تصميم هوائي شرائحي قابل لإعادة ضبط التردد لتطبيقات الجيل الخامس 5G

طالب الماجستير: عبد الكريم الحسن[1] الدكتور المشرف : أ. د. عبد الكريم السالم[2]

(1) طالب في جامعة حمص – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – قسم هندسة الالكترونيات والاتصالات.

(2) أستاذ دكتور في قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات اختصاص /اتصالات وأمواج مكروية / جامعة حمص

الملخص:

يركز هذا البحث على تصميم هوائي شرائحي قابل لإعادة ضبط التردد يلبي متطلبات الجيل الخامس، حيث أن إعادة الضبط هي خاصية هامة تمكن الهوائي من تلبية متطلبات التطبيقات المختلفة ويقوم على مبدأ قدرة الهوائي على تغيير أحد بارمتراته (التردد – نمط الإشعاع – الاستقطاب) مع الحفاظ على بقية البارمترات، يركز البحث على إعادة ضبط التردد من خلال استخدام مفاتيح PIN-Diode لتحقيق إعادة الضبط بين المجالات الترددية، يتألف الهوائي من طبقة أرضي مصنوعة من النحاس وفوقها طبقة أساس من النوع Rogers RT5880 ذات ثابت العازلية الكهربائية $\varepsilon_r =$ 2.2 ومن ثم في الأعلى طبقة الناقل (Patch) مصنوعة من النحاس، تظهر النتائج في حالتي الوصل والقطع للمفتاح أن الهوائي يعمل عند عدة ترددات للأمواج الميلليمترية المستخدمة في عدة تطبيقات للجيل الخامس وهي GHz (19.58 - 50 – 32.27) في حالة القطع و GHz (50.35 – 32.24 – 25.39 – 16) في حالة الوصل وبقيم عامل انعكاس أقل من dB 10- وبالتالي يستقبل الهوائي ويشع عند هذه الترددات بشكل جيد، تمت عملية المحاكاة باستخدام البيئة البرمجية CST Studio وتم من خلالها دراسة أداء الهوائي المقترح.

كلمات مفتاحية: إعادة ضبط التردد، الجيل الخامس، الهوائي الشرائحي، المفتاح PIN، الأمواج الميلليمترية.

Frequency Reconfigurable Microstrip Antenna Design For 5G Applications

Abstract:

This work is based on designing a frequency Reconfigurable patch antenna that meets the requirements of the fifth generation 5G. As Reconfiguration is an important property that enable the antenna to meet the requirements of different applications and is based on the principle of the antenna's ability to change one of its parameters (frequency - radiation pattern - polarization) while maintaining the rest of the parameters, This work focuses on frequency Reconfiguration where PIN-Diode switches were used to achieve Reconfiguration between frequency bands. The antenna consists of a ground layer made of copper and above it a Rogers RT5880 substrate layer with a dielectric constant ε_r=2.2 and then on top of it a copper radiator layer. The results in the ON and OFF cases of the switch show that the antenna operates at several frequencies of millimeter waves used in several 5G applications, which are (19.58 - 32.27 - 50) GHz in the OFF case and (16 - 25.39 - 32.24 - 50.35) GHz in the ON case and with S_{11} values less than $-10\ dB$ and $VSWR \leq 2$, thus the antenna receives and radiates as required at these frequencies. The simulation and the antenna performance have been analyzed using the CST Studio environment.

Keywords: Frequency Reconfiguration, 5G, patch antenna, PIN switch, millimeter wave.

مقدمة:

أضاف ظهور الجيل الخامس العديد من المتطلبات التصميمية للأجهزة، من حيث استهلاك الطاقة أو ترددات العمل أو حتى حجم الجهاز، مما دعا للعديد من التطويرات على بنية الأجهزة لتتماشى مع متطلبات الجيل الخامس الذي دفع بسرعة نقل البيانات لأضعاف عما هي عليه في الجيل الرابع ، ومن أهم المتطلبات لأجهزة الاتصال اللاسلكية في الجيل الخامس هي تقنية إعادة التشكيل للهوائيات باعتبار الهوائي هو أهم عنصر في منظومة الاتصال اللاسلكية، والتي تعني قابلية الهوائي لإعادة ضبط تردد العمل أو نمط الإشعاع أو الاستقطاب أو إعادة ضبط مزيج من البارمترات السابقة (إعادة ضبط هجين) [1] تلبية لمتطلبات التطبيقات الحديثة، مثل الراديو الإدراكي و أنظمة MIMO [2] و الأقمار الصناعية والتطبيقات الطبية وبمجال ترددي واسع ينقسم لقسمين، القسم الأول ترددات SUB 6GHz يشمل الترددات الأقل من 6 GHz والقسم الثاني يمتد من 20 GHz حتى 71 GHz، كما إن هذه التقنية تساهم في تقليل عدد الهوائيات المطلوب في المنظومة وبالتالي تبسيط بنية المنظومة وتخفيف تكلفة بنائها، وبشكل أهم وأساسي لزيادة الاستخدام الفعال للطيف الترددي [3] ، وبالنظر في إعادة ضبط التردد فهناك عدة تقنيات مستخدمة لتحقيق ذلك وهي تعتمد بشكل أساسي على فصل ووصل اجزاء مختلفة من الهوائي مع بعضها لتغيير أبعاد الهوائي وإعادة توزع التيارات السطحية فيه وبالتالي تغيير تردد العمل، وذلك باستخدام مجموعة مفاتيح كهربائية أو ضوئية مثل (RF-MEMS , Varactor PIN Diode , FET) [4]، وتختلف خصائص هذه المفاتيح وتأثيرها على تردد العمل وبقية بارمترات الهوائي، ولكن عند العمل على الأمواج الميليمترية التي تعتمد عليها شبكات الجيل الخامس كطبقة فيزيائية لنقبل البيانات [5] فيفضل استخدام مفاتيح PIN لأنها الأكثر فعالية في التعامل مع هذه الترددات العالية [1] مقارنة ببقية أنواع المفاتيح وقد قامت عدة دراسات بمقارنة أنواع المفاتيح مع بعضها وتأثيرها على أداء الهوائي [6] ولكن يبقى هناك قاعدة مهمة هو أن كثرة عدد المفاتيح في التصميم يزيد من تعقيد الدارة وذلك بسبب بنية دارة

الانحياز التي يجب إضافتها للهوائي من أجل فصل ووصل المفاتيح لتغيير نمط أو تردد العمل.

تنظيم البحث:

تم تنظيم البحث وفق الترتيب التالي: تم البدء بمقدمة عن العمل المنجز ثم تم ذكر الهدف من البحث وطرائقه، وبعدها تم إجراء دراسة مرجعية في الفقرة 1 تستعرض أحدث الأبحاث التي تم إنجازها عن إعادة ضبط التردد، ثم تم في الفقرة 2 و 3 شرح تصميم الهوائي المقترح وأخيراً تم مناقشة النتائج التي تم الحصول عليها في الفقرة 4 وتحليلها مع مقارنة هذه النتائج مع الأبحاث السابقة في الفقرة 5.

هدف البحث:

يهدف البحث لتصميم هوائي قابل لإعادة ضبط التردد قادر على العمل على ترددات الجيل الخامس وتقييم بارمتراته وملائمته لمتطلبات تطبيقات الجيل الخامس.

مواد وطرق البحث:

يعتمد البحث على الطرق التجريبية والتسنيد المرجعي وتمت المحاكاة باستخدام برنامج CST Studio 2019 لتصميم الهوائي واختبار أدائه وذلك على حاسب بمواصفات RAM 12 GB و CPU 2.70 GHz ونظام تشغيل Windows 10.

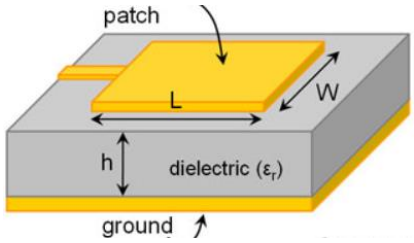
1 دراسة مرجعية

اهتمت أبحاث عديدة بدراسة تقنية إعادة ضبط التردد للهوائيات الشرائحية وتم استخدام عدة تقنيات لزيادة كفاءة عمل الهوائي وتحسين أدائه، حيث قام (Alwahishi et al ،2022) في [1] بتصميم هوائي شرائحي بأبعاد صغيرة تبلغ $5 \times 6 \times 0.254\ mm^3$ وباستخدام طبقة أساس من النوع Rogers RT 5880 ومفتاح واحد من النوع PIN-Diode، بعد عملية المحاكاة تم الحصول على هوائي وحيد الحزمة يعمل عند التردد 28 GHz عند حالة الفصل

وتردد 38 GHz عند حالة وصل المفتاح بقيمة ربح أعظيمة 3.5 dBi، وفي الدراسة [7] قام (Rasool et al، 2023) بتصميم هوائي شرائحي نصف دائري مدمج مع نصف حلقة وبأبعاد mm^3 9.8×13×0.787 على طبقة أساس من النوع Rogers RT 5880 ومفتاحين من النوع PIN-Diode ليحصل على هوائي وحيد الحزمة يعمل عند الترددات 25.17/26.75 /27.64 GHz وبقيمة ربح أعظمية 4.397 dBi، كما قام (Refaat et al، 2023) في [8] بتصميم هوائي شرائحي بأبعاد mm^3 18×11.25×0.787 وتم اقتطاع أجزاء من حواف الهوائي على شكل قطع زائد وذلك على طبقة أساس من النوع Rogers RT 5880 واستخدام 14 مفتاح من النوع PIN Diode لفصل ووصل عدة اجزاء في الهوائي مع بعضها للتحكم بتوزع التيار السطحي وبالتالي تغيير تردد العمل إضافة لوضع عناصر ناقلة صغيرة بجانب خط التغذية لزيادة كفاءة الإشعاع فتم الحصول على هوائي متعدد المجالات يعمل عند الترددات 28.38 GHz / 38 / 28 عند ثلاث حالات مختلفة للمفاتيح وبقيمة ربح أعظمية وصلت لـ 7.4 dBi ، وفي البحث [9] قام (Rahayu et al، 2023) بتصميم هوائي شرائحي بأبعاد mm^3 0.254 × 20 × 15 على طبقة أساس من النوع RT Duroid 5880 وتم وضع شق على شكل حرف + في منتصف الهوائي لإزاحة تردد العمل للحصول على التردد المرغوب، كما تم استخدام مفتاح واحد من النوع PIN-Diode بين الهوائي الأساسي والناقل (patch) المضاف في أعلى التصميم فتم الحصول على الترددات 28/38 GHz في حالتي فصل ووصل المفتاح وبقيمة ربع أعظمية 8.5 dBi، وأخيراً في الدراسة [12] قام (Rasool et al، 2023) بتصميم هوائي شرائحي بأبعاد mm^3 28×14×1.5 على طبقة أساس من النوع FR-4 وتم استخدام 3 أجزاء ناقلة بجانب الناقل (patch) الرئيسي و3 مفاتيح من النوع PIN-Diode لفصل ووصل هذه الأجزاء مع بعضها فتم الحصول على هوائي ثماني المجالات قابل لإعادة ضبط التردد يعمل عند الترددات التالية والتي تقع ضمن مجال SUB-6 GHz للجيل الخامس وهي 3.91 / 4.31 GHz 7.92 , 5.65 , 3.06 / 5.9 , 3.2 / 6.95 , وبقيمة ربح أعظمية 2.51 dBi.

2 تصميم الهوائي:

تتعدد أنواع الهوائيات الشرائحية من المستطيلة للدائرية للمربعة وغيرها من الأنواع الشهيرة، ويعتبر الهوائي الشرائحي المستطيل من أبرز الأنواع وأكثرها استخداماً ويبين الشكل 1 بنية هذا الهوائي



شكل 1 الهوائي الشرائحي المستطيل

عند تصميم الهوائي الشرائحي المستطيل تُعتمد عدة علاقات رياضية لتحديد أبعاد الهوائي [13]:

لحساب عرض الناقل (patch) يتم استخدام العلاقة التالية

$$W = \frac{c}{2f}\sqrt{\frac{2}{\varepsilon_r + 1}} \qquad (1)$$

حيث أن:

c سرعة الضوء وتبلغ $3 \times 10^8\ m/s$

ε_r ثابت العازلية الكهربائية لطبقة الأساس

f تردد العمل

وتستخدم العلاقة التالية لحساب ثابت العازلية الفعال لطبقة الأساس

$$\varepsilon_{reff} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2}\sqrt{1 + 12\frac{h}{W}} \qquad (2)$$

حيث h هي سماكة طبقة الأساس

ولحساب الطول الفعال للناقل يتم استخدام العلاقة

$$L_{reff} = \frac{c}{2f\sqrt{\varepsilon_{reff}}} \qquad (3)$$

ثم يتم حساب امتداد طول الناقل من العلاقة

$$\Delta L = 0.412h\frac{(\varepsilon_{reff} + 0.3)(\frac{W}{h} + 0.264)}{(\varepsilon_{reff} - 0.258)(\frac{W}{h} + 0.8)} \qquad (4)$$

ويتم استخدام العلاقة التالية لحساب طول الناقل (patch)

$$L = L_{reff} - 2\Delta L \qquad (5)$$

أما بالنسبة للهوائي الشرائحي الحلقي فيوجد علاقة رئيسية تحدد قطر الحلقة [7]

$$r = \frac{F}{\sqrt{1 + \frac{2h}{\pi\varepsilon_r F}[\ln\left(\frac{\pi F}{2h}\right) + 1.7726]}} \qquad (6)$$

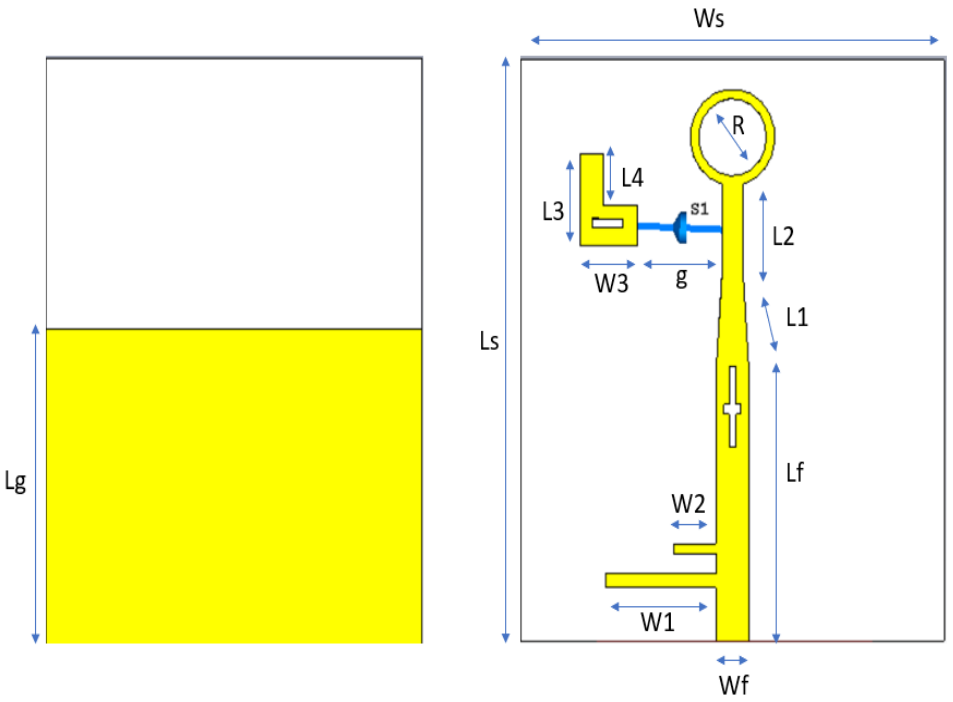
حيث أن r نصف قطر الحلقة و h ارتفاع طبقة الأساس وكلاهما مقدر بالـ cm

ومن العلاقة (7) نحدد تردد الرنين fr الناتج عن الحلقة

$$F = \frac{8.791 \times 10^9}{f_r\sqrt{\varepsilon_r}} \qquad (7)$$

يظهر الشكل 2 بنية الهوائي المقترح، يمثل الشكل (a−1) الشكل الأمامي للهوائي والشكل (b−1) الشكل الخلفي للهوائي، يتألف الهوائي من طبقة أرضي بسماكة 0.035 mm وهي مقتطعة أي أنها لا تغطي كامل مساحة طبقة الأساس وذلك لتوفيق الممانعة مع خط التغذية

وزيادة كفاءة الإشعاع [7] ، أما طبقة الأساس فهي من النوع Rogers RT5880 ذات ثابت العازلية الكهربائية $\varepsilon_r = 2.2$ وبسماكة h=0.254 mm، ويعلو هذه الطبقة طبقة ناقلة (patch) تمثل المشع مصنوعة من النحاس وبسماكة طبقة الأرضي نفسها حيث أن طبقة المشع تتكون من عنصرين monopole وحلقة (للحصول على ميزة تعدد المجالات [7]) يفصل بينهما مفتاح ثنائي S1 يعمل عند الترددات العالية من النوع (MACOM MADP-000907-14020) وتم استخدام الدارة المكافئة له في حالتي الوصل والفصل لمحاكاة عمله، أما من الأسفل بجانب خط التغذية فيوجد عنصران بطول W1 و W2 متصلان بالخط من الجانب لتحسين الاستجابة الترددية للهوائي [8]، كما تم استخدام الشقوق ضمن بنية الهوائي وذلك لإزاحة تردد العمل للحصول على الترددات المطلوبة وذلك من خلال تغيير حجم الشق وموضعه [9].



شكل 2 (a–1) مسقط أمامي للهوائي (b–1) مسقط خلفي للهوائي

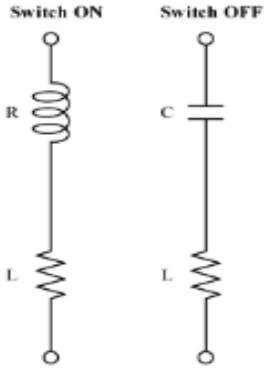
يبين الجدول 1 أبعاد الهوائي الذي تم تصميمه حيث أن الواحدة بالـ mm لجميع البارمترات، ونلاحظ من الأبعاد أن الهوائي المقترح يملك حجماً تصميمياً صغيرا جداً ($5 \times 6 \times 0.254$ mm^3) مما يجعله مناسباً للاستخدام والعمل عند ترددات الأمواج الميليمترية

جدول 1 أهم بارمترات وأبعاد الهوائي المقترح والمستخدمة في المحاكاة

البارمتر	قيمته mm
$\boldsymbol{Ws}$	5
$\boldsymbol{Ls}$	6
$\boldsymbol{Wf}$	0.39
$\boldsymbol{Lf}$	2.78
$\boldsymbol{L1}$	1
$\boldsymbol{L2}$	0.94
$\boldsymbol{L3}$	0.95
$\boldsymbol{L4}$	0.53
$\boldsymbol{W1}$	1.3
$\boldsymbol{W2}$	0.5
$\boldsymbol{W3}$	0.67
$\boldsymbol{g}$	1
$\boldsymbol{R}$	0.8
$\boldsymbol{Lg}$	3.23
$\boldsymbol{h}$	0.254

2.1 الدارة المكافئة للثنائي PIN

عند إدراج عنصر الثنائي كمفتاح في برنامج CST Studio فإننا نعتمد على الدارة المكافئة له وهي دارة RLC والتي تأخذ قيم مختلفة في حالتي الفصل والوصل للثنائي وتختلف هذه القيم أيضاً تبعاً لنوع الثنائي المستخدم، وفي الهوائي المقترح فإن الدارة المكافئة للثنائي (MACOM MADP-000907-14020) هي دارة RL في حالة ON بقيم ($R_{d,on}$=7.8 Ω , $L_{d,on}$=30 pH) ودارة LC في حالة OFF بقيم ($L_{d,off}$=30 pH , $C_{d,off}$=28 fF) [10] كما هو مبين بالشكل 3



شكل 3 الدارة المكافئة للثنائي PIN المستخدم كمفتاح

3 النتائج

تمت محاكاة الهوائي المبين في الشكل 1 وباعتماد بامترات المحاكاة في الجدول 1 والتوصل للنتائج التالية:

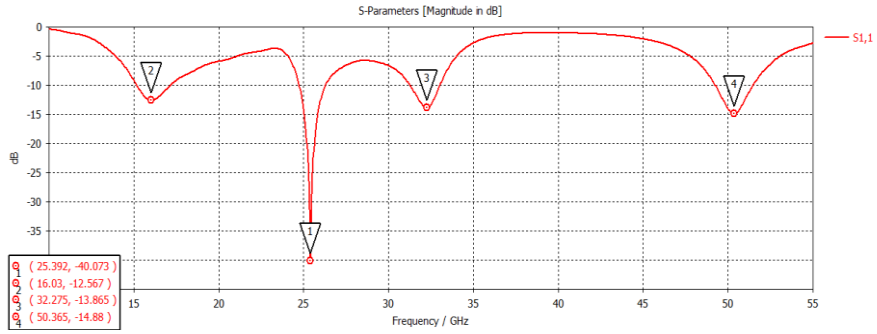
1- عامل الانعكاس S_{11}

يعد عامل الانعكاس أهم مقاييس أداء الهوائي والذي يتحدد من العلاقة:

$$|\Gamma| = \frac{Z_o - Z_i}{Z_o + Z_i} \qquad (8)$$

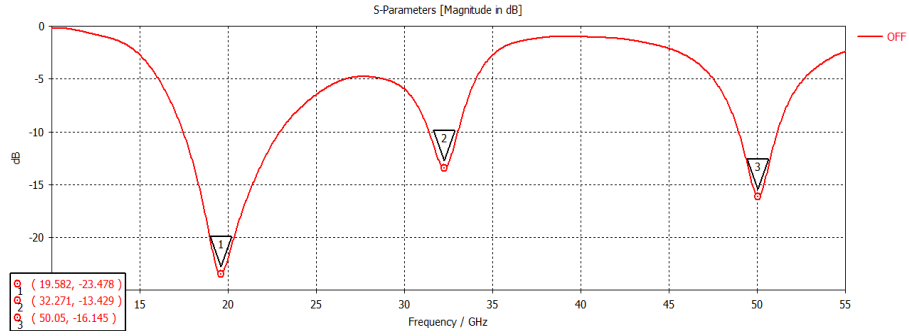
حيث أن Z_i ممانعة دخل الهوائي و Z_o ممانعة خط النقل وتوافق هاتين الممانعتين سيؤدي لأداء أفضل للهوائي [11]، وسنبين قيم عامل الانعكاس في حالتي فصل ووصل المفتاح، ففي حالة وصل الثنائي يبين منحني عامل الانعكاس (الشكل 4) أن الهوائي يعمل عند الترددات GHz (25,392 , 16.03 , 32.275 , 50.365) بقيم عامل انعكاس dB (-40 , -12.567 , -13.865 , -14.88) على الترتيب وهذا يخدم عدة تطبيقات في الجيل الخامس إضافة لعدة تطبيقات أخرى مثل الرادار للتردد 25 GHz [13] واتصالات الأقمار الصناعية (Ku-band) للتردد 16 GHz [14] وتطبيقات

MIMO في الاتصالات الخليوية للتردد 32 GHz [15] وتطبيقات WPAN للتردد 50 GHz [16] ويكون الهوائي في هذه الحالة متعدد المجالات يعمل عند 4 ترددات في نفس الوقت وهذا يعطي إمكانية استخدامه لتلبية أكثر من تطبيق في نفس الوقت وهو أمر هام في تطبيقات الجيل الخامس.



شكل 4 عامل الانعكاس في حالة ON

أما في حالة الفصل فيأخذ عامل الانعكاس الشكل التالي مبيناً قيم الترددات الجديدة التي ينتقل لها الهوائي وهي GHz (50.05 , 32.271 , 19.582) بقيم عامل انعكاس dB (-16.145 , -13.429 , -23.478) على الترتيب وهذا يخدم عدة تطبيقات وهي الاتصالات الخليوية للتردد 32 GHz وتطبيقات WPAN للتردد 50 GHz و الاتصالات الفضائية للتردد 20 GHz [17]



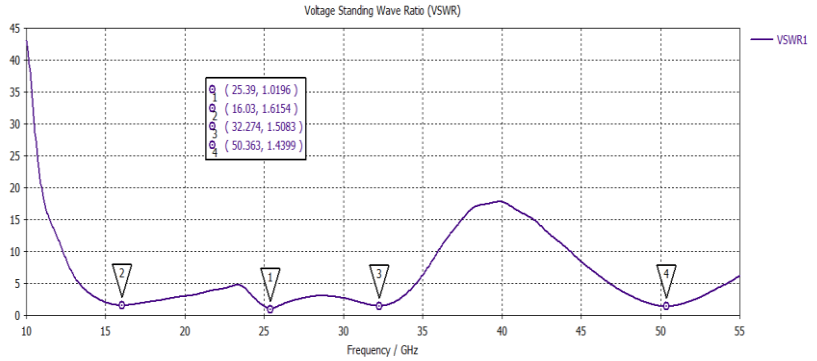
شكل 5 عامل الانعكاس في حالة OFF

2- نسبة الأمواج المستقرة VSWR

تعتبر VSWR من أهم مقاييس الأداء للهوائيات كما أنها مؤشر على مقدار عدم التوافق بين الهوائي وخط التغذية المتصل به، ويُعرف أيضاً باسم نسبة الموجة المستقرة (SWR) حيث يتراوح نطاق قيم VSWR من (1 إلى ∞)، وتُعتبر قيمة VSWR الأقل من 2 مناسبة لمعظم تطبيقات الهوائي وتعطى بالعلاقة

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \qquad (9)$$

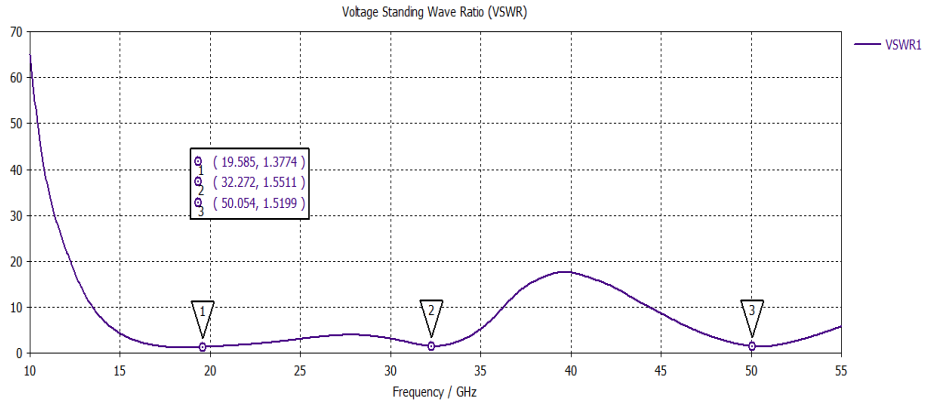
في حالة وصل المفتاح تكون قيم VSWR كما يبين الشكل 6



شكل 6 قيم VSWR في حالة ON

يتبين من الشكل أن VSWR تأخذ عند الترددات GHz (25,392 , 16.03 , 32.275 , 50.365) قيم (1.43 , 1.50 , 1.61 , 1.01) على الترتيب وجميعها تقع ضمن المجال المقبول لقيم VSWR.

أما في حالة فصل المفتاح فينتج لدينا مجموعة قيم ل VSWR حسب الترددات الجديدة كما هو مبين في الشكل 7



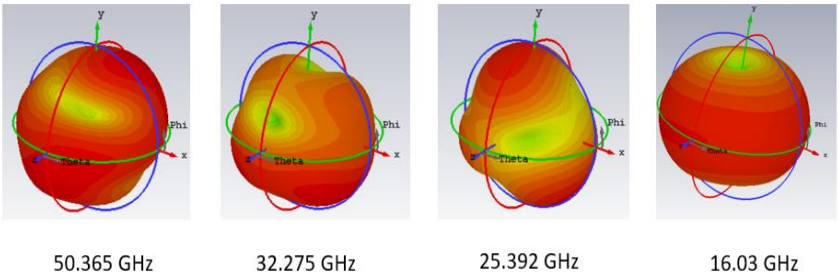
شكل 7 قيم VSWR في حالة OFF

يتبين من الشكل أن VSWR تأخذ عند الترددات GHz (19.582 , 32.271 , 50.05) قيم (1.37 , 1.55, 1.51) على الترتيب وجميعها أيضاً تقع ضمن المجال المقبول لقيم VSWR.

3- نمط إشعاع الحقل البعيد

يعتبر نمط الإشعاع للهوائي من المقاييس الأساسية المعتمدة لتقييم الأداء ويمكن تعريفه كدالة رياضية أو تمثيل بياني لخصائص إشعاع الهوائيات كتابع لإحداثيات الفضاء الفراغية [4] ومن خلال هذا المنحني في CST يمكن تحديد قيمة الربح وهو نسبة شدة الإشعاع للهوائي في اتجاه معين إلى شدة الإشعاع التي يمكن الحصول عليها بواسطة هوائي إيزوتروبي يتغذى بنفس الاستطاعة ويتم قياسه بواحدة ديسيبل[4] إضافة لإمكانية تحديد قيمة الاتجاهية التي هي نسبة شدة الإشعاع في اتجاه معين من الهوائي إلى شدة الإشعاع المتوسطة على جميع الاتجاهات. بعبارة أخرى، تقيس اتجاهية الهوائي.

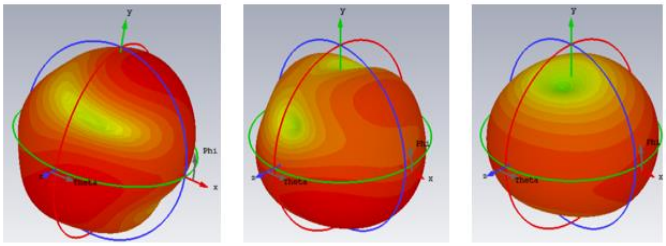
في حالة وصل المفتاح ينتج لدينا 4 ترددات عمل يكون عندها شكل نمط الإشعاع كما هو مبين في الشكل 8 والذي تم من خلاله قراءة قيم الاتجاهية والربح للهوائي عند كل تردد تم الحصول عليه



شكل 8 نمط إشعاع الحقل البعيد في حالة وصل المفتاح

يشع الهوائي عند وصل المـفتاح بقيم ربح على النحو (0.389 , 2.78 , 2.01 , 2.19 dBi) وقيم اتـــجاهية (2.59 dBi , 3.41 , 4.08 , 2.69) عند الترددات (16.03 50.365 GHz , 32.275 , 25,392 ,) على الترتيب

أما في حالة الفصل فيشع الهوائي كما هو مبين في الشكل 9



شكل 9 نمط إشعاع الحقل البعيد في حالة فصل المفتاح

يشع الهوائي عند فصل المفتاح بقيم ربح (0.5 dBi , 2.54 , 3.09) وقيم اتجاهية (3.54 2.93 dBi , 3.12 ,) عند الترددات (50.05 GHz , 32.271 , 19.582) على الترتيب .

4 مقارنة مع الدراسات السابقة

بعد دراسة وتحليل مقاييس الأداء المعتمدة للهوائي المقترح تم في هذا البحث إجراء مقارنة بين الهوائي المقترح وبعض الدراسات المرجعية الحديثة حيث تمت مقارنة بارمترات عمل الهوائي المقترح مع بقية البارمترات وتم التركيز على حجم الهوائي وتردد العمل والربح ونوع المفاتيح وعددها إضافة لميزة تعدد المجالات.

يبين الجدول 2 مقارنة بين نتائج البحث ونتائج الأعمال السابقة ذات الصلة

جدول 2 مقارنة مع الأعمال ذات الصلة

الدراسة	الحجم mm^3	ترددات العمل GHz	الربح dBi	نوع المفاتيح	عدد المفاتيح	متعدد المجالات
[1]	5 × 6 × 0.254	28 / 38	3.5 / 3.5	PIN Diode	1	x
[12]	28×14×1.5	4.31 / 3.91 , 6.95 / 3.2 , 5.9 / 3.06, 5.65 , 7.92	2.51 / 2.21 , 2.06 / 1.78 , 1.93 / 1.59, 2.1, 1.92	PIN Diode	3	✔
[7]	9.8×13×0.787	25.17 /26.75 / 27.64	2.769 / 4.397 / 4.193	PIN Diode	2	x
[8]	18×11.25×0.787	28 / 38 / 28 , 38	7.4 / 5.11 / 6.72 , 5.71	PIN Diode	14	✔
[9]	15 × 20 × 0.254	38 / 28	8.36 / 8.5	PIN Diode	1	x
Our Work	5 × 6 × 0.254	25,392 , 16.03 , 32.275 , 50.365 / 19.582 , 32.271 , 50.05	2.19 , 2.01 , 2.78 , 0.389 / 3.09 , 2.54 , 0.5	PIN Diode	1	✔

يتبين من النتائج السابقة أن التصميم الخاص بالبحث المقترح يتقارب مع البحث [1] من حيث حجم الهوائي لكنه يتفوق عليه بميزة تعدد المجالات، كما انه يتفوق على البحث [12] من حيث الحجم ويستخدم مفتاح واحد فقط أما البحث [12] فيستخدم 3 مفاتيح وهذا أمر ذو تأثير سلبي عند التنفيذ العملي لأن تيارات التحييز المستخدمة لفتح وإغلاق المفتاح ستضفي تأثيرات على تردد العمل ونمط الإشعاع للهوائي، أما البحث [7] فنلاحظ أن البحث المقترح يتفوق عليه بميزة الحجم وتعدد المجالات لكن البحث [7] يملك قيم ربح أفضل،

ونلاحظ في البحث [8] وجود ميزة تعدد المجالات ووجود قيم ربح أفضل لكن تم استخدام 14 مفتاح وحجم الهوائي كبيرة مقارنة بحجم الهوائي المقترح لدينا، وأخيراً بالمقارنة مع البحث [9] نلاحظ أن الهوائي المقترح يتفوق من حيث الحجم ومتعدد المجالات ولكن قيم ربح البحث [9] أفضل من قيم ربح الهوائي المقترح.

5 خاتمة

تم تصميم هوائي شرائحي قابل لإعادة ضبط التردد ويعمل على ترددات الجيل الخامس، وتمتع الهوائي المقترح بميزة تعدد المجالات مما يجعله قادراً على تلبية عدة تطبيقات في نفس الوقت كما تم استخدام مفتاح واحد فقط وهذا امر مهم لتخفيف تعقيد التصميم، حصلنا على ترددات عمل (50.365 GHz , 32.275 , 25,392, 16.03) في حالة وصل المفتاح و (50.05 GHz , 32.271 , 19.582) في حالة الفصل.

المراجع

[1] Alwahishi, Rabeia & Ali, Mohamed Mamdouh & Denidni, Tayeb. (2022). A Reconfigurable 28/38 GHz Omni-directional Antenna Design for Future 5G Applications. 1480-1481. 10.1109/AP-S/USNC-URSI47032.2022.9886383.

[2] Ebrahim, Abdalrahim, (2020). The Effect of Antenna Number on Orthogonal and Non- orthogonal Multiple Access massive MIMO Systems, Al-Baath University Journal.

[3] Al Ahmad, Mahmoud & kabeer, Saifudeen & Abu Sanad, Ala & Olule, Lillian. (2021). Compact single- varactor diode frequency-reconfigurable microstrip patch antenna. IET Microwaves, Antennas & Propagation. 15. 10.1049/mia2.12117.

[4] Nur Farahwahida binti Ab Aziz. (2019). Design and Construction of Pattern Reconfigurable Antenna with Fine Direction Resolution. Electronic and Computer Engineering Department, Brunel University, London.

[5] Khalil, Elie.(2021). Hybrid Beamforming in 5G Network using Singular Value Decomposition. Al-Baath University Journal.

[6] Ojaroudi Parchin, Naser & Jahanbakhsh, Haleh & Al-Yasir, Yasir & Abdulkhaleq, Ahmed & Abd-Alhameed, Raed. (2020). Reconfigurable Antennas: Switching Techniques- A Survey. Electronics. 10.3390/electronics9020336.

[7] Abd, Ali & Rasool, Jamal. (2023). Low-profile frequency-reconfigurable antenna for 5G applications. TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control). 21. 486. 10.12928/telkomnika.v21i3.24028.

[8] Refaat, Samar & Mohamed, Hesham & Mahmoud, Abdelhady & Mohra, Ashraf. (2023). A 28/38 GHz tuned reconfigurable antenna for 5G mobile communications. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. 31. 248. 10.11591/ijeecs.v31.i1.pp248-258.

[9] Rahayu, Yusnita & Pradana, Yoga & Yamada, Yoshihide. (2023). Dual-band frequency reconfigurable 5G microstrip antenna. SINERGI. 27. 81. 10.22441/sinergi.2023.1.010.

[10] Zhuohang, Zhang & Pan, Zhongming. (2019). Time Domain Performance of Reconfigurable Filter Antenna for IR-UWB, WLAN, and WiMAX Applications. Electronics. 8. 1007. 10.3390/electronics8091007.

[11] M. SREEDHAR REDDY, RENJU PANICKER. (2020). ANTENNA AND WAVE PROPAGATION.MALLA REDDY COLLEGE OF ENGINEERING & TECHNOLOGY

[12] Abd, Ali & Rasool, Jamal. (2023). Octa-band reconfigurable monopole antenna frequency diversity 5G wireless. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). 13. 1606. 10.11591/ijece.v13i2.pp1606-1617.

[13] Touko, Borel & Priyadarshini, Rashmi. (2023). A Microstrip Patch Antenna Designed for 25 GHz Applications. 10. 134-139.

[14] Shin, Dong & Chang, Dong-Pil & Yom, In & Ryu, Keun. (2006). A 8/16 GHz frequency doubler MMIC for space application. 2. 10.2514/6.2006-5435.

[15] Zamir Wani, Mahesh Pandurang Abegaonkar, and Shiban Kishen Koul, "A 28-GHz Antenna for 5G MIMO Applications," Progress In Electromagnetics Research Letters, Vol. 78, 73-79, 2018.

[16] Panda, Ribhu & Mishra, Debasis. (2016). Perturbed Elliptical Patch Antenna Design for 50 GHz Application. 10.1007/978-81-322-2728-1_47.

[17] Y. Fu, H. Yao, Y. Dai, Y. Wu and G. Huang, "A 20GHz LC-VCO for Satellite Microwave Communication Application," 2020 IEEE

MTT-S International Microwave Workshop Series on Advanced Materials and Processes for RF and THz Applications (IMWS-AMP), Suzhou, China, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/IMWS-AMP49156.2020.9199678