

A New Printed Antenna Structure Design for Medical Applications (2.4 GHz) by Adding Metamaterial Structures under the Antenna Patch

Dr. El-Samau'al Saleh*

Dr. Sadiq Ali**

Amjad Saedy***

(Received 21 / 2 / 2022. Accepted 25 / 7 / 2022)

□ ABSTRACT □

This paper presents a new design for a printed antenna operating at a frequency of (2.4 GHz) suitable for wireless communication equipment used in medical applications for telehealth, which requires providing the best quality of information transfer between the patient's device and the health monitoring center device.

In the first stage we design a reference isotropic antenna operating at the frequency of 2.4 GHz with a return loss of $S_{11} = -22$ dB and a value of $VSWR = 1.15$.

Then we take advantage of the electromagnetic properties resulting from the interaction of the electromagnetic field with the metamaterial structures (Mms) for improving the efficiency of the proposed antenna by adding a metamaterial structure which operates at the 2.4 GHz frequency under the antenna patch.

We obtain a printed antenna operating at a frequency of 2.4 GHz with a return loss of $S_{11} = -40$ dB and a value of $VSWR = 1.005$, meaning that the energy reflected from the antenna is the least possible, and as a result, the radiation energy of the proposed antenna is improved, and the maximum gain value of the proposed antenna is 8.73 dB, and this confirms the role of metamaterial structures in improving antenna efficiency and directivity.

The proposed antenna is designed and analyzed using HFSS simulator and MATLAB program.

Keywords: Printed Antenna, Wireless Medical Applications, Metamaterial Structures, HFSS.

* Professor - Department of Communication Engineering - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Tishreen University - Lattakia, Syria, dr.alsamowalsaleh@tishreen.edu.sy

**Associate Professor - Department of Communication Engineering - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Tishreen University - Lattakia, Syria, sadekhabibali@gmail.com.

*** Postgraduate student (PhD) - Department of Communication Engineering - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Tishreen University - Lattakia, Syria, amjad.saedy@tishreen.edu.sy

تصميم بنية جديدة لهوائي مطبوع يستخدم في التطبيقات الطبية (2.4 GHz) بإضافة تراكيب الميتاماتيريال تحت رقعة الهوائي

د. السموعل صالح*

د. صادق علي**

أمجد سعدي***

(تاريخ الإيداع 21 / 2 / 2022. قُبِلَ للنشر في 25 / 7 / 2022)

□ ملخّص □

يقدم هذا البحث تصميماً جديداً لهوائي مطبوع يعمل عند التردد (2.4 GHz) مناسباً لتجهيزات الاتصالات اللاسلكية المستخدمة في التطبيقات الطبية الخاصة بالرعاية الصحية عن بعد، والتي تتطلب تقديم أفضل جودة لنقل المعلومات بين جهاز المريض وجهاز مركز المراقبة الصحية. في المرحلة الأولى تم تصميم هوائي مرجعي يعمل عند التردد 2.4 GHz بقيمة معامل انعكاس $S_{11} = -22$ dB وقيمة $VSWR = 1.15$ ثم تم الاستفادة من الخصائص الكهرومغناطيسية الناتجة عن تفاعل الحقل الكهرومغناطيسي مع تراكيب الميتاماتيريال (Metamaterials Mms) من أجل تحسين كفاءة الهوائي المقترح، وذلك بإضافة تركيب ميتاماتيريال يعمل عند التردد 2.4 GHz تحت رقعة الهوائي، وحصلنا على هوائي يعمل عند التردد 2.4 GHz بقيمة معامل انعكاس $S_{11} = -40$ dB وقيمة $VSWR = 1.005$ أي أن الطاقة المنعكسة عن الهوائي تكون أقل ما يمكن وبالنتيجة تحسين طاقة إشعاع الهوائي المقترح، كما أن قيمة الريح الأعظمي للهوائي المقترح هي 8.73 dB وهذا يؤكد دور تراكيب الميتاماتيريال في تحسين كفاءة الهوائي واتجاهيته. تم تصميم وتحليل الهوائي المقترح باستخدام المحاكى HFSS، وبرنامج الماتلاب (MATLAB).

الكلمات المفتاحية: الهوائي المطبوع، التطبيقات الطبية اللاسلكية، تراكيب الميتاماتيريال، المحاكى HFSS

* أستاذ - قسم هندسة الاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

dr.alsamowalsaleh@tishreen.edu.sy

** أستاذ مساعد - قسم هندسة الاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

sadekhabibali@gmail.com.

*** طالب دراسات عليا (دكتوراه) - قسم هندسة الاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

amjad.saedy@tishreen.edu.sy

مقدمة:

أدى التطور الكبير في تقنيات الاتصالات اللاسلكية إلى استخدام هذه التقنيات في المجال الطبي فيما يخص الرعاية الصحية ومراقبة المريض عن بعد، حيث يتم نقل المعلومات بين جهاز المريض وجهاز المراقبة الصحية لاسلكياً باستخدام إحدى تقنيات الاتصالات اللاسلكية التي تقدم معدلات نقل عالية وبأفضل جودة ممكنة [1]. الأمر الذي أدى إلى ازدياد الاهتمام بالدراسات المتعلقة بتصميم الهوائيات المطبوعة المستخدمة في تجهيزات الاتصالات اللاسلكية التي تحقق كفاءة عالية ومناسبة لتقنيات الاتصالات المتطورة (ISM, Wi-Fi, WLAN...).

تعددت طرق تصميم وتحسين بارامترات الهوائيات المطبوعة خاصة فيما يتعلق بطاقة إشعاع واتجاهية وريح الهوائي، حيث يتم تقييم أداء وفعالية الهوائي المطبوع بتحليل بارامتراته التي تعبر عن الطاقة المنعكسة عن الهوائي والطاقة المشعة والريح والاتجاهية ونطاق ترددات عمل الهوائي.

تعتبر طاقة إشعاع الهوائي المطبوع من أهم بارامتراته، تزداد طاقة الإشعاع بنقصان الطاقة المنعكسة عن الهوائي والتي يعبر عنها بما يسمى معامل الانعكاس (Return Loss) أي أن طاقة إشعاع الهوائي تزداد بنقصان قيمة معامل الانعكاس، لذلك فإن دراسة طاقة الإشعاع تتم بدراسة تغير قيم معامل الانعكاس بدلالة ترددات عمل الهوائي.

ويُعتبر ربح الهوائي المطبوع مقياساً لمدى كفاءة الهوائي واتجاهيته، ويُعرف بأنه نسبة شدة الإشعاع في اتجاه ما إلى الإشعاع من هوائي أيزوتروبي مرجعي يثبت في جميع الاتجاهات [2,3].

برز خلال السنوات الأخيرة اهتماماً كبيراً بالأبحاث المتعلقة بتراكيب الميتاماتيريال واستجابتها للحقل الكهرومغناطيسي، حيث تم استخدامها في بنية الهوائي المطبوع لتحسين كفاءته، وذلك بالاستفادة من الخصائص الكهرومغناطيسية الناتجة عن تفاعل الحقل الكهرومغناطيسي مع بنيتها بحيث يمكن التحكم باتجاه ومجال إشعاع الهوائي المطبوع [4].

أهمية البحث وأهدافه:

تعتبر أنظمة الرعاية الصحية عن بعد من أهم أنظمة الاتصالات اللاسلكية المتطورة في الوقت الراهن، وتشمل هذه الرعاية مراقبة المريض عن بعد وإرسال واستقبال المعلومات الطبية بين المريض ومراكز العلاج الصحي، ويمكن أن تشمل هذه الأنظمة، على سبيل المثال: قياس الضغط وتخطيط القلب و..... حيث يتم تركيب جهاز لاسلكي على المريض ويتصل هذا الجهاز بنظام لاسلكي متطور في مركز المعالجة الصحية [1].

إن أهمية الخدمات الإنسانية والعلمية التي تقدمها هذه الأنظمة الطبية اللاسلكية أدت إلى ازدياد الاهتمام بالأبحاث المتعلقة بتصميم وتصنيع تجهيزات لاسلكية تحقق أفضل كفاءة وثوقيه خاصة فيما يتعلق بنقل المعلومات بين المريض وأجهزة المراقبة.

وبما أن الهوائي المطبوع يعتبر عنصراً أساسياً في أجهزة الاتصالات اللاسلكية يقدم في هذا البحث تصميماً جديداً لهوائي مطبوع يعمل عند تردد مناسب للتطبيقات الطبية اللاسلكية ويحقق كفاءة عالية مناسبة لعمل الأجهزة الطبية اللاسلكية المتطورة.

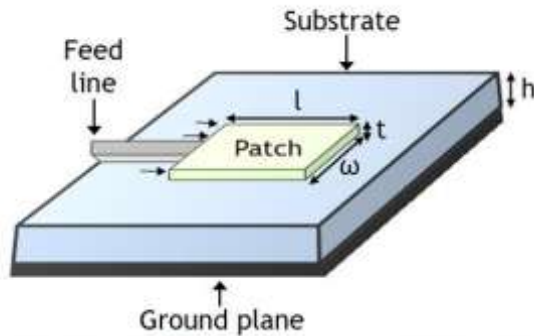
طرائق البحث ومواده:

1-الهوائي المطبوع:

تعتبر الهوائيات المطبوعة أحد أكثر الهوائيات انتشاراً في مجال الاتصالات اللاسلكية حيث تستخدم بشكل واسع في التجهيزات اللاسلكية المتطورة كتجهيزات الانترنت والتجهيزات الطبية والخليوية ونقل المعلومات

1-1- بنية الهوائي المطبوع:

يتكون الهوائي المطبوع من رقعة معدنية سماكتها مهملة بالنسبة لطول الموجة وأبعاد الهوائي، مطبوعة على طبقة أساس عازلة ثابت عازليتها ϵ_r وارتفاعها h كما هو موضح في الشكل (1). في أسفل طبقة الأساس يوجد طبقة معدنية كاملة تعبر من مستوي الأرضي، وتكون الرقعة المشعة غالباً بشكل مربع أو مستطيل أو دائري، نظراً لسهولة التحليل الرياضي والتصنيع. يتم تغذية الهوائي المطبوع باستخدام شريط ناقل ذو عرض أصغر من عرض رقعة الهوائي، ويمكن استخدام مغذيات كخط النقل المحوري حيث يربط الناقل الداخلي مع رقعة الهوائي والناقل الخارجي إلى مستوي الأرضي.[2]



الشكل (1): بنية الهوائي المطبوع [2]

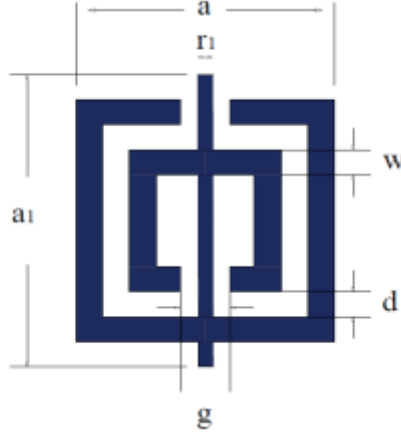
1-2- مزايا الهوائيات المطبوعة: [2,3]

- 1- وزنها الخفيف وحجمها الصغير.
 - 2- تعمل في الاستقطاب الخطي والدائري.
 - 3- تكلفتها المنخفضة.
 - 4- متينة ميكانيكياً عندما توضع على السطوح الصلبة.
- #### 1-3- العوامل المؤثرة على كفاءة الهوائي المطبوع: [2,3]
- 1- ضياعات العازلية.
 - 2- ضياعات التوصيل.
 - 3- الطاقة المنعكسة (Voltage Standing Wave Ratio) VSWR.
 - 4- الطاقة المنتشرة عن الهوائي.

2- تراكيب الميتاماتيريال (Metamaterials Mms) :

2-1- بنية تراكيب الميتاماتيريال:

توصف هذه التراكيب بأنها تراكيب مصنعة من رنانات ذات حلقات مشطورة (SRR) (Split Ring Resonator) مع أسلاك معدنية مستقيمة، حيث تتكون خلية SRR من حلقتين مصنوعتين من النحاس مطويتين متحدتي المركز مع شق في كل منهما كما هو موضح في الشكل (2) [5]، بحيث:



a: طول الحلقة الخارجية

d: المسافة بين الحلقتين

w: سماكة المعدن

g: عرض الشق

a₁: طول السلك المعدنيr₁: عرض السلك المعدني

الشكل (2): بنية وأبعاد تراكيب Mms

2-2- تصنيف المواد حسب معاملي السماحية الكهربائية ϵ والنفاذية المغناطيسية μ :

ينتج عن تفاعل الحقل الكهرومغناطيسي مع الأجسام عدد من الظواهر التي تؤثر على مسار الموجة الكهرومغناطيسية كالانعكاس والانكسار والتشتت والانحراف

ويحدد هذا التفاعل الكهرومغناطيسي بمعاملات المادة (السماحية الكهربائية ϵ والنفاذية المغناطيسية μ)، أي أن تفاعل الحقل الكهرومغناطيسي مع المادة يتعلق بقيمة معامل الانكسار (n) ويُعبر عنه بدلالة السماحية الكهربائية الفعالة

(ϵ_{eff}) والنفاذية المغناطيسية الفعالة (μ_{eff}) بالمعادلة الرياضية التالية: [6]

$$n = \pm \sqrt{\epsilon_{eff} \mu_{eff}} \quad (1)$$

لذلك تم تصنيف المواد حسب قيم معاملي السماحية الكهربائية والنفاذية المغناطيسية إلى أربعة أصناف وهي: [2]

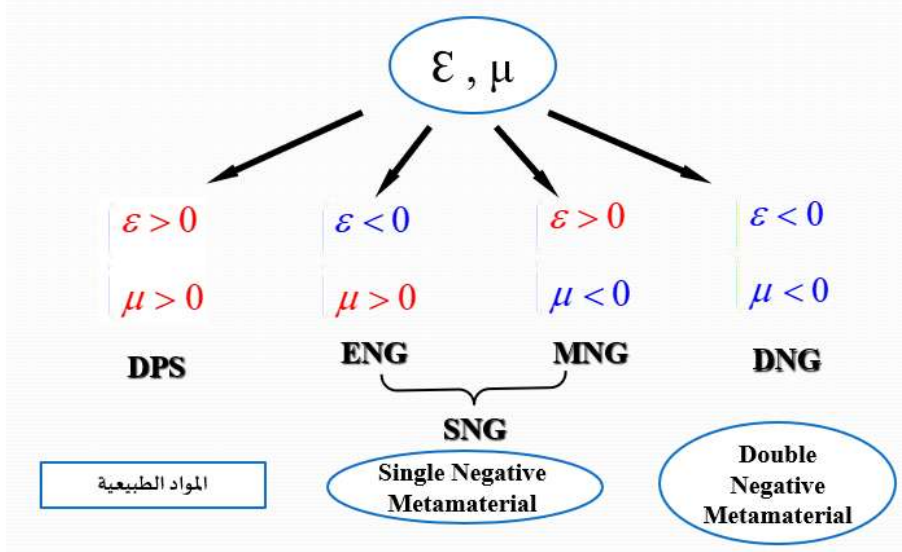
1- المواد الطبيعية (DPS) (ϵ, μ موجبان معاً) وهي المواد موجبة معامل الانكسار.

2- المواد سالبة السماحية الكهربائية (ENG).

3- المواد سالبة النفاذية المغناطيسية (MNG).

4- مواد الميتاماتيريال (DNG) (ϵ, μ سالبان معاً) وهي المواد سالبة معامل الانكسار.

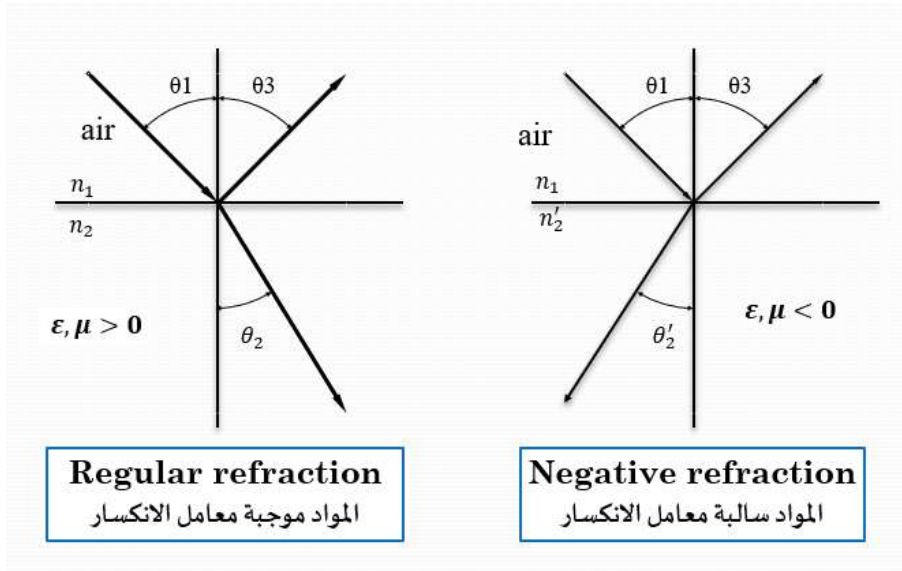
يبين الشكل (3) تصنيف المواد حسب معاملي السماحية الكهربائية والنفاذية المغناطيسية



الشكل (3): تصنيف المواد حسب معاملي السماحية الكهربائية والنفاذية المغناطيسية

2-3- ظاهرة الانكسار في المواد الطبيعية والمواد سالبة معامل الانكسار:

يبين الشكل (4) ظاهرة الانكسار في المواد الطبيعية ومواد Mms حيث نلاحظ بأنه في المواد الطبيعية تنكسر الموجة الكهرومغناطيسية بالاتجاه الطبيعي عندما تنتقل الموجة من الفراغ إلى وسط ذو دليل انكسار موجب، وتسمى المواد موجبة معامل الانكسار (positive Index Refraction)، أما في مواد Mms تنكسر الموجة الكهرومغناطيسية بعيداً عن الوضع الطبيعي لذلك تسمى المواد سالبة معامل الانكسار (Negative Index Refraction). [6].



الشكل (4): ظاهرة الانكسار في المواد الطبيعية ومواد MMs

2-4- استخدام تراكيب Mms في تحسين كفاءة الهوائيات المطبوعة: [7,8]

تُستخدم تراكيب Mms في تحسين كفاءة الهوائيات المطبوعة (الريح - طاقة الإشعاع - الاتجاهية- عرض الحزمة) بالاستفادة من خصائصها الكهرومغناطيسية الناتجة عن تفاعل الحقل الكهرومغناطيسي مع بنيتها وفق البنود التالية:

- 1- تقدم تراكيب Mms مجموعة كبيرة من الترددات انطلاقاً من الترددات الراديوية إلى الترددات الضوئية.
- 2- تحسين اتجاهية الهوائي من خلال التحكم باتجاه الإشعاع وجمع الطاقة المتولدة في مجال زاوي صغير.
- 3- زيادة مجال مسح إشعاع الهوائي المطبوع من خلال استخدام الأمواج الأمامية والخلفية المتولدة.
- 4- تحسين طاقة إشعاع وريح الهوائي لدورها في إعادة انتشار الإشارات المتخامدة.

النتائج والمناقشة:

تم تصميم وتحليل الهوائي المقترح وفق المراحل التالية:

المرحلة الأولى: تصميم هوائي مرجعي يعمل عند التردد 2.4 GHz:

قمنا بتصميم وتحليل الهوائي المرجعي باستخدام المحاكى HFSS حيث تم حساب أبعاد الهوائي باستخدام المعادلات الرياضية المميزة له [2,3]

يُعطى عرض الرقعة المشعة W بالعلاقة التالية:

$$W = \frac{1}{2\sqrt{\epsilon_0\mu_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{c}{2f_0} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2)$$

ϵ_0 : السماحية النسبية للفراغ.

μ_0 : النفوذية المغناطيسية للفراغ.

c : سرعة الضوء في الفراغ.

بينما تُعطى السماحية النسبية المؤثرة ϵ_{reff} بالعلاقة التالية:

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{\square}{W} \right]^{-1/2} \quad (3)$$

وبسبب الحقل الكهربائي الناتج عند طرفي الرقعة يكون طول رقعة الهوائي الفعال L_{eff} أكبر من الطول الفيزيائي L بمقدار ΔL .

يُعطى الطول الكهربائي الفعال للرقعة المشعة L_{eff} بالعلاقة التالية:

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0\sqrt{\epsilon_{reff}}} = \frac{\lambda_0}{2\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (4)$$

والطول الفيزيائي للرقعة المشعة L :

$$L = L_{eff} - 2\Delta L = \frac{c}{2f_0\sqrt{\epsilon_{reff}}} - 2\Delta L \quad (5)$$

ويُعطى ΔL بالعلاقة التالية:

$$\Delta L = (0.412 * h) \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (6)$$

أما بالنسبة لطول المستوي الأرضي L_g فيعطى بالعلاقة التالية:

$$L_g = 6h + L \quad (7)$$

وعرض المستوي الأرضي W_g يُعطى بالعلاقة التالية:

$$W_g = 6h + W \quad (8)$$

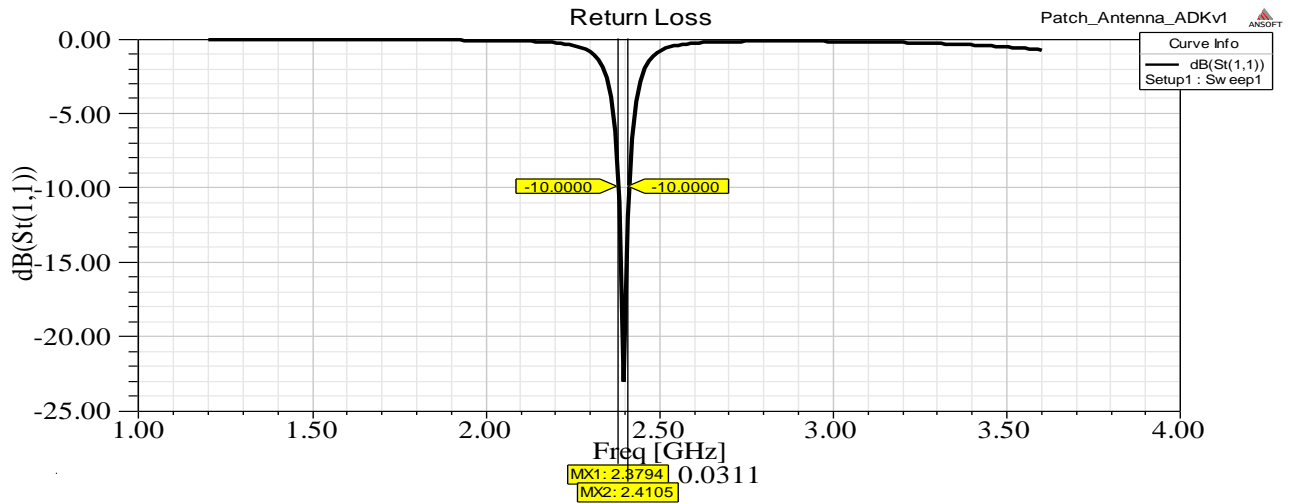
يبين الجدول (1) أبعاد الهوائي المرجعي بوحدة mm يعمل عند التردد 2.4 GHz:

الجدول (1): أبعاد الهوائي المرجعي بوحدة mm يعمل عند التردد 2.4 GHz

أبعاد الفتحة		خط النقل		الطبقة العازلة			الشريحة المعدنية		
W_2	L_2	W_1	L_1	ϵ_r	Sub h	Sub y	Sub x	W	L
2.43	12.63	4.85	38.075	2.2	1.57	123.4	83.6	41.36	49.41

وبين الشكل (5) قيمة معامل الانعكاس عند تردد الهوائي المرجعي ويلاحظ من الشكل (5) بأن الهوائي المرجعي

يعمل عند التردد 2.4 GHz وقيمة معامل انعكاس $S_{11} = -22$ dB



الشكل (5): قيمة معامل الانعكاس S_{11} عند تردد الهوائي المرجعي

المرحلة الثانية: تصميم تركيب Mms يعمل عند التردد 2.4 GHz باستخدام المحاكى HFSS:

تم تصميم تركيب Mms يعمل عند التردد 2.4 GHz بشكل تجريبي باستخدام المحاكى HFSS:

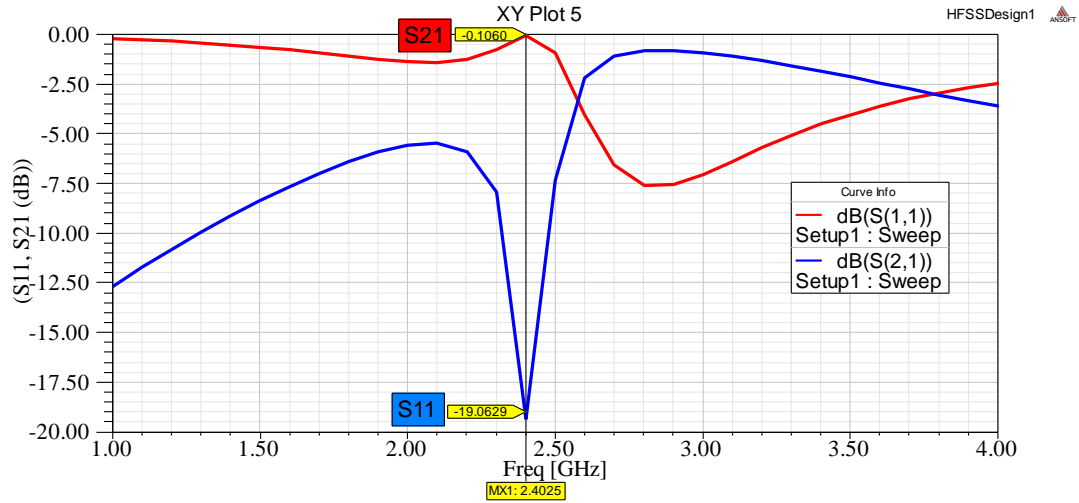
يبين الجدول (2) الأبعاد الفيزيائية لتركيب Mms المقترح:

الجدول (2): الأبعاد الفيزيائية لتركيب Mms المقترح

أبعاد السلك المعدني		أبعاد الرنانة SRR			
r_1	a_1	g	d	w	a
0.4 mm	11 mm	1 mm	1 mm	1 mm	10 mm

قمنا برسم تركيب Mms المقترح على الصفحة الميلمترية للمحاكي وحصلنا على معاملات الارسال S_{21} والانعكاس

S_{11} عند التردد 2.4 GHz كما هو مبين بالشكل (6):



الشكل (6): معاملات الإرسال والاستقبال لتركيب Mms المقترح

نلاحظ من الشكل (6) بأن تركيب الميتاماتيريال المقترح يعمل عند التردد 2.4 GHz حيث يكون معامل الإرسال S₂₁ أعظمي ومعامل الانعكاس S₁₁ أصغري عند تردد العمل: (S₁₁=-19,06 dB, S₂₁=-0.106 dB). ومن أجل استنتاج بارامترات تركيب الميتاماتيريال (السماحية الكهربائية ε والنفاذية المغناطيسية μ ومعامل الانكسار n والممانعة z) قمنا باستخراج قيم معاملات الإرسال S₂₁ والانعكاس S₁₁ وتطبيق المعادلات الرياضية التالية باستخدام برنامج الماتلاب: [6]

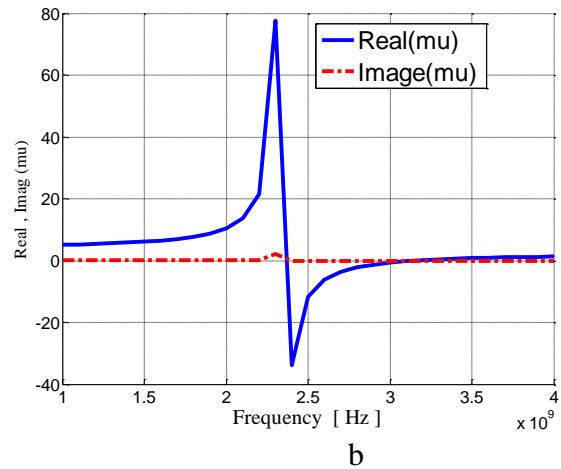
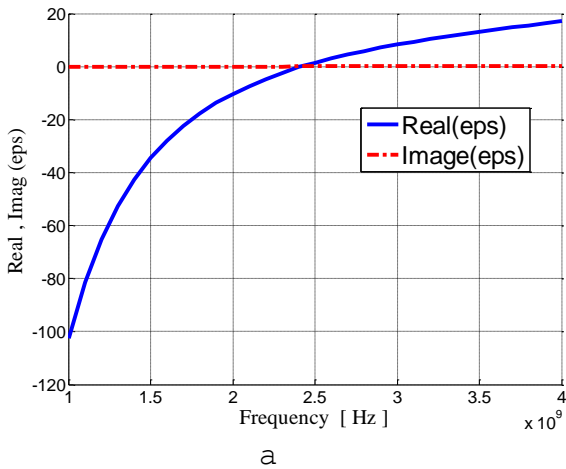
$$\varepsilon = n/z \quad (2)$$

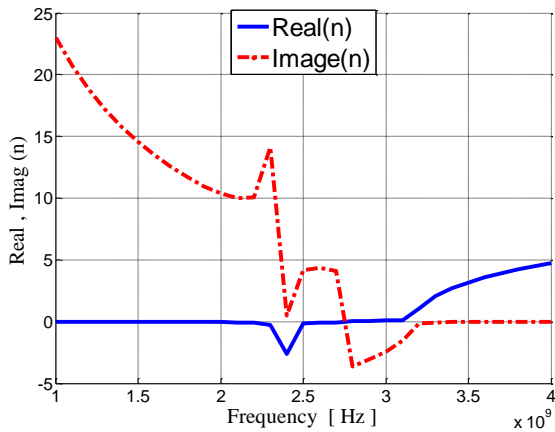
$$\mu = n * z \quad (3)$$

$$z = \sqrt{\frac{(1+s_{11})^2 + s_{21}^2}{(1-s_{11})^2 - s_{21}^2}} \quad (4)$$

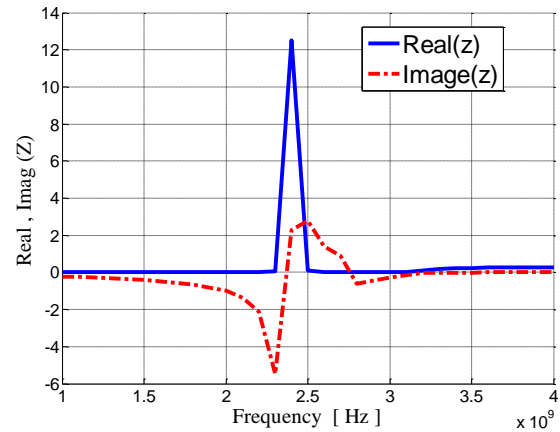
$$n = \cos^{-1} \left[\frac{1}{2s_{21}} (1 - s_{11}^2 + s_{21}^2) \right] \quad (5)$$

تبيين الأشكال (7-a)، (7-b)، (7-c)، (7-d) قيم السماحية الكهربائية ε والنفاذية المغناطيسية μ ومعامل الانكسار n والممانعة z لتركيب Mms المقترح عند تردد العمل:





c



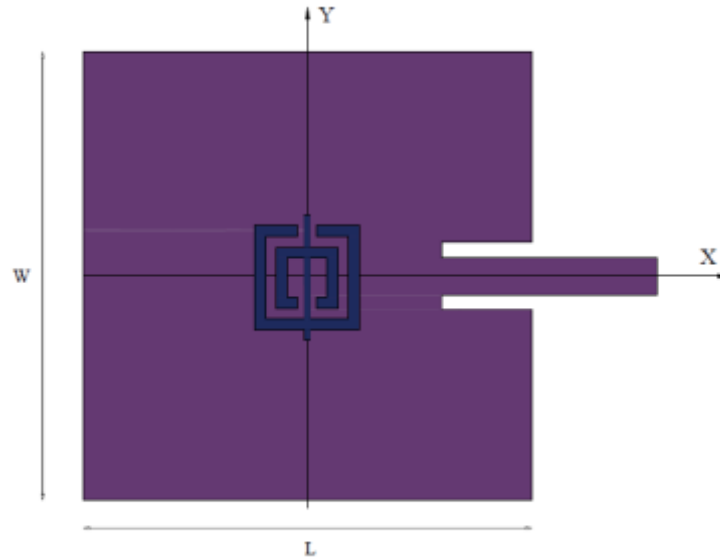
d

الشكل (7): السماحية الكهربائية والنفاذية المغناطيسية ومعامل الانكسار والممانعة لتركيب Mms المقترح عند تردد العمل

نلاحظ من الشكل (7) بأن القسم الحقيقي للسماحية الكهربائية ϵ والنفاذية المغناطيسية μ ومعامل الانكسار n يكون سالباً عند تردد العمل أما الممانعة فيكون القسم الحقيقي أعظماً عند تردد العمل والقسم التخيلي أصغرياً.

المرحلة الثالثة: إضافة تركيب Mms المقترح تحت رقعة الهوائي:

يبين الشكل (8) إضافة تركيب الميتاماتيريال المقترح تحت رقعة الهوائي بارتفاع $(h_1=0.8 \text{ mm})$ عن المستوي الأرضي من أجل تحسين كفاءة الهوائي عند التردد 2.4 GHz:

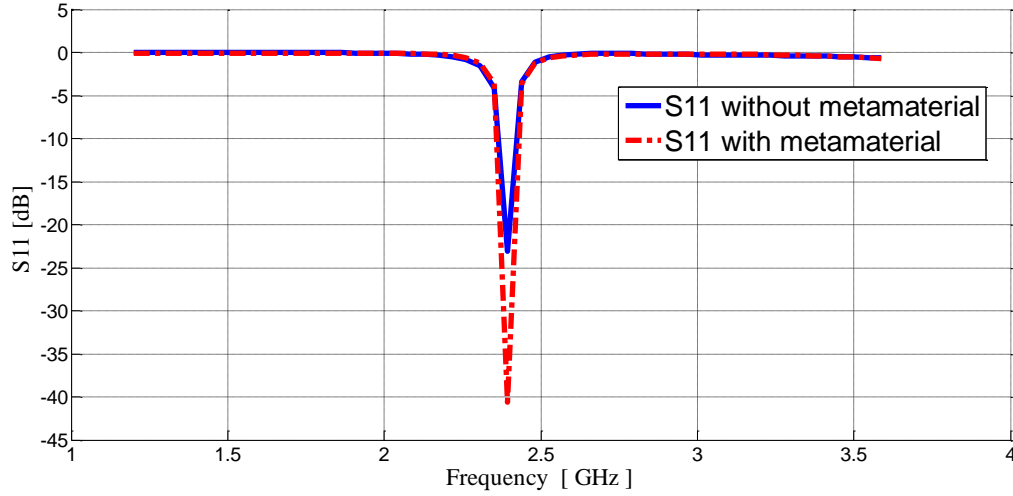


الشكل (8): الهوائي المطبوع المقترح

تم رسم الهوائي المقترح على الصفحة الميلمترية للمحاكي وحصلنا على البارامترات التالية:

1- معامل الانعكاس بدلالة تردد العمل:

يبين الشكل (9) قيم معامل الانعكاس للهوائي المطبوع قبل وبعد إضافة تركيب الميتاماتيريال حيث نلاحظ بأن قيمة معامل الانعكاس بعد إضافة تركيب الميتاماتيريال $(S_{11}=-40 \text{ dB})$ أي أنه تم تحسين قيمة معامل الانعكاس بمقدار 18 dB وبالنتيجة نقصان الطاقة المنعكسة عن الهوائي وزيادة طاقة إشعاعه.

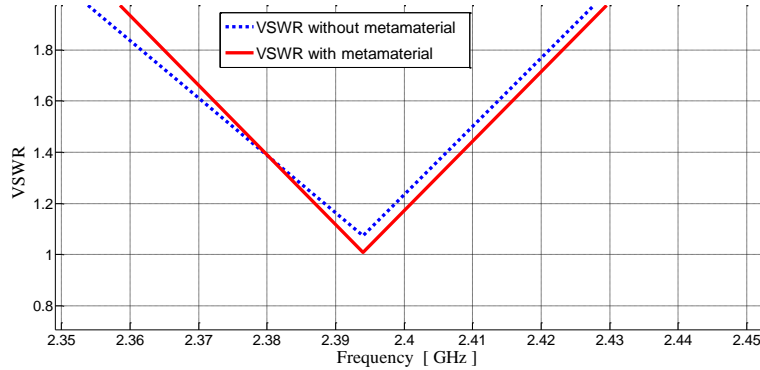


الشكل (9) قيم معامل الانعكاس للهوائي المطبوع قبل وبعد إضافة تركيب الميتاماتيريال

2- قيمة VSWR عند تردد العمل:

تعتبر قيمة VSWR عن عدم تطابق الممانعة بين الهوائي المطبوع ونظام التغذية، أي أنه كلما كانت قيمة VSWR أعلى كلما كان عدم التطابق أعلى، وبالنتيجة تعتبر قيمة VSWR مقياس لمدى كفاءة نقل الطاقة من المصدر إلى الحمل. [3,4]

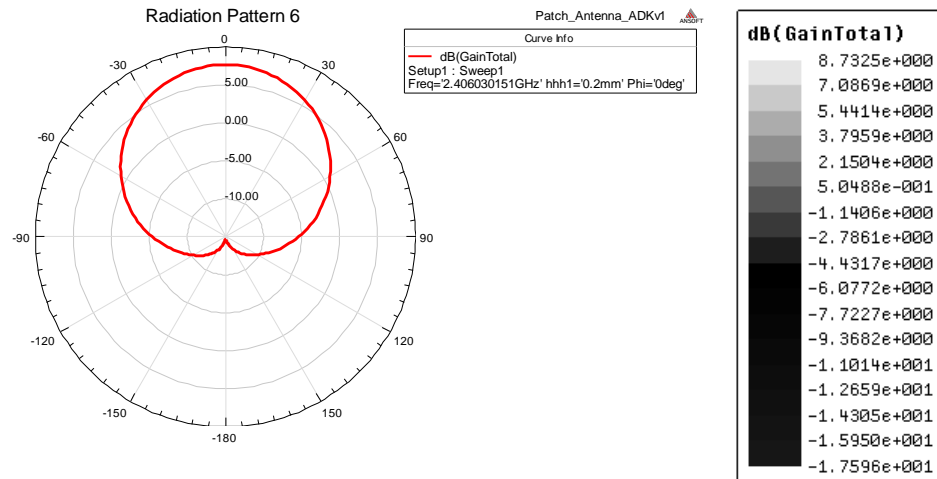
يبين الشكل (10) قيم VSWR بدلالة التردد قبل وبعد إضافة تراكيب Mms حيث نلاحظ بأن (VSWR=1.15) قبل إضافة تراكيب Mms أما بعد إضافة تراكيب Mms تكون (VSWR=1.005) أي أنه تم تحسين قيم VSWR بعد إضافة تراكيب Mms وقيمتها تقترب من الواحد الذي يمثل القيمة المثالية لها أي أن الإشارة المنعكسة صغيرة جداً.



الشكل (10): قيم VSWR قبل وبعد إضافة تراكيب MMs عند التردد 2.4 GHz

3- المخطط الإشعاعي وقيمة الريح عند تردد العمل:

يبين الشكل (11) المخطط الإشعاعي وقيمة الريح للهوائي المقترح عند التردد 2.4 GHz حيث نلاحظ أن قيمة الريح هي (8.73 dB) عند تردد العمل كما أن الهوائي يشع في جميع الاتجاهات في نصف الفضاء الموجود فوق مستوي الأرضي ($0 < \varphi < 180$)، مع وجود نسبة قليلة من الإشعاع في الاتجاه الخلفي ($\varphi = 180^\circ, 360^\circ$).



الشكل (11): المخطط الإشعاعي وقيمة الريح للهوائي المقترح عند التردد 2.4 GHz

4- مقارنة بين نتائج هذا البحث مع عدد من الدراسات المرجعية الحديثة:

يبين الجدول (3) مقارنة بين نتائج هذا البحث مع عدد من الدراسات المرجعية حيث نلاحظ بأن بارامترات الهوائي المقترح التي حصلنا عليها جيدة مقارنة مع هذه الدراسات.

الجدول (3): مقارنة بين نتائج هذا البحث مع عدد من الدراسات المرجعية الحديثة

بارامترات الهوائي				بنية الهوائي	المرجع
الريح الأعظمي	VSWR	معامل الانعكاس	تردد العمل		
2 dB	-	-25 dB	2.4 GHz	إضافة تراكيب Mms تحت رقعة الهوائي	[9]
5.6 dB	1.69	-13.8 dB	2.43 GHz	إضافة خلية SRR تحت رقعة الهوائي	[10]
1.23 dB	1.009	-46 dB	2.4 GHz	إضافة خليتين SRR حول خط تغذية الهوائي	[11]
2.8 dB	-	-22 dB	(2.4-2.5) GHz	رقعة الهوائي عبارة عن تركيب Mms	[12]
1.8 dB	-	-22 dB	2.4 GHz 3.2 GHz	إضافة خلية SRR فوق رقعة الهوائي	[13]
8.73 dB	1.005	-40 dB	2.4 GHz	نتائج هذا البحث	

الاستنتاجات والتوصيات:

تم في هذا البحث تصميم هوائي مطبوع يحقق كفاءة جيدة مناسبة للتطبيقات الطبية وذلك بالاستفادة من الخصائص الكهرومغناطيسية لتراكيب الميتاماتيريال، حيث تم تصميم تركيب ميتاماتيريال يحقق معامل انكسار سالب عند التردد 2.4 GHz ثم تم إضافة هذا التركيب تحت رقعة الهوائي المقترح.

بينت النتائج بأن الهوائي المقترح يعمل عند التردد 2.4 GHz بقيمة معامل الانعكاس $S_{11} = -40$ dB أي أنه تم تحسين قيمة معامل الانعكاس بمقدار 18 dB باستخدام تراكيب الميتاماتيريال وبالنتيجة نقصان الطاقة المنعكسة عن الهوائي وتحسين طاقة إشعاعه، كما أن قيمة $VSWR = 1.005$ تعطي دلالة واضحة بالحصول على أفضل مطابقة للممانعة بين نظام التغذية والهوائي وتكون الإشارة المنعكسة صغيرة جداً. وتم التأكد من مدى كفاءة الهوائي واتجاهيته بالحصول على قيمة الريح الأعظمي 8.73 dB أي تحسين نسبة الأشعة الكهرومغناطيسية التي تنطلق في اتجاه معين إلى المجموع الكلي للأشعة المرسله. يُقترح في الأبحاث القادمة تصميم هوائي مطبوع عريض الحزمة يعمل عند عدة مجالات ترددية مناسبة لعدة تطبيقات لاسلكية، ودراسة الهوائي المطبوع رياضياً من أجل استنتاج موديل رياضي يعطي صلاحيات واسعة في التصميم، بحيث يمكن من تغيير تردد العمل حسب التطبيق المطلوب، ثم تطوير الموديل الرياضي لدراسة تحسين بارامترات الهوائي باستخدام تراكيب الميتاماتيريال.

References:

- [1] FONG, B, FONG, A. C, LI, C. K. Telemedicine Technologies Information Technologies in Medicine and Telehealth, John Wiley & Sons, 2011, 259.
- [2] KANAUIA, B, GUPTA, S. Printed Antennas: Theory and Design, Taylor & Francis Group, London New York, 2021, 1-14.
- [3] BALANIS, C. Antenna theory: analysis and design. New Jersry, 2005.
- [4] GURWINDER, S, Rajni, A. A Review of Metamaterials and its Application. International Journal of Engineering Trends and Technology, Vol. 19, N°. 6, 2015, 305-310.
- [5] SILVA, J, FERNANDES, H, ANDRADE, D. Study of Microstrip Antenna Behavior with Metamaterial Substrate of SRR Type Combined with TW. Recent Advances in Electrical Engineering and Computer Science, 2017, 105-109.
- [6] HUI, W, GUO, Y, ZHAO, X. A Simple Linear-Type Negative Permittivity Metamaterials Substrate Microstrip Patch Antenna. MDPI Journal, 2021, 1-8.
- [7] SAKTIOTO, Y and others. Improvement of low-profile microstrip antenna performance by hexagonal-shaped SRR structure with DNG metamaterial characteristic as UWB application. Alexandria Engineering Journal, 2021, 2-12.
- [8] SUGANTHI, S. Optimized Metamaterial Loaded Square Fractal Antenna for Gain and Bandwidth Enhancement. International Congress on Artificial Materials for Novel Wave Phenomena – Metamaterials, 2018, 349-351.
- [9] REDDY, V. Metamaterial Loaded Circularly Polarized Fractal Antenna for 2.4 GHz Frequency Applications. IETE Journal of Research, 2021, 1-10.
- [10] RAMALAKSHMI. G, MALLIKARJUNA. P. A Novel Metamaterial Inspired Iteration Koch Fractal Antenna for Wi-Fi, WLAN, C band and X band Wireless Communications. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1-14.
- [11] GEETHARAMANI, G, AATHMANESAN, T. Design of Metamaterial Antenna for 2.4 GHz WiFi Applications. Wireless Personal Communications, 2020, 1-12.
- [12] SIDDHANT, G, DEEPAK C. A metamaterial-inspired circularly polarized antenna for implantable applications. wiley journal, 2020, 1-16.
- [13] SUMAN, N, SARMA, N. CSRR based patch antenna for Wi-Fi and WiMAX Applications. Electromagnetics, Vol. 7, N°. 3, 2018, 40-45.