

## تحسين أداء مصفوفة هوائيات رقعية شرائحية لأنظمة اتصالات الجيل الخامس باستخدام تقنية DGS

م. لميس حسن \*

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٣/٨/٣ . قَبْلَ للنشر في ٢٠٢٣/١٠/٥)

### □ ملخص □

هدفت هذه الدراسة إلى تصميم مصفوفة هوائيات رقعية شرائحية مناسبة لتطبيقات الموجات المليمترية ضمن شبكات الجيل الخامس اللاسلكية، تتميز هذه المصفوفة بأنها صغيرة الحجم، وسهلة التصنيع، مما يجعلها متوافقة ومتكاملة مع الدارات المصغرة.

تعمل مصفوفة الهوائيات المقترحة عند التردد 28 GHz وقد تم تصميمها على ركيزة من النوع Rogers RT-5880 ذات ثابت العزل  $\epsilon_r=2.2$  وبسماكة  $hs=0.254\text{mm}$  والمصفوفة هي عبارة عن أربعة هوائيات رقعة شرائحية مصنوعة من النحاس.

تم في هذا البحث تحسين الأداء لمصفوفة الهوائيات باستخدام تقنية التأريض المعاب Defected Ground Structure (DGS). وذلك من خلال إدراج شكل double PSI DGS في مصفوفة الهوائيات. تم تحسين معامل الانعكاس وعرض النطاق الترددي والريح مقارنة بالمصفوفة بدون DGS، حيث تم تحسين معامل الانعكاس من -20 dB إلى -23 dB، أما بالنسبة لعرض النطاق الترددي فقد ازداد من 1.7 GHz إلى 2.3 GHz، وأخيراً فإن ربح مصفوفة الهوائيات ازداد من 11.6 dB إلى 15.7 dB مما جعل التصميم مناسب للتطبيقات المختلفة في نطاق الموجات المليمترية. تم تصميم مصفوفة الهوائيات واستخلاص النتائج باستخدام برنامج CST.

**الكلمات المفتاحية:** التأريض المعاب (DGS)، مصفوفة هوائيات رقعية شرائحية، عرض النطاق الترددي، معامل الانعكاس، الريح (الكسب)، برنامج CST

\* مهندسة حاصلة على درجة الماجستير في هندسة تكنولوجيا الاتصالات \_ كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات \_ جامعة طرطوس.

## Improving the performance of Microstrip patch antenna array for 5G communication systems using DGS technology

Eng. Lames Hasan \*

(Received 3/8/2023 . Accepted 5/10/2023)

### □ ABSTRACT □

The aim of this study is to design a patch antenna array suitable for millimeter-wave applications, particularly radar and 5G wireless networks, that is compact, small in size, and easy to manufacture, making it compatible with integration into miniaturized circuits.

The proposed antenna array operates at a frequency of 28 GHz and has been designed on a substrate of Rogers RT-5880 with a dielectric constant of  $\epsilon_r=2.2$  and a thickness of  $h_s=0.254\text{mm}$ . The array consists of four copper patch antennas.

In this research, the performance of the antenna array has been improved using Defected Ground Structure (DGS) technology. This was achieved by incorporating a double PSI DGS shape into the antenna array. The reflection coefficient, bandwidth, and gain of the improved antenna array were compared to those of the previous array without DGS. The reflection coefficient was improved from -20 dB to -23 dB, while the bandwidth increased from 1.7GHz to 2.3GHz, and the gain increased from 11.6 dB to 15.7 dB. This makes the design suitable for various millimeter-wave applications while meeting customer requirements. The antenna array was designed and optimized using CST software.

**Key Words:** DGS (Defected Ground Structure), Microstrip Patch antenna array, Bandwidth, reflection coefficient (S11), Gain, CST program

---

\* Engineer with a master's degree holder in telecommunications engineering\_ Faculty of Information and Communication Technology \_ University of Tartous \_ Tartous \_ Syria.

## ١ - المقدمة:

يوفر الجيل الخامس من الاتصالات اللاسلكية الخلوية (5G) معدل بيانات مرتفع ، حيث يلعب الهوائي الشرائحي المطبوع دوراً حيوياً في قطاع الاتصالات اللاسلكية الأكثر نمواً، فاليوم لا يمكننا التفكير في أي تطور في الاتصال اللاسلكي دون ربطه بالتغييرات في تكنولوجيا الهوائي الشرائحي [16]، ولإنشاء اتصال بين الأجهزة اللاسلكية على نطاقات تردد أعلى مثل نطاق الموجات المليمترية، نحتاج إلى هوائي صغير الحجم ورخيص التكلفة وسهل التصنيع، وهي سمات الهوائيات الشرائحية المطبوعة، لذلك يُفضل استخدام هذا النوع من الهوائيات [1].

تتألف مصفوفة الهوائيات من عدة هوائيات موضوعة بشكل منتظم على سطح محدد. وتستخدم هذه الهوائيات لإرسال واستقبال الإشارات اللاسلكية. وقد أكدت الدراسات أن أفضل أداء للمصفوفة يتحقق باستخدام تقنية DGS [2].

تعمل تقنية DGS عن طريق إدخال تغييرات في الأرضية تحت الهوائيات، مثل إضافة فجوات أو فتحات أو تغييرات في شكل الأرضية. وتؤدي هذه التغييرات إلى تحسين أداء الهوائيات عن طريق تقليل التداخل بين الهوائيات وزيادة الاتجاهية والكسب الإجمالي وتحسين عرض النطاق الترددي [17]. وتطبق هذه التقنية في تصميم مصفوفات الهوائيات للعديد من التطبيقات المختلفة، مثل شبكات الجيل الخامس اللاسلكية ونظم الراديو ذات التردد العالي وأنظمة الاتصالات اللاسلكية الأخرى [3].

علاوة على ذلك، يمكن استخدام تقنية DGS للحد من التداخل الكهرومغناطيسي بين المصفوفات الهوائية المختلفة وتحسين كفاءة النظام بشكل عام. كما يمكن استخدام تقنية DGS لتحسين العزل وتقليل الاقتران المتبادل بين العناصر المختلفة في المصفوفة الهوائية وبين المصفوفة الهوائية والأجزاء الأخرى من النظام، مما يؤدي إلى تحسين جودة الاتصالات وزيادة مدى النظام [4].

يمكن اختبار العوامل التي يجب مراعاتها عند تصميم مصفوفة هوائيات باستخدام تقنية DGS عن طريق النمذجة والمحاكاة الكهرومغناطيسية باستخدام برامج مثل ANSYS HFSS و CST Studio Suite وغيرها من برامج المحاكاة الشائعة.

تشمل اختبارات تحسين الأداء قياس الكفاءة الطيفية وعرض النطاق الترددي والكسب والاتجاهية والتداخل بين الهوائيات وغيرها من المعايير الأخرى، وعلى الرغم من أن الاختبارات العملية تعطي نتائج أكثر دقة، إلا أنها تتطلب تكاليف عالية وجهود كبيرة، ولذلك فإن النمذجة والمحاكاة الكهرومغناطيسية هي الطريقة الأكثر شيوعاً لاختبار العوامل التي يجب مراعاتها عند تصميم مصفوفة هوائيات باستخدام تقنية DGS.

إن تصميم PSI وهو حرف يوناني له الشكل ( $\Psi$ ) وهو اختصار لكلمة Psychology أي علم النفس، يعد أحد تصاميم تقنيات التآريض المعاب والمصنع على شكل شريط متوازي وشكل حرف L معكوس محفورة في سطح الأرضية [5].

تم اقتراح تصاميم مختلفة للهوائيات باستخدام أشكال متنوعة من الهياكل الأرضية المعيبة (DGSS) ففي [7] تم تقديم مصفوفة مضغوطة من الهوائيات، أولاً، تم استخدام طريقة جديدة تعتمد على إضافة الهياكل الأرضية المعيبة (DGS) من نوع الخط بين عناصر الهوائيات المتجاورة لتقليل الاقتران المتبادل في المصفوفة. ثانياً، تم تقليل الأداء غير المتسق بين عناصر الحافة والمركز عن طريق إضافة زوج من DGS على شكل نصف دائري إلى حواف

مصفوفة الهوائيات. وبالتالي، تم تحسين الاتجاهية. ثالثاً، لتقليل تأثير مصفوفة الهوائيات على الأنظمة الخلفية، تم حفر عدة DGSS تدريجية على شكل نصف دائرة في النهاية الخلفية للمصفوفة. نطاق التردد المقترح هو [24.37GHz – 28.5GHz]، وتم تحسين الكسب من 9.7 dB إلى 11.6 dB في نطاق التردد لاتصالات 5G مقارنة بمصفوفة الهوائيات الأصلية.

وفي [8] اقترح الباحثون تصميمًا لمصفوفة هوائيات رقمية فعالة لأنظمة اتصالات 5G. تعمل عند 28GHz وتتكون من 16 عنصراً من رقع مستطيلة مرتبة في تكوين خطي. يتم استخدام هيكل أرضي معيب (DGS) على شكل فتحات مستطيلة في تصميم المصفوفة لتقليل الاقتران المتبادل بين العناصر المتجاورة. تمت محاكاة الهوائي باستخدام CST وأظهرت النتائج أن المصفوفة المكونة من 16 عنصراً لها عرض نطاق أكبر من 2 جيجا هرتز وكسب أقصى يبلغ 17.4 dB عند 28.4GHz

وفي [9] تم تقديم مصفوفة هوائيات رقمية شرائحية  $4 \times 4$  جديدة ومُحسنة والتي تعمل في نطاق تردد [28GHz–38GHz] لشبكات المحمول من الجيل الخامس. تم تغذية الهيكل المقترح من خلال شبكة التغذية المطبوعة على نفس الجانب من الركيزة. ولتحسين خصائص إشعاع المصفوفة، تم استخدام بنية مستوية أرضية معيبة (DGS)، والتي تعمل على شكل حرف C المقترن في المستوى الأرضي. تظهر النتائج تأثير DGS على خصائص أداء الهوائي، تحسين كفاءة الإشعاع وخسارة العودة، بنسبة 17.14% و 79.2% على التوالي. علاوة على ذلك، تمت زيادة كسب الهوائي المحقق بمقدار 2.44dB، أسفرت مجموعة الهوائي المُحسنة عن عرض نطاق ترددي أعلى بمقدار 32% وكسب إجمالي محقق يصل إلى 18.65dB، مما يجعلها مناسبة لتطبيقات التصوير والاتصالات اللاسلكية ذات الموجات المليمترية.

وفي [10] تم تصميم هوائي رقبة شرائحي يعمل عند التردد 28 GHz باستخدام برنامج HFSS لتصميم الهوائيات، ينصب التركيز في هذا العمل حول تحسين عرض النطاق الترددي لهوائي التصحيح microstrip لتنفيذ تردد 28 GHz باستخدام تقنية بنية الأرض المعيبة (DGS)، مما جعل الهوائي مضغوطاً وخسارة العودة منخفضة. ونظراً لوضع فتحة DGS في منتصف المستوى الأرضي، فقد تم تحسين الكسب، وكانت خسارة عودة الهوائي أفضل بنسبة 13%.

وفي [11] تم تحسين عرض النطاق الترددي للهوائيات الشريطية عن طريق اقتراح تصميم جديد لهوائي شريطي مستطيل الرقبة. يحتوي الشكل الهندسي المقترح على هيكل مستوى أرضي مستطيل الشكل يحتوي فتحة على شكل حرف U بداخله فتحة أخرى على شكل حرف T موجودة على طبقة الرقبة. تم محاكاة الهوائي باستخدام برنامج (ADS). وأنجز التصميم عرض نطاق ترددي بنسبة تصل إلى 44.64%. مع خسارة العودة 44 dB-. تمت مقارنة عرض النطاق الترددي الناتج من الهوائي المقترح مع نتائج الهوائي الشريطي ذو الرقبة المستطيلة الذي لا يحتوي على أي فتحة بداخله.

وفي [12] اقترح الباحثون هوائي متعدد المداخل ومتعدد المخارج (MIMO)، مع كسب محسن بناءً على بنية الأرض المعيبة (DGS). يتكون الهوائي المقترح من مجموعتين من أربعة عناصر (2 × 2)، وتم تصميمه عند التردد المركزي 5.5 GHz لتطبيقات شبكة المنطقة المحلية اللاسلكية (WLAN) على ركيزة RT5880 بارتفاع 1.0575 مم، وللحصول على كسب عالٍ واقتران متبادل منخفض للهوائي، تم اقتراح هيكل أرضي معيب (DGS). وبناءً على ذلك

تم تحقيق كسب حوالي 9.5 dB ومستوى اقتران متبادل أقل من 20 dB - إلى جانب ذلك، يشهد هوائي MIMO كفاءة إشعاعية ٩٣٪.

وفي [13] تم اقتراح هوائي رقعة مستطيل الشكل بهيكل أرضي معيب مقلوب على شكل F. وتمت محاكاته باستخدام برنامج محاكاة التردد العالي FEKO، كما تم مقارنة نتائج المحاكاة للهوائي المقترح مع الهوائي التقليدي بدون DGS من حيث خسائر العودة وتحسين عرض النطاق الترددي. الهوائي المقترح مصمم للتطبيقات التي تغطي النطاقين C و X. وقد تم زيادة عرض النطاق الترددي بشكل كبير حتى 620 MHz و 740 MHz على التوالي.

## ٢- هدف البحث:

هدف البحث إلى تحسين أداء مصفوفة هوائيات رقعية شرائحية تعمل لأنظمة اتصالات الجيل الخامس وذلك من خلال استخدام تقنية DGS (Defected Ground Structure) في التصميم مما ينعكس إيجاباً على أداء مصفوفة الهوائيات وبالتالي على عمل أنظمة اتصالات الجيل الخامس.

## ٣- مواد وطرق البحث:

بدأ هذا البحث بتصميم هوائي رقعة شرائحي مفرد تم الاعتماد عليه في تصميم مصفوفة هوائيات مكونة من أربعة عناصر وتحقق خصائص الجيل الخامس من الاتصالات وقد تم استخدام تقنية DGS في تصميم مصفوفة الهوائيات لتحسين أدائها، وتم الاعتماد في عملية المحاكاة على برنامج CST Microwave Studio (CST MWS)

### 3-1- تصميم هوائي الرقعة الشرائحي:

في البداية، تم تصميم عنصر هوائي مشع بسيط مستطيل الشكل من النحاس أعلى طبقة الركيزة، وأبعاد الرقعة المستطيلة هي  $W_p=4.3\text{mm}$  و  $L_p=3.2\text{mm}$  كما يبين الشكل (١). تم استخدام الركيزة Rogers RT Duroid 5880 نظراً لأنها الأفضل بالنسبة للموجات المليمترية [18] كما أنها تمتلك ثابت عزل منخفض ( $\epsilon_r = 2.2$ ) وخسارة منخفضة أيضاً ( $\tan \delta = 0.0009$ ) حيث تمثل الخسارة لطبقة الأساس الضياعات المرتبطة بالمادة العازلة، وبالنسبة لارتفاع الركيزة  $H_s=0.254\text{mm}$ . تم استخدام تقنية التغذية المقترنة بالفجوة والتي فيها المغذي لا يلمس الهوائي أي أن التغذية هنا غير مباشرة تتم باستخدام فجوة صغيرة جداً حيث أن الفجوة المحفورة تفصل منبع التغذية (منبع التحريض) عن الهوائي الشرائحي [19]. لذلك تنتقل الطاقة من المغذي إلى الهوائي بشكل غير مباشر عن طريق الاقتران، وتتطلب هذه الطريقة عرضاً ضيقاً للفجوة من أجل الاقتران الفعال للطاقة، وتحقق تقنية التغذية هذه مطابقة جيدة للممانعة بين خط التغذية والرقعة.

يحتاج تصميم هوائي الرقعة الشرائحي إلى اختيار مادة طبقة الأساس بسماكة  $h$ ، وثابت عازلية كهربائية  $\epsilon_r$ ، إضافة إلى تحديد تردد الرنين (المركزي)  $f_r$  بوحدة Hz ثم تحديد أبعاد الهوائي أي عرض الهوائي  $W$ ، وطول الهوائي  $L$ ، كل ما سبق تم حسابه باستخدام المعادلات وفق الخطوات الآتية:

الخطوة 1: من أجل هوائي شرائحي فعال، تم حساب العرض  $W$  من المعادلة: [8]

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

وكانت قيمة  $W$  لهذا العمل هي 4.3mm

الخطوة 2: تحديد ثابت العازلية الكهربائية الفعال  $\epsilon_{eff}$  من المعادلة [8]:

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2\sqrt{1 + 12\frac{h}{W}}} \quad (2)$$

حيث:  $\epsilon_{eff}$  هي ثابت العازلية الكهربائية الفعال،  $\epsilon_r$  هي ثابت العازلية لطبقة الأساس،  $h$  هي ارتفاع طبقة الأساس العازلة،  $W$  هي عرض الرقعة.

وقد كانت قيمة  $\epsilon_{eff}$  لهذا الهوائي هي 1.964

الخطوة 3: تحديد الطول التزايدى (أو بما يسمى الطول الكهربائي) من المعادلة [8]:

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \quad (3)$$

وعند الحساب كانت قيمة  $\Delta L$  مساوية إلى 0.133mm

الخطوة 4: تحديد الطول الحقيقي  $L$  بالمعادلة [8]:

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (4)$$

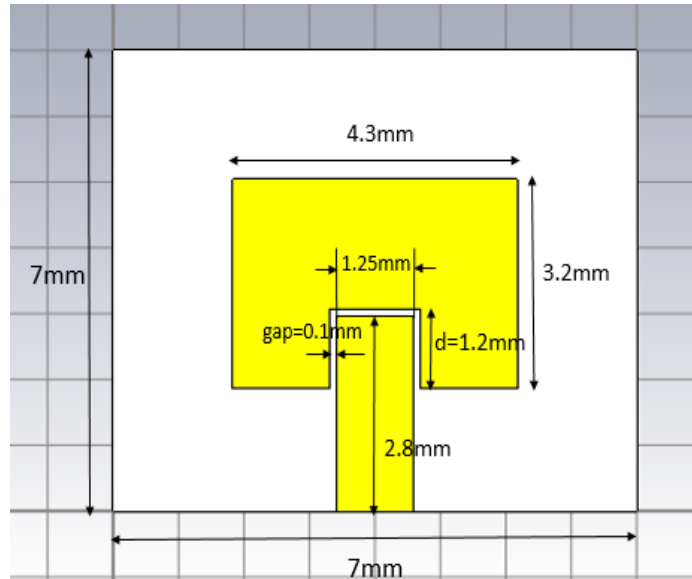
وكانت قيمة  $L$  لهذا العمل هي 3.2mm

حيث  $L_{eff}$  هو الطول الفعال للهوائي ويمثل ارتفاع مركز الهوائي فوق المستوي الأرضي ويُعطى

بالعلاقة [8]:

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (5)$$

وعند الحساب كانت قيمة  $L_{eff}$  مساوية إلى 3.466mm



الشكل (1): هوائي الرقعة الشرائحي

## ٢-٣- بارامترات تقييم الأداء للهوائيات الشرائحية:

يوجد العديد من البارامترات الممكن استخدامها لقياس الأداء والتفريق بين أداء الهوائيات الشرائحية المستخدمة لاتصالات الجيل الخامس منها:

## ١-٢-٣- حساب خسارة العودة (Return Loss):

خسارة العودة وتسمى أيضاً معامل الانعكاس (reflection coefficient) وهي نسبة القدرة الواردة إلى القدرة المنعكسة لهوائي وتُقَدَّر بالديسبل (dB)، ويمثل S11 خسارة عودة الهوائي. ولكي يعمل الهوائي بطريقة فعالة يجب أن يكون (S11 < -10 dB). ويُرمز له بالرمز  $\Gamma$ ، ويُعطى بالعلاقة: [20]

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_o}{Z_{in} + Z_o} \quad (6)$$

حيث  $Z_{in}$  هي ممانعة دخل الهوائي، و  $Z_o$  هي الممانعة المميزة لخط النقل.

## ٢-٢-٣- عرض النطاق الترددي (Bandwidth):

هو مدى الترددات التي يمكن فيها للهوائي أن يشع أو يستقبل الطاقة، ويُعرف بأنه نطاق التردد عندما  $S11 < -10$  dB ويُعطى بالعلاقة: [20]

$$BW = \frac{VSWR - 1}{Q\sqrt{VSWR}} \quad (7)$$

حيث: Q هو عامل الجودة للهوائي، و VSWR : نسبة الموجة الدائمة للجهد (Voltage Standing Wave Ratio)

أما بالنسبة للهوائيات ضيقة الحزمة فيتم التعبير عن عرض النطاق لها كنسبة مئوية من فرق التردد (التردد الأعلى  $f_H$  مطروحاً منه التردد الأدنى  $f_L$ ) على التردد المركزي ( $f_r$ ) لعرض النطاق وهذا ما يسمى بعرض النطاق الكسري للهوائي (FBW) ويُعطى بالعلاقة: [21]

$$FBW = \frac{f_H - f_L}{f_r} = \frac{1}{Q} \quad (8)$$

ونلاحظ من العلاقتين السابقتين أن عامل الجودة للهوائي يتناسب عكسياً مع عرض النطاق الترددي.

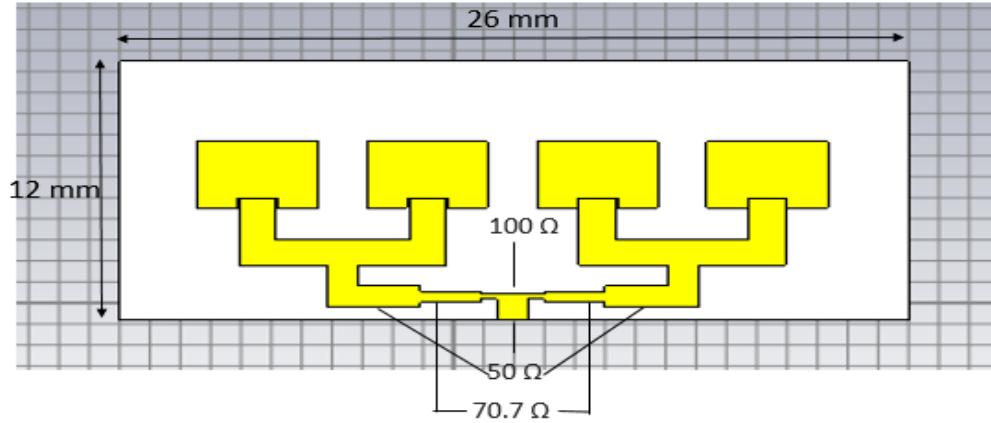
## ٣-٢-٣- الريح (Gain): هو مقياس لمدى كفاءة الهوائي ولمتجهيته، أي نسبة الأشعة الكهرومغناطيسية

التي تنطلق في اتجاه معين بالنسبة للمجموع الكلي للأشعة المرسله. ويُعطى الريح (G) بالعلاقة: [21]

$$G = 4\pi \left( \frac{\text{Radiation Intensity}}{\text{Antenna Input Power}} \right) \quad (9)$$

## ٣-٣- تصميم مصفوفة هوائيات رقعية شرائحية:

تم استخدام تقنية التغذية المتوازية (المشتركة) لتصميم الشبكة التي تربط الهوائيات بمنفذ الإدخال، حيث تم تغذية جميع العناصر بالتوازي من مصدر واحد [22]، وتتكون هذه الشبكة بشكل أساسي من شبكة متفرعة من مقسمات القدرة ثنائية الاتجاه كما يبين الشكل (2).

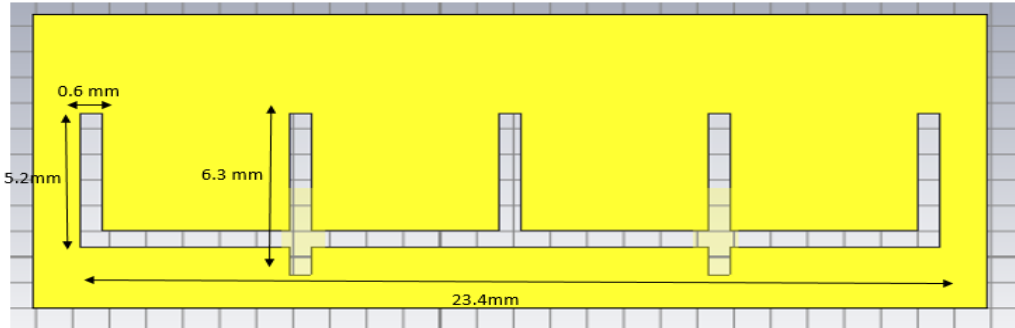


الشكل (٢): مصفوفة هوائيات خطية 1 x 4 للنظام المقترح

تتطابق جميع العناصر المشعة عادةً مع خطوط التغذية بطريقة مناسبة مثل محول ربع طول الموجة، ومصفوفة التغذية المتوازية والتي تعد سهلة نسبياً ويمكن من خلالها تحديد كل من المطال والطور لكل عنصر بشكل مستقل.

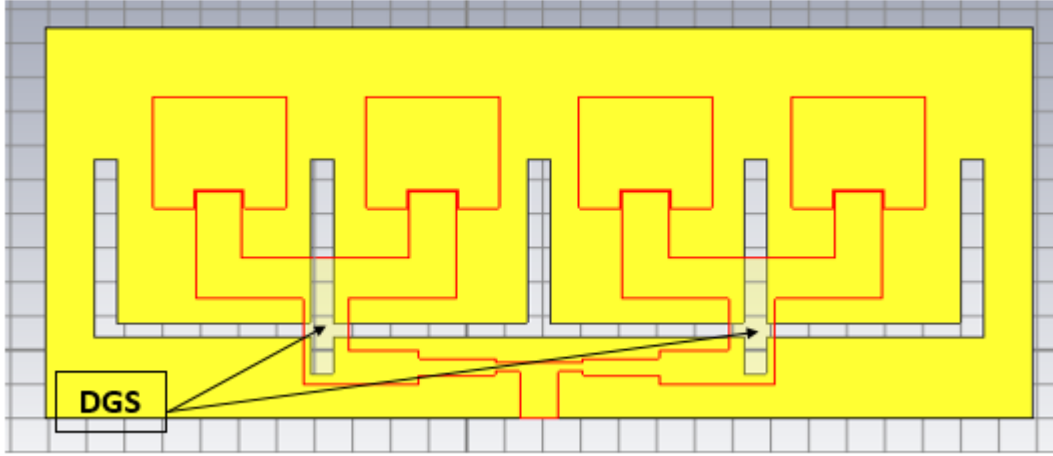
أما بالنسبة لترتيب العناصر فقد تم ترتيبها بشكل خطي وهو ترتيب يسمح بوضع عناصر الهوائيات المختلفة في سطر واحد من طرف إلى آخر، وهذا يعني أن العناصر المختلفة تكون مرتبة خلف بعضها في سطر واحد، ويمكن أن يكون هذا الترتيب إما رأسياً أو أفقياً، هنا أيضاً يتم توفير التحريض بتيارات لها نفس المطال والطور لجميع العناصر، يوفر هذا الترتيب قيمة جيدة للكسب (الربح).

تم استخدام تقنية التأسيس المعاب (DGS) على شكل double PSI كما يبين الشكلين (4,3)



الشكل (٣): تقنية double PSI DGS





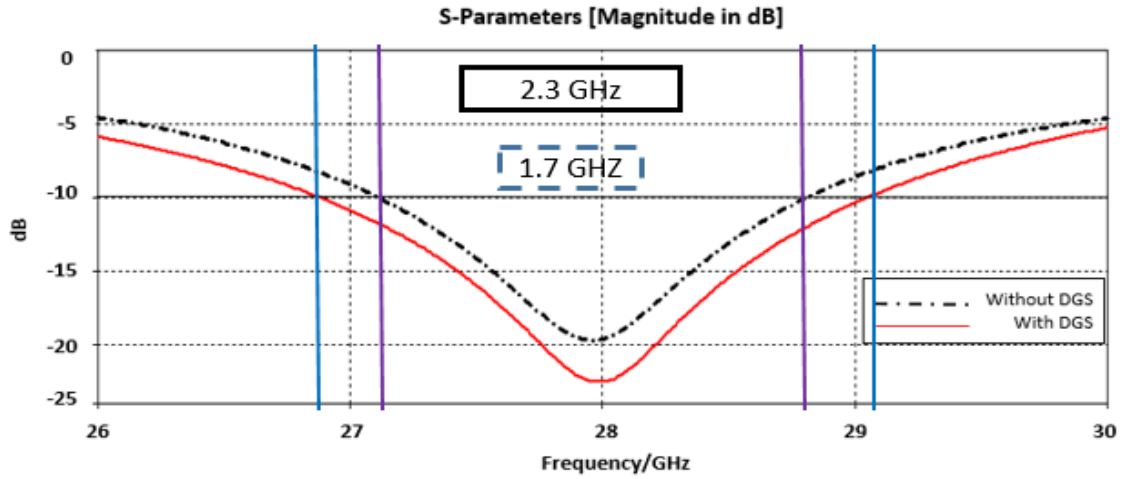
الشكل (٤): بنية تفصيلية لمصفوفة الهوائيات توضح موقع DGS فيها

#### ٤- النتائج والمناقشة:

تم تقييم أداء المصفوفة وحساب البارامترات وفق حالتين، الأولى بدون DGS، والثانية مع DGS.

##### a. تقييم خسارة العودة (Return Loss) وعرض النطاق الترددي (Bandwidth):

تم إجراء المحاكاة على النظام المقترح في الشكل (4) وعرض النتائج وفق الشكل (5) حيث يمثل الخط المتقطع في الشكل (5) معامل الانعكاس لمصفوفة الهوائيات بدون استخدام تقنية DGS، ويوضح بأن إشعاع مصفوفة الهوائيات يكون الأفضل عند 28 GHz حيث تكون قيمة  $S_{11} = -20$  dB، أما عرض النطاق الترددي فكان مساوياً إلى 1.7 GHz وكانت حدود نطاق التردد هي  $f_L = 27.1$  GHz (الحد الأدنى)، و  $f_H = 28.8$  GHz (الحد الأعلى)، وهما يحققان المعادلة [13]:  $f_r = \sqrt{f_L * f_H} = 28GHz$  حيث أن  $\sqrt{27.1 * 28.8} \cong 28GHz$  يمثل الخط المتصل في الشكل (5) معامل الانعكاس لمصفوفة الهوائيات مع استخدام تقنية DGS، حيث يوضح بأن إشعاع مصفوفة الهوائيات يكون الأفضل عند 28 GHz حيث تكون قيمة  $S_{11} = -23$  dB، أما عرض النطاق الترددي فكان مساوياً إلى 2.3 GHz و الحدود للنطاق الترددي هي  $f_L = 26.8$  GHz (الحد الأدنى)، و  $f_H = 29.1$  GHz (الحد الأعلى)، وهما يحققان المعادلة [13]:  $f_r = \sqrt{f_L * f_H} = 28GHz$  حيث أن  $\sqrt{26.8 * 29.1} \cong 28GHz$



الشكل (٥): معامل الانعكاس وعرض النطاق الترددي لمصفوفة الهوائيات مع وبدون استخدام DGS

يتبين من النتائج السابقة أن تقنية DGS يمكن استخدامها لتحسين عرض النطاق الترددي ومعامل الانعكاس لمصفوفة الهوائيات. وذلك بعد أن تم إدخال تغييرات في الأرضية تحت الهوائيات لتصفية الترددات غير المرغوب فيها وإزالة التداخل بين الهوائيات المختلفة في المصفوفة. وبالتالي، تم تحسين عرض النطاق الترددي ومعامل الانعكاس للمصفوفة.

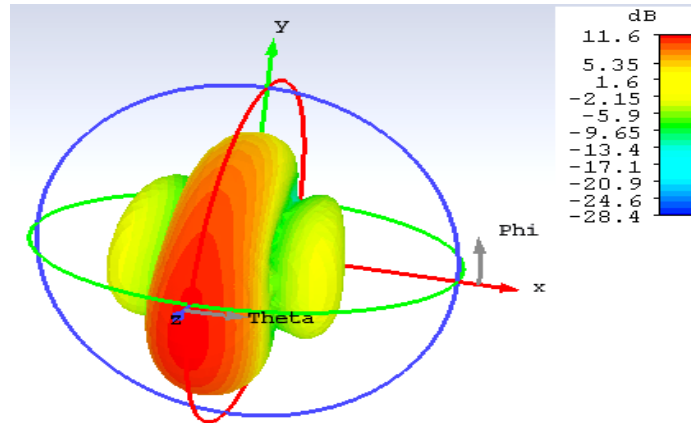
### b. مخطط الإشعاع ثلاثي الأبعاد 3D Gain Plot:

يمثل الشكل (6) مخطط الإشعاع ثلاثي الأبعاد لمصفوفة الهوائيات بدون استخدام تقنية DGS حيث نلاحظ أن

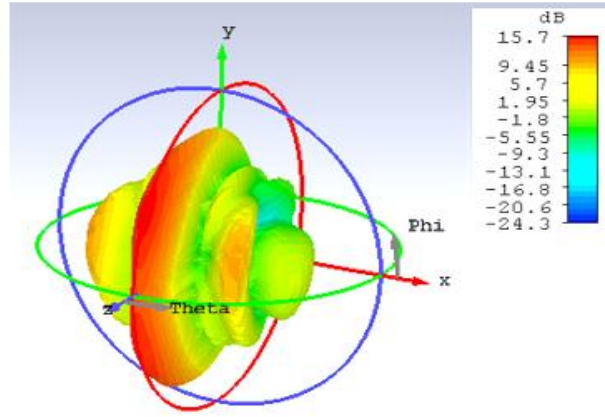
قيمة الربح تبلغ عنده 11.6 dB

أما الشكل (7) فيمثل مخطط الإشعاع ثلاثي الأبعاد لمصفوفة الهوائيات مع استخدام تقنية DGS حيث نلاحظ

أن قيمة الربح تبلغ عنده 15.7 dB



الشكل (٦): مخطط الإشعاع ثلاثي الأبعاد 3D لمصفوفة الهوائيات بدون استخدام DGS



الشكل (٦): مخطط الإشعاع ثلاثي الأبعاد 3D لمصفوفة الهوائيات مع استخدام DGS

أي أن إحداث التغييرات في المستوي الأرضي لمصفوفة الهوائيات أدت إلى تحسن الأداء والتي تفسر بأنها قللت التداخل بين الهوائيات وبالتالي زيادة الكسب الإجمالي. ويبين الجدول (1) تلخيص للنتائج التي تم الحصول عليها من التصاميم السابقة بدون استخدام DGS ومع استخدام DGS.

الجدول (1): مقارنة أداء مصفوفة الهوائيات مع وبدون استخدام DGS

Microstrip patch antenna array	Resonant frequency	Return loss	Bandwidth	Gain
Without DGS	28 GHZ	-20 dB	1.7 GHz	11.6 dB
With DGS	28 GHZ	-23 dB	2.3 GHz	15.7 dB

#### ٥- الاستنتاجات والتوصيات:

- تم استخدام تقنية ال DGS في مصفوفات الهوائيات والتي أعطت نطاقاً ترددياً أوسع مع الحفاظ على ربح مرتفع ومطابقة أفضل للممانعة، وهذه التحسينات مناسبة لتلبية متطلبات شبكات الجيل الخامس.
- مكنت التغذية المشتركة (المتوازية) الهوائيات المصفوفية من تحقيق المزيد من التحكم في السعة والطور بسبب القدرة على تغيير أطوال خطوط التغذية بشكل منفصل، وهذا يعني أن مصفوفات التغذية المشتركة يمكن أن تتمتع بقدرة أكبر على توجيه أنماط إشعاع الهوائي.
- يمكن في المستقبل العمل على تصميم هياكل أرضية معينة DGSS بأشكال مختلفة ودراسة مدى تأثيرها على أداء الهوائي.

## -٦ - المراجع:

- [1] S. Puri, K.Kaur and N. Kumar, "A Review of Antennas for Wireless Communication Devices", International Journal of Electronics & Electrical Engineering, vol. 2, no. 3, pp. 199-201, September 2014.
- [2] S. Zhu, H. Liu and P. Wen, "A Compact Gain-Enhanced Vivaldi Antenna Array with Suppressed Mutual Coupling for 5G mmWave Application," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 17 , pp. 776-779, 2018.
- [3] A. K. Arya, A. Patnaik and M. V. Kartikeyan, "A Compact Array with Low Mutual Coupling using Defected Ground Structures," IEEE Applied Electromagnetics Conference (AEMC), Kolkata, pp. 1-4. 2011
- [4] Gurpreet Singh, Rajni, and Ranjit Singh Momi, "Micro strip Patch Antenna with Defected Ground Structure for Bandwidth Enhancement," IJCA, vol. 73, no. 9, July 2013.
- [5] Devashree Marotkar , prassanna Zade, Vivek kapur "To Study the Effect of DGS on Antenna Parameters" iraj conference 2015.
- [6] Dian Rusdiyanto, Catur Apriono, Dian Widi Astuti, BANDWIDTH AND GAIN ENHANCEMENT OF MICROSTRIP ANTENNA USING DEFECTED GROUND STRUCTURE AND HORIZONTAL PATCH GAP, SINERGI Vol. 25, No. 2, p. 153-158, 2021.
- [7] Shuangshuang Zhu, Haiwen Liu, Pin Wen, Zhijiao Chen, Vivaldi Antenna Array Using Defected Ground Structure for Edge Effect Restraint , IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS, VOL. 19, NO.1. 2020
- [8] Mohammed Abu Saada, Talal Skaik, Ramadan Alhalabi, Design of Efficient Microstrip Linear Antenna Array for 5G Communications Systems, 2018
- [9] Korany R. Mahmoud , Ahmed M. Montaser, Optimised  $4 \times 4$  millimetre-wave antenna array with DGS using hybrid ECFO-NM algorithm for 5G mobile networks, IET Microwaves journal, Antennas & Propagation. 2017
- [10] Amruta Chaudhari, Prachi Mukherji, Improved performance of antenna using DGS for 5G applications, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Volume: 07 Issue: 09. 2020.
- [11] Fadel A. M. Alaswad , Mohamed A. S. Alshushan , Bandwidth Enhancement of rectangular microstrip patch antenna using T slot inside U-slot shape, ISTJ. 2022.
- [12] Nguyen N. Lan, Gain Enhancement in MIMO Antennas Using Defected Ground Structure, Progress In Electromagnetics Research M, Vol. 87, 127–136. 2019
- [13] Mohammed Hussein Alia, Noora H. Sherifb , Ghufran Saady Abd-almuhsenc, Bandwidth Enhancement of a Microstrip Patch Antenna Using Inverted-F Shaped Defected Ground Structure, American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS) , Vol. 54, No 1, pp 20-29. 2019
- [14] Constantine A.Balanis, "ANTENNA THEORY - Analysis and Design", Second Edition: Reprint 2007, John Wiley Publications.
- [15] A.Asthana and R.Vishvakarma,"Analysis of gap-coupled microstrip antenna",International Journal of Electronics,vol. 88,no. 6,pp.707-718,Novamber 2001.

[١٦] نصر، م؛ حسن، ل، "دراسة تأثير تقنيات التغذية على الهوائي الشرائحي المطبوع في مجال

الاتصالات الخلوية للجيل الخامس 5G"، مجلة جامعة طرطوس، ٢٠٢١.

- [١٧] نصر، م؛ حسن، ل، " تصميم مصفوفة هوائيات تعمل عند ثلاثة ترددات لأنظمة اتصالات الجيل الخامس 5G"، مجلة جامعة طرطوس، ٢٠٢٢.
- [18] I. Ndip, O. Schwanitz and K. Lang, "A Comparative Analysis of 5G mmWave Antenna Arrays on Different Substrate Technologies", pp. 222-225, 2018.
- [19] Bevelacqua, P. "Antenna-theory (Antenna-Theory - Rectangular Microstrip (Patch) Antenna - Feeding Methods)", 2017.
- [20] C.A. Balanis, Antenna theory: analysis and design, 2nd Edition, Wiley, 2005
- [21] Antenna-Theory.com - Fractional Bandwidth. (2017). Retrieved Feb 28, 2017.
- [22] T. Varum, A. Ramos, J. N. Matos, Planar microstrip series-fed array for 5G applications with beamforming capabilities, 2018 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on 5G Hardware and System Technologies (IMWS-5G), Page s: 1 – 3, 2018.