهوائي يملك وريقة إشعاع رئيسية يكون الرياح باتجاهها  $G=13,2\text{db}$ ، وريقة ثانوية ذات قيمة منخفضة  $G=-6\text{db}$ ، وبالتالي حصلنا على زيادة في الرياح عن الهوائي المفرد مقدارها:  $13,2-6,3=6,9\text{db}$



الشكل(21) يبين اتجاهية الهوائي المصفوف بدلالة الزاوية  $\theta$ ، نستنتج منه أن اتجاهية الهوائي تبلغ  $D=12.4\text{db}$



الجدول (3) يظهر نتائج المقارنة بين الهوائي المصفوف والهوائي المفرد، والتي توضح أن الهوائي المصفوف يحسن من الريح والاتجاهية وخسارة العودة وهو أفضل من المفرد.

الجدول (3) يظهر نتائج المقارنة بين الهوائي المصفوف والهوائي المفرد		
المقارنة	الهوائي المصفوف	الهوائي المفرد
الريح	13.2 dB	6.3 dB
المخطط الإشعاعي	13.2 dB للوريقة الامامية	6.3 dB للوريقة الامامية
	-6 dB للوريقة الثانوية	-7.9 dB للوريقة الثانوية
الاتجاهية	13.4 dB	5 dB
خسارة العودة	-19.5 dB	-16.5 dB
	-26.9 dB بالإضافة لقيم شاذة	

### الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- إن استخدام الهوائيات المصفوفية التسلسلية أدى إلى زيادة ربح الهوائي المفرد عند نفس التردد المستخدم.
- 2- عند استخدام مصفوف من أربعة عناصر، لاحظنا أن الريح قد ازداد تقريباً 7db والذي يحقق علاقة الهوائيات المصفوفية التي تنص على أن كل مضاعفة لعدد عناصر المصفوف تؤدي إلى زيادة في الريح بمقدار 3 dB.
- 3- عند تحليل نتائج المصفوف التسلسلي لاحظنا وجود حزميتين لهذا الهوائي ناتجة عن عملية اقتران بين الشرائح المتسلسلة خلف بعضها، وكأنها حدثت تغذية ثانوية لكل رقعة من هذه الرقع وهو أحد التطبيقات المهمة في مجال تحديد الموقع GPS.

4- في الدراسات المستقبلية، يمكن تصميم هوائيات تفرعية بعدد أكبر من العناصر نحصل فيها على اتجاهية وريح أعلى بكثير من المصفوفات التسلسلية. ويمكن أيضا تطبيق مبدأ الهندسة التجزئية على الهوائيات المصفوفية وهذه التقنيات هي مجال أبحاث واسعة ما زال العمل جارياً عليها حتى الآن.

## References:

- [1] Younes, M. *Aerials*, Tishreen University Publications. Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, 2013.
- [2] Carr J.R ; Graw M.D , " *Practical Antenna Handbook*", Fourth Edition, 2021.
- [3] Vidhya K.F, " *Design And Analysis Of Rectangular Microstrip Patch Antenna.*" International Journal of Psychosocial Rehabilitation, 2020; vol. 24, no. 4, pp. 3723–2.
- [4] Fung C.B, " *Basic Antenna Theory And Application*", Worcester polytechnic institute, March 15, 2019.
- [5] Milligan A.R, " *Modern Antenna Design*", Second Edition, IEEE PRESS, 2018.
- [6] Dr Krishnan M.F; Haziabad G.N " *Design And Analysis Of Rectangular Slot Microstrip Patch Antenna For Millimetrewave Ommunication And Its Sar Evaluation*" International Journal of Antennas (JANT) Vol.7, No.1, January 2021.
- [7] Tcheutou T.G; Borel S. R, " *U-Slotted Wideband Microstrip Patch Antenna For Ka Band And Mmw 5g Applications*", Preprint (Version 1) ,2022.
- [8] Bhoot A.T; Memon S.N, " *Comparative Study Of Microstrip Patch Antenna With Different Shapes And Its Application*," (iCoMET), 2019; pp. 1-8.
- [9] Dhatu P.J; Siswono H.Y. " *3.5 Ghz Rectangular Patch Microstrip Antenna With Defected Ground Structure For 5g.*" Jurnal Teknik Energi Elektrik, vol. 8, no. 1, Institut Teknologi Nasional, Bandung, 2020; p(31).
- [10] Bala S.E; Yunusa Z.P; Bable S.A " *Design And Analysis Of A Ectangular Microstrip Patch Antenna Using Different Dielectric Materials For Sub-6ghz 5g Applications*". Nigerian Journal of Engineering 28(2), 2021; 48-57.
- [11] Mollah M. H; Hossain M. S; Islam k .T, " *Design And Performance Improvement Of Microstrip Patch Antenna Using Graphene Material For Communication Applications*", IEEE Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE), 2021; pp. 343-346.
- [12] Sohel M.d; Mostafa R. A, " *Design And Analysis Of Microstrip Patch Antenna For 5g Wireless Communication Systems*", Bulletin of Electrical Engineering and Informatics, vol. 11, no. 6, Institute of Advanced Engineering and Science, 2022; pp. 3329–37.
- [13] Ezzulddin A.H; Khabbat S.E, " *Microstrip Patch Antenna Design, Simulation And Fabrication For 5g Applications.*" Simulation Modelling Practice and Theory, vol. 116, Elsevier BV, 2022.
- [14] Casu G.K, Moraru C.F; Kovacs A.S, " *Design And Implementation Of Microstrip Patch Antenna Array*," 10th International Conference on Communications (COMM), 2019; pp. 1-4.
- [15] Rana M. S; Rahman M. M, " *Microstrip Patch Electrically Steerable Parasitic Array Radiators*" , International Conference for Advancement in Technology (ICONAT), pp. 1-4, 2022.
- [16] Luther J.E; Edwar B.K, " *Design And Analysis Of Microstrip Patch Antenna Arrays*", Journal of Psychosocial Rehabilitation, vol. 27, no. 4, 2020.