مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية
المجلد 42 (العدد):2 الصفحات: 206-218

Damascus university journal of Engineering Sceinces
V 42 (No):2 PP: 206-218

تحليل أداء هوائي عدسة فرينل ذات المناطق في مجال الأمواج الملمترية لاتصالات الجيل الخامس

شمعون سعيد [1*] عبد الكريم السالم [2]

[1*]. طالب دراسات عليا، مهندس، في قسم هندسة الالكترونيات والاتصالات – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة البعث shamaounssgp@albaathuniversity.edu.sy

[2]. أستاذ، دكتور في قسم هندسة هندسة الالكترونيات و الاتصالات في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة البعثassalem1@albaathuniversity.edu.sy

الملخص:

إن الهدف الرئيسي من استخدام العدسات مع الهوائيات هو تحسين الربح والإتجاهية بالاضافة إلى تحقيق تشّكيل الحزمة الهجين الرقمي الراديوي، وخصوصاً مع استخدام اتصالات تعدد المداخل وتعدد المخارج. حيث تعمل العدسة على تخفيض مستوى الفصوص الجانبية وتركيز الإشعاع بالإتجاه المرغوب، مما يخفض ضياع الطاقة ويحسن الفعّالية الطاقيّة للنظام بالإضافة لزيادة معدل نقل البيانات بشكل كبير، مما يحسّن من الفعّالية الطيفيّة. تم دراسة أنواع متعددة من العدسات وذلك بهدف الحصول على أبعاد أصغر ووزن أقل متوافقة مع القيود التي تفرضها أجهزة الإرسال والاستقبال المستخدمة في اتصالات الجيل الخامس.

يهدف البحث إلى تصميم هوائي عدسة قابل للتطبيق في نظام اتصالات الجيل الخامس باستخدام عدسة فرينل المستوية ذات المناطق Fresnel zone plate (FZP) والتي تمتاز بسماكة أقل ووزن أخف مقارنة مع العدسة ذات الألواح العازلة مع إمكانية تصنيعها بسهولة. وتعتمد عدسة FZP على التداخل البنّاء بين المناطق (N) المكوّنة للعدسة. تم تصميم هوائي عدسة FZP على المجال الترددي $V-band\ (57-66\ GHz)$ المستخدم في اتصالات الجيل الخامس. تتميز عدسة فرينل بخاصية المسافة البؤرية (البعد المحرقي) الصغيرة وبالتالي يمكن وضع التغذية على مسافة قريبة جداً من العدسة مما يجعل الهوائي مناسباً لاتصالات الجيل الخامس. ويعتمد البحث على طريقة الفروقات المحدودة في المجال الزمني FDTD المعتمدة في برمجية CST لدراسة وتحليل أداء الهوائي المقترح حيث تم استخدام الهوائي البوقي كهوائي تغذية أولاً ثم استخدام مصفوفة من الهوائيات البوقية كعناصر تغذية في المرحلة التالية وذلك بهدف الحصول على تشّكيل حزمة فعّال لتحسين الأداء. تم تحليل الأداء من خلال معاملات الأداء المعتمدة: عامل الانعكاس والربح وعرض مجال نصف الاستطاعة والمخطط الإشعاعي. وبيّنت النتائج تحسناً واضحاً لأداء الهوائي المليمتري باستخدام عدسة FZP بالمقارنة مع هوائي العدسة القائمة على الألواح العازلة. بشكل عام، يوفر هذا الهوائي أداءً جيدًا ضمن مجال الأمواج المليمترية، وأنماط إشعاع خاصة متوافقة مع معايير المعهد الأوروبي للاتصالات والمقاييسETSI، حيث يتميز بربح عالي نسبياً، بالإضافة إلى عامل الشكل المنخفض.

الكلمات المفتاحية: تشّكيل الحزمة الهجين، تعدد المداخل وتعدد المخارج، هوائي عدسة، عدسة فرينل ذات المناطق، المخطط الإشعاعي، الأمواج الملمترية.

تاريخ الإيداع: 2023/7/17
تاريخ القبول: 2023/10/15

حقوق النشر: جامعة دمشق – سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب CC BY-NC-SA

Performance Analysis Of The Zoned Fresnel Lens Antenna In The Millimeter Wave Range For 5G Communications

Shamoun Saeed*[1] abdulkarim Assalem[2]

*[1]. postgraduate student, at department of electronic and communication Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering , Al Baath University.
shamaounssgp@albaathuniversity.edu.sy

[2].Professor, Eng, at department of electronic and communication Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Al Baath University.
assalem1@albaathuniversity.edu.sy

Received: 17/7/2023
Accepted: 15/10/2023

Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA

Abstract:

The main objective of using lenses with antennas is to improve gain and directivity, in addition to achieve hybrid digital radio
beamforming, especially with the use of multiple inputs and multiple outputs communications, as the lens works to reduce level of side lobes and focus radiation in the desired direction, which reduces energy losses and improves energy efficiency of the system In addition to greatly increasing the data transfer rate, which improves spectral efficiency. Several types of lenses have been studied in order to obtain smaller dimensions and less weight compatible with the restrictions imposed by the devices used in fifth generation communications. The aim of the research is to design a lens antenna that is applicable in the fifth generation communication system using a Fresnel zone plate (FZP) lens, which is characterized by less thickness and lighter weight compared to the lens with dielectric plates, with the ability of easy manufacture it. The FZP lens depends on the constructive overlap between the (N) constituent regions of the lens. The FZP lens antenna is designed on the V-band (57-66 GHz) used in 5G communications. The Fresnel lens is characterized by a small focal distance and therefore the feed can be placed very close to the lens, which makes the antenna suitable for fifth generation communications. Research is based on The finite differential time domain (FDTD) method adopted in the CST software was used to study and analyze the performance of the proposed antenna, by using the horn antenna as a feed antenna first, and then using an array of horn antennas as feed elements in the next stage, in order to obtain effective beamforming to improve performance.The performance was analyzed through the approved performance coefficients: reflection factor, gain, half-power band width , and radial pattern. the results showed a clear improvement in the performance of the millimeter antenna using the FZP lens compared to Dielectric Slabs-Based Lens. In general, this antenna provides good performance within the millimeter wave range, and special radiation patterns compatible with European Telecommunications Standards Institute ETSI standards, as it is characterized by a relatively high gain, in addition to a low form factor.

Keywords: Hybrid beamforming ,MIMO, Lens antenna, Zoned Fresnel lens, Beam pattern, Millimeter waves.

المقدّمة:

شغل موضوع هوائيات العدسة (Boriskin et al,2018,3) اهتمام الباحثين على نطاق واسع، وخصوصاً في مجال البصريات خلال التطوّر المبكِّر للهوائيات المكروية، ولكن تراجع الاهتمام به في مجال الاتصالات نتيجة الأبعاد الكبيرة للعدسات حيث تم دراسة استخدام العدسات الكروية ونصف الكروية. ومع تزايد الطلب على معدلات نقل البيانات العالية، تم التوجّه لاستخدام مجالات الأمواج المليمترية لشبكات الاتصال اللاسلكي في الجيل الخامس $5G$ (M. Almasi et al,2018,3). ومع ذلك تطرح اتصالات الأمواج المليمترية العديد من التحديات المتنوعة المرافقة لاستخدام المجال الترددي العالي للقناة، وخصائص القناة الفريدة مثل قيود الأجهزة ، وقيود فقد المسار ، وفقد الاختراق. ونتيجة لذلك، تم اقتراح اجراء تشّكيل حزمة هجين (M.Nair et al,2019,11), (A. A. Nasir et al,2020,2) لإنشاء اتصال موثوق لاتصالات الأمواج المليمترية والحفاظ عليه. يعد تشّكيل الحزمة في $5G$ تقنية حديثة وقوية لتغطية المستخدم أو الإتجاه المقصود باستخدام نماذج إشعاع الحزمة الضيقة. وتعتمد تقنيات تشّكيل الحزمة على توجيه الفص الرئيسي للإشعاع عن طريق التبديل بين عناصر التغذية في مصفوفة الهوائي أو عن طريق التغيير النسبي لأطوار الإشارات الراديوية RFالتي تغذي عناصر المصفوفة. يتم دمج تقنيات مصفوفة الهوائي و تشّكيل الحزمة للحصول على أنظمة تعدد المداخل وتعدد المخارج MIMO حيث تلعب مصفوفة الهوائي متعدد الحزم دوراً حاسماً في أنظمة الاتصالات اللاسلكية الحديثة (Sohail Payami et al,2017,57 و Yulong Chen, 2019,46). وعلى الرغم من الإتجاهية العالية والمسح الشعاعي الفعّال لمصفوفة الهوائي، فإن تنفيذها العملي على ترددات الموجات المليمترية معقّد ومكلف نتيجة الحاجة لعدد كبير من السلاسل الراديوية. من هنا توجّه الباحثون حديثاً لتصميم هوائيات العدسة. حيث تُركِّز الأبحاث الحديثة على العدسات المبتكرة لاستخدامها في أنظمة تشّكيل الحزمة لإشارة $5G$ضمن مجال الأمواج الملمترية لتقليل التكلفة والتعقيد (Zeng et al, 2015,4). من خلال العدسة يمكن تحقيق إزاحة طورية بشكل غير فعّال وبدون الحاجة لشبكة كبيرة من مبدلات الطور في مصفوفة الهوائي، بينما تساهم خاصية تركيز الطاقة للعدسة في تحسين الربح والإتجاهية.كما ساعد التطور الكبير في تصنيع العدسات الدقيقة، باستخدام الطابعات الرقمية ثلاثية الأبعاد المتحكم بها، في إمكانية استخدام هوائيات العدسة ضمن اتصالات 5G.

1_الدراسات المرجعية:

استخدام Oskar Zetterstrom و Nelson J. G. Fonseca و آخرون(2022) نصف عدسة Luneburg المستوية لتصميم هوائي عدسة قائم على هيكل عازل متماثل الانحدار وبينت النتائج أن ربح الهوائي مع نصف عدسة لونبورغ أقل بمقدار 1dB فقط من ربح هوائي عدسة Luneburg التقليدية. بالرغم من كونها تشغل نصف الحجم الذي تشغله العدسة التقليدية. كما يمكن للهوائي المقترح توجيه الإشعاع في نطاق 50 درجة، مع فقد مسح أقل من 2dB. وتبلغ مستويات الفصوص الجانبية أقل من -10 dB (2283) كما درس Ali H. Alqahtani و Yosef T Aladadi (2022) هوائي عدسة باستخدام عدسة قائمة على الألواح(الصفائح) العازلة على التردد 28 GHz ، باستخدام الهوائي البوقي كمنبع اولي وبينت الدراسة أنه يمكن تحقيق زاوية تغطية حتى 70 درجة مع ربح أعظمي حتى 30dB ومستويات الفصوص الجانبية أقل من -19.8 dB (8) ودرس J.M. Rodríguez, Hristo D. Hristov و آخرون (2011) تصميمات مختلفة لعدسة فرينل المستوية ذات المناطق FZP على مجالات ترددية مختلفة حيث قارن البحث بين أداء ثلاث عدسات الأولى 8-step FZP و الثانية 4-step FZP والثالثة 2-step FZP على المجال (30-50 GHz) وعلى المجال (1.2-2.0 THz)

واستنتج أنه من أجل الترددات المكروية فإن العدسات 4-step FZP و8-step FZP لهما أداء متقارب و أفضل من **أداء** 2-step FZP (3). كما قدم الباحث Mohammad Reza DEHGHANI KODNOEIH (2018) أطروحة دكتوراه يبيّن فيها دراسة تحليلية لهوائي العدسة باستخدام عدسة FZP ذات المناطق المطوية وذلك بهدف حل مشكلة المسافة البؤرية للعدسة بحيث يتم تصغيرها إلى ثلث ماكانت عليه من خلال استخدام هيكلية جديدة أطلق عليها مصطلح عدسة فرينل ذات المناطق المطوية FFZP مؤلفة من عدسة FZP مع عاكس ناقلTrans-reflector وعاكس ملتوي Twist-reflector مصنوعين من أشرطة مطبوعة على طبقات أساس عازلة وذلك باستخدام هوائيات تغذية أولية مختلفة مثل الهوائي البوقي المتدرج (الفصل الثالث) مصفوفة هوائيات شرائحية ذات فتحة مع وجود شريحة تصحيح (ACMPP) (الفصل الرابع) كما قدم حلول لزيادة التوجيهية (الفصل الخامس)حيث بينت الدراسة إمكانية تخفيض الأبعاد بين العدسة و الهوائي المغذي الأولي بالاضافة لتحسين توجيه الحزمة والربح باستخدام شريحة التصحيح . كما قدّم J.M. Fernández González و S. Manafi1 و آخرون (2019) دراسة عن تصميم مصفوفة هوائي عدسة Luneburg المثقبة و المستوية على المجال الترددي 110 GHz – 45، حيث يتم استخدام الثقوب ضمن العدسة لتحقيق سماحية العازل المطلوبة، من أجل التدريج المنتظم بقيم السماحية لطبقات العدسة. و بيّن البحث إمكانية توجيه الحزمة ضمن نطاق زاوي $\mp 30°$ عن طريق دمج العدسة مع مصفوفة مؤلفة من 9×5 هوائي بوقي TEM ، حيث بينت النتائج أن العدسة ساهمت في زيادة الإتجاهية بشكل كبير و توجيه الحزمة تبعاً لموقع الهوائي المغذي في المصفوفة (2).

بالإضافة إلى ذلك هناك العديد من الدراسات مثل C.Ballesteros وآخرون (2017) التي استخدمت عدسات نصف كروية بسيطة مع مصفوفة من الهوائيات الشرائحية والتي بينت أهمية العدسة في تركيز الإشعاع وزيادة الربح (2) إلا أن الحجم الكبير للعدسة نصف الكروية جعلها غير مرغوبة في تطبيقات الجيل الخامس.

2_مسألة البحث:

تعد عدسة فرينل المستوية ذات المناطق (FZP) شائعة في الأنظمة الإلكترونية شبه البصرية المختلفة وتتكون من مجموعة من الحلقات متحدة المركز ذات معامل انكسار متغير وقد استخدمت على نطاق واسع في مختلف المجالات مثل الاستشعار عن بعد والاتصالات. في هذا البحث نستخدم هوائي عدسة فرينل المستوية ذات المناطق منخفض المستوى، أحادي الاستقطاب لاتصالات $5G$ من نقطة إلى نقطة ضمن مجال الأمواج الملمترية في المجال الترددي V_Band حيث يتميز هذا الهوائي بربح عالي و سهولة في التصنيع و حجم مناسب وتكلفة منخفضة فضلاً عن الاستهلاك القليل للطاقة ، كما يتبين لدينا في نتائج الدراسة. حيث تم تحليل أداء الهوائي بما يتوافق مع ETSI V – band class 2 معيار المعهد الأوروبي للاتصالات والمقاييس.

3_ إجرائية البحث:

تمت دراسة عدسة فرينل المستوية ذات المناط(FZP) بشكل مفصل مع التركيز على عدسة (FZP) المحززة ذات معامل انكسار متغير تبعاً لهندسة العدسة و تم إجراء هذا البحث على ثلاثة مراحل حسب التسلسل التالي:

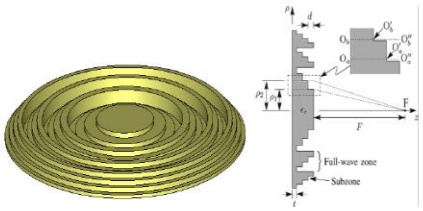
دراسة عامة لأنواع عدسة فرينل ذات المناطق وخصائصها وميزاتها و العوامل المؤثرة على كل منها.

دراسة و تحليل أداء هوائي عدسة فرينل المستوية ذات المناطق المحززة باستخدام هوائي البوقي كمنبع تغذية في المرحلة الأولى و مصفوفة من الهوائيات البوقية كمنبع تغذية في المرحلة الثانية.

مقارنة أداء هوائي عدسة (FZP) المحززة مع أداء هوائي العدسة القائمة على الألواح العازلة.

5_ عدسة فرينل المستوية ذات المناطق:

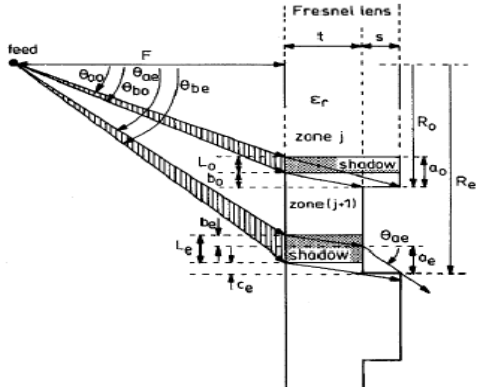
تعد عدسة فرينل المستوية ذات المناطق Fresnel Zone plate (FZP) نوع من العدسات المستوية ذات معامل الانكسار المتدرج، تم استخدام هذه العدسة لأول مرة في المنازل المضيئة لتركيز الضوء وتضخيمه. ميزتها الرئيسية هي أنها رقيقة جدًا وبالتالي لا تشغل حجم كبير كما هو الحال بالنسبة للعدسات الكروية وتتميز بتركيز عالي



الشكل(1) عدسة فرينل ذات المناطق المحززة

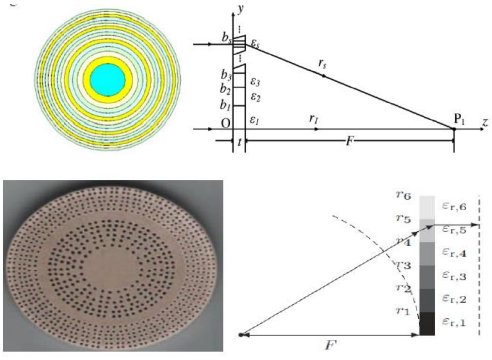
للاشارات المكروية المليمترية. يمكن أن تكون عدسة (FZP) إما مصنوعة من مادة مفردة ، حيث يتغير معامل الانكسار مكانياً عن طريق تعديل شكلها بصورة صحيحة، أو من عدة مواد حيث يتم تجميع مواد مختلفة بمعاملات انكسار مختلفة.

وبالتالي تتميز عدسات (FZP)بشكلها الرفيع مقارنة بالعدسات نصف الكروية النموذجية. وتعتمد وظائف عدسة (FZP) على التداخل البناء بين المناطق (N)المكونة للعدسة. تعمل هذه المناطق كمحولات طور، وتتكون كل منها من مناطق فرعية (P)تقوم بتصحيح الطور بشكل تدريجي .يتم تحديد الحد الأقصى لخطأ الطور لكل منطقة من خلال عدد مناطقها الفرعية (P) ويتوافق مع القيمة $2\pi/p$ و لكل منطقتان متجاورتان إزاحة طورية مقدارها $\boldsymbol{2\pi}$.وبشكل عام يتغير معامل انكسار عدسة فرينل محلياً اعتماداً على كيفية تحقيق هذه الإزاحة، حيث يوجد عدة أنواع لعدسات مناطق فرينل كما مبين بالشكلين (1) و (2) تبعاً لآلية تغيير معامل الانكسار الأول هو عدسة (FZP) المحززة حيث يتغير معامل الانكسار باستخدام التمويجات في عازل كهربائي واحد (D. R. Reid et al, 2007,2183).



الشكل (3) تأثير الحجب المموج على عدسات المناطق المحززة

(FZP) متعددة العوازل (H. D. Hristov et al, 2012, 574) حيث يتغير معامل الانكسار باستخدام عوازل مختلفة السماحية النسبية. إن العيب الرئيسي لعدسة (FZP) المحززة هو تأثير الحجب المموج (A. Petosa et al, 2000 ,453) و M R. DEHGHANI KODNOEIH,2018,86)) كما هو موضح في الشكل (3) يقلل هذه الحجب من كفاءة فتحة الهوائي وهي تتبع لنسبة البعد المحرقي إلى القطر (F/D). و باستخدام هياكل مستوية أكثر، مثل عدسة (FZP) متعدد العوازل أو



الشكل (2) عدسات فرينل المثقبة وذات العوازل المختلفة

M R. DEHGHANI KODNOEIH,2018,85)) وعدسة (**FZP**) المثقبة حيث يتغير معامل الانكسار باستخدام ثقوب في عازل منفرد (X. Wang et al, 2015,2065) وعدسة

عدسة (FZP) المثقبة، يمكن تجنب تأثير الظل. لكن يتطلب الأخير ثقوبًا ذات أبعاد صغيرة جدًا من رتبة 0.1 λ مما يزيد من صعوبة تنفيذها في مجال الموجات المليمترية بشكل كبير. كما تتطلب الهياكل متعددة العوازل تجميع حلقات عازلة مختلفة، بأبعاد صغيرة حوالي 0.4 λ مما يزيد من تعقيد التصنيع عند الموجات المليمترية. وبالتالي تم في هذا البحث دراسة عدسة فرينل المحززة لبساطة تنفيذها وانخفاض تكلفتها

5_1_دراسة معاملات عدسة فرينل ذات المناطق المحززة:

يبين الشكل (4) نموذج تصميمي لعدسة (FZP) المحززة باستخدام مادة البروبلين (PP) العازلة والتي لها معامل سماحية نسبي $\boldsymbol{\varepsilon_r = 2.3}$. تعمل الأخاديد الدائرية العازلة المشار إليها بالمناطق، بمثابة مبدلات طور، حيث يتم حساب نصف قطر كل منطقة R_z حسب العلاقة (1) M R DEHGHANI (KODNOEIH, 2018,86):

الجدول (1) المعاملات الرئيسية لتصميم العدسة

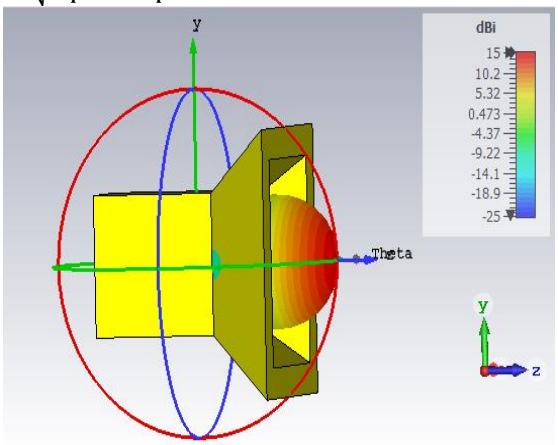
القطر D	$\boldsymbol{120\ mm}$
المسافة البؤرية F	$80\ mm$
F / D	0.66
عدد المناطق	$n = 4$
أقصى خطأ في الطور	90
المواد	بروبلين (PP)
معامل السماحية النسبي	$\varepsilon_r = 2.3$
سماكة قاعدة العدسة	$t_b = 0.5$ mm
سماكة العدسة $\boldsymbol{FZP}$	$t = 7.85\ mm$
زاوية إضاءة الحافة	$\theta_{\text{Edge}} = 36.9°$

حيث هي المسافة البؤرية لهوائي عدسة (FZP) N هي العدد الإجمالي للمناطق و λ_0 هي الطول الموجي في الفضاء الحر عند التردد المركزي (61.5 GHz). تتكون كل منطقة ذات أخدود كامل الموجة FWG من تمويجات متدرجة، يشار إليها بالمناطق الفرعية p، مما يؤدي إلى تصحيح الطور بشكل تدريجي. يتم تحديد الحد الأقصى لخطأ الطور لكل منطقة FWG بواسطة عدد المناطق الفرعية **p** و يتوافق مع $2\pi / p$. يتم حساب نصف قطر كل منطقة فرعية

Rs

حسب العلاقة (2) (M R. D KODNOEIH,2018,86):

$$\mathbf{R_s = \sqrt{\frac{2s\lambda_0 F}{p} + \frac{(s\lambda_0)^2}{p}}} \qquad (2) \qquad \mathbf{s = 1, 2, \dots, N \times p}$$

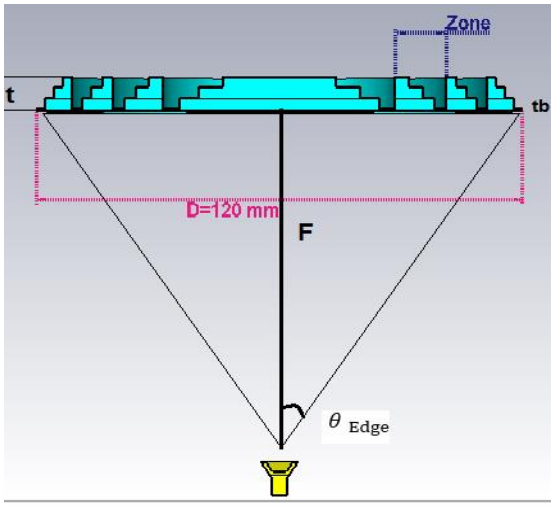


الشكل(5) نموذج هوائي بوقي كمغذي وحيد يعمل على التردد $\boldsymbol{61.5GHZ}$

حيث $s = N \times p$ هو العدد الإجمالي للمناطق الفرعية. و يتم حساب سماكة خطوات التمويج tc حسب العلاقة (3) (M R. D KODNOEIH,2018,86):

$$t_c = \frac{\lambda_0}{p(\sqrt{\varepsilon_r}-1)} \qquad (3)$$

يتم اختيار سماكة الطبقة العازلة الداعمة $\mathbf{t_b}$ بحيث يتم تقليل عدم التوافق بين واجهة عدسة (FZP) المحززة والهوائي المغذي قدر الامكان. يبين الجدول(1) الخصائص الرئيسية لعدسة



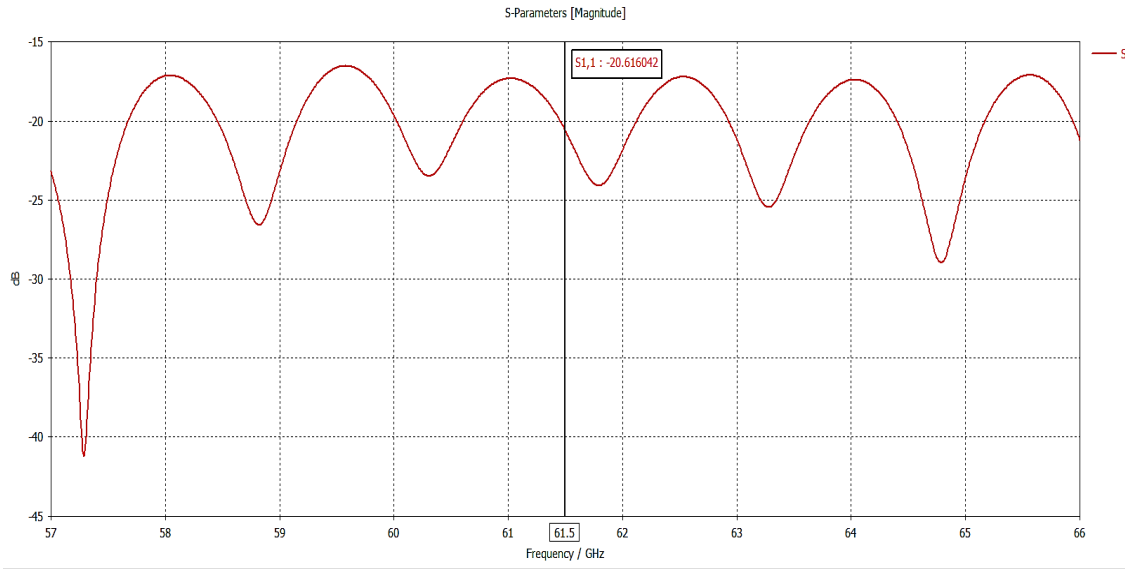
الشكل (4) نموذج تصميمي لعدسة *FZP*

(FZP) المحززة المصممة. ويتم التغذية باستخدام دليل موجة WR15 له الأبعاد $0.38mm \times 5.08mm$ (David M. Pozar et al, 2012, ,720) مع هوائي بوقي له فتحة ذات أبعاد $11mm \times 9.2mm$ ويبين الشكل (5) نموذج الهوائي البوقي كاملاً كمنبع تغذية أولي يعمل على التردد $61.5\ GHZ$ حيث تم تصميم الهوائي البوقي بالاعتماد على علاقات الهوائي البوقي الهرمي حسب المرجع (Constantine A. Balanis, 2011, ,118) وذلك باستخدام النحاس النقي.

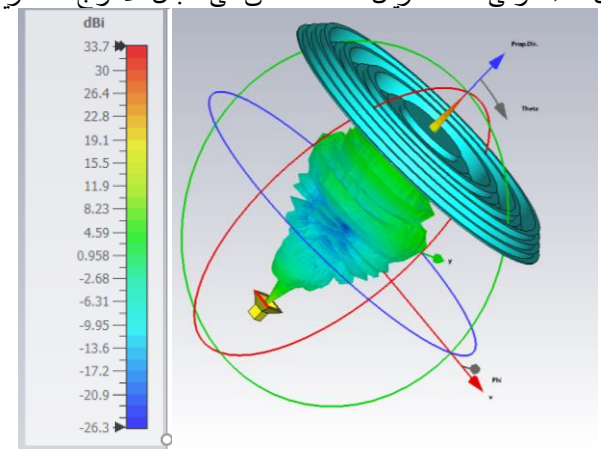
6- نتائج المحاكاة والمناقشة:

باستخدام طريقة الفروقات المحدودة في المجال الزمني $FDTD$ المعتمد في برمجية CST تم دراسة أداء الهوائي في حالتين الأولى باستخدام هوائي بوقي كمغذي وحيد متوضع في محرق العدسة ونقارن النتائج مع حالة عدم وجود عدسة و الحالة الثانية سندرس حالة استخدام مصفوفة من عناصر التغذية مؤلفة من 16 عنصر و سنقارن النتائج مع حالة عدم وجود عدسة ثم نقارن النتائج مع حالة استخدام عدسة الألواح العازلة كما في المرجع (Alqahtani et al, 2022,10).

6_1_ استخدام هوائي بوقي كمغذي وحيد:

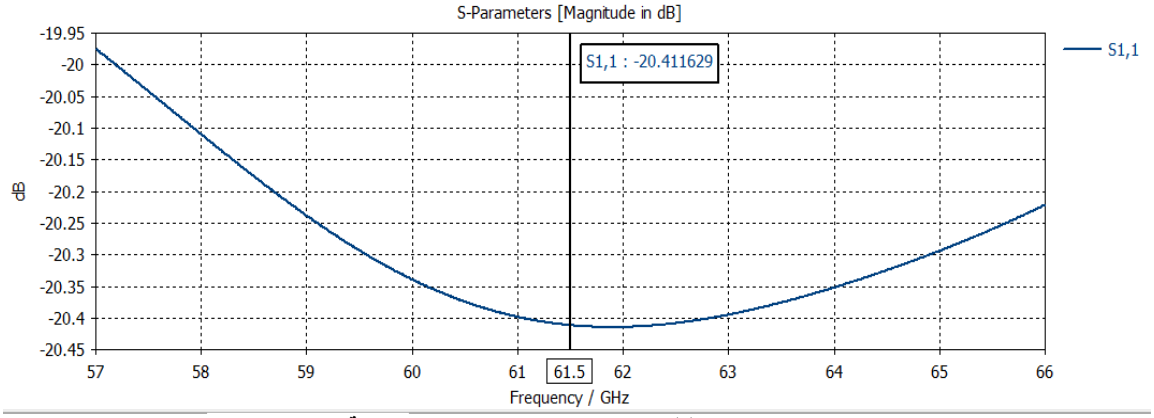


الشكل (7) مخطط S_{11} للهوائي مع استخدام العدسة



الشكل(8) هوائي العدسة باستخدام الهوائي البوقي كعنصر تغذية

يبين الشكل (6) مخطط S_{11} للهوائي بدون استخدام العدسة كما يبين الشكل (7) مخطط S_{11} للهوائي مع استخدام العدسة .



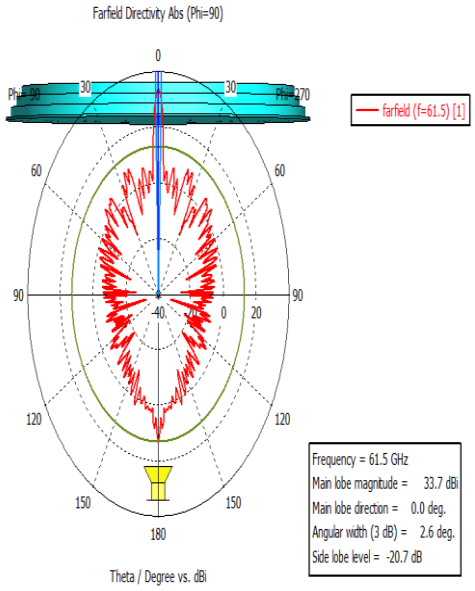
الشكل (6) مخطط S_{11} للهوائي بدون استخدام العدسة .

حيث تبلغ قيمة عامل الانعكاس$S_{11} = -20.4116$ عند التردد 61.5 في حالة عدم استخدام العدسة بينما تبلغ $S_{11} = -20.616042$ في حالة استخدام العدسة وبالمقارنة نلاحظ التوافق الجيد الذي تؤمنه العدسة عند التردد المستخدم كما يمكن استخدام مجال ترددي عريض جداً مما يزيد من معدل النقل حيث أن قيم معامل الانعكاس تكون منخفضة نسبياً على المجال الترددي $57.5GHz$ حتى 66 GHz. كما يوضح الشكل (8) المخطط الإشعاعي ثلاثي الأبعاد لهوائي العدسة يعمل على التردد 61.5 GHz وتبلغ قيمة الربح الأعظمي $33.7\ dBi$. ويمكن أن نلاحظ من الشكل (9) والذي يبين المخطط القطبي الإشعاعي ثنائي البعد للهوائي، حيث تبلغ عرض مجال منتصف الاستطاعة $HPBW = 2.6\ deg$ فقط، مما يبين دور العدسة بتركيز الإشعاع بإتجاه يعتمد على خصائص العدسة وموقع عنصر التغذية بالنسبة للعدسة. وذلك بهدف الحصول على أفضل توافق مما يحسن أداء هوائي العدسة في عملية تشّكيل الحزمة الراديوي.كما تظهر النتائج تحسناً كبيراً في ربح الهوائي البوقي، حيث أن ربح الهوائي البوقي هو 15 dBi ، وعند وضع العدسة يتحسن الربح بمقدار 18.7 dBi حيث يصبح 33.7 dBi . أي أن العدسة قامت بتشّكيل حزمة كبير و تحسين جيد في الربح .

6_2_ استخدام مصفوفة من منابع التغذية:

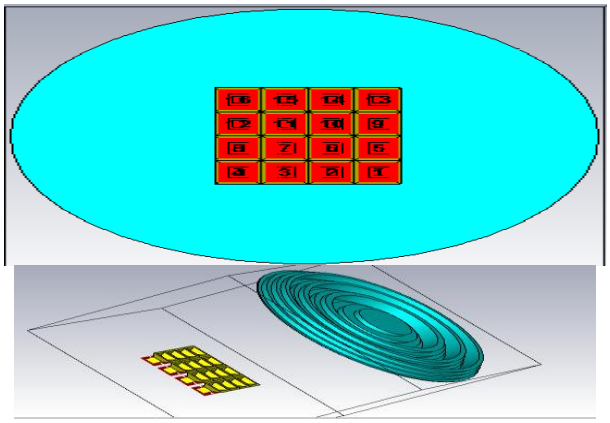
من أجل تحقيق ربح أعلى و الاستفادة من ميزات نظام MIMO الملمتري نستخدم مصفوفة مؤلفة من 16 هوائي بوقي 4×4 كل منها له أبعاد الهوائي البوقي السابق نفسه بحيث يتم تحقيق أفضل توافق مع أبعاد العدسة المستخدمة و بعدها المحرقي والتقليل قدر الامكان من الفصوص الجانبية والحصول على ربح أعلى بالإتجاه المرغوب ويمكن استخدام مصفوفة هوائيات ذات أبعاد مختلفة مع تغيير أبعاد العدسة المستخدمة بحيث نضمن أفضل توافق مما يحسن الربح نتيجة

تشّكيل الحزمة الذي تؤمنه مصفوفة الهوائيات مع العدسة و يبين الشكل (10) العدسة مع مصفوفة الهوائيات البوقية مع أرقام منابع التغذية في المصفوفة . ومن خلال التحكم بأطوار التغذية لكل منبع يمكن توجيه الإشعاع الأعظمي نحو المستقبل بشكل مباشر وتلعب العدسة دوراً أساسياً في زيادة الربح مما يحسن الفعّالية الطيفية ويزيد الفعّالية الطاقية لنظام الاتصال الملمتري. كما يوضح الشكل (11) و الشكل(12) المخطط الإشعاعي ثلاثي الأبعاد و ثنائي الأبعاد للمصفوفة بدون وجود عدسة، في الحالتين الأولى عند تشغيل المنبع رقم 1 و الثانية عند تشغيل المنبع رقم 15 .حيث نلاحظ أن قيمة الربح



الشكل(9) المخطط الاشعاعي لهوائي العدسة يعمل على التردد $61.5GHZ$

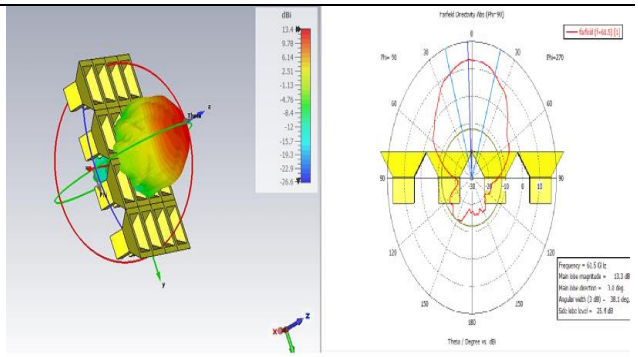
الأعظمي عند تشغيل المنبع رقم 1 هي $13.3dBi$ مع عرض مجال نصف استطاعة $HPBW = 38.1\ deg$ وعند تشغيل المنبع رقم 15 نلاحظ أن قيمة الربح الأعظمي هي $\mathbf{13.5dBi}$ مع عرض مجال نصف استطاعة $HPBW = 37.3\ deg$ أما في حالة وجود العدسة كما هو موضح بالشكلين (13) و (14)، نلاحظ أن قيمة الربح الأعظمي هي $29.3dBi$ عند تشغيل المنبع الأول مع عرض مجال نصف استطاعة $HPBW = 6.9\ deg$ وعند تشغيل المنبع رقم 15، نلاحظ أن قيمة الربح الأعظمي هي $\mathbf{31.2\ dBi}$ مع عرض مجال نصف استطاعة $HPBW = 3.2\ deg$ ومنه نستنتج أن العدسة قدمت ربحاً إضافياً $\mathbf{18\ dBi}$ ، كما ساهمت في تركيز الإشعاع بالإتجاه المرغوب حيث نلاحظ أنه في حالة عدم وجود عدسة فإن إتجاه الإشعاع الأعظمي هونفسه $\boldsymbol{\theta = 3deg}$ في الحالتين عند تشغيل المنبع الأول و المنبع رقم 15. أما مع وجود عدسة فإن إتجاه الإشعاع الأعظمي يختلف تبعاً لرقم المنبع الذي يتم تشغيله ، كما نجد أن إتجاه الإشعاع الأعظمي في حالة تشغيل المنبع رقم 1 هو $\boldsymbol{\theta = 18\ deg}$ أما عند تشغيل المنبع رقم 15 فيصبح $\boldsymbol{\theta = 10\ deg}$ من هنا نستنتج أهمية العدسة في تركيز الإشعاع بشكل أفضل و زيادة فعالية تشّكيل الحزمة وبالتالي تحقيق فعالية طيفية أعلى نتيجة زيادة معدلات النقل و زيادة الفعّالية الطاقية لكل من محطة القاعدة و جهاز المستقبل مما يوفر الطاقة بشكل كبير



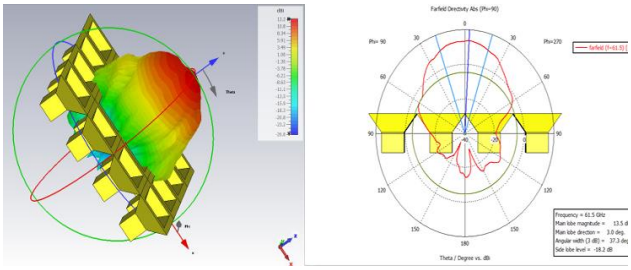
الشكل (10) هوائي العدسة مع مصفوفة التغذية.

7_ مقارنة النتائج:

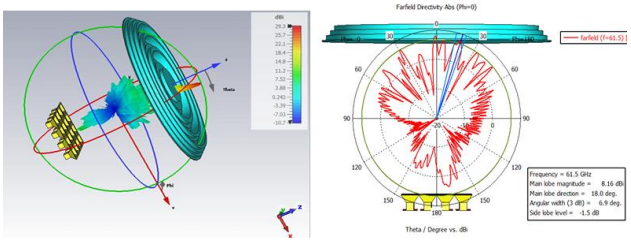
تم مقارنة النتائج مع نتائج المرجع (Alqahtani et al, 2022,10) كما هو مبين بالشكل رقم (15) حيث استخدم المرجع عدسة مكونة من عدة طبقات عازلة و لكل طبقة لها معامل انكسار مختلف بحيث يتحقق التدرّج المطلوب في معامل الانكسار عن طريق تغير سماكة الألواح المكونة للعدسة بشكل تدريجي. وتم



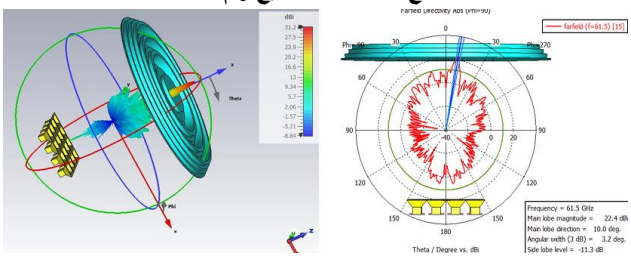
الشكل(11) المخطط الاشعاعي ثلاثي الأبعاد و ثنائي الأبعاد للمصفوفة بدون عدسة حالة منبع رقم 1



الشكل(12) المخطط الأشعاعي ثلاثي الأبعاد وثنائي الأبعاد بدون عدسة حالة منبع رقم 15



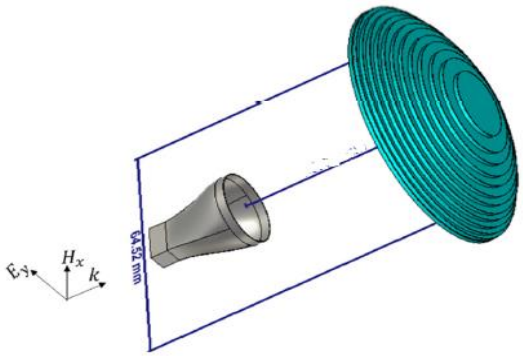
الشكل (13) المخطط الأشعاعي ثلاثي الأبعاد وثنائي الأبعاد لهوائي العدسة مع عدسة حالة منبع رقم 1



الشكل (14) المخطط الأشعاعي ثلاثي الأبعاد وثنائي الأبعاد لهوائي العدسة مع عدسة حالة منبع رقم 15

الجدول (2) مقارنة النتائج مع هوائي العدسة باستخدام الألواح العازلة

	الربح (**dBi**)	مستوى الفص الجانبي (**dB**)	عرض مجال نصف الاستطاعة **deg**	التردد	نوع العدسة	الهوائي المستخدم
هوائي العدسة باستخدام عدسة (**FZP**)	33.7	-20.7	2.6	61.5 GHZ	عدسة (FZP)	الهوائي البوقي
هوائي العدسة باستخدام عدسة الألواح العازلة	□□ **19.8**−	**6**	**28 GHZ**	عدسة الألواح العازلة		الهوائي البوقي



الشكل(15) هوائي العدسة باستخدام العدسة القائمة على الألواح العازلة

تحليل الأداء باستخدام الهوائيات البوقية على التردد 28 GHZ ويبين الجدول(2) مقارنة بين النتائج التي تم التوصل اليها في البحث السابق مع نتائج البحث الحالي ويمكن أن نلاحظ أن هوائي العدسة باستخدام عدسة (FZP) يقدم أداء أفضل من هوائي العدسة باستخدام عدسة الألواح العازلة من حيث الربح و عرض مجال نصف الاستطاعة للفص الرئيسي ومستوى الفص الجانبي بالاضافة إلى ذلك فإن هوائي العدسة باستخدام (FZP) له حجم أقل من حجم هوائي العدسة الآخر وذلك لأن

العدسة القائمة على الألواح العازلة لها حجم أكبر بكثير من حجم عدسة (FZP) بالاضافة لوزن أكبر وتكلفة أعلى مما يجعل هوائي العدسة باستخدام عدسة (FZP) مرغوباً أكثر في تطبيقات اتصالات $5G$ لصغر حجمه إلا أنه يتطلب دقة في تصنيع العدسة وبالتالي يحتاج لطابعات ثلاثية الأبعاد ذات دقة عالية.

8_الخاتمة و الأعمال المستقبلية:

تم تصميم و تحليل أداء هوائي عدسة فرينل ذات المناطق **FZP** يعمل على المجال الترددي المستخدم في اتصالات الجيل الخامس $V-band\ (57-66\ GHz)$.

و تم التوصل للنتائج التالية:

أ_ تتميز عدسة فرينل بخاصية المسافة البؤرية(البعد المحرقي)غيرة وبالتالي يمكن وضع التغذية على مسافة قريبة جداً من العدسة مما يجعل الهوائي مناسباً لاتصالات الجيل الخامس.

ب_ تم تحليل أداء هوائي العدسة المتكامل باستخدام طريقة الفروقات المحدودة في المجال الزمني FDTD المعتمد في برمجية CST.

أولاً: الهوائي البوقي كهوائي تغذية وتم دراسة أداء الهوائي بوجود العدسة وبدونها وبينت النتائج أن العدسة قدمت تشّكيل حزمة أكثر دقة مع تحسين جيد في الربح .

ثانياً: تم استخدام مصفوفة من الهوائيات البوقية كعناصر تغذية في المرحلة التالية وذلك بهدف الحصول على تشّكيل حزمة فعّال لتحسين الأداء وتم المقارنة بين حالة وجود عدسة وبدونها وبينت النتائج أهمية العدسة في زيادة الربح بالإتجاه المرغوب و قدرة العدسة على تركيز الإشعاع نحو الهدف المطلوب وباستخدام المصفوفة مع العدسة يمكن التحكم بزاوية الإشعاع الأعظمي حيث يمكن توجيه الحزمة الإشعاعية عن طريق التحكم بأطوار التغذية للمنابع التي تغذي المصفوفة و بالتالي الحصول على ربح أعظمي بالإتجاه المرغوب مما يزيد من معدل النقل بشكل كبير بالاضافة لتحسين الفعّالية الطاقية لمحطة القاعدة و جهاز المستخدم.

ج_ تمت مقارنة النتائج مع حالة استخدام عدسة قائمة على الألواح العازلة وبينت النتائج تفوق عدسة فرينل ذات المناطق حيث حققت ربح أعلى و عرض مجال نصف استطاعة أضيق و كبت أكبر للفصوص الجانبية .

د_ تتميز عدسة فرينل ذات المناطق على العدسة القائمة على الألواح العازلة بحجم ووزن أقل مما يجعلها مرغوبة بشكل أكبر في أنظمة الاتصال الملمترية. للجيل الخامس.

هـ_ بشكل عام، يوفر هذا الهوائي أداءً جيدًا ضمن مجال الأمواج المليمترية وأنماط إشعاع خاصة متوافقة مع معايير المعهد الأوروبي للاتصالات والمقاييس ETSI، حيث يتميز بربح عالي نسبياً، بالإضافة إلى عامل الشكل المنخفض.

و_ يمكن استخدام مصفوفة هوائيات ذات أبعاد أقل كالهوائيات الشرائحية وتصغير أبعاد العدسة بما يتوافق مع الأبعاد الجديدة وبالتالي الحصول على هوائي عدسة ذو أبعاد صغيرة جداً ووزن قليل جداً ملائم للاستخدام في التطبيقات التي تتطلب حجم صغير ووزن خفيف كالطائرات بدون طيار مثلاً وغيرها.

قائمة المصطلحات العلمية:

نظام اتصال تعدد المداخل وتعدد المخارج **(MIMO) multiple inputs and multiple outputs communications system**

تشّكيل الحزمة الهجين Hybrid beamforming

هوائي العدسة Lens Antenna

طريقة الفروقات المحدودة في المجال الزمني
(FDTD)The finite differential time domain

عدسة فرينل المستوية ذات المناطق
Fresnel zone plate lens (FZP)

عرض مجال منتصف الاستطاعة

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل **(**501100020595**).**

References:

1. Artem V. Boriskin, Ronan Sauleau,, 2018, " Aperture Antennas for Millimeter and Sub-Millimeter Wave Applications ",Library of congress control Number 2017946656 DOI: 10.1007/978-3-319-62773-1_1 , ISBN: 978-3-319-62772-4 (e Book), Copyright © springer internationa publishing AG 2018
2. M. Almasi , R. Amiri. **2018**, A New Millimeter Wave MIMO System for 5G Networks , arXiv:1807.04851v1 [cs.IT] Corpus ID: 49745121, Cornell University
3. A. A. Nasir, H. D. Tuan, T. Q. Duong, H. V. Poor and L. Hanzo,2020, Hybrid Beamforming for Multi-user Millimeter-wave Networks ,IEEE Transactions on Vehicular Technology DOI: 10.1109/TVT.2020.2966122 ·
4. M .Nair , 2019, Millimeter Wave Hybrid Beamforming Systems, University of Kent A thesis submitted in fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy Electronics Engineering.
5. Sohail Payami 2017 "Hybrid Beamforming for Massive MIMO" Institute for Communication Systems Faculty of Engineering and Physical Sciences University of Surrey Guildford, Surrey GU2 7XH, U.K.
6. Yulong Chen, 2019 " Low Complexity Precoding Schemes for Massive MIMO Systems, " Newcastle University. A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy june
7. Yong Zeng and Rui Zhang, " Millimeter Wave MIMO with Lens Antenna Array: A New Path Division Multiplexing Paradigm" ,2015. IEEE Transactions on Communications arXiv:1507.01699v1 [cs.IT]
8. Fonseca,2022 “Compact Half-Luneburg Lens Antenna Based on a Glide-Symmetric Dielectric Structure IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPA GATION LETTERS, VOL

.Alqahtani, A.H.; Aladadi,Y.T.; Alresheedi, M.T.

9. 2022 "Dielectric Slabs-Based Lens for Millimeter- Wave Beamforming. Appl. Sci., 12, 638. https://doi.org/10.3390/ app12020638.

10. J.M. Rodríguez, Hristo D. Hristov 2011 "Fresnel zone plate and ordinary lens antennas" IEEE Xplore DOI: 10.23919/EuMC.2011.6101941.

11. Mohammad Reza DEHGHANI KODNOEIH 2018 "Development of next-generation 5G directive antennas at millimeter waves "Thèse présentée et soutenue à Polytech Nantes, le 05 Novembre 2018 Unité de recherche : IETR UMR CNRS 6164