



وزارة التعليم العالي والبحث
العلمي
جامعة ميسان
كلية العلوم
قسم الفيزياء



محاكاة وتصميم هوائي شريطي مستطيل يعمل
بتردد 5.8 GHz لتطبيقات الاتصالات اللاسلكية
بتقنية *MIMO*

بحث مقدم
الى قسم الفيزياء في كلية العلوم كجزء من نيل متطلبات درجة
البكالوريوس علوم في الفيزياء

من قبل
احمد عبدالعزيز حنون
احمد سعد جلوب

باشراف
الاستاذ الدكتور احمد هاشم عبود

نيسان 2025 م ذي القعدة 1446 هـ

بِسْمِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

رَفَعَ اللَّهُ أَهْلَ مَنْزِلِهِمْ
وَلَهُمْ أَهْلُ الْعِلْمِ دَرَجَاتٌ

صَدَقَ اللَّهُ الْعَظِيمُ

الاهداء

من قال إن الطريق سهل... فقد أخطأ.

لم تكن المسيرة قصيرة، ولم تكن الخطوات خالية من التعب، ولم يكن الحلم قريباً ولا الوصول متاحاً بلا تحديات، بل كان علينا أن نصنع الدرب ونشق الطريق بإصرارنا حتى بلغناه.

الحمد لله شكراً وامتناناً، الذي أكرمنا ومن علينا بهذا الإنجاز الذي لطالما حلمنا به، وها هو اليوم يتحقق بين أيدينا ويفتخر به القلب قبل اللسان.

إلى من كانت دعواتها تحرسني في كل لحظة، إلى أمي الحبيبة، أهدي ثمرة جهدي وعنوان كفاحي، يا من كنت السند والملاذ والدافع الأول لكل نجاح.

إلى والدي الغالي، الذي لم يبخل علي يوماً بنصيحة أو دعم، إلى من غرس في نفسي الثقة والقوة، لك أهدي ما تحقق.

إلى إخوتي، الذين كانوا لي السند في ضعفي والفرح في قوتي، أدام الله محبتكم ووفاءكم، فأنتم النور الذي لا يخفت في أيامي.

إلى كل صديق صدوق، كان له بصمة في هذه الرحلة، بكلمة، أو نصيحة، أو دعم، أشكركم من القلب.

إلى من كانوا مصدر الدعم في كل خطوة، إلى كل من آمن بي، أهدي هذا العمل تقدير وامتنان.

الباحثون

أحمد عبد العزيز

أحمد سعد جلوب

الشكر والتقدير

بسم الله خير الأسماء .. بسم الله رب الأرض والسماء .. الحمد لله حمدا كما يستحقه، وصلاته وسلامه دائما سرمدنا على المبعوث رحمة للعالمين محمدا (ص) وآله وسلم وسلم تسليما كثيرا .

نتقدم بالشكر الجزيل للأستاذ الدكتور أحمد هاشم عبود على اقتراحه مشروع البحث والتوجيهات السديدة طوال فترة إنجاز هذا المشروع.

نتقدم بالشكر الجزيل وعظيم الامتنان الى عمادة الكلية ورئاسة قسم الفيزياء، والى التدريسيين الذين قاموا بتدريسنا وتوجيهنا طوال سنوات الدراسة ولم يخلوا علينا بالنصح والإرشاد.

إلى من سهروا وتعبوا من أجلنا عوائلنا الأكارم الذين قدموا كل ما بوسعهم من أجل أن نكمل مسيرتنا العلمية...

والى كل من ساند ودعم من أصدقائنا وزملائنا لهم منا جل الاحترام والتقدير... والله الموفق

الباحثون...

اقرار المشرف

اقر بان اعداد هذا البحث الموسوم:

محاكاة وتصميم هوائي شريطي مستطيل يعمل بتردد 5.8 GHz لتطبيقات الاتصالات اللاسلكية بتقنية *MIMO* المقدم من قبل الطالبين (احمد عبدالعزيز حنون) و (احمد سعد جلوب) المرحلة الرابعة في قسم الفيزياء. قد جرى تحت اشرافي في قسم الفيزياء في كلية العلوم للعام الدراسي 2024-2025 وهو جزء من متطلبات التخرج ونيل درجة البكالوريوس علوم في الفيزياء

التوقيع:

الاسم: د. احمد هاشم عيود

المرتبة العلمية: استاذ

العنوان: كلية العلوم – قسم الفيزياء

التاريخ: 2025/4/28

الخلاصة

نظرا للتطور السريع في تقنيات الاتصالات اللاسلكية والحاجة المتزايدة إلى هوائيات مدمجة ذات كفاءة عالية، تم في هذا البحث تصميم ومحاكاة هوائي شريطي مستطيل يعمل في نطاق التردد 5.8 GHz والذي يعتبر مناسباً لتطبيقات أنظمة الاتصالات اللاسلكية ضمن نطاق ISM.

تم تحليل الهوائي ودراسة أدائه باستخدام برنامج المحاكاة (High Frequency Structure Simulator HFSS) حيث أظهرت النتائج قيمة الخسارة الراجعة (Return Loss) تبلغ 23.87 dB- عند التردد المركزي 5.8 GHz، مما يدل على تطابق جيد بين الهوائي وخط التغذية. كما تم الحصول على عرض نطاق تشغيلي (Bandwidth) يساوي 285 MHz ضمن المجال الترددي من 5.394 GHz إلى 5.679 GHz، مما يعزز كفاءة الهوائي في تطبيقات النطاق العريض.

أظهرت نتائج ممانعة الدخل عند التردد المركزي تطابقاً جيداً مع قيمة 50 أوم حيث كانت 49.6Ω - 3.96Ω ، الأمر الذي ينعكس إيجاباً على كفاءة نقل الإشارة. كما بينت نتائج المحاكاة أن الكسب الاتجاهي المحقق للهوائي عند 5.8 GHz بلغ حوالي 5.5 dB، مما يجعله مناسباً للعديد من التطبيقات اللاسلكية. ولغرض تحسين التحصيل والاتجاهية تمت محاكاة مصفوفة الهوائيات الشريطية ثلاثية الأبعاد عند التردد 5.5 GHz باستخدام برنامج HFSS، وأظهرت النتائج كفاءة عالية في الأداء، حيث تم تحقيق:

كسب محقق (Realized Gain) بلغ 8.42 dB عند زاوية $\Phi=0^\circ$ ، مما يعكس كفاءة التوجيه للإشارة ضمن نطاق التردد المستهدف.

قيمة توجيهية (Directivity) وصلت إلى 9.63 dB مع عرض حزمة إشعاع 91.53° ، مما يدل على دقة التركيز في الاتجاه المطلوب وتقليل الجوانب الجانبية.

خسائر انعكاس (Return Loss) وصلت إلى قيمة دنيا 22.80 dB- عند التردد المركزي 5.8GHz وهو ما يثبت كفاءة التوصيل وقلة الفاقد في الطاقة المنقولة.

عرض الحزمة (Bandwidth) بلغ 285 MHz حيث تغطي المصفوفة مدى ترددي من 5.394 GHz إلى 5.679GHz، مما يجعل الهوائي مناسباً لتطبيقات الاتصالات اللاسلكية المختلفة وخاصة تلك التي تعتمد على النطاق ISM.

المحتويات

رقم الصفحة	التفاصيل	رقم الفقرة
	الآية	
	الاهداء	
	الشكر والتقدير	
	اقرار المشرف	
	الخلاصة	
الفصل الاول: المقدمة		
1	المقدمة	1-1
1	انواع الهوائيات	2-1
1	هوائيات السلك	1-2-1
2	هوائيات ثنائي القطب	2-2-1
2	هوائيات الفتحة	3-2-1
2	هوائيات القطع المكافئ	4-2-1
3	الهوائيات الشريطية	5-2-1
3	انواع الهوائيات الشريطية	1-5-2-1
4	محاسن الهوائيات	2-5-2-1
4	مساوئ الهوائيات	3-5-2-1
5	طرق الاثارة	4-5-2-1
5	طريقه الكابل المحوري	1-4-5-2-1
5	طريقه خط النقل	2-4-5-2-1
6	طريقه الاقتران القريب	3-4-5-2-1
6	طريقه اقتران الفتحة	4-4-5-2-1
7	مراجعة مصادر سابقة	3-1
8	الغاية من الدراسة	4-1
8	هيكله البحث	5-1
الفصل الثاني: الجزء النظري		
9	المقدمة	1-2
9	معاملات الهوائي الشريطي	2-2
9	التحصيل	1-2-2
9	الاتجاهية	2-2-2
9	الكفاءة	3-2-2
10	ممانعة الاشعاع	4-2-2
10	هيكل الاشعاع	5-2-2
11	الفلكة الرئيسية	1-5-2-2
11	الفلكة الجانبية	2-5-2-2
11	عرض القدرة النصفية	3-5-2-2

المحتويات

رقم الصفحة	التفاصيل	رقم الفقرة
12	عرض الحزمة الترددية	6-2-2
12	الخسارة الراجعة	7-2-2
13	معامل الاقتران المتبادل	8-2-2
13	مكونات الهوائي الشريطي	3-2
13	الركيزة	1-3-2
13	المشع	2-3-2
14	القاعدة	3-3-2
15	ابعاد الهوائي الشريطي	4-2
15	عرض المشع	1-4-2
16	طول المشع	2-4-2
16	ابعاد الركيزة	3-4-2
17	برنامج المحاكاة	5-2
18	مكونات الشاشة الرئيسية للبرنامج	1-5-2
18	طرق الحل المستخدمة	2-5-2
18	انواع الشروط الحدودية	3-5-2
18	طرق الاثارة	4-5-2
19	مثال تطبيقي	6-2
19	النتائج	1-6-2
22	المناقشة	7-2
الفصل الثالث: الجزء العملي		
23	المقدمة	1-3
23	تصميم ومحاكاة الهوائي الشريطي المستطيل	2-3
24	النتائج	3-3
24	الخسارة الراجعة	1-3-3
25	نسبة الموجة الواقفة	2-3-3
26	التحصيل والاتجاهية	3-3-3
26	الجزء العملي	4-3-3
26	تصميم النموذج عمليا	1-4-3-3
27	مقارنة النتائج	2-4-3-3
29	المناقشة	5-3-3
29	تقنية MIMO	4-3
30	العناصر الثلاثية الخطية	1-4-3
30	الخسارة الراجعة	1-1-4-3
30	معامل الاقتران	2-1-4-3
31	التحصيل والاتجاهية	3-1-4-3

المحتويات

رقم الصفحة	التفاصيل	رقم الفقرة
32	التصميم العملي للنموذج	2-4-3
32	المناقشة	3-4-3
الفصل الرابع: الاستنتاجات والتوصيات		
34	المقدمة	1-4
34	الاستنتاجات	2-4
34	التوصيات	4-3
35	المصادر	

الفصل الاول المقدمة

The Introduction

١-١ مقدمة

شهد العالم تطورا سريعا في مجال الاتصالات اللاسلكية وتطورت من الجيل الاول الى الثاني والثالث والرابع وصولا الى الخامس، الأمر الذي يتطلب تهيئة ادوات تلبي الحاجة من اجل الشروع في هذ العالم من الاتصالات اللاسلكية السريعة والكفاءة.

من اهم هذه المتطلبات هو الهوائيات باختلاف انواعها، وهي وسيلة لارسال واستلام الموجات (الكهرومغناطيسية المايكرووية والراديووية). لقد تطورت الهوائيات تبعا للتطور الحاصل في الاجهزة الالكترونية واللجوء الى جعل الاجهزة صغيرة الحجم الأمر الذي يؤدي الى العمل على اجراء بحوث في البحث عن وسائل للبت ولاستلام (الهوائيات) تلبي هذه الميزة في هذه الاجهزة فضلا عن التطور السريع و الهائل في دوائر اشباه الموصلات الالكترونية.

سنتطرق في هذا الفصل الى شرح مبسط لانواع الهوائيات ومعاملات الهوائيات وتخصيص موضوع خاص بالهوائيات الشريطية وانواعها وميزاتها وعيوبها وطرق الاثارة المستخدمة ومزايا وعيوب كل نوع من الانواع.

وسوف ندرج مراجعة تاريخية للبحوث التي تناولت موضوع الهوائيات الشريطية المستطيلة في مجال تطبيقات الانترنت WiFi في المدى الترددي 2-5.82. والتقنيات المستخدمة لتحسين خواص الهوائي من حيث عرض الحزمة وعرض هيكل الاشعاع من حيث التحصيل والاتجاهية.

١-٢ انواع الهوائيات

١-٢-١ هوائيات السلك Wire Antennas

الهوائيات السلكية مألوفة للعامة لأنها ترى في كل مكان تقريبا على السيارات والمباني والسفن والطائرات والمركبات الفضائية وما إلى ذلك. هناك أشكال مختلفة للهوائيات السلكية مثل السلك المستقيم (ثنائي القطب) والحلقة واللولب. لا يلزم أن تكون الهوائيات الحلقية دائرية فحسب. فقد تأخذ شكل مستطيل أو مربع أو قطع ناقص أو أي تكوين آخر. الحلقة الدائرية هي الأكثر شيوعا بسبب بساطتها في البناء [١]



شكل (١): هوائي السلك Wire Antennas

2-2-1 هوائيات ثنائي القطب Dipole Antennas

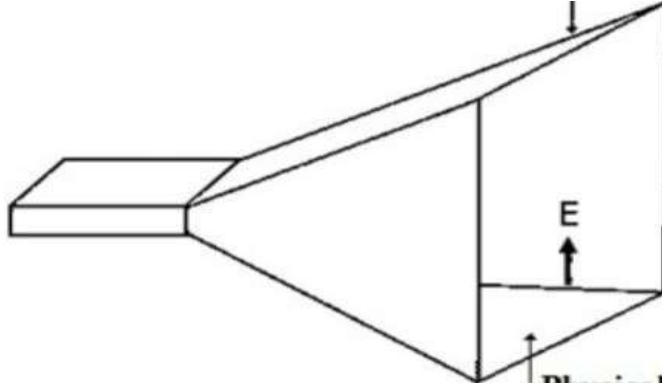
هوائي ثنائي القطب (Dipole antenna) هو واحد من أشهر أنواع الهوائي المستخدمة في أجهزة المذياع و الاتصالات البعيدة الهوائي هنا له إتجاهين متوازيين واحد منها هو جهاز إرسال والآخر هو جهاز لاقط. [٢]



شكل (٢): هوائي ثنائي القطب Dipole Antennas

٣-٢-١ هوائيات الفتحة Aperture Antennas

في الكهرومغناطيسية ونظرية الهوائي ، يتم تعريف فتحة الهوائي على أنها "سطح، بالقرب من الهوائي أو عليه، حيث يكون من المناسب إجراء افتراضات بشأن قيم المجال لغرض حساب المجالات عند النقاط الخارجية. غالبا ما يتم اعتبار الفتحة ذلك الجزء من السطح المستوي بالقرب من الهوائي، عموديا على اتجاه الإشعاع الأقصى، والذي يمر من خلاله الجزء الأكبر من الإشعاع. [3]



1. شكل (٣): هوائي الفتحة Aperture Antennas

٤-٢-١ هوائيات القطع المكافئ Parabolic Antennas

يطلق على هوائي العاكس المكافئ أيضا اسم هوائي الطبق. يستخدم هذا النوع من الهوائيات في استقبال التلفزيون الفضائي المنزلي، والاتصالات العامة عبر الأقمار الصناعية وروابط البيانات الأرضية عبر الموجات الدقيقة، وما إلى ذلك. يتميز هذا الهوائي بشكله الفردي، ومكسبه العالي، وعرض شعاعه الضيق

الميزة الرئيسية لهذا الهوائي هي أنه يتميز بخاصية توجيه عالية. فهو يعمل كعاكس للضوء أو ككشاف ضوئي للتعبير عن الإشارات اللاسلكية ضمن شعاع ضيق، وإلا فإنه يحصل على الإشارات اللاسلكية من مسار محدد فقط

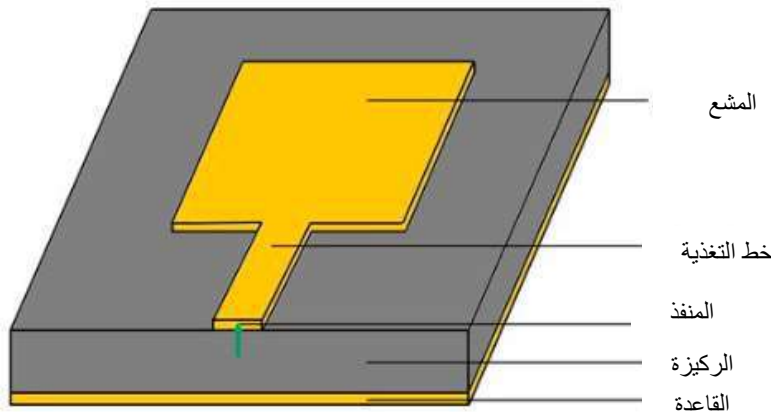
تستخدم هذه الأنواع من الهوائيات بشكل أساسي مثل الهوائيات ذات الكسب العالي في الاتصالات من نقطة إلى نقطة، وفي وصلات الموجات الدقيقة التي تحمل إشارات LAN/WAN التلفزيون والهاتف بين المدن القريبة، وروابط لاتصالات البيانات والأقمار الصناعية، والمركبات الفضائية والتلسكوبات الراديوية.[4]



شكل (٤): هوائي القطع المكافئ Parabolic Antennas

١-٢-٥ الهوائيات الشريطية Microstrip Antennas

في مجال الاتصالات ، عادة ما يكون هوائي الشريط الدقيق (المعروف أيضا باسم الهوائي المطبوع) هوائيا مصنوعا باستخدام (PCB) تقنيات الطباعة الضوئية على لوحة دوائر مطبوعة نوع من الهوائيات الداخلية. تستخدم غالبا في ترددات الميكروويف يتكون هوائي الشريط الدقيق الفردي من رقعة من رقائق معدنية بأشكال مختلفة (هوائي رقعة) على سطح لوحة الدوائر المطبوعة، مع مستوى أرضي من رقاقة معدنية على الجانب الآخر من اللوحة. تتكون معظم هوائيات الشرائط الدقيقة من رقع متعددة في مصفوفة ثنائية الأبعاد. عادة ما يتم توصيل الهوائي بجهاز الإرسال أو جهاز الاستقبال من خلال خطوط نقل الشرائط الدقيقة.[5]



شكل (٥): هوائي شريطي Microstrip Antennas

١-٥-٢-١ أنواع الهوائيات الشريطية Microstrip Antennas Types

هناك انواع عديدة من الهوائيات الشريطية التي تأخذ تسميتها من شكل المشع، كما في الشكل (6) وهي:

1. هوائي الرقعة المستطيلة Rectangular patch Antenna

2. هوائي الرقعة الدائرية Circular patch Antenna

3. هوائي الرقعة الحلقي Ring patch Antenna

4. هوائي الرقعة البيضاوية Elliptical patch Antenna

5. هوائي الرقعة المثلثة Trigular patch Antenna

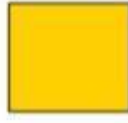
6. هوائي الرقعة المشقوفة Slotted patch Antenna

7. هوائي الرقعة متعددة الطبقات Stacked patch Antenna

8. هوائي الرقعة المصفوفي Array patch Antenna [١]



المستطيل



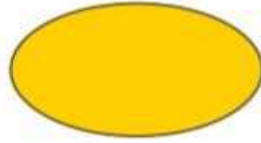
المربع



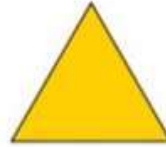
الدائري



الحلقي الدائري



البيضاوي



المثلث

شكل(6): انواع الهوائيات الشريطية

١-٢-٥-٢ محاسن الهوائيات Advantage

1. حجمه الصغير ووزنه الخفيف.

٢. سهولة صناعته.

٣. سهولة تركيبه.

٤. تكلفته الرخيصة.

٥. يدعم الاستقطاب الخطي والدائري.

٦. يمكن بسهولة دمجه مع دوائر المايكرويف المدمجة (MICS). [٦]

١-٢-٥-٣ مساوي الهوائيات Disavvantages

١. لديه عرض حزمة ضيق.

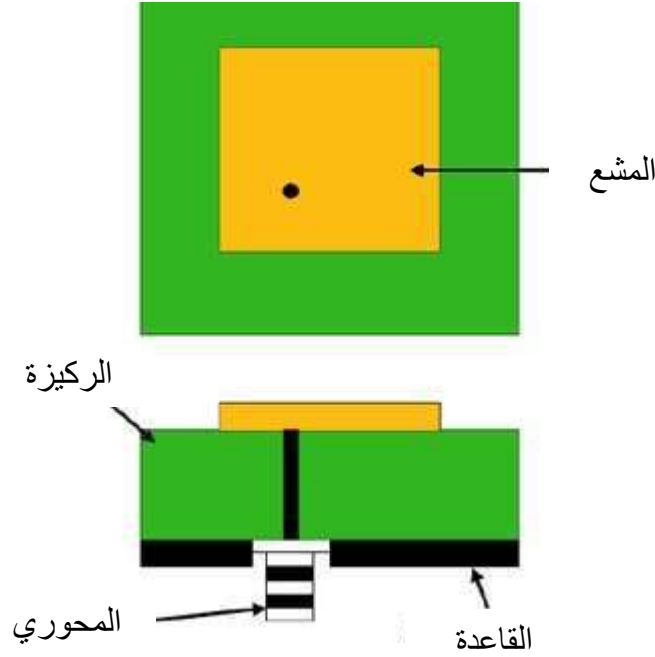
٢. كفاءته أقل مقارنة بهوائيات أخرى.

٣. تكبير قليل. [٦]

١-٢-٥-٤ طرق الاثارة Excitation Methods

١-٢-٥-٤-١ طريقة الكابل المحوري Coaxial Probe Feed

في هذا النوع من التغذية يتم استخدام السلك المحوري لتوصيل الموجات الراديوية إلى رقعة الهوائي من خلال الشكل التالي نلاحظ أن الموصل الداخلي الموصل السلك المحوري متصل مباشرة بالرقعة من خلال الحفر في العازل الكهربائي ، أما بالنسبة للموصل الخارجي الموصل السلك المحوري فيتم توصيله بالسطح لأرضي للهوائي. [١][٦]



شكل (7): طريقة السلك المحوري

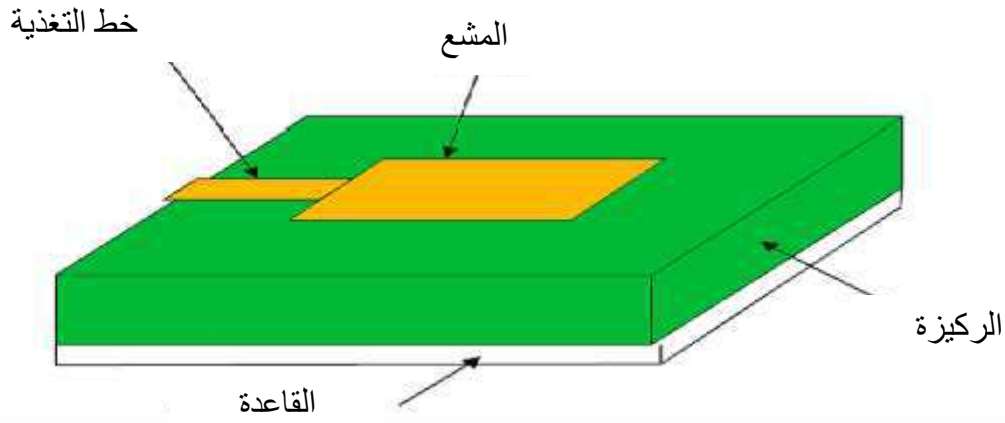
الميزة التي يتمتع بها هذا النوع من التوصيل هو أنه يمكنك اختيار مكان موصل التغذية في الهوائي حسب الرغبة لتكون متوائمة مع معاوقة الدخل.

هذا الهوائي من مميزاته أنه سهل التصنيع والتركيب لكنه له عيب أساسي هو أنه يوفر عرض حزمة ضيق وكذلك هناك مشاكل تظهر بسبب الحفر على العازل لوضع موصل التغذية من المشاكل التي تواجهنا أثناء التركيب هو أن هذا الهوائي إذا زادت مواعمة المعاوقة الداخلية عن المطلوب يؤدي لنا إلى مشاكل في المواعمة.

١-٢-٥-٢ طريقة خط النقل Strip Line Feed

في هذا النوع من التغذية يتم إضافة شريط توصيل ويتم توصيل الخط الشريطي الدقيق مباشرة إلى حافة الهوائي نلاحظ من الشكل أن شريط التوصيل يكون أصغر بالعرض من رقعة الهوائي ، هذه تعطيه ميزة وذلك أنه يمكن توصيل التغذية بحفرها على نفس العازل.

يعتبر هذا النوع من التغذية هو الأسهل في التوصيل وكذلك في الصناعة من الأنواع الأخرى ، كذلك فيه سهولة في مواعمة معاوقة الدخل التي تكون بين خط التغذية والرقعة. [١][٦]



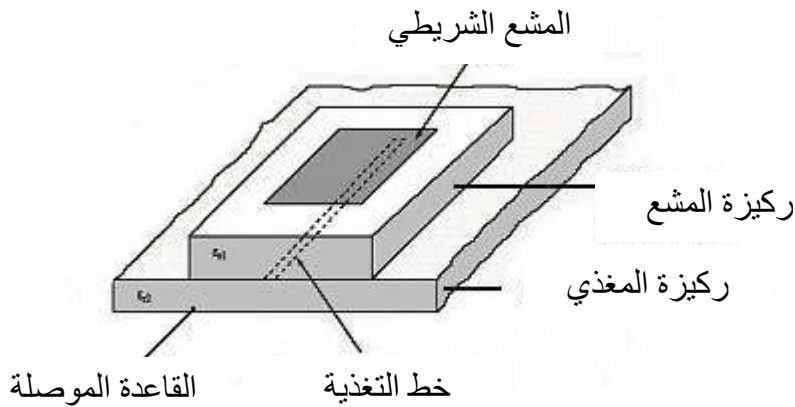
شكل (8): طريقة خط النقل

بالنسبة لسمك العازل الكهربائي فإن زيادته يؤدي إلى زيادة في الإشعاع الصادر من خط التغذية مما يؤدي إلى التشويش في وتقليل حجم عرض الحزمة للهوائي. كذلك يؤدي إلى مشاكل في الاستقطاب.

١-٢-٥-٣ طريقة الاقتران القريب Feeding with Aproximity Coupled

في هذا النوع من التغذية يكون لدينا عازلين كهربائيين في مركزهما في الوسط يوجد لدينا خط التغذية وأما رقعة الهوائي فتكون في العازل الكهربائي الأعلى

من أهم الميزات لهذا الربط أن الإشعاع الناتج عن خط التغذية يكاد يكون مفقودا وبذلك يكون لدينا عرض حزمة كبير تقريبا (13) وزيادة عرض الحزمة يكون ناتج عن زيادة السمك الكلي للهوائي. [١][٦]



شكل (9): طريقه الاقتران القريب

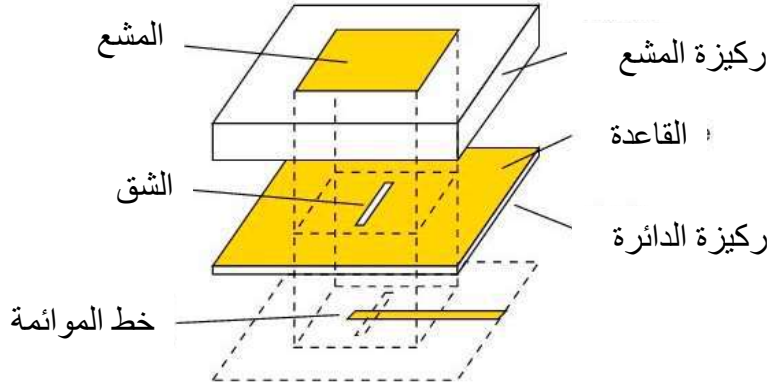
من أهم عيوب هذا الربط كما في الربط الفجوي أنه صعب التصنيع والتركيب وذلك بسبب وجود عازلين كهربائيين ، كذلك كبر حجمه بسبب العازلين الكهربائيين كذلك.

١-٢-٥-٤ طريقة اقتران الفتحة Aperture Coupled Feed

كما ذكرنا سابقا فإن هذا النوع من التغذية يعتبر الطرق غير المتصلة أي أنها لا تتصل مباشرة برقعة الهوائي هذا الربط يكون فيه الرقعة وخط التغذية الشريطي الدقيق منفصلين بالسطح الأرضي

عادة الربط الفجوي يكون وسط أسفل رقعة الهوائي مما يؤدي إلى التقليل من تقاطع الاستقطاب (cross-polarization) بسبب التشابه في الاعدادات. بما أن كل من الرقعة وخط التغذية منفصلين فإن مشاكل الإشعاع من التغذية قد قلت إلى أقل مستوى.

بشكل عام فإن ثابت العزل للعازل الكهربائي الاسفل يكون أكبر من الأعلى لتحسين الإشعاع الصادر من الرقعة. [١][٦]



شكل (10): طريقة اقتران الفتحة

العيب الرئيسي لهذا الربط هو أن فيه صعوبة في التصنيع بسبب وجود عازلين كهربائيين وكذلك حجم الهوائي أكبر بسبب وجود عازلين كهربائيين.

٣-١ مراجعة مصادر سابقة

تعد الهوائيات الشريطية Microstrip Antenna من العناصر الأساسية في أنظمة الاتصالات اللاسلكية الحديثة نظرا لخصائصها المميزة مثل صغر الحجم، وخفة الوزن، وسهولة التصنيع، وتكلفتها المنخفضة. تتعدد الأبحاث والدراسات التي تناولت تصميم وتحسين أداء هذه الهوائيات لتلبية متطلبات التطبيقات المختلفة.

يتناول البحث [٧] تصميم وتحليل هوائي شريطي لتطبيقات الاتصالات اللاسلكية بتقنية 5G، حيث يركز على هوائي يعمل عند تردد 28 جيجاهرتز. تم استخدام مادة ركيزة للهوائي، Rogers RT/Duroid5880 وتم تصميمه ومحاكاته باستخدام برنامج CST وبينت النتائج تم الحصول على معامل انعكاس -38.348 dB وتحصيل مقداره 8.2 dB وكفاءة إشعاع مقدارها 77% وكانت قيمة VSWR عند نسبة 1:2 مقداره 1.2. وتم الحصول على عرض حزمة 3.36 GHz.

قام باحثون بتصميم وتحليل هوائي متعدد النطاقات لاجل تحسين أداء الإشعاع باستخدام برنامج COMSOL لمحاكاة وتحليل الهوائي، مما يضيف دقة إلى النتائج. يناقش [8] تطبيقات الهوائي في مجالات Radio Frequency Identification (RFID) و Worldwide Interoperability for Microwave Access (Wimax) والشبكات اللاسلكية، مما يعزز قيمته العملية. تم تقديم تحليل دقيق للهوائي من حيث الترددات الرنينية، وأنماط الإشعاع، وخسارة العودة و الرسوم البيانية والجداول التي قدمت بيانات مفصلة حول أداء الهوائي، مما يسهل فهم التأثيرات المختلفة لتغيير الأبعاد والخصائص العازلة.

أجريت دراسة من قبل باحثين محاكاة لتصميم هوائي شريطي ذي مشع مستطيل ملفوف جديدة والذي يستخدم في تطبيقات النطاق الترددي العريض الفائق Ultra wide Band UWB وباستخدام برنامج محاكاة التراكيب عالية التردد High Frequency Structure Simulator (HFSS) تم استخدام شريحة عازلة بقيمة ثابت عزل يساوي $\epsilon_r = 4.4$ وارتفاع $h = 2.1 \text{ mm}$ لتصميم الهوائي المقترح أن أساس التصميم يستند على زيادة عرض النطاق الترددي ضمن الحزمة الترددية 6.63-10.93 GHz من خلال زيادة مناطق الحافة للمشع والتي تؤثر ايجابا على كفاءة الهوائي أن هذا التصميم يجعل تكلفة تصميم الهوائي اقل من خلال تقليل مساحة المشع [9]. اظهرت النتائج أن عرض

النطاق الترددي للهوائي في هذه الدراسة يزداد إلى 4.3 GHz أو ما يعادل 61% مقارنة بالنسبة 3.6% الناتجة عن الهوائي الشريطي المستطيل القياسي مع نفس أبعاد الهوائي المقترح أن الهوائي المقترح حافظ على نسبة موجة الفولتية القياسية الواقعة VSWR وهي 1.09 عند التردد الرنيني 7.7 GHz، وعامل الفقد 27.07 dB-، وإن قيمة الجزء الحقيقي والخيالي للممانعة هي $Z = 51.3 + j3.3$ على الترتيب.

تمت دراسة استخدام تقنية الاثارة باستخدام طريقة اقتران الفتحة Aperture Coupled strip Line Feed. باستخدام برنامج CST بناء على تردد التشغيل المحدد. وجد الباحثون ان تحصيل واتجاهية الهوائي كانت 6.169 dB و 5.58 dB عند 5.8 dB على التوالي و 7.699 dB و 8.48 dB عند 2 GHz على التوالي. تم تحليل النتائج ومناقشتها من حيث خسارة العودة والتحصيل والاتجاهية والحقول الكهربائية والمغناطيسية ونمط الإشعاع [١٠].

١-٤ الغاية من الدراسة Aim of Study

بعد مراجعة المصادر وادراج معلومات عن الهوائيات وانواعها ومحاسنها ومساوئها تتضمن الدراسة في هذا المشروع الخطوات التالية:

- 1- تصميم هوائي شريطي مستطيل يعمل ضمن ترددات WiFi عند التردد ٥,٨ كيكاهيرتز ودراسة خواصه من حيث الخسارة الراجعة S_{11} ونسبة الموجة الواقعة VSWR وممانعة الادخال Z_{in} والتيارات السطحية Surface Currents و التحصيل Gain والاتجاهية Directivity .
- 2- تصميم مصفوفة هوائيات خطيه لتحسين التحصيل والاتجاهية تكون من عدد من العنصر التي تم دراسته خواصه في الفقرة (١)
- 3- تقليل الاقتران بين عناصر المصفوفة باستخدام تقنية Frequency Selective Surface FSS أو Electromagnetic Band Gap EBG.

١-٥ هيكلية البحث

يتكون البحث من أربعة فصول يتضمن الفصل الاول مقدمه نظريه . فيما يتضمن الفصل الثاني الجانب النظري للهوائيات الشريطية.

يتضمن الفصل الثالث المحاكاة للنموذج المقترح والنتائج والمناقشة. فيما يتضمن الفصل الرابع الاستنتاجات والتوصيات

الفصل الثاني الجزء النظري

The Theory

٢-١ المقدمة

يعتمد عمل الهوائي على عدد من الخصائص أهمها خسائر العودة Return losses تصف العلاقة بين القدرة الداخلة والمنعكسة لنظام يحتوي على شبكة مكونة من اثنين من الأطراف، عندما تكون قيمة خسائر العودة قليلة يعني انه لخط النقل مواءمة عالية مع الهوائي وهذا يعني ان القدرة المنعكسة قليلة وبالتالي عمل الهوائي يكون جيدا [١١].

٢-٢ معاملات الهوائي الشريطي

١-٢-٢ التحصيل (Gain)

نسبة شدة الاشعاع الى شدة الاشعاع لهوائي (Isotropic) الذي يشع الطاقة بمقدار متساو في جميع الاتجاهات بشرط ان تكون مدخلات الطاقة لكلا الهوائيين متساوية، يعبر عن الربح بوحدة dBi (يتمثل التناظر isotropic) حيث يكون نسبة الربح بوحدة dB الى ربح الهوائي الذي يشع في جميع الاتجاهات [١٣].

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{U(\theta, \varphi)}{P_{in}}$$

٢-٢-٢ الاتجاهية (Directivity)

الاتجاهية هي نسبة شدة الإشعاع (Radiation Intensity) في اتجاه معين إلى شدة الإشعاع المتوسطة في كل الاتجاهات ويعبر عنها بالعلاقة التالية:

$$D(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{U(\theta, \varphi)}{U_0(\theta, \varphi)}$$

حيث

$U_0(\theta, \varphi)$ تمثل شدة الاشعاع المتوسط في كل الاتجاهات Omnidirectional

$U_0(\theta, \varphi)$ تمثل شدة الاشعاع المتوسط في اتجاه معين

فالالاتجاهية هي مقدرة الهوائي على تركيز الطاقة في اتجاه معين عند الإرسال أو استقبال طاقة أفضل من اتجاه معين عند الاستقبال [١٢].

٢-٢-٣ الكفاءة (Efficiency)

فعالية الهوائي هو مقدار يعبر عن الضياع الحاصل في نظام الهوائيات، ويكون هذا الضياع ناتج عن الانعكاسات بسبب عدم التوافق بين خط النقل والهوائي و المواد العازلة والناقلة المكونة للهوائي. وتعطى الفعالية الكلية للهوائي بالعلاقة التالية:

$$e_0 = e_c e_d e_r$$

حيث

e_c تمثل كفاءة الموصل

e_d تمثل كفاءة العازل

e_r تمثل كفاءة الانعكاس وتعطى بالعلاقة:

$$e_r = 1 - |\Gamma|^2$$

وتمثل Γ معامل الانعكاس Reflection Coefficient (وهو كمية عقدية)، تجدر الإشارة إلى أنه من الصعب حساب كل من فعالية العازل والناقل حيث يتم تحديد قيمهم تجريبيا، ولا يمكن فصلهم عن بعض حسابيا وبالتالي يمكن كتابة الفعالية الكلية للهوائي على الشكل التالي:

$$e_0 = e_r e_{cd}$$

حيث e_{cd} كفاءة إشعاع الهوائي وتعطى بالعلاقة الآتية:

$$e_{cd} = \frac{P_{rad}}{P_{in}}$$

٢-٢-٤ ممانعة الإشعاع (Radiation Impedance)

هي مقاومة الهوائي عند الدخل، وتعرف بأنها نسبة الجهد إلى التيار عند نهايتي الهوائي كما أنها نسبة مركبتي الحقل الكهربائي إلى الحقل المغناطيسي عند دخل الهوائي، تلعب دور في تحديد فعالية نقل الاستطاعة حيث أنه ليتم نقل الاستطاعة بفعالية عالية يجب أن تتساوى ممانعات كل من جهاز الإرسال والاستقبال للهوائي مع خطوط النقل التي تربط بينهما .

يتم تصميم أجهزة الإرسال والاستقبال وخطوط النقل عادة لتعمل بممانعة تعادل 50Ω ، وتجدر الإشارة إلى أنه إذا كانت ممانعة الهوائي أكبر أو أصغر من 50Ω يجب استخدام دائرة موازنة للممانعة. [١٢].

٢-٢-٥ هيكل الإشعاع (Radiation Pattern)

هو التوزيع المكاني الذي يميز الحقل الكهرومغناطيسي المتولد عن الهوائي، وهو طريقة لتمثيل خصائص إشعاع هوائي (كثافة تدفق الاستطاعة، كثافة الإشعاع الاتجاهية، الاستقطاب الطور) كتابع رياضي أو تمثيل بياني للإحداثيات الكروية، والمخطط الإشعاعي للهوائي يقدم معلومات عن كيفية توجيه الهوائي للطاقة التي يشعها ويتم تحديده في منطقة الحقل البعيد. [١٢].

٢-٢-٥-١ الفلقة الرئيسية (Main lobe)

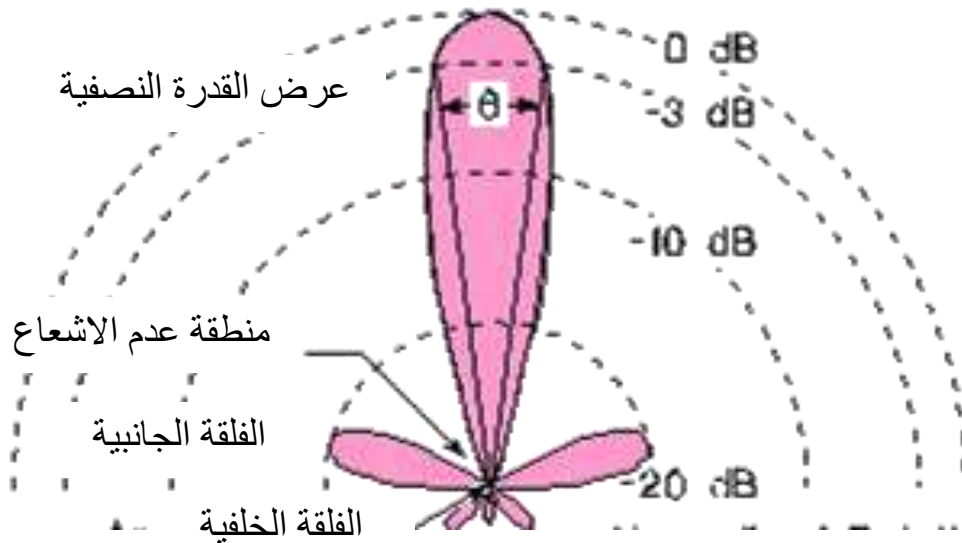
فصوص أمامية (رئيسية)، حيث يعرف الفص الرئيسي (major lobe) باسم فص الإشعاع ويتضمن الاتجاه الأعظمي للإشعاع.

٢-٢-٥-٢ الفلقة الجانبية (Side lobe)

فصوص ثانوية ، وهي عبارة عن أي فص ماعدا الفص الرئيسي ومن هذه الفصوص الجانبية (side lobes) وهي تمثل عادة الإشعاع في اتجاهات غير مرغوب فيها، والفصوص الخلفية (back lobe) والتي هي عبارة عن فص جانبي في الاتجاه المعاكس للفص الرئيسي بفارق زاوية 180° .

يؤدي زيادة الإشعاع في الفص الجانبي إلى ضياع في الاستطاعة مما يسبب تشويش على أجهزة الإرسال القريبة وتزداد الخطورة في حال كانت المعلومات التي يتم إرسالها سرية حيث يمكن لأجهزة استقبال أخرى غير مرغوبة أن تلتقط هذه المعلومات، ويمكن لهوائيات الاستقبال أن تلتقط من الفصوص الجانبية إشارات غير مرغوب فيها مما يؤدي إلى زيادة مستوى الضجيج في المستقبل.

الفلقة الرئيسية



شكل (1-2): الفصوص الإشعاعية للمخطط الإشعاعي للهوائي

٢-٢-٥-٣ عرض القدرة النصفية (Half Beam width HPBW)

هو عرض زاوي (بالدرجات)، يتم قياسه على الفص الرئيسي لنمط إشعاع الهوائي عند نقاط نصف القدرة، أي النقاط التي تكون فيها قوة الإشارة نصف قيمة الذروة. بمعنى آخر عرض نصف القدرة (HPBW) هو الفصل الزاوي الذي يتناقص فيه حجم مخطط الإشعاع بنسبة ٥٠% أو (-3dB) من ذروة الحزمة الرئيسية كما موضح بالشكل (2-1).

٦-٢-٢ عرض الحزمة الترددية (Bandwidth)

يقصد بالمجال الترددي هو المجال الذي يحقق ضمنه الهوائي خصائص معينة، حيث تكون فيه خصائص الهوائي مثل الاستقطاب والربح وفعالية الإشعاع وغيرها ... ذات قيم مقبولة.

ويعبر عن عرض المجال الترددي من أجل الهوائيات العريضة المجال (Broadband) بأنه نسبة الترددات العليا إلى الدنيا، أما بالنسبة للهوائيات ضيقة المجال الترددي فيعبر عن عرض المجال بأنه النسبة المئوية للفرق الترددي الفرق بين التردد الأعلى والأدنى على التردد المركزي للمجال الترددي.

عادة لا تتغير خصائص الهوائي مقاومة الدخل استقطاب، ربح، فعالية الإشعاع وغيرها ... بنفس الأسلوب مع تغير التردد حيث يوجد اختلاف في تغيرات المخطط الإشعاعي ومقاومة الدخل، لذلك يستخدم كل من مفهومي المخطط الإشعاعي للنطاق الترددي وممانعته للتعبير عن هذا الاختلاف.[١٢].

يشير عرض نطاق الهوائي إلى نطاق الترددات التي يعمل خلالها بشكل صحيح. وهو عدد الهيرتزات التي يظهر فيها الهوائي نسبة موجة ثابتة (SWR) أقل من 2:1. ويمكن أيضا وصف عرض النطاق كنسبة مئوية من التردد المركزي للنطاق.

$$BW = 100 \frac{F_H - F_L}{F_C}$$

حيث

$$SWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

و F_H هو أعلى تردد في النطاق، و F_L هو أدنى تردد في النطاق، و F_C هو التردد المركزي في النطاق. بهذه الطريقة، يكون عرض النطاق الترددي ثابتا بالنسبة للتردد. إذا عبر عن عرض النطاق الترددي بوحدات تردد مطلقة، فسيختلف تبعا للتردد المركزي. تختلف حدود عرض النطاق الترددي باختلاف أنواع الهوائيات.

٧-٢-٢ الخسارة الراجعة (Return Loss)

هو مقياس لفعالية توصيل الطاقة من خط نقل إلى حمل، مثل هوائي. إذا كانت الطاقة الساقطة على الهوائي قيد الاختبار (AUT) هي P والطاقة المنعكسة إلى المصدر هي P_{ref} ، فإن درجة عدم التطابق بين الطاقة الساقطة والطاقة المنعكسة في الموجات المتنقلة تعطى بنسبة P_{in}/P_{ref} . كلما زادت نسبة الطاقة هذه، كان الحمل والخط متوافقين بشكل أفضل[١٦]. تعرف خسارة العودة، المعبر عنها بالديسيبل، على أنها:

$$RL = 10 \log \frac{P_{in}}{P_{ref}} \text{ dB}$$

٢-٢-٨ معامل الاقتران المتبادل (Mutual Coupling Factor)

عندما يكون هوائيان بالقرب من بعضهما البعض، سواء كان أحدهما أو كلاهما يرسل أو يستقبل، فإن بعض الطاقة المخصصة في المقام الأول لأحدهما ينتهي به الأمر عند الآخر. تعتمد الكمية في المقام الأول على:

أ. خصائص الإشعاع لكل منهما

ب. الفصل النسبي بينهما

ج. الاتجاه النسبي لكل منهما

هناك العديد من الآليات المختلفة التي يمكن أن تسبب هذا التبادل للطاقة. على سبيل المثال، حتى لو كان كلا الهوائيين يرسلان، فإن بعض الطاقة المشعة من كل منهما ستستقبلها الأخرى بسبب الخصائص الاتجاهية غير المثالية للهوائيات العملية. قد يعاد تشتت جزء من الطاقة الساقطة على أحد الهوائيين أو كليهما في اتجاهات مختلفة، مما يسمح لهما بالتصرف كمرسلات ثانوية. يعرف هذا التبادل للطاقة باسم "الاقتران المتبادل"، وفي كثير من الحالات يعقد تحليل وتصميم الهوائي. علاوة على ذلك، بالنسبة لمعظم التكوينات العملية، يصعب التنبؤ بالاقتران المتبادل تحليليا، ولكن يجب أخذه في الاعتبار نظرا لمساهمته الكبيرة. [1].

٢-٣ مكونات الهوائي الشريطي (MSA Structure)

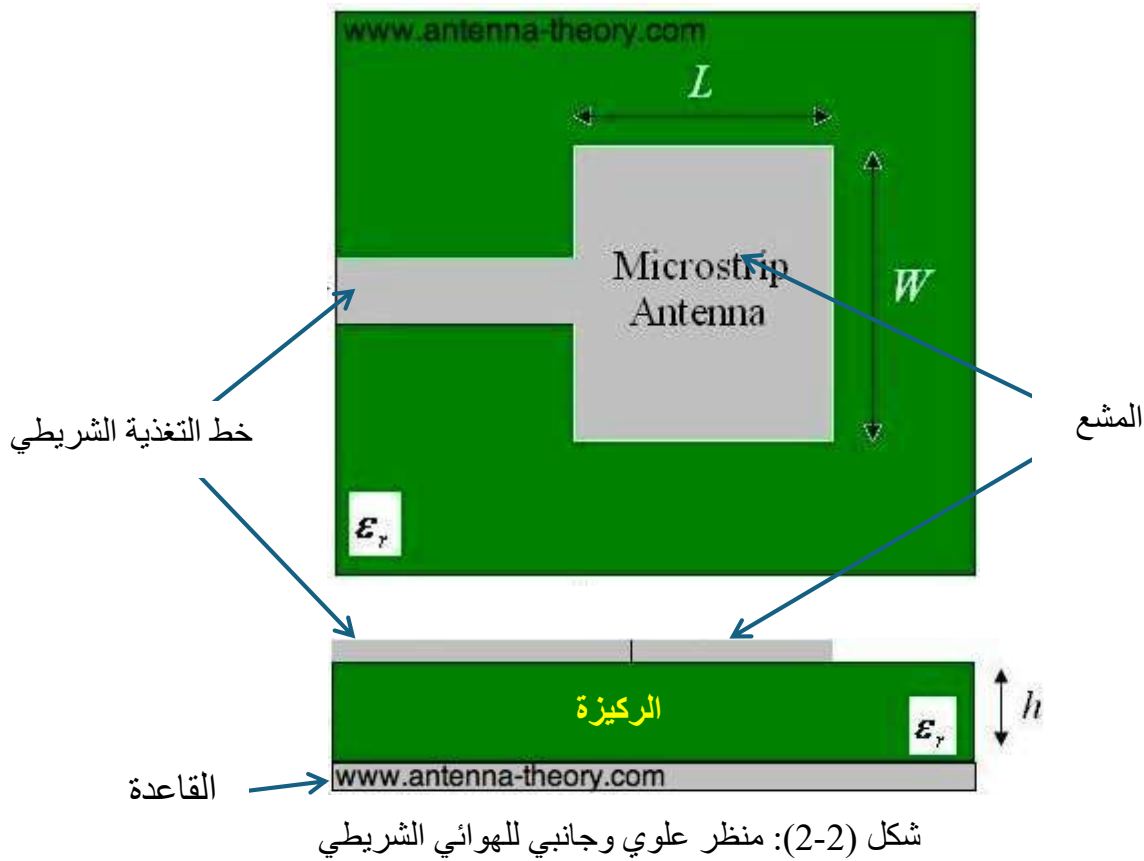
٢-٣-١ الركيزة (Dielectric Substrate)

بعض المواد مثل الزجاج والورق والتلفون تعد عوازل جيدة جدا. كما أن عددا أكبر من المواد مثل المركبات الكيميائية الشبيهة بالمطاط ومعظم اللدائن تعد عوازل مناسبة، فبإمكانها العزل في الأسلاك الكهربائية، على الرغم من أنها تكون المادة العازلة ذات معامل توصيل كهربائي منخفض. ان تكون على درجة عالية من مقاومتها لنفاذ الماء ونفاذية الإشعاع. ان تكون على درجة عالية في مقاومتها لامتصاص بخار الماء. قد تحتوي على مقاومة أضعف. تتراوح ثوابت العزل عادة بين 2.2 إلى 12. والأكثر تفضيلا لأداء الهوائي هي الركائز السمكية التي تكون ثوابتها العازلة في الطرف الأدنى من النطاق لأنها توفر كفاءة أفضل ونطاق ترددي أكبر وحقول مرتبطة بشكل فضفاض للإشعاع في الفضاء. عادة ما يكون الارتفاع للركيزة h أصغر كثيرا من الطول الموجي للتشغيل، ولكن لا ينبغي أن يكون أصغر كثيرا من 0.025 من الطول الموجي (1/40 من الطول الموجي)

٢-٣-٢ المشع (patch)

المشع Patch له هندسة ثنائية الأبعاد، كما تأتي هذه الهوائيات بأشكال مختلفة، حيث يتم تحديد شكلها من خلال شكل الرقعة المعدنية الموضوعة على المادة العازلة، كما يمكن أن تكون البقع مستطيلة أو مربعة أو دائرية أو مثلثة أو حلقة أو بيضاوية الشكل، فمثلا إذا كان هناك هوائي "Microstrip" مستطيل الشكل، يتكون من تصنيع رقعة معدنية

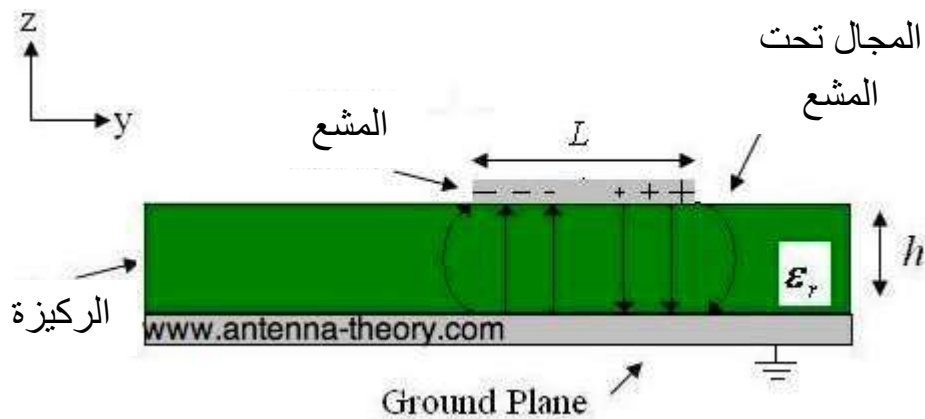
مستطيلة على مستوى أرضي مطلي بالعازل الكهربائي كما في الشكل (2-2)، يمكن أن يكون هذا عن عبارة مادة عازلة، والتي لها رفعة موصلة مدعومة بمستوى أرضي، كما يمثل الشكل (2-2) المنظر العلوي للهوائي الشريطي. [١].



٢-٣-٣ القاعدة (Ground Plane)

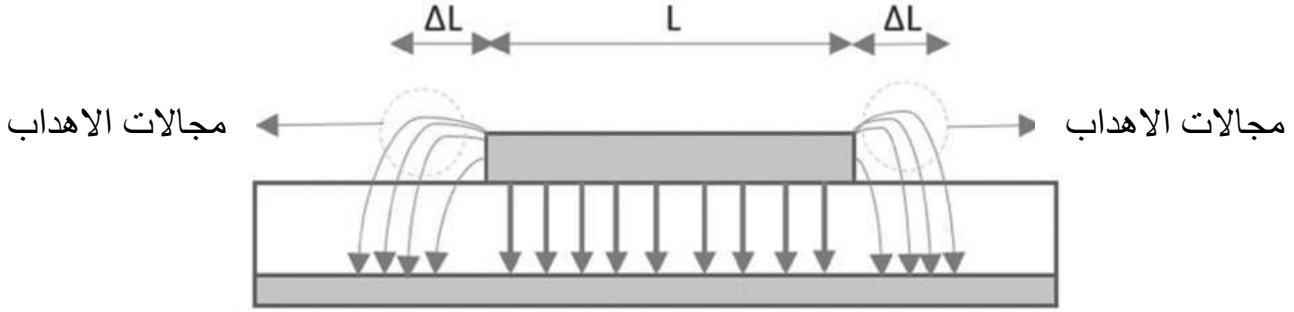
ليست كل الهوائيات تحتاج إلى مستوى أرضي. تم تصميم بعض الهوائيات فوق القاعدة لإنتاج نمط إشعاع محدد. أو التحكم في مقاومة دخل الهوائي، أو لأسباب عملية للتنفيذ.

كهربائياً، وظيفة القاعدة الموجود أسفل الهوائي هي إنشاء باعث للصورة في القاعدة. ويستخدم هذا لتلبية شروط الحدود الكهرومغناطيسية، حيث ينتهي المجال الكهربائي إلى الصفر عند المستوى الأرضي Ground plane الهوائي الموجود فوق المستوى الأرضي سوف ينبعث فقط إلى المنطقة فوق القاعدة سيحدد هذا بعد ذلك نمط الإشعاع الذي يمكن رؤيته من الهوائي كما في الشكل (3-2).



٢-٤ ابعاد الهوائي الشريطي (MSA Dimensions)

مجالات الهداب حول الهوائي هي المسؤولة عن الإشعاع، مما يجعل الرقعة تبدو أطول. لذلك، عند تصميم هوائي رقعة، يقلص عادة بنسبة 2-4% لتحقيق الرنين عند التردد المطلوب كما في الشكل (2-4).



شكل (2-4): مجالات الاهداب

يمكن للحقول الهامشية المحيطة بالهوائي أن تساعد في تفسير سبب إشعاع هوائي الشريط الدقيق. انظر إلى المنظر الجانبي لهوائي رقعة، كما هو موضح في الشكل اعلاه. لاحظ أنه بما أن التيار في نهاية الرقعة يساوي صفرا (في نهاية الدائرة المفتوحة)، فإن التيار يكون في أقصاه عند مركز رقعة نصف الموجة، ونظريا يساوي صفرا في بدايتها. تفسر هذه القيمة المنخفضة للتيار عند التغذية جزئيا سبب ارتفاع الممانعة عند التغذية في النهاية. بما أن هوائي الرقعة يعتبر خط نقل مفتوح الدائرة، فإن معامل انعكاس الجهد يساوي 1 (راجع دليل خطوط النقل لمزيد من المعلومات). عند حدوث ذلك، يكون الجهد والتيار غير متوافقين في الطور. وبالتالي، في نهاية الرقعة، يكون الجهد عند أقصى حد له (مثلا + فولت). في بداية هوائي الرقعة (على بعد نصف طول موجي)، يجب أن يكون الجهد عند أدنى حد له (- فولت). وبالتالي، ستشبه المجالات الموجودة أسفل الرقعة تلك الموضحة في الشكل 4، والذي يظهر تقريبا هامش المجالات حول الحواف. المجالات الهدبية هي المسؤولة عن الإشعاع. لاحظ أن المجالات الهدبية القريبة من سطح هوائي الرقعة تكون في الاتجاه الموجب (+y). وبالتالي، تتراكم المجالات الهدبية الكهربائية على حافة هوائي الشريط الدقيق في الطور وتنتج إشعاع هوائي الشريط الدقيق. هذه الفقرة أساسية لفهم هوائي الرقعة. يتراكم التيار في الطور على هوائي الرقعة أيضا؛ ومع ذلك، يوجد تيار مساوي له في الشدة ولكنه معاكس للاتجاه على مستوى الأرض، مما يلغي الإشعاع. وهذا يفسر أيضا سبب إشعاع هوائي الشريط الدقيق بينما لا يشع خط نقل الشريط الدقيق. ينشأ إشعاع هوائي الشريط الدقيق من المجالات الهدبية، والتي ترجع إلى توزيع الجهد المناسب؛ وبالتالي ينشأ الإشعاع بسبب الجهد وليس التيار. لذا، يعد هوائي الرقعة "مشع جهد"، على عكس هوائيات الأسلاك، التي تشع لأن التيارات تتراكم في الطور، وبالتالي تعتبر "مشعات تيار".

كملاحظة جانبية، كلما صغرت ϵ_r قيمة السماحية، ازداد انحناء مجالات التهدب؛ إذ تمتد بعيدا عن الرقعة. لذلك، فإن استخدام نفاذية أقل للركيزة ينتج إشعاعا أفضل. على النقيض من ذلك، عند إنشاء خط نقل ذي شريحة دقيقة (حيث لا يشع أي طاقة)، ϵ_r يفضل استخدام قيمة عالية لـ ϵ_r ، بحيث تكون المجالات أكثر تماسكا (تهديب أقل)، مما ينتج إشعاعا أقل. يعد هذا أحد التنازلات في تصميم هوائي الرقعة. وقد كتبت أوراق بحثية استخدمت فيها مواد عازلة مميزة (نفاذية مختلفة) تحت أقسام هوائي الرقعة وخط النقل، للتغلب على هذه المشكلة.

٢-٤-١ عرض المشع (patch width)

لأن هذا الهيكل الرنيني مفتوح، فإنه يشع بقوة عند إثارة وضع معين. وكما هو الحال في الهياكل الرنينية الأخرى، يمكن ضبط تردد التشغيل بسهولة عن طريق ضبط طول وعرض هوائي الرقعة، بالإضافة إلى ارتفاعه عن مستوى الأرض. عندها، تساوي معاوقة الدخل نسبة المجالين الكهربائي والمغناطيسي المحيطين بهوائي الرقعة. تسير عملية التصميم كما يلي:

1. حدد تردد التشغيل (f_0)
 2. احسب عرض الرقعة (W) باستخدام ثابت العزل الكهربائي للركيزة (ϵ_r) والسمك (h)
 3. احسب ثابت العزل الفعال
 4. احسب طول الرقعة (L) باستخدام النتائج من الخطوتين 2 و3؛ وهذا يكمل مشكلة التصميم
- يمكن حساب عرض المشع بحسب الصيغة

$$W = \frac{c}{2f_0} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2.1)$$

٢-٤-٢ طول المشع (patches length)

يتم حساب طول المشع باستخدام العلاقة :

$$L = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.2)$$

حيث ϵ_{eff} تمثل ثابت العزل النسبي ويعطى بالعلاقة

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{1 + 12 \left(\frac{h}{W} \right)} \right] \quad (2.3)$$

وبسبب مجالات الحافة فان الطول يحسب من العلاقة

$$L_{eff} = L - 2\Delta L \quad (2.4)$$

حيث ΔL تمثل

$$\Delta L = 0.41 \left(\frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{h}{W} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{h}{W} + 0.8 \right)} \right) \quad (2.5)$$

٢-٤-٣ ابعاد الركيزة (Substrate Dimenisons)

يجب أن تكون ابعاد الركيزة أكبر من ابعاد المشع لتقليل تأثير الانعكاسات عند الحواف [١]. ويفضل اختيار :

$$L_s = L_p + 6h \quad (2.6a)$$

$$W_s = W_p + 6h \quad (2.6b)$$

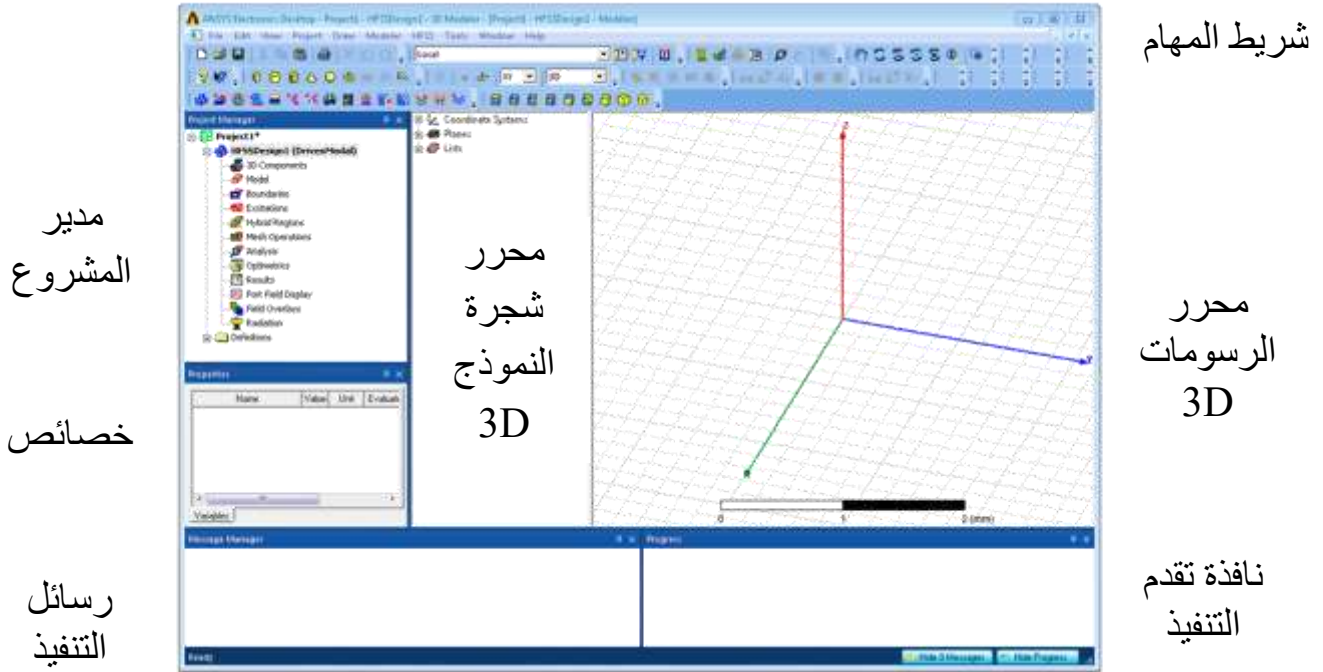
٥-٢ برنامج المحاكاة (High Frequency Structure Simulator HFSS)

هو اختصار لكلمة High Frequency Structural Simulator التابعة لشركة Ansys وقام بتطويره البروفيسور "زولتان سيندس" رفقة طلابه في جامعة كارنيجي ملون ويعتبر من أشهر البرامج المتخصصة في مجال التصميم ثلاثي الأبعاد ذات السرعة العالية ويستعمله الطلبة والمختصون في هذا المجال كذلك الشركات

يمكننا برنامج HFSS من تصميم الهوائيات أو ما يعرف (Antenna) بالإنجليزية والقدرة على صنع الأشكال ثلاثية الأبعاد بمختلف أنواعها ويحتوي كذلك على العديد من الأشكال للهوائيات ذات التردد العالي. ويستخدم طريقتين عدديتين للمعالجة هما طريقة العناصر المحددة وطريقة العزوم.[١٧].

٥-٢-١ مكونات الشاشة الرئيسية للبرنامج

يبين الشكل (5-2) واجهة البرنامج وسنوضح المناطق كما يلي:



شكل (5-2): واجهة التفاعل لبرنامج HFSS

١- Project Manager: وتحتوي على أوامر إدارة البرنامج من تعريف الشروط الحدودية والإثارة والنتائج وغيرها

٢- Properties: توضح خواص ومعاملات كل أمر من الأوامر في Project Manager

٣- Message Manager: يعطي رسائل الأخطاء في حالة وجود خطأ في التصميم أو تقدم سير العمل

٤- Progress window: تظهر تقدم خطوات الحل حسب الطريقة العددية المتبعة

٥- 3-D ModelEditorGraphics: المنطقة التي يتم فيها بناء النماذج

٦- 3-D model Editor Tree: وتوضح انواع الحسابات المستخدمة (ثنائية او ثلاثية) الأبعاد مع خواص المواد المستخدمة والأبعاد

٧-Toolbars: منطقة تحتوي على ازرار تحتوي على أوامر تسهل الوصول إلى الغاية دون الحاجة للذهاب إلى القوائم المنسدلة. [١٧].

٢-٥-٢ طرق الحل المستخدمة

١- Driven Model

تستخدم لتصميمات الترددات اللاسلكية (الميكروويف)

٢- Driven Terminal

شائعة الاستخدام لخطوط النقل متعددة الموصلات

٢-٥-٣ انواع الشروط الحدودية

يستخدم لتبسيط الهندسة أو جعل الربط أكثر كفاءة

١- خواص المواد للأسطح

١-١ الموصلية المحدودة (موصل غير كامل)

١-٢ موصل كهربائي أو مغناطيسي مثالي.

٢- التقريب السطحي للمكونات

٢-١ RLC مجمعة

٢-٢ مقاومة الطبقات

٣- الاشعاع

٣-١ حالة الحدود المختصة

٣-٢ الطبقات المتطابقة تماما PML

ملاحظة: يتم تعريف اي سطح كائن يلامس القاعدة تلقائيا على انه حدود كهربائية مثالية

٢-٥-٤ طرق الاثارة

١- wave Port

- يقوم حل FEM ثنائي الابعاد بحساب العدد المطلوب من الأوضاع (يتم التعامل معها على انها مقطع عرضي للخط النقل للممانعات وثوابت الانتشار)
- يدعم أوضاع متعددة وإلغاء التضمين
- بسيطة لخطوط T المغلقة
- يجب إتاحة مساحة لحقول خطوط T المفتوحة
- يجب أن تلمس الحدود الخارجية أو المداومة بجسم موصل

٢-Lumped Port

- المعاوقة الثابتة التي يحددها المستخدم -مجال كهربائي موحد على سطح [١٧].

٢-٦ مثال تطبيقي

باستخدام برنامج المحاكاة HFSS سيتم تصميم هوائي شريطي مستطيل مثبت على مادة عازلة Rogers RT/duroid 5880 (tm) ثابت عزلها (2.2) و يعمل بالتردد (2.4GHz). باستخدام العلاقات (2.1) الى (2.6) تم الحصول على الابعاد التالية كما في الجدول ادناه

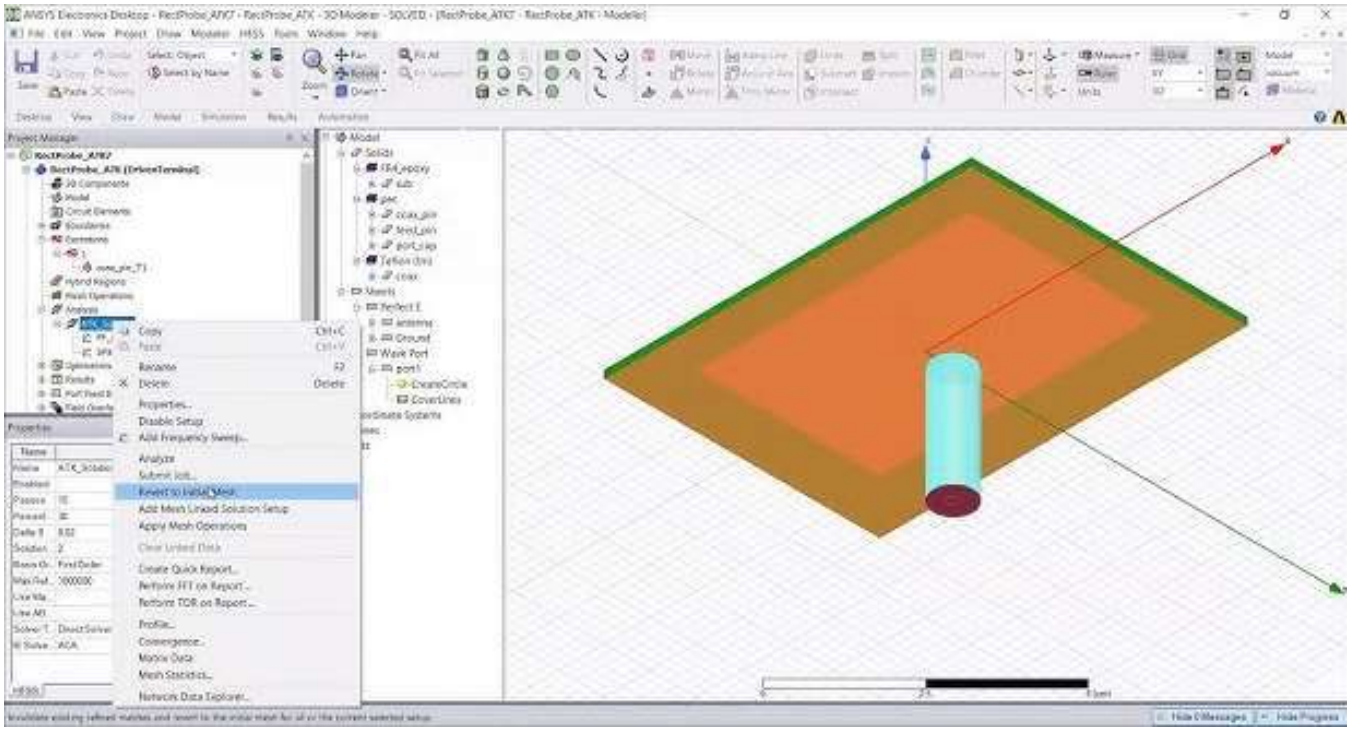
جدول (1): ابعاد الهوائي الشريطي المستطيل (كل الابعاد cm)

Parameter	Value	Parameter	Value	Parameter	Value
W_p	4	W_s	10	x_f	-0.5
L_p	3	L_s	9	y_f	0

٢-٦-١ النتائج

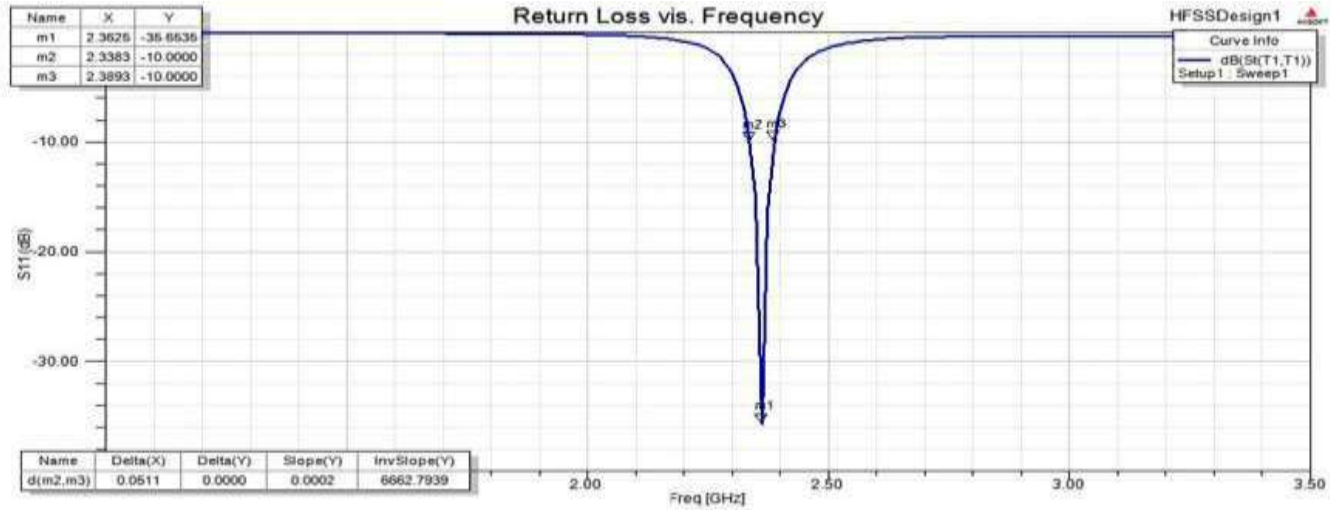
1- الخسارة الراجعة Return Loss وعرض الحزمة الترددية Bandwidth

بعد العمل على البرنامج وتحديد المعاملات التي تم تحديدها من خلال الحسابات النظرية تم تصميم النموذج ليصبح بالشكل (2-6)



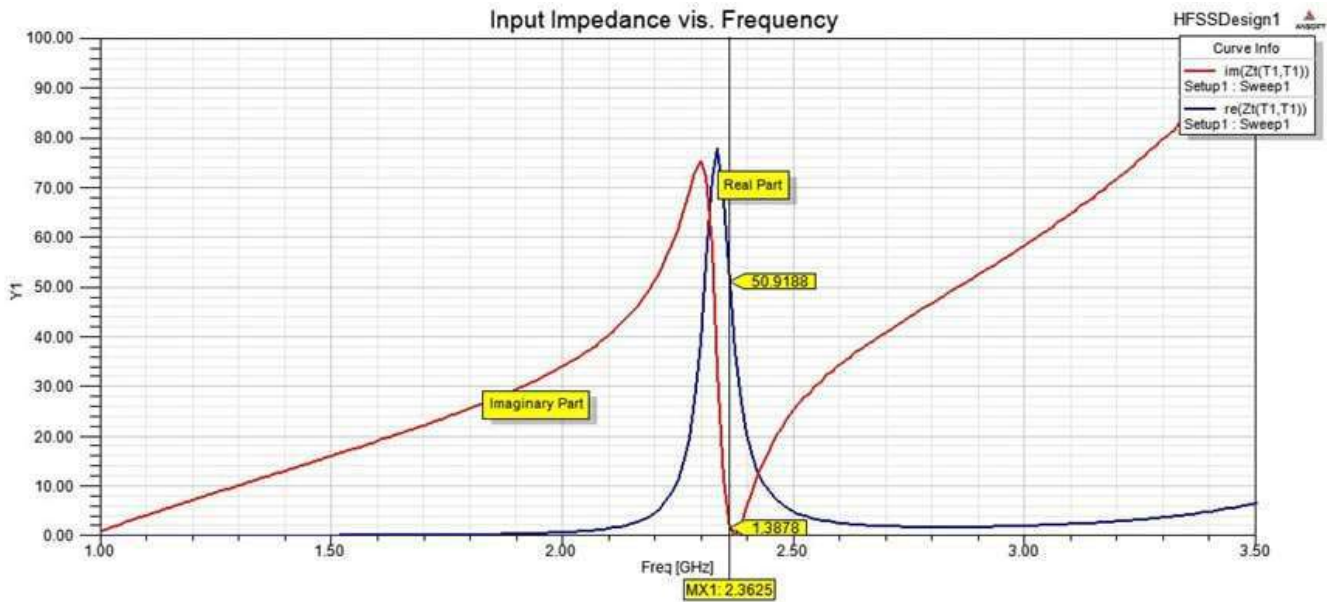
شكل (2-6): تصميم ثلاث الابعاد للنموذج

يمثل الشكل (2-7) الخسارة الراجعة للنموذج كدالة للتردد



شكل (2-7): الخسارة الراجعة كدالة للتردد للهوائي الشريطي المستطيل

يمثل الشكل اعلاه الخسارة الراجعة التي تمثل نسبة الموجة الساقطة والموجة المنعكسة من المغذي للهوائي الشريطي، يتضح من الشكل ان نسبة الموائمة والتي تعني ان ممانعة الادخال لخط النقل Z_0 قريبة من ممانعة الحمل (ممانعة الهوائي) والذي يدل على الاختيار الجيد لأبعاد خط النقل كما هو واضح من الشكل (2-8) لممانعة الادخال كدالة للتردد.

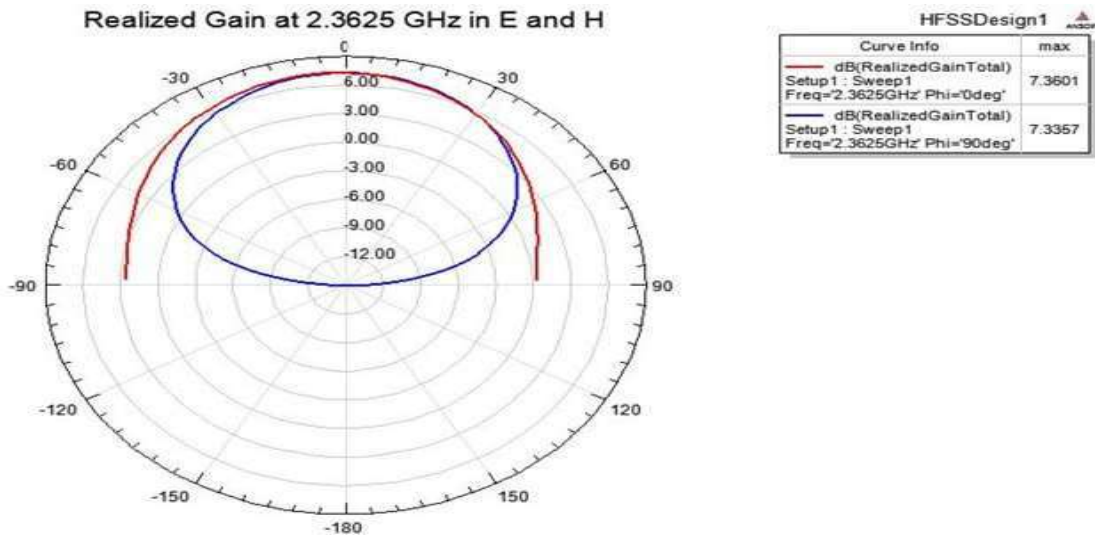


شكل (8-2): ممانعة الادخال Z_{in} (الجزء الحقيقي والتخيلي)

2- هيكل الاشعاع Radiation Pattern

1-2 التحصيل Gain:

التحصيل هو النسبة بين القدرة المشعة في أي اتجاه الى القدرة الداخلة للهوائي عن طريق المغذي والذي يمثل كفاءة الهوائي في تحول الطاقة الداخلة الى اشعاع في المنطقة البعيدة Far-Field region يلاحظ من الشكل (9-2) ان اشعاع الهوائي يكون في المستوى العلوي وبقيمة قصوى 7.36 dB و 7.35 dB للمستويين الاساسيين الكهربائي والمغناطيسي E and H Planes.



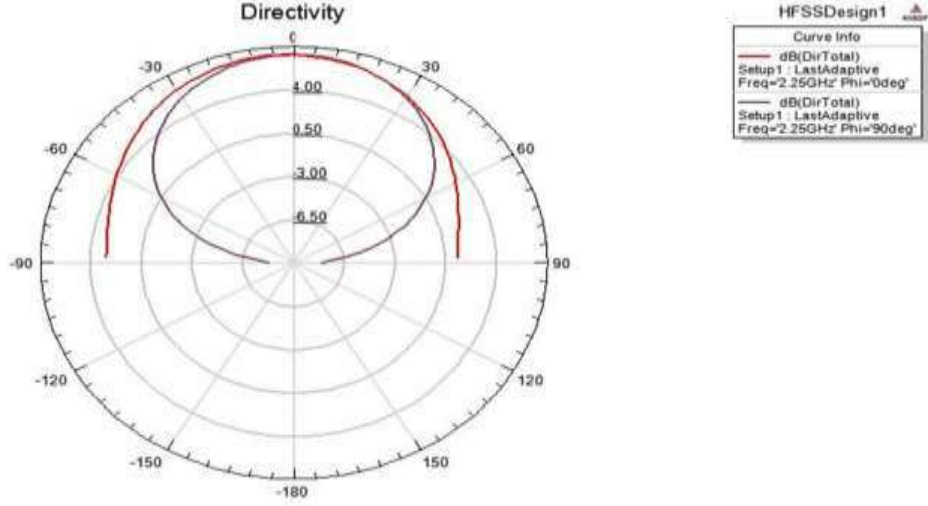
شكل (9-2) التحصيل عند التردد 2.3625GHz

٢-2 الاتجاهية Directivity

بالالاتجاهية تمثل توزع الطاقة الاشعاعية والتي ترتبط ارتباطا وثيقا بالتحصيل من خلال العلاقة

$$G = eD$$

حيث e تمثل كفاءة الاشعاع للهوائي ($0 < e < 1$). وتمثل الاتجاهية مقياس لمدى تغطية الهوائي، ويبين الشكل (10-2) اتجاهية الهوائي عند التردد الرنيني.



شكل (٢، ٩) الاتجاهية عند التردد 2.3625GHz

7-2 المناقشة

كسب الهوائي هو مقياس كفاءة الهوائي، ويصف المسافة التي يمكن أن تنقلها الإشارات عبر الفضاء، بينما اتجاهية الهوائي تقيس قدرة الهوائي على إشعاع الطاقة في اتجاه معين. كلما زاد الكسب، زادت مسافة انتقال الإشارات. يظهر الشكلين (9-2) و (10-2) تصميم معاملات الهوائي شريطي مستطيل عند تردد 2.3625GHz.

الفصل الثالث الجزء العملي

The Practical

تعد الهوائيات الشريطية المستطيلة (Rectangular Patch Antennas) من أكثر أنواع الهوائيات (Microstrip) المستخدمة في التطبيقات اللاسلكية، نظرا لصغر حجمها، وخفة وزنها، وسهولة تصنيعها. تعتمد هذه الهوائيات على مبدأ الرنين حيث تتكون من رقعة معدنية مستطيلة الشكل موضوعة فوق طبقة عازلة (Substrate) ومتصلة بسطح أرضي (Ground Plane). يتم تغذيتها باستخدام تقنيات مختلفة مثل خط التغذية الشريطي (Microstrip (Line) أو التغذية بالحلقات (Probe Feed). [١].

٣-٢ تصميم ومحاكاة الهوائي الشريطي المستطيل

تتم خطوات تصميم هوائي الشريحة الرقيقة عبر تطبيق مجموعة من المعادلات التجريبية لحساب الأبعاد الأولية للرقعة المشعة التقليدية المستطيلة الشكل لهوائي الشريحة الرقيقة [17] حساب عرض الرقعة المشع (W) عند التردد الرنيني f_r وثابت العزل النسبي ϵ_r للهوائي و ارتفاع الطبقة العازلة h وفق المعادلة للنمط TM_{10}

$$f_{r10} = \frac{c}{2L\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$W = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_{eff} + 1}}$$

حيث c تمثل سرعة الضوء و ϵ_{eff} تمثل ثابت العزل المؤثر effective dielectric constant وتعطى بالعلاقة

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-1/2}$$

حيث h يمثل ارتفاع الركيزة

وعند الأخذ بنظر الاعتبار مجالات الحافة فإن الطول المؤثر يعطى بالعلاقة

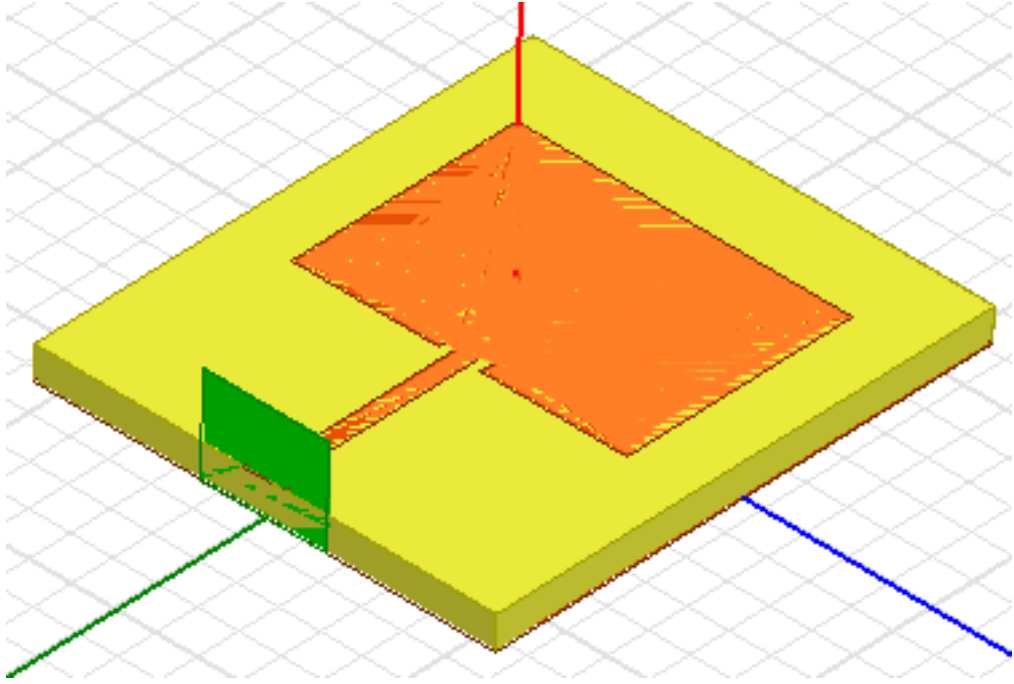
$$L_{eff} = L + \Delta L$$

و ΔL تمثل الزيادة بالطول بسبب مجالات الحافة وتعطى بالعلاقة

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.246 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)}$$

بعد عرض المعالجة النظرية لمعاملات الهوائي الشريطي سابقا والتي تندرج في ايجاد ابعاد الهوائي (عرض وطول المشع Patch وارتفاع وابعاد الركيزة). في بحثنا هذا سيتم تصميم هوائي شريطي مستطيل باستخدام برنامج المحاكاة (HFSS) كما في شكل (3-1)، وفق المعطيات التالية:

تردد الرنين (5.8GHz) ومادة الطبقة العازلة (FR4-Epoxy) بثابت عزل نسبي (4.4) ونسبة خسارة كهربائية $\tan \delta = 0.02$



شكل (1-3): الهوائي الشريطي المستطيل المقترح

باستخدام المعادلات المذكورة سابقاً لتحديد كل من نصف القطر الفيزيائي a والفعال ae وباستخدام بعض البرامج الخاصة بتحديد طول خط النقل الذي يوفر موئمة بين ممانعة الحمل (Z_L) وخط النقل (Z_0) والهوائي (Z_L) يوضح الجدول (1-3) المعاملات التي تم الحصول عليها

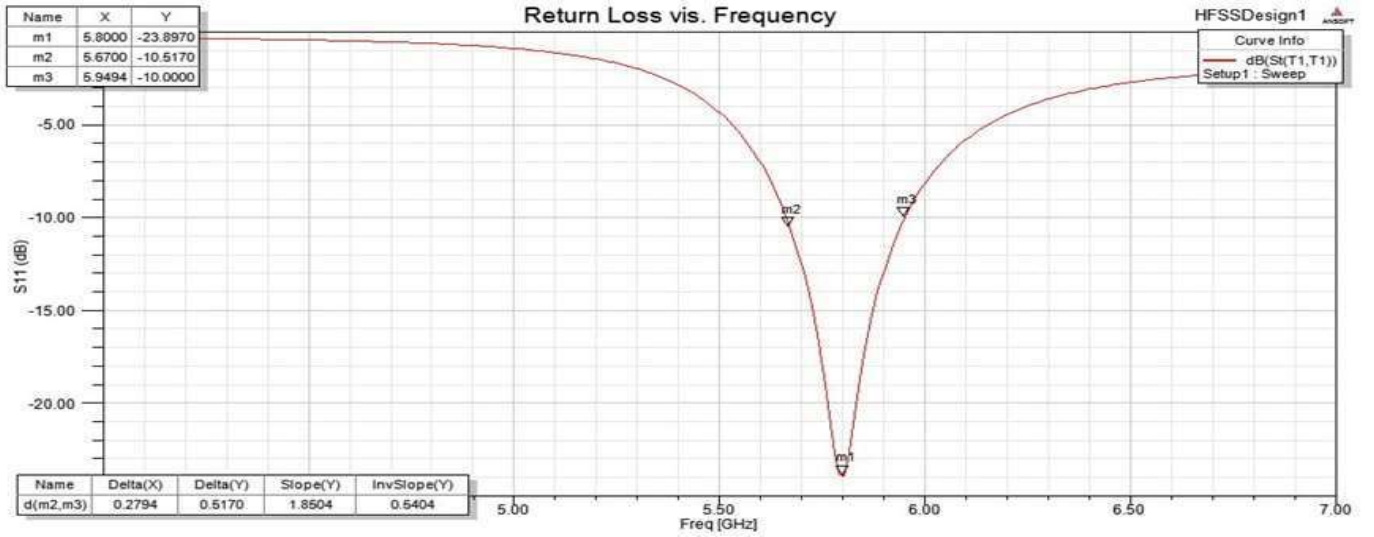
جدول (٣-١) معاملات الهوائي قيد الدراسة

المعامل	القيمة
تردد الرنين (GHz)	5.8
المادة	FR4-Epoxy
ثابت العزل (ϵ_r)	4.4
الخسارة العازلة ($\tan\delta$)	0.02
الارتفاع (h) (mm)	1.6
طول الطبقة (L_s) (mm)	25
عرض الطبقة (W_s) (mm)	22
طول الهوائي (L) (mm)	11.25
عرض الهوائي (W) (mm)	16
طول خط النقل (L_1) (mm)	8.0
عرض خط النقل (W_1) (mm)	4.89

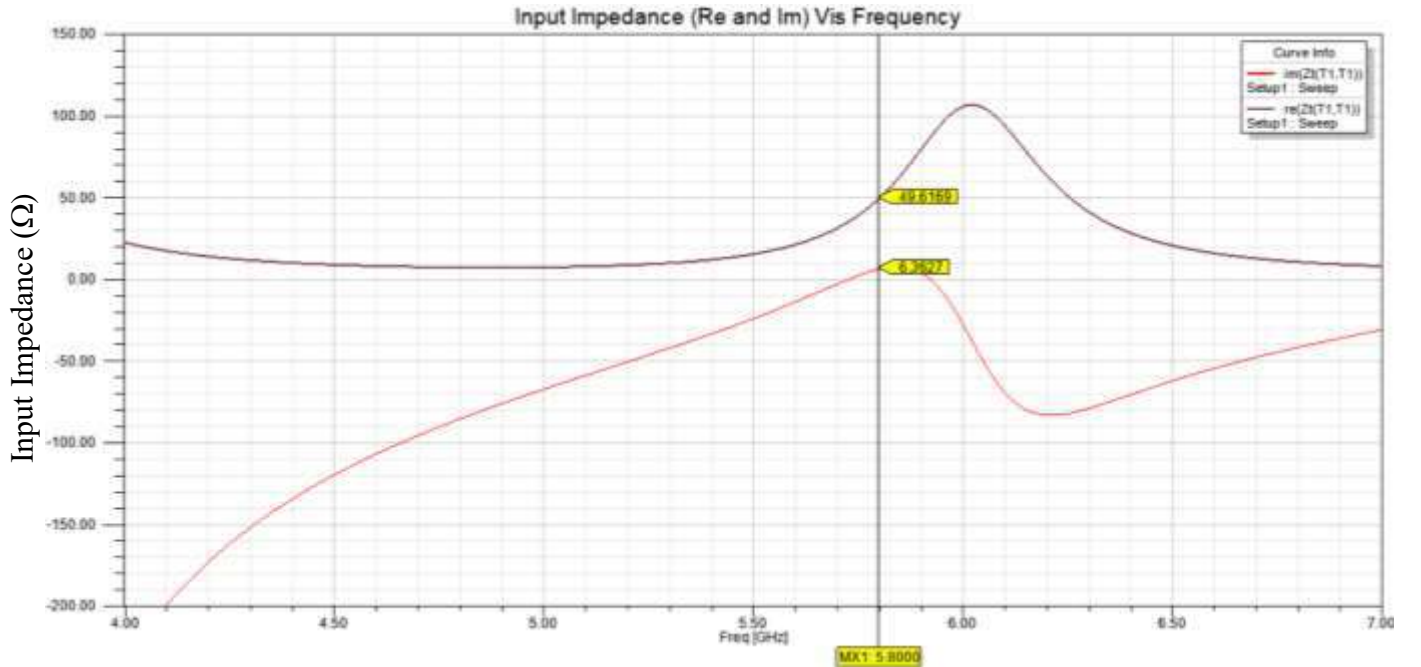
٣-٣ النتائج

٣-٣-١ الخسارة الراجعة Return Loss

تعد الخسارة الراجعة Return Loss من أهم المعاملات التي من خلالها يتم التأكد من الموئمة بين خط النقل وكل من ممانعة المصدر والهوائي وكذلك عرض الحزمة الترددية يبين الشكل (٢،٣) تغير الخسارة الراجعة (dB) كدالة للتردد (GHz). يلاحظ من النتائج ان تردد الرنين مطابق للحسابات النظرية عند 5.8 GHz وبعرض حزمة مساو الى حوالة 28 MHz عن مستوى -23.9 dB. ويلاحظ من الشكل (3-3) ان الموئمة جيدة وان حسابات خط النقل كانت جيدة من خلال التقارب بين ممانعة الحمل Z_L وخط النقل Z_0



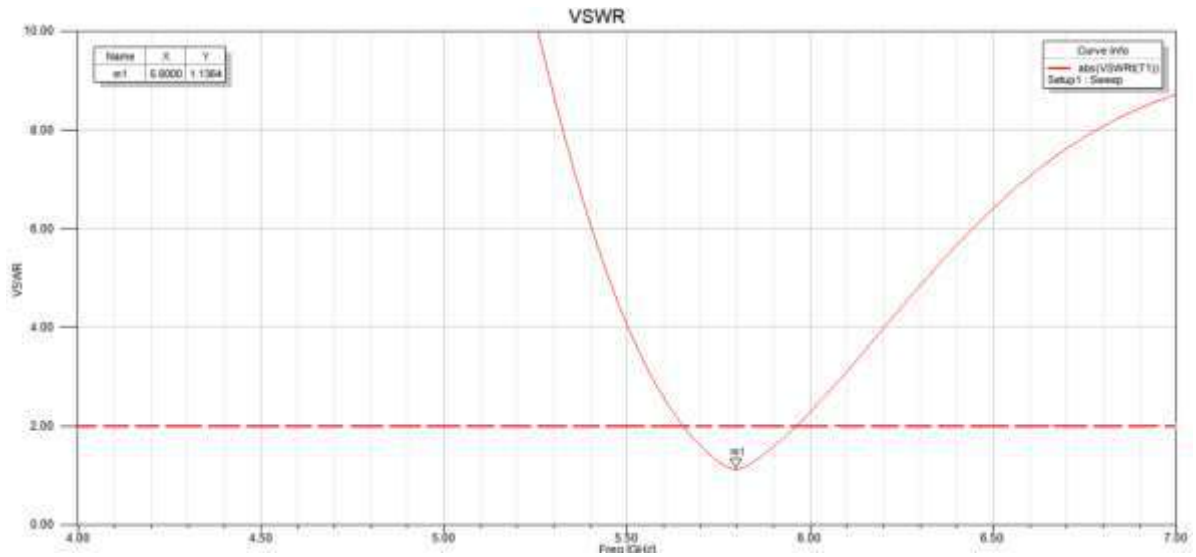
شكل (2-3) الخسارة الراجعة مقابل التردد



شكل (3-3): الممانعة مقابل التردد

٢-٣-٣ نسبة الموجة الواقفة VSWR

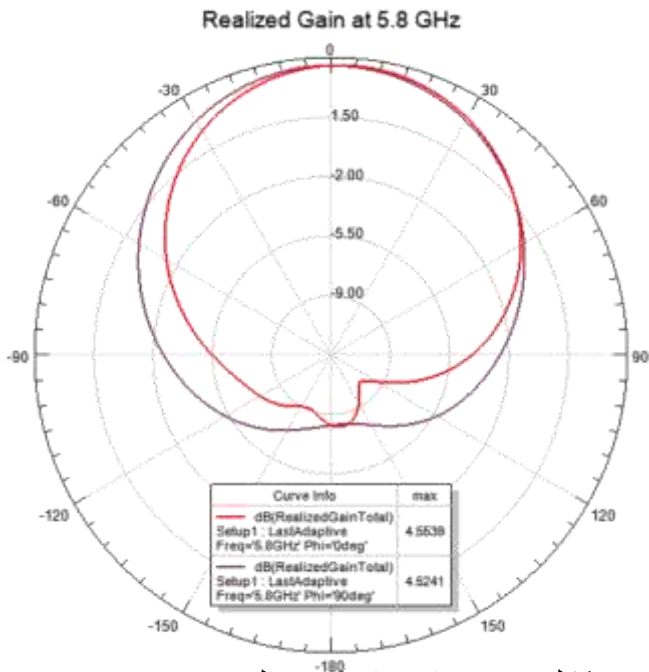
نسبة الموجة الواقفة (VSWR) تعبر عن مدى تطابق معاوقة الهوائي مع خط التغذية، مما يؤثر على كفاءة الإشعاع. عند التردد (5.8GHz) يجب أن تكون قيمة (VSWR) أقل من 2 لضمان تقليل الانعكاسات وزيادة القدرة المشعة. يتم حسابها باستخدام معامل الانعكاس (S_{11})، حيث تعني قيمة 1:2 ويساوي S_{11} تطابقاً جيداً. تحسين VSWR يتم عبر ضبط أبعاد الهوائي، تحسين موضع التغذية، أو استخدام تقنيات مطابقة المعاوقة. يمكن تحليل VSWR عبر المحاكاة في HFSS ورسم بيانه للتحقق من الأداء عند التردد المطلوب كما في الشكل (4-3)



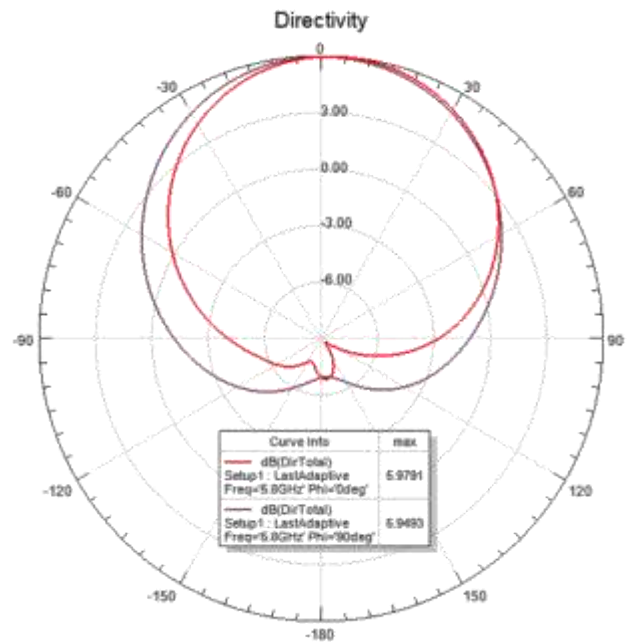
شكل (4-3): نسبة الموجة الواقفة مقابل التردد

٣-٣-٣ التحصيل والاتجاهية

من المعروف أن الهوائي الشريطي يكون اشعاعه بالاتجاه الأعلى ويكون عرض الإشعاع قليل. يوضح الشكل (5-3) هيكل الاشعاع (التحصيل) بالمستويين الكهربائي والمغناطيسي E and H planes. ويمثل الشكل (6-3) الاتجاهية عند نفس التردد



شكل (6-3): الاتجاهية عند التردد 5.8GHz



شكل (5-3): التحصيل عند التردد 5.8GHz

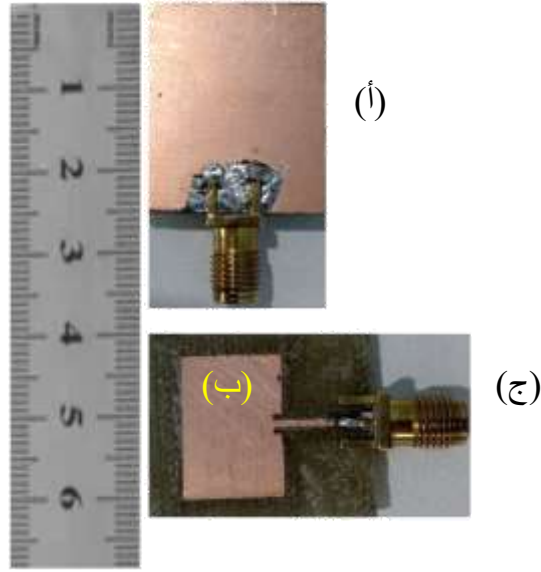
4-3-3 الجزء العملي

بعد التأكد من التصميم من خلال المعادلات الرياضية والمحاكات عبر برنامج HFSS لابد من الانتقال الى الجزء العملي وتصميم النموذج المقترح على ارض الواقع ومقارنة النتائج التجريبية مع النتائج المحاكاة للبرنامج اعلاه

1-4-3-3 تصميم النموذج عمليا

تم عمل النموذج بطريقة المعاملة الكيميائية للركيزة من مادة FR4-Epoxy المطلية بطبقة من النحاس وفق الخطوات التالية:

- 1- رسم النموذج وطباعته على ورقة صقيله باستخدام الطابعة الليزرية
 - 2- تحضير المدة الكيماوية والتي هي عبارة عن ثالث كلوريد الحديد ذي الصيغة الكيماوية Fe_2Cl_3 وتخفيفها بنسب معينة بالماء المقطر لكوين محلول له القدرة على اذابة النحاس
 - 3- طبع النموذج على الركيزة على طبقة النحاس باستخدام المعاملة الحرارية في تثبيت النموذج لكل من المشع وخط النقل على وجه والقاعدة على الوجه الاخر
 - 4- نقل النموذج الى المحلول والعمل على تحريكه لإزالة مناطق النحاس غير المغطاة بالحبر الاسود
 - 5- غسل النموذج بالماء المقطر لإيقاف التفاعل
 - 6- ازالة الحبر الاسود من المناطق المغطاة بالأسيتون
 - 7- تم لحام SMA للتغذية باستخدام الكابل المحوري Coaxial cable
- يمثل الشكل (7-3) النموذج المقترح بعد اكتمال التصميم



شكل (7-3): النموذج العملي (أ) القاعدة (ب) المشع (ج) الـ SMA

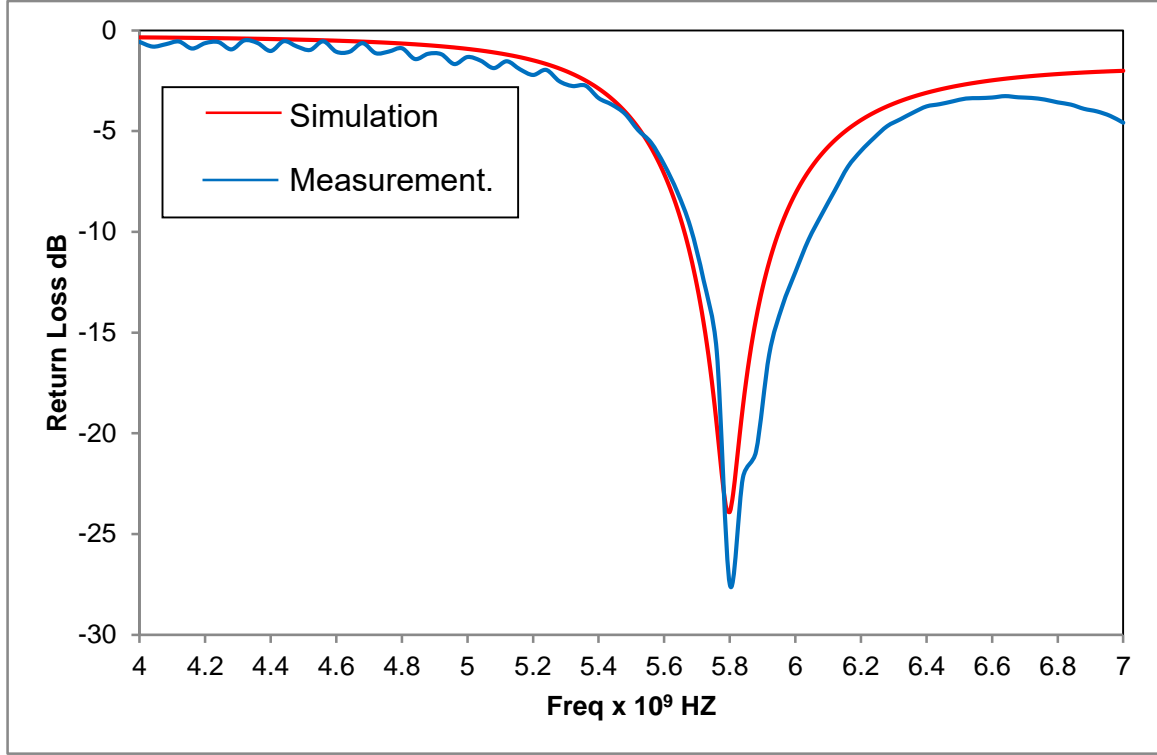
2-4-3-3 مقارنة النتائج

تم قياس معاملات الهوائي الشريطي المستطيل باستخدام Vector Network Analyzer VNA نوع PLANAR 804/1 من شركة COPPER MOUNTEN TECHNOLOGY ضمن المدي 0.1 MHz الى 8 GHz وهي الخسارة الراجعة S_{11} و نسبة الموجة الواقة VSWR. في مختبرات المايكرويف والاتصالات في جامعة البصرة كلية العلوم قسم الفيزياء. ويوضح الشكل (8-3) الجهاز مع الهوائي اثناء القياسات



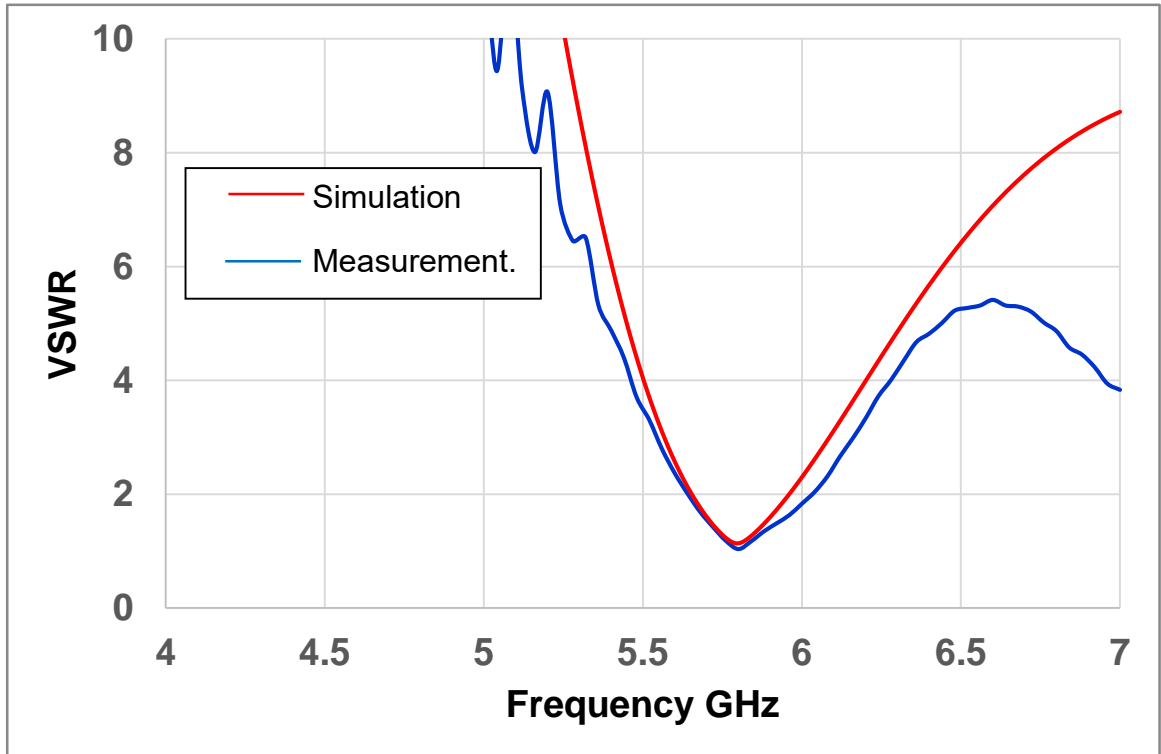
شكل (8-3): جهاز الـ VNA والهوائي الشريطي

يوضح الشكل (9-3) النتائج العملية والمحاكاة للنموذج المقترح للخسارة الراجعة مقابل التردد



شكل (9-3): الخسارة الراجعة مقابل التردد للقياسات العملية والمحاكاة للنموذج المقترح

يوضح الشكل (10-3) النتائج العملية والمحاكاة للنموذج المقترح للموجة الواقفة



شكل (9-3): الموجة الواقفة VSWR مقابل التردد للقياسات العملية والمحاكاة للنموذج المقترح

5-3-3 المناقشة

من الشكل (3-2) يتضح أن الخسارة الراجعة عند التردد 5.8GHz هي أقل من -10db (تقريباً -28db) وهذه النتيجة ممتازة تدل على أن الجزء الأكبر من الإشارة يشع من الهوائي ولا يرتد إلى الخلف. هذه القيمة تشير إلى توافق جيد بين الهوائي وخط التغذية عند هذا التردد. من الشكل (3-3) نلاحظ أن قيمة VSWR عند التردد 5.8GHz أقل من 2، وهو مؤشر جيد جداً لتطابق المعاوقة مما يعني أن القدرة المنعكسة قليلة والكفاءة الإشعاعية مرتفعة. يشير هذا إلى تصميم جيد من حيث تقليل الانعكاسات.

الشكل (5-3) نلاحظ أن الكسب المحقق (Realized Gain) عند 5.8GHz يقترب من 5.5 dB، وهي قيمة مناسبة لتطبيقات الاتصالات اللاسلكية مثل Wi-Fi أو الاتصالات القصيرة المدى.

من الشكل (3-6) نلاحظ أن الاتجاهية (Directivity) تقارب 6.5 dB، مما يدل على أن الهوائي يوجه جزءاً كبيراً من طاقته في اتجاه معين. الهوائي المصمم يعمل بكفاءة عند تردد 5.8GHz، وهو تردد شائع في تطبيقات مثل Wi-Fi و ISM. القيم المنخفضة للخسارة الراجعة و VSWR تشير إلى تصميم جيد من ناحية تطابق المعاوقة. القيم المقبولة للكسب والاتجاهية تدل على أداء مناسب للهوائي في التطبيقات المقصودة.

الاتجاهية المعتدلة توحى بأن الهوائي شبه موجه، ما قد يكون مفيداً في بعض التطبيقات التي تتطلب تغطية في اتجاه معين دون أن تكون عالية التوجيه.

عند مقارنة النتائج العملية والمحاكاة نلاحظ أن هناك اتفاق جيد جداً في معاملات الهوائي من حيث تردد الرنين وعرض الحزمة الترددية لكلا الحالتين للخسارة الراجعة S_{11} والموجة الواقة VSWR.

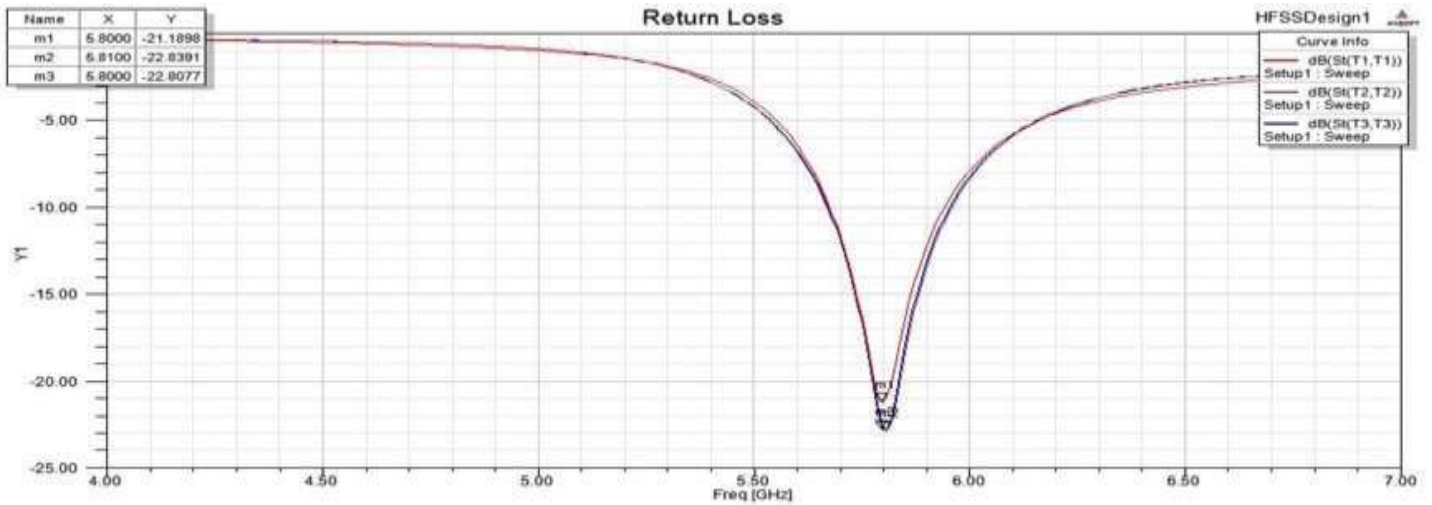
3-4 تقنية MIMO

تعد تقنية MIMO (Multiple Input Multiple Output) من التقنيات المتقدمة المستخدمة في أنظمة الاتصالات الحديثة مثل Wi-Fi، الجيل الرابع (4G)، والجيل الخامس (5G)، حيث تعتمد على استخدام أكثر من هوائي في جهة الإرسال والاستقبال بهدف زيادة سرعة نقل البيانات، تحسين كفاءة الطيف الترددي، وتقليل تأثير التداخل والتأخير الزمني.

يمكن دمج هذه التقنية مع الهوائيات الشريطية المستطيلة بفعالية، وذلك بسبب بساطة تصميم هذه الهوائيات وصغر حجمها، مما يتيح إمكانية ترتيب عدة هوائيات على نفس الركيزة (Substrate) أو في نفس النظام دون الحاجة لمساحة كبيرة. ومن خلال توزيع الهوائيات على مسافات مدروسة (عادة ربع أو نصف الطول الموجي)، يمكن تحقيق فصل جيد بين الإشارات وتقليل التداخل بينها، وهو ما يعرف بـ "العزل (Isolation)"، ويعد من العوامل الأساسية لنجاح تقنية MIMO. في التصميم المقترح لهذا البحث، يمكن مستقبلاً تطوير النموذج الحالي إلى نظام MIMO عبر تكرار نفس الهوائي الشريطي المستطيل المستخدم، وترتيبه بشكل خطي أو مصفوفي مع الأخذ بعين الاعتبار تحسين معامل العزل، ومعامل الترابط (Envelope Correlation Coefficient - ECC)، وذلك لضمان أداء جيد عند استخدام الهوائي ضمن نظام MIMO.

١-٤-٣ العناصر الثلاثية الخطية

١-٤-٣-١ الخسارة الراجعة

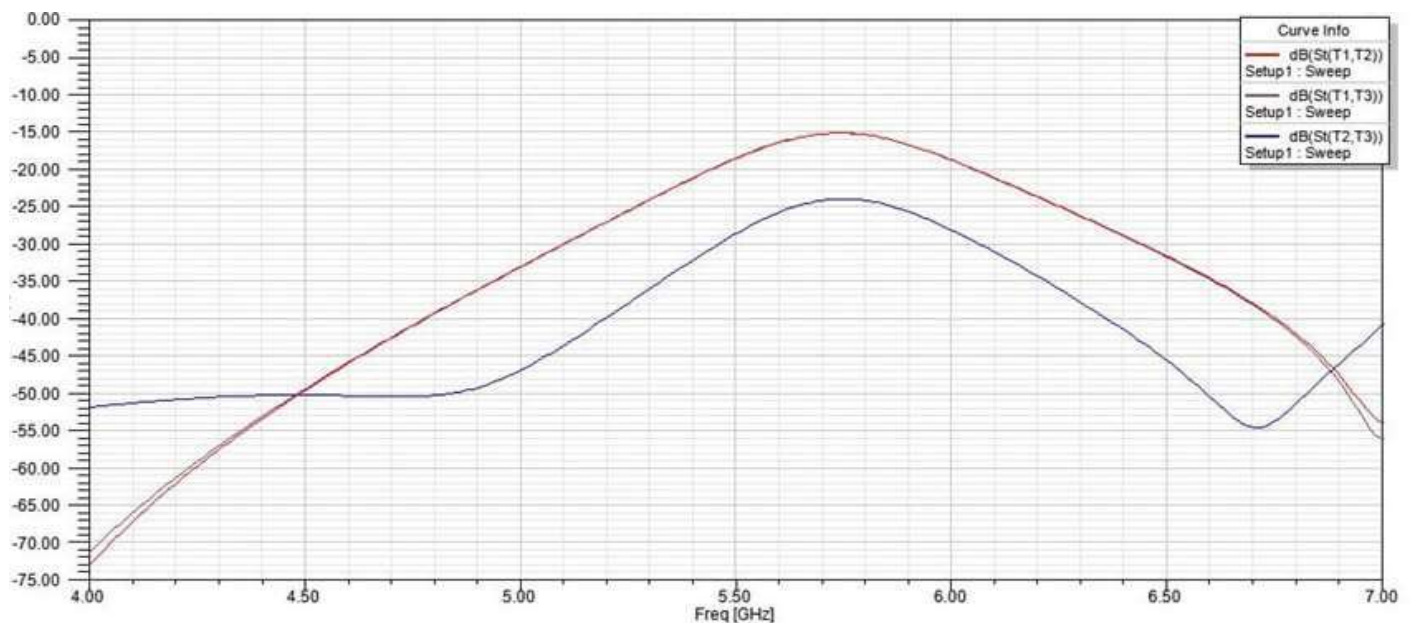


شكل (10-3): الخسارة الراجعة عند التردد 5.5GHz

يبين الشكل (10-3) مخطط الخسارة الراجعة (Return Loss) لمصفوفة الهوائيات المصممة عند التردد المركزي 5.8GHz. توضح النتائج أن قيمة الخسارة الراجعة عند التردد المصمم بلغت حوالي -22.8 dB، مما يشير إلى تطابق ممتاز بين الهوائي وخط التغذية، حيث أن نسبة الطاقة المنعكسة أقل من 1%، بينما يتم إشعاع الجزء الأكبر من الطاقة بفعالية.

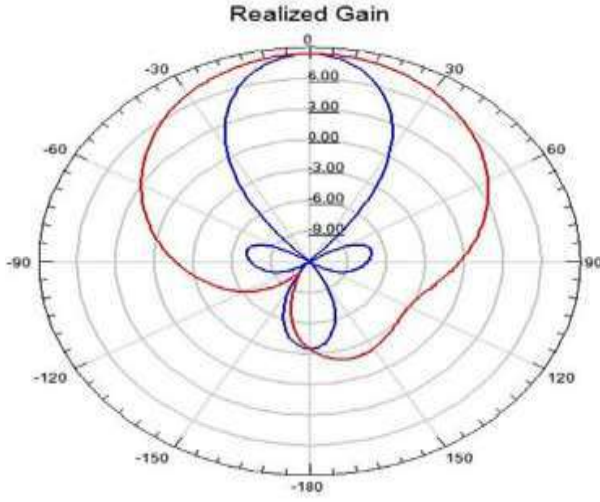
كما يظهر الرسم تطابقاً جيداً بين الخسارة الراجعة للعناصر المختلفة ضمن المصفوفة، مما يعكس استقرار الأداء وضعف التأثيرات السلبية الناتجة عن الاقتران المتبادل بين العناصر، ويثبت صحة توزيع المسافات وتوازن التغذية في التصميم.

٢-١-٤-٣ معامل الاقتران



شكل (11-3): معامل الاقتران المتبادل مقابل التردد

يبين (11-3) أعلاه منحنيات معامل الاقتران المتبادل (S-parameters) بين عناصر المصفوفة المصممة ضمن نطاق التردد من 4 إلى 7 GHz لوحظ أن قيمة الاقتران المتبادل عند التردد المركزي 5.8 GHz أقل من 20 dB بين العناصر المختلفة، مما يدل على أن التأثير المتبادل بين الهوائيات محدود وأن الطاقة المتبادلة المنعكسة بين العناصر ضعيفة، وهو ما يعزز استقرار الأداء الإشعاعي للمصفوفة ويقلل من الاقتران بين العناصر. كما أن انخفاض معامل الاقتران بهذه القيمة يؤكد دقة المسافة الفاصلة بين العناصر وجودة تصميم المصفوفة، مما يضمن أن كل عنصر يعمل بكفاءة عالية دون التأثير الكبير بباقي العناصر.

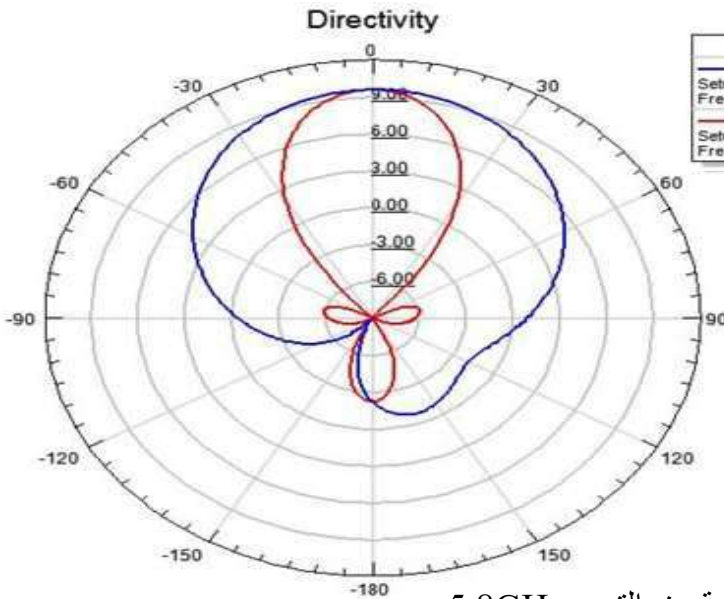


٣-١-٤-٣ التحصيل والاتجاهية

Curve Info	max
dB(RealizedGainTotal) Setup1 : LastAdaptive Freq=5.8GHz' Phi=0deg'	8.4284
dB(RealizedGainTotal) Setup1 : LastAdaptive Freq=5.8GHz' Phi=90deg'	8.4265

شكل (12-3): التحصيل عند التردد 5.8GHz

يوضح (12-3) نمط الإشعاع الخاص بالكسب المحقق (Realized Gain) لمصفوفة الهوائيات عند التردد المركزي 5.8GHz. تم قياس الكسب عند مستويين للزاوية $\Phi = 0^\circ$ و $\Phi = 90^\circ$ ، حيث بلغت قيمة الكسب القصوى حوالي 8.42 dB في كلا الاتجاهين، مما يعكس كفاءة إشعاعية جيدة للتصميم. يظهر النمط الرئيسي Lobes واضحة ومحددة مع مستويات جانبية منخفضة (Side Lobes) مما يدل على تركيز عالي للإشعاع في الاتجاه المطلوب وتقليل التداخل خارج الاتجاه الرئيسي، وهو أمر مهم جداً في تحسين أداء المصفوفة ورفع دقة التوجيه.



Curve Info	max	xdb20Beamwidth(3)
dB(DirTotal) Setup1 : LastAdaptive Freq=5.8GHz' Phi=0deg'	9.6352	91.5371
dB(DirTotal) Setup1 : LastAdaptive Freq=5.8GHz' Phi=90deg'	9.6333	38.5432

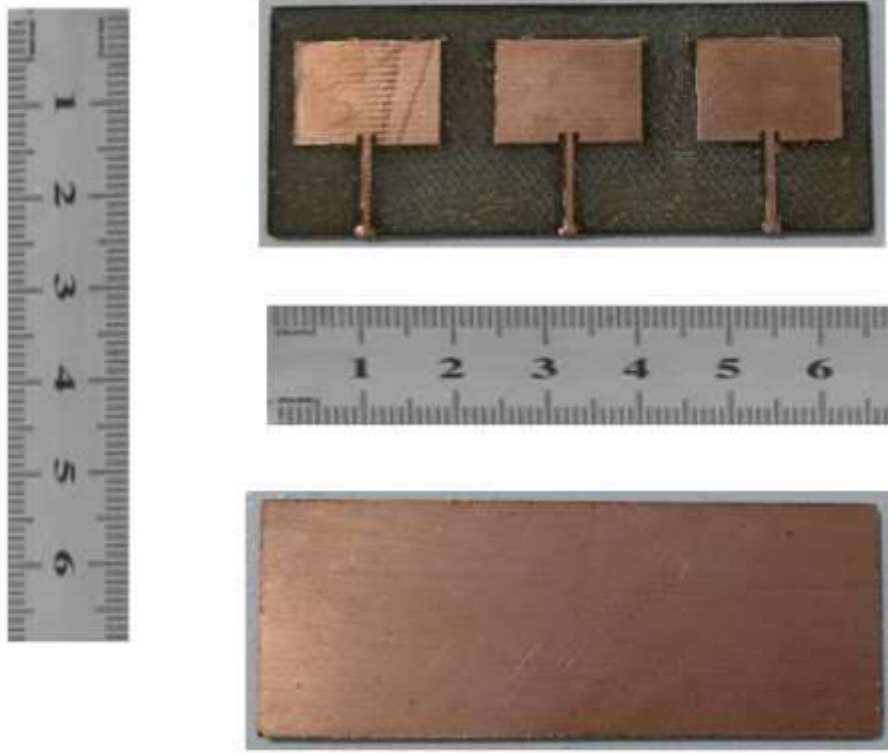
شكل (13-3)الاتجاهية عند التردد 5.8GHz

يوضح (13-3) نمط الاتجاهية (Directivity) لمصفوفة الهوائيات المصممة عند التردد 5.8GHz. يظهر من خلال النتائج أن أعلى قيمة للاتجاهية بلغت حوالي 9.63 dB عند الزاويتين $\Phi = 0^\circ$ و $\Phi = 90^\circ$ ، وهو ما يعكس قدرة الهوائي على

توجيه الطاقة بكفاءة عالية نحو الاتجاه الرئيسي وتقليل الفاقد في باقي الاتجاهات. كما يوضح الرسم عرض الحزمة Half-Power Beamwidth، والذي بلغ 91.5° عند $\Phi=0^\circ$ و 38.5° عند $\Phi=90^\circ$ ، مما يوضح درجة التوجيهية التي يتمتع بها الهوائي وقدرته على تغطية زاوية معينة حسب متطلبات النظام.

٣-٤-٢ التصميم العملي للنموذج

باتباع الخطوات المذكورة في البند 1-4-3-3 تم تصميم المصفوفة الخطية الثلاثية ويوضح الشكل (3-13) النموذج المقترح



شكل (3-13): النموذج العملي للمصفوفة الخطية الثلاثية

٣-٤-٣ المناقشة

أظهرت نتائج المحاكاة أداء مميزا لتصميم الهوائيات عند التردد المركزي 5.8GHz، حيث أوضحت الرسوم البيانية الخاصة بـ "الاتجاهية" و "التحصيل" أن الهوائي المصمم يحقق اتجاها عاليا وكسبا مقبولا يتناسب مع التطبيقات المستهدفة. من خلال الشكل الخاص بـ "الاتجاهية"، يمكن ملاحظة أن الهوائي يتمتع بقدرة تركيز إشعاع مرتفعة في الاتجاه الرئيسي، مع قيمة اتجاهية بلغت حوالي 9.63 dB، (انظر الاشكال (3-5) و (3-6) و (3-12) و (3-13) للمقارنة) ما يدل على كفاءة التوجيه للإشارة وتقليل الفقد في الطاقة باتجاهات غير مرغوبة

كما وضح الشكل أيضا نصف زاوية القدرة (HPBW) والتي كانت تساوي تقريبا 38.5° درجة، ما يعكس تركيزا جيدا لإشارة الإرسال أو الاستقبال. أما في الشكل الخاص بـ "التحصيل"، فقد أظهرت النتائج أن الكسب المحقق يصل إلى 9.42 dB، مما يعكس فعالية الهوائي ضمن بيئة التشغيل المستهدفة، مع وجود توزيع جانبي للأشعة (Side Lobes) منخفض، وهو أمر إيجابي حيث يساهم في تقليل التشويش والتركيز الأفضل في الاتجاه المطلوب. بالنسبة لمعامل الاقتران (S-parameters)، وضحت النتائج أن التصميم يحقق عزلا ممتازا بين عناصر الهوائي عند التردد المركزي، حيث كانت

قيمة S-parameters بين العناصر أقل من -20 dB، مما يعكس جودة الفصل بين العناصر وقلة التأثير المتبادل، وهو ما يؤكد نجاح التصميم من ناحية التحكم في الإشعاع وتحقيق استقرار الأداء ضمن نطاق التردد المطلوب

أخيراً، أظهرت نتائج الخسارة العاكسة (Return Loss) أن الهوائي يقدم أداء جيداً في التردد 5.8GHz بقيمة عاكسة تصل إلى -22.8 dB، وهو مؤشر قوي على تطابق جيد بين الهوائي ونظام الإرسال أو الاستقبال، ويعني ذلك أن كمية الطاقة المنعكسة عن الهوائي قليلة جداً، ما يضمن تحسين كفاءة النقل الكهربائي للإشارة. بصورة عامة، تعكس هذه النتائج نجاح تصميم الهوائي في تحقيق معايير الأداء المطلوبة، حيث تم التأكد من كفاءة التوجيه، استقرار الكسب، وفصل الإشارات بين العناصر، مما يجعله مناسباً للتطبيقات اللاسلكية التي تتطلب دقة وكفاءة عالية.

الفصل الرابع الاستنتاجات و التوصيات

*The Conclusions &
Recommendations*

بعد الحصول على النتائج النظرية من خلال العمل على برنامج المحاكاة HFSS لابد من الخروج بعدد من الاستنتاجات والتوصيات للباحثين الذي يعملون في هذا المجال مستقبلا.

٤-٢ الاستنتاجات

- 1- برنامج HFSS اظهر سهولة في التعامل مع الهياكل الاليكترونية مثل الهوائيات واستحصال النتائج مقارنة بالطرق القديمة القائمة على كتابة البرامج باحد لغات البرمجة
- 2- النتائج التي تم الحصول عليها للنموذج المقترح عن طريق العلاقات النظرية كانت متطابقة مع نتائج المحاكات في الخسارة الراجعة والموجة الواقفة والتحصيل والاتجاهية
- 3- يمكن رسم توزيع التيارات السطحية والمجالات الكهربائية والمغناطيسية ومقارنتها بالنظريات التي تم على اساسها معالجة هذا النوع من الهوائيات كما في الشكل (3-14)

شكل (3-14) : توزيع التيارات السطحية على المشع عند التردد 5.8 GHz

- 4- بين النتائج العملية والمحاكات تقاربا جيدا للنموذج المقترح في الخسارة الراجعة والموجة الواقفة
- 5- قيم الاتجاهية والتحصيل ضمن القيم المتوقعة لمثل هذه الهوائيات
- 6- تم تحسين الاتجاهية والتحصيل من خلال استخدام النموذج المقترح لعمل مصفوفة هوائيات MIMO من خلال مقارنة النتائج بين المصفوفة والعنصر المنفرد
- 7- معامل الاقتران المتبادل يمكن التحكم به من خلال الاختيار الامثل للمسافة الفاصلة بين العناصر ولكن هذا يضيف حجما على المصفوفة الامر الذي يزيد من حجم الجهاز الي يستفاد من هذه التقنية

٤-٣ التوصيات

بالنظر لضيق الوقت ولأجل استكمال الدراسة للخروج بالغاية المتوخاة منها نوصي بالاتي:

- 1- تقليل الاقتران المتبادل بين العناصر من اجل تقليل حجم المصفوفة باستخدام احد التقنيات المتبعة في تقليل
- 2- اجراء القياسات العملية للنموذج المصنع للمصفوفة الثلاثية ومقارنتها بنتائج المحاكاة
- 3- اجراء قياسات لهيكل الاشعاع عمليا ومقارنتها بنتائج المحاكاة

المصادر

The References

1-Constantine A.Balanis, **"Antenna Theory Analysis and Design "**,John wiley & Sons Inc.,Hoboken, New Jersey,Canada,2005

2-Yi, Huang,Kevin Boyle **"Antenna from Theory To Practice "**,University of Liverpool, UK,NXP Semiconductor,UK,2008

3-R.Garg,P.Baharteia,I.J.Bahl and Ittipiboon,**"Microstrip Antenna Design hand Book"** Artech house Inc.,London,2001.

4-"Here's a Quick way to know about Differ typer of Antenna"

<https://www.stprocus.com/different-types-of-antennas-with-properties-and-their-working>

5-David R.Jakson, Dept. of Electronic Communications Engineering, University of Houston, **"Introduction of Microstrip Antenna "**

DepM.of ECE N308 Engineering Building 1 university of Houston,Houston,TX 77204-4005, 2013 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI National Radio Science Meeting AP-S/USNC-URSI

July 7-13, 2013. Orlando, Florida, USA

6- عاصم اسماعيل الحمادي " الهوائي الشريطي الدقيق " 2013

Electronics and Electricity

Email: asemalhamady92@yahoo.com

7-Md.sohel Rana, Md. Mostafizur Rahman Smie **"Design and analysis of Microstrip Patch Antenna for 5G wireless Communications systems "**Bulletin of Electrical Engineering and Informatics

Vol. 11, No. 6, December 2022, pp. 3329-3337, Department of Electronics and Communication Engineering. Khulna University of Engineering and Technology, Khulna, Bangladesh.

8-Ahmad Ghanim Wadday **"PERFORMANCE ANALYSIS OF H-SHAPE MULTI-BAND WITH RECTANGULAR PATCH Microstrip Antenna "**,

AL-MUTHANNA JOURNAL FOR ENGINEERING SCIENCES,2015, Available online at www.mjesch.com.

9-wail A.Godaymi Al-Tuman,Read M.Shaaban,Zeki A.Ahmad,**"Designing a Microstrip Patch Antenna in Part of Ultru -wide band Applications "**Baghdad Science Journal

DOI: [10.21123/bsj.2020.17.4.1216](https://doi.org/10.21123/bsj.2020.17.4.1216), Open Access 2020, 17(4):1216-1222

Department of Physics, College of Science, University of Basrah, Basrah, Iraq.

10-Manpreet Kaur,Mrs.Amanpreet Kaur,Dr.Rajesh Khanna,**"A Microstrip Patch Antenna With Aperture Coupler Techniqe At 5.8GHz& 2GHz"**

International Journal of Modern Engineering Research (UMER) Vol.3, Issue 1, Jan-Feb. 2013 pp-587-594, www.ijmer.com, ISSN: 2249-6645. Thapar University, Patiala.

11-Garima, D Bhatnager JS, Saint, V, K Saxena L, M, Joshi, "Design of broadband Circular Patch Microstrip Antenna with Diamond Shape Slot ", Indian Journal of Radio & Space Physics Vol 40, October 2011, pp 275-281, Microwave Laboratory, Department of Physics, University of Rajasthan, Jaipur 302 004

Central Electronics Engineering Research Institute (CEERI), Pilani 333 031.

12-Eng. Somar Jneid "Design of Phased Antenna Array (Beam forming) for GPS Applications", Higher Institute for Applied Science and Technology -HIAST, P.O. Box 31983, Damascus, Syrian Arab Republic.

13-J.A Ansari and R.B. Ram "BROADBAND STACKED U-Slot Microstrip Patch Antenna" Department of Electronics and Communication University of Allahabad Allahabad-211002, India, Progress In Electromagnetics Research Letters, Vol. 4, 17-24, 2008

**14-Ranjan Mishra, "An overview Microstrip Antenna " Article in HCTL Open International Journal of Technology Innovations and Research (IJTIR) , University of Petroleum and Energy Studies, Volume 21, Issue 2, August 2016
e-ISSN: 2321-1814, ISBN (Print): 978-81-932623-1-3**

15- Amrithesh, Kshetrimayum Milan Singh, "Design of Square Patch Microstrip Antenna For Circular Polarization using HFSS software " ELECTRONICS AND COMMUNICATION ENGINEERING NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ROURKELA ORISSA, INDIA.

16-Trevor S. Bird, "Definition and Misuses of Return Loss"

CSIRO ICT Centre PO Box 76, Epping NSW 1710 Australia

17-Ansoft, "High Frequency Structural Simulator : user's guide", 2013

ANSOFT CORPORATION • 225 West Station Square Drive Suite 200 Pittsburgh, PA 15219 USA