تصميم هوائي مصفوفي ذو مخطط إشعاعي شبه آيزوتروي باستخدام المشعات الاطارية

د. م. عبد المعين أحمد الرفاعي*

(الإيداع: 24 نيسان 2024، القبول: 6 حزيران 2024)

الملخص:

تم في هذا البحث اقتراح تصميم جديد لهوائي مصفوفي يتميز بمخطط إشعاعي شبه آيزوتروبي في المستوي الكهربائي، حبث يتكون الهوائي المقترح من مشعات إطارية. لتحسين عملية الموافقة من حيث الممانعة وزيادة التوجيهية تم استخدام مشعات إطارية متصلة على التسلسل مع بعضهم البعض وطول محيط كل مشع عند التردد المتوسط يساوي 2λ بدلاً من λ. تم من خلال المحاكاة العددية دراسة خصائص الهوائي المقترح وأمثلة البارامترات الهندسية لمشعات الهوائي المصفوفي، بحيث يتم الحصول على مخطط إشعاعي شبه آيزوتروبي في المستوي الكهربائي. أظهر التحليل العددي أن الهوائي المقترح يتمتع بخصائص إشعاعية محسنة من حيث تباين ربح المخطط الإشعاعي على كامل سطح الاشعاع الكروي وبنطاق ترددي عريض من حيث موافقة الممانعة مقارنة بالهوائي المصفوفي ذو محيط المشع الذي يساوي λ.

الكلمات المفتاحية: الهوائي الاطاري، التوصيل التسلسلي، محيط الإطار، مخطط إشعاع شبه آيزوتروبي.

* أستاذ مساعد في قسم الاتصالات- كلية الهندسة – الجامعة الوطنية الخاصة - حماة

Design of an Array Antenna with a Quasi–Isotropic Radiation Pattern Using FrameRadiators

Dr. Eng. Abdoulmouen Ahmed Alrifai

(Received: 24 April 2024, Accepted: 11 July 2024)

Abstract:

In this research, a new design for an array antenna was proposed that features a quasi–isotropic radiation pattern in the electrical plane. The proposed antenna consists of frame radiators. To improve the approval process in terms of impedance and increase directivity, frame radiators connected in series with each other were used, and the circumference length of each radiator at the intermediate frequency equals 2λ instead of λ. Through numerical simulation, the characteristics of the proposed antenna and examples of geometric parameters of array antenna radiators were studied, so that a quasi–isotropic radiation pattern in the electrical plane was obtained. Numerical analysis showed that the proposed antenna has improved radiation characteristics in terms of the gain variation of the radiation pattern over the entire spherical radiation surface and with a wide bandwidth in terms of impedance matching compared to the array antenna with a radiator circumference equal to λ.

Keywords: frame antenna, serial connection, frame circumference, quasi–isotropic radiation pattern.

*Associate Professor – Al-Wataniya Private University - Faculty of Engineering - Department of Communications

1- المقدمة:

تم استخدام الهوائيات الاطارية منذ سنوات عديدة في منظومات الاتصالات اللاسلكي المختلفة [1]. عادةً ما يتم استخدام هوائي اطاري مع اطارين متصلين على التوازي. المحيط في كل منهما يساوي الطول الموجي عند التردد المتوسط (إطار بطول موجة واحدة) [1,2]. يمتلك الإطار ثنائي طول الموجة توجيهية أكبر بمقدار 3dB تقريبًا من إطار ذو طول الموجة الواحدة، ولكن مقاومة دخله كبيرة [3]، مما يصعب عملية الموافقة. لكن، توصيل إطارات ذات طولين موجيين في مصفوفة خطية مع إثارة متسلسلة يخفض من مقاومة الدخل. بالإضافة إلى ذلك، فإن ذلك يؤدي إلى زيادة في التوجيهية. تم وصف مثل هذه المصفوفة بإيجاز في [3,4]. يعرض هذا البحث نتائج محاكاة عددية أكثر تفصيلاً لمصفوفة خطية من مشعات اطارية ذات طولين موجيين مع اتصال تسلسلي. يتم ثني الإطارات في المستوي الكهربائي لإنتاج مخطط إشعاعي شبه آيزوتروبي في المستوي الكهربائي.

2- الدراسات المرجعية:

تم في [1] تقديم مراجعة متعمقة للهوائيات الشبه آيزوتروبية، بهدف فهم مبادئ عمل هذه الهوائيات وعرض التطورات والتحديات والحلول الحديثة التي يقدمها مختلف الباحثين. تم في البداية مناقشة تقنيات التصميم المختلفة لتحقيق مخططات شبه آيزوتروبية، مثل استخدام الديبولات التكميلية، وأحاديات القطب المتعددة أو الديبولات، والاطارات. تم شرح تطبيقاتها بإيجاز في تقنيات مختلفة، مثل RFID، وحصاد الطاقة، وشبكات الاستشعار اللاسلكية، وإنترنت الأشياء. ثم تم مناقشة وتبويب بارامترات الأداء الرئيسية المختلفة، مثل تعقيد البنية، ونهج التصميم، وخصائص الحقل البعيد والإشعاع، ومعاملات الانعكاس، وتردد التشغيل وعرض المجال الترددي، وانحراف الربح، وعملية التصنيع. وفر البحث إرشادات وساعد مهندسي الهوائيات في تصميم هوائي شبه آيوتروبي بأداء مرغوب فيه.

تم في [5] اقتراح نوعين من التنفيذ العملي للرنانات التقليدية $\lambda/4$ على شكل حرف U، والتي من المفترض أن تتمتع من الناحية النظرية بتباين مثالي في الربح (قريب من الصفر) ولكن لديها مقاومة إشعاع منخفضة. النوع الأول عبارة عن مشع مزدوج الطبقة على شكل حرف U. تقدم الطبقة المضافة الإضافية رنينًا يمكن استخدامه لموافقة ممانعة جيدة مع خط تغذية شائع الاستخدام بقيمة 50Ω. يتم استخدام نموذج مصفوفة مكونة من عنصرين وشبكة ذات منفذين لإظهار آلية العمل واعتبارات التصميم. والنوع الثاني عبارة عن هوائي رقاقة RFID على شكل حرف U. يمكن أن تتمتع الرقاقة بممانعة عقدية جيدة تتوافق مع الشريحة المنتهية. بالمقارنة مع نظيريهما، يتمتع كلا الهوائيين المقترحين بأقل تباين في الربح. وفي الوقت نفسه، فإن ميزاتهما الجذابة مثل المظهر المنخفض للغاية، والحجم الجانبي الصغير، والوزن الخفيف، والتكوين البسيط وعملية التصنيع، تجعلهما مرشحين ممتازين للاتصالات اللاسلكية داخل السيارة في المستقبل.

تم في [6] تصميم هوائي عريض المجال ذو مخطط إشعاعي شبه آيزوتروبي أحادي التغذية لشبكات الاستشعار اللاسلكية في حالة عدم وجود خط نظر LOS. اعتمد الهوائي المقترح على مجموعة من الديبولات المتقاطعة على شكل شوكة. أظهر الهوائي خصائص إشعاعية شبه آيزوتروبية عريضة مجال الإشعاع مع كفاءة إشعاعية عالية.

تم في [7] اقتراح هوائي شبه آيزوتروبي مع مستوى أرضي لتطبيقات المنزل الذكي القائمة على إنترنت الأشياء. يتكون الهوائي المقترح من مستوى أرضي ومشع $\lambda/4$ على شكل حرف U مع قسم عمودي يمر عبر المستوى الأرضي ولكن لا يتصل به. يعمل الهوائي في النمط المتوازن ولا يثير نمط المستوى الأرضي وهو أمر ضروري للحصول على مخطط إشعاع شبه آيزوتروبي.

تم في [8] دراسة الهوائي الديبولي الزاوي. للديبول الزاوي زاوية تقاطع قدرها 60 درجة، ويشع مخطط شبه آيزوتروبي مع فرق ربح يبلغ حوالي 6.4dB على كامل سطح الإشعاع الكروي. لتحسين آيزوتروبية الهوائي، تم تقديم عنصرين طفيليين.

حيث يعملان كمشعات تكميلية تساعد على تعزيز الإشعاع في المنطقة الضعيفة، مما يقلل فرق الربح بشكل كبير إلى 1.57dB.

تم في [9] اقتراح هوائي ثلاثي البعد صغير كهربائيًا لتوليد مخطط إشعاع شبه آيزوتروبي. يتكون الهوائي المقترح من طبقة واحدة ناقلة ذات بنية متناظرة ثنائية قبل أن يتم تغليفها برغوة أسطوانية. يتم استخدام عنصر اقتران تحريضي على شكل H لتغذية الهوائي للحصول على الديبول المغناطيسي وزوج من الديبولات الكهربائية القصيرة بعد تغليف الهوائي برغوة أسطوانية. وبالتالي، من خلال الجمع بين الديبولات التكميلية المتعامدة مع نفس شدة الإشعاع وطور تربيعي، يمكن الحصول على مخطط إشعاع شبه آيزوتروبي. لقد تبين أن تباين ربح الهوائي الصغير كهربائيا المقترح هو (ka=0.48).

يوضح [10] خطوات تصميم حزمة هوائي شبه آيزوتروبي قائم على رقعة شرائحية مايكروية. الهيكل المقترح عبارة عن مكعب مجوف مزود بستة مشعات شريحة مايكروية، مشع على كل وجه من وجوهه. حيث أن المشكلة المطروحة هي العثور على الصفحات المثلى التي سيتم تطبيقها على كل رقعة، بحيث أنه عندما يتم تنشيط جميع المشعات الستة في آن واحد، يكون مخطط الإشعاع الناتج شبه آيزوتروبي. نظرًا لتعقيد البنية، تم استخدام نموذج مبسط للديبولات المغناطيسية لتحديد الطور الذي يجب تحفيز كل رقعة لتحقيق أقرب ما يمكن إلى المشع الآيزوتروبي. تم تحقيق تباين ربح مُقاس قدره 6.5dB للكرة ثلاثية الأبعاد.

3– الهدف من البحث:

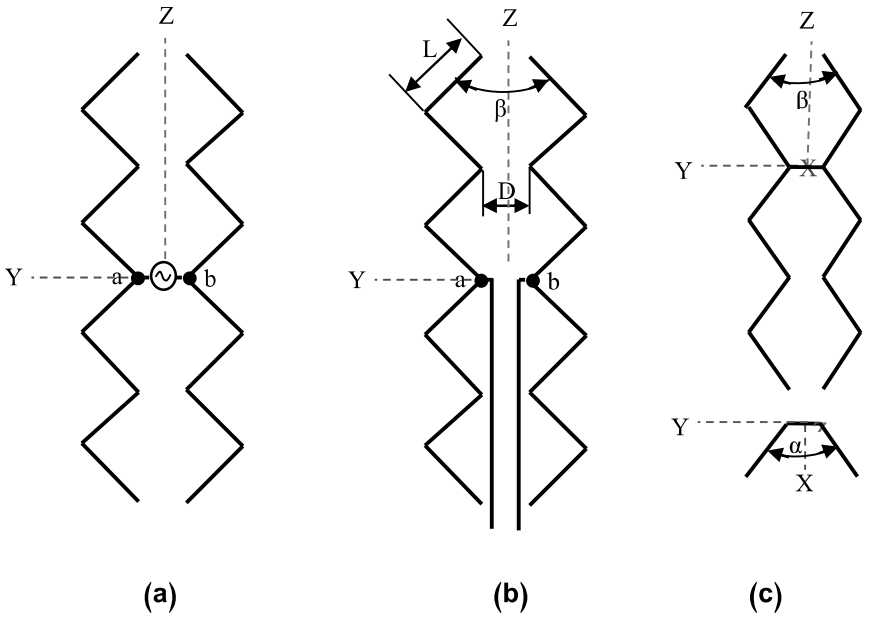
لوحظ من الدراسات المرجعية أنه تم تخصيص دراسات عديدة لتصاميم مختلفة من الهوائيات، إن كانت بشكلها المفرد أو على شكل مصفوفة وذلك للحصول على مخطط إشعاعي شبه آيزوتروبي. إن الهدف من هذا البحث هو اقتراح تصميم جديد لهوائي مصفوفي يتكون من مشعات إطارية، طول محيط كل منها عند التردد المتوسط يساوي 2λ ومتصلة مع بعضها البعض على التسلسل وله مخطط إشعاع شبه آيزوتروبي في المستوي الكهربائي. كما يجب أن يتمتع الهوائي بموافقة جيدة من حيث الممانعة مع خط التغذية وأن يكون سهل التصميم وخفيف الوزن. سوف يتم تنفيذ الدراسة عن طريق تنفيذ محاكاة عددية للهوائي المقترح بهدف الوصول إلى البارامترات الهندسية المناسبة لمشعات الهوائي والتي تسمح بالحصول على مخطط اشعاعي شبه آيزوتروبي في المستوي الكهربائي مع أقل تباين ممكن في الربح على كامل سطح الاشعاع الكروي.

4– المواد وطرائق البحث:

يبين الشكل (1) وبشكل تخطيطي مصفوفة هوائي اطاري ثنائي الموجة قيد الدراسة. يتم وصل القوة المحركة الكهربائية (التغذية) بين النقطتين a و b، كما هو موضح في الشكل (1). تم استخدام الرموز التالية في الشكل (1): L– طول جوانب الإطار، D– طول فتحة التحريض، α (ألفا) – الزاوية بين جانبي الإطار (الشكل 1b)، β (بيتا) – الزاوية في الجزء العلوي من الإطار (القمة). مبين في الشكلين a و b هوائيين بزاوية $\alpha = 180^o$ ، وعلى هذه الزاوية تعتمد درجة الآيزوتروبية (التماثل) لمخطط الإشعاع في المستوى الأفقي XZ. يعتبر هذا المستوي هو المستوي الكهربائي. أي مستوى عمودي يتضمن المحور Z هو المستوي المغناطيسي. يتم الإشارة إلى عدد الحلقات بالرمز Nz. في الشكل (1a,b) فإن Nz=4، وعلى الشكل (1c) فإن Nz=3. يشار إلى عدد الإطارات الموجودة أسفل نقاط التحريض بالرمز Na، والتي تتواجد أعلى نقاط التحريض بالرمز Nd، حيث: $Nz = Na + Nd$.

يوضح الشكل (1b) خيار تحريض محتمل بواسطة خط ثنائي الناقل (خط مزدوج). على الشكل (1c) لا تظهر نقاط التحريض. عند النمذجة العددية للهوائي، يتم إدخال القوة المحركة الكهربائية التحريضية في وسط الناقل الذي يربط النصفين الأيسر والأيمن من الإطارات ويقع على طول المحور Y (الشكل 1c).

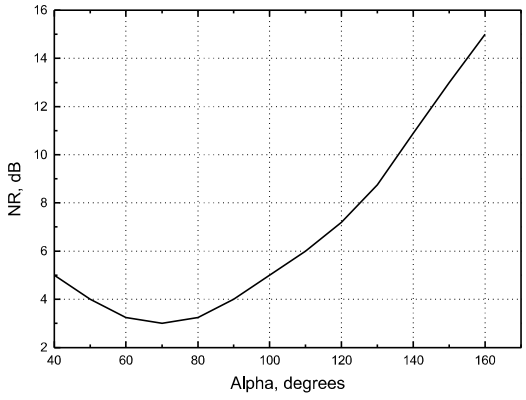
تم إجراء جميع الحسابات باستخدام برنامج MMANA [11] والبرنامج الأساسي [12,13]. يستخدم كلا البرنامجين طريقة المعادلات التكاملية في تقريب الناقل الرفيع [14].



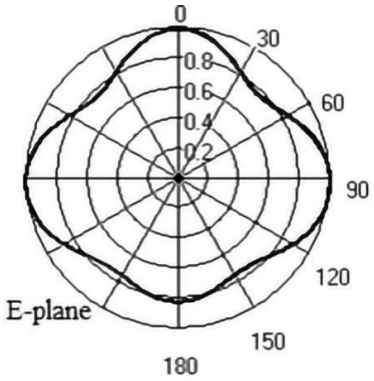
الشكل رقم (1): رسم تخطيطي للهوائي المصفوفي المقترح

5- نتائج المحاكاة العددية:

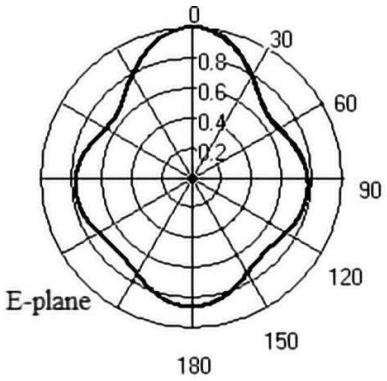
مبين على الشكل (2a) علاقة آيزوتروبية المخطط الإشعاعي في المستوي الأفقي بالنسبة للزاوية α. يفهم بعدم التماثل القيمة NR، التي تساوي نسبة القيمة العظمى إلى القيمة الدنيا لمطال الحقل الكهربائي بالنسبة لزاوية السمت φ في المستوى XY. عندما (0 dB) NR=1، يكون المخطط الإشعاعي في المستوي الأفقي عبارة عن دائرة (مخطط آيزوتروبي). كما يمكن أن نرى، يتشكل المخطط الأكثر آيزوتروبياً عند α=70°. يظهر في الشكل (2b–d) المخطط الإشعاعي في المستوى الأفقي بالنسبة لثلاث زوايا α، لمصفوفة ذات Nz = 4، عند التردد المتوسط (طول جوانب الإطار L=0.5 λ، λ– طول الموجة). يبين التحليل العددي أن عدم تماثل NR لا يتعلق عملياً بعدد الإطارات في الهوائي ولا بالطول L ولا بالتردد، ولكنه يعتمد بشكل كبير على الزاوية α. يظهر في الشكل (2) النتائج التي توافق β=70°. أيضًا تعتمد الخصائص والبارامترات الأخرى للهوائي (المخطط الإشعاعي، والتوجيهية، وممانعة الدخل) على الزاوية β. يبين الشكل (3) اعتماد ممانعة الدخل عند التردد المتوسط على الزاوية β لعدد من قيم α لهوائي مع Nz=4 (الشكل 1a). نصف قطر ناقل الإطار هو A_0=2.5 mm (0.0083 من طول الموجة المتوسطة). تم الحصول على جميع النتائج الواردة أدناه للحالة التي كان فيها التردد المتوسط f_0=1000 MHz.علاوة على ذلك، تم اختيار جميع البارامترات الهندسية للهوائي بحيث يكون المخطط الاشعاعي في المستوى الأفقي أكثر آيزوتروبياً عند التردد المتوسط. يستنتج من الشكل (3) أنه مع زيادة الزاوية α، تنخفض مركبات ممانعة الدخل (R و X) ومع زيادة الزاوية β تزداد، وتصل قيمة R إلى الحد الأعظمي عند قيمة معينة لـ β.



(a)

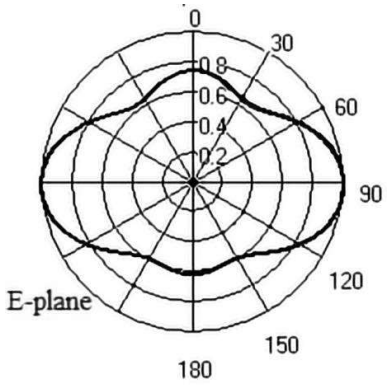


(b)



$\alpha = 90^o$

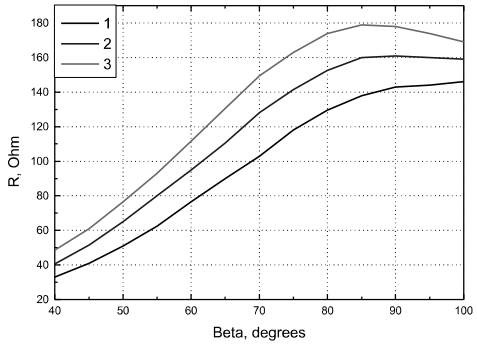
(c)



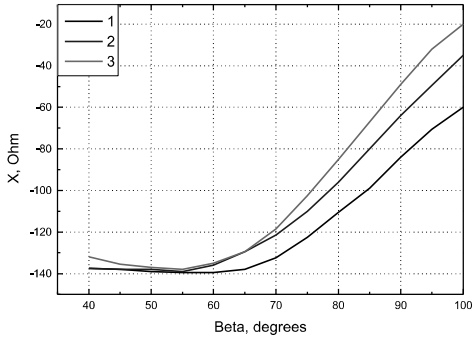
$\alpha = 50^o$

(d)

الشكل رقم (2): a) علاقة عدم التماثل NR بالنسبة للزاوية α، و (b, c, d) المخطط الإشعاعي في المستوي الأفقي (المستوي E) عندما $\beta = 70^o$



(a)

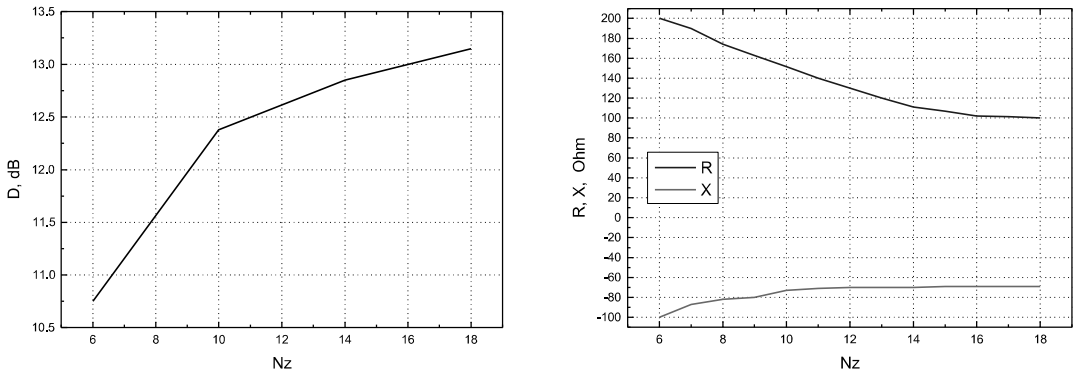


(b)

الشكل رقم (3): علاقة مركبتي ممانعة الدخل: الفعالة (R) والسلبية (X) بالنسبة للزاوية β، لمصفوفة مع N=4. 1) $\alpha = 60^o$, 2) $\alpha = 80^o$, 3) $\alpha = 100^o$

تبين النتائج الحسابية أنه عندما تتغير الزاوية β، فإن التوجيهية تصل إلى قيمتها العظمى عندما تساوي $\beta = 65^o - 75^o$ من أجل جميع قيم α من المجال $60^o - 100^o$. وبالتالي، لضمان مخطط اشعاعي أكثر آيزوتروبياً في المستوى الأفقي، يجب اختيار الزاويتين α و β بحيث تساويان $65^o - 75^o$. تم إجراء جميع نتائج المحاكاة اللاحقة من أجل $\alpha = \beta = 70^o$.

أظهر التحليل المنفذ أنه من أجل عدد مختلف من الإطارات (Nz)، فإن التوجيهية تصل إلى القيمة العظمى عند طول جانب مثالي معين للإطار L. مع العلم بأن تلك القيمة تختلف باختلاف عدد الإطارات. عندما يتغير Nz من 6 إلى 18، فإن القيمة المثلى لـ L تتغير من $0.497\lambda_0$ إلى $0.51\lambda_0$ (λ_0– طول الموجة المتوسط). يظهر في الشكل (4a) رسم بياني لعلاقة التوجيهية بالنسبة لعدد الإطارات عند قيمة مثلى لـ L. يوضح الشكل (4b) علاقة مقاومة الدخل بالنسبة لعدد الإطارات عند تردد متوسط قدره 1000MHz وعند طول جانب أمثل للإطار L من حيث معامل التوجيهية.

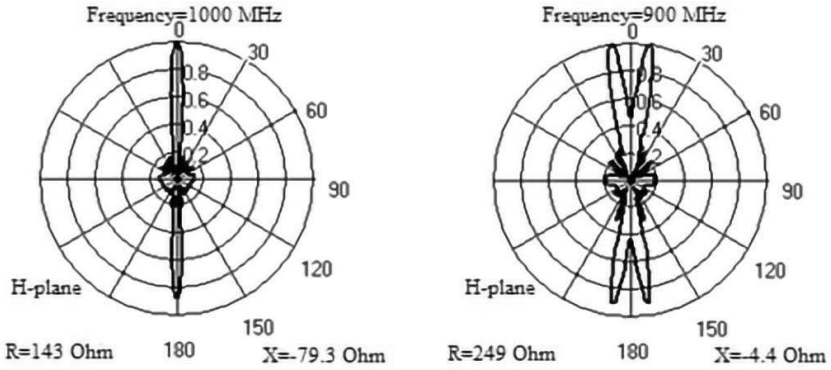


(a) **(b)**

الشكل رقم (4): (a) علاقة التوجيهية بالنسبة لعدد الاطارات و (b) مقاومة الدخل على التردد المتوسط 1000MHz عند طول أمثلي للإطار

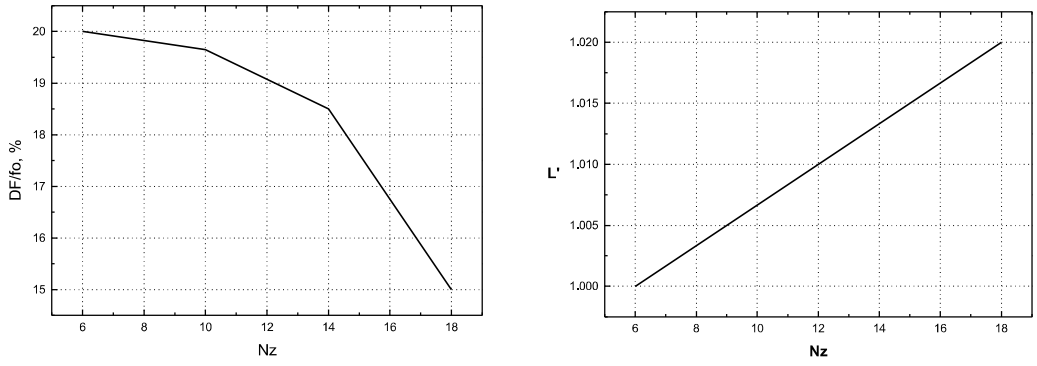
عندما يتغير التردد، تتغير ممانعة الدخل (التي هي قيمة عقدية) ومخطط الإشعاع والتوجيهية. علماً أن التغير في مخطط الاشعاع في المستوي E (الكهربائي أو الأفقي) غير كبير. لكن يكون التغير في المستوي H (المغناطيسي أو العمودي) كبير. يرجع ذلك إلى حقيقة أن كل إطار سابق (ابتداءً من نقاط التحريض) يعتبر خط تغذية للإطار التالي عند التردد المتوسط مع بارامترات هندسية توفر أقصى توجيهية. قفزة الطور في إطار واحد تساوي تقريباً 360^o. في هذه الحالة، تتحرض جميع الإطارات بشكل متوافق بالطور، ويكون عرض الفص الرئيسي ومستوى الفصوص الجانبية أقل ما يمكن.

عند انزياح التردد عن التردد المتوسط يزداد فرق طور التحريض بين الإطارات (عدم توافق بالطور). في هذه الحالة، يتوسع عرض الفص الرئيسي للمخطط الإشعاعي (أو حتى ينقسم)، ويزداد مستوى الوريقات الجانبية، وتنخفض التوجيهية. هذه الاستنتاجات موضحة في الشكل (5) والذي يبين المخططات الاشعاعية في الإحداثيات القطبية عند التردد المتوسط $f_0 = 1000MHz$ وعند التردد 900MHz لحالة Nz = 10.



الشكل رقم (5): المخطط الاشعاعي في المستوي العمودي لمصفوفة ذات البارامترات:
Nz=10, L=150 mm, α=β=70°

مستوى الفصوص الجانبية عند التردد المتوسط أقل من 13dB−. وهذا يعني أن مطال التيارات في جوانب الإطار تتناقص مع زيادة رقم الإطار (مع ابتعاد الإطار عن مركز الهوائي). مع زيادة عدد الإطارات، فإنه يتناقص مجال التردد الذي يحتفظ فيه المخطط الاشعاعي بشكله المقبول من حيث مستوى الفصوص الجانبية وشكل الفص الرئيسي. من الملائم تقييم مجال التردد النسبي $DF = (f_{max} - f_{min})/f_0$ عن طريق الانخفاض في التوجيهية عندما ينزاح التردد عن التردد المتوسط f_0. مبين على الرسم البياني في الشكل (6) علاقة مجال التردد النسبي DF بالنسبة لعدد الإطارات Nz. من الملائم اعتبار التردد الموافق للتوجيهية العظمى هو التردد المتوسط. وهذا التردد قريب، كما سبق الإشارة إليه، من القيمة التي يساوي عندها طول جانب الإطار نصف طول الموجة. يوافق الرسم البياني مع $f_0 = 1000MHz$، ونصف قطر نواقل الإطار $A_0 = 2.5mm$. تم أخذ طول جانب الإطار لكل قيمة Nz ليتوافق مع التوجيهية الأعظمية. يوافق ترددي القطع f_{min} و f_{max} انخفاض في التوجيهية بمقدار 3dB مقارنة بقيمتها عند التردد المتوسط. يبين الشكل (6b) علاقة الطول الجانبي للإطار المقيس على طول الموجة المتوسط ($L' = L/\lambda_0$) بالنسبة لعدد الإطارات Nz.



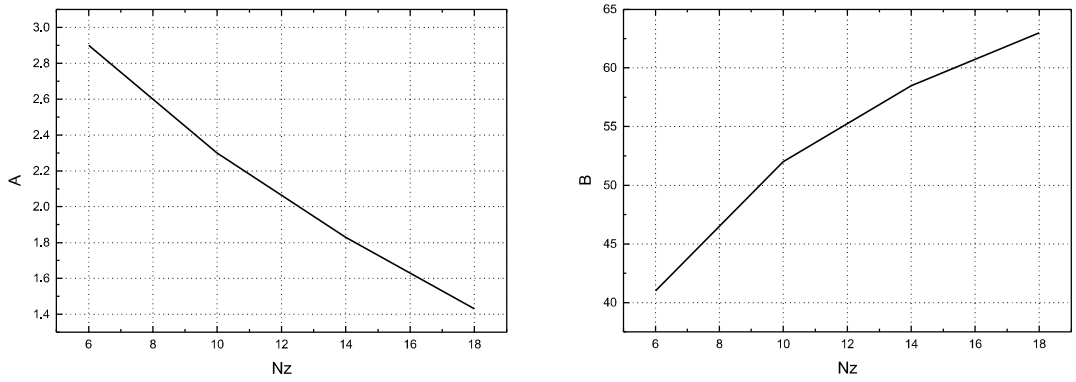
(a) **(b)**

الشكل رقم (6): (a) علاقة عرض المجال النسبي و (b) علاقة طول جانب الإطار المقيس لطول الموجة المتوسطة والأمثلي من حيث التوجيهية 'L بالنسبة لعدد الإطارات Nz

يستنتج من الشكل (6a) أنه مع زيادة عدد الإطارات، يتناقص مجال التردد. هذه النتيجة متوقعة: مع زيادة عدد الإطارات، يزداد عدم التوافق بالطور مع انحراف التردد عن التردد المتوسط. وفي الوقت نفسه، تجدر الإشارة إلى أنه مع زيادة عدد الإطارات، يقل مطال التيارات في الإطار عند ابتعاده عن الإطار المركزي. هذا يؤدي إلى انخفاض في مستوى الفصوص الجانبية للمخطط الاشعاعي. في مصفوفة من إطارين يساوي هذا المستوى 13dB− والذي يوافق توزع مطالي موحد لتحريض المشعات في المصفوفة. في مصفوفة مكونة من 18 اطار، يبلغ مستوى الفصوص الجانبية 18dB−. مع انخفاض مستوى إثارة الإطارات الحدية، يزداد عرض الفص الرئيسي للمخطط الاشعاعي، مما يؤدي إلى انخفاض في التوجيهية. لذلك، مع زيادة عدد الإطارات في الهوائي، فإنه هناك عاملان يؤثران على عرض الفص الرئيسي للمخطط الاشعاعي وعلى التوجيهية وهما: الأول: تؤدي الزيادة في الطول الموجي للمصفوفة الخطية للهوائيات الاطارية إلى انخفاض عرض الفص الرئيسي للمخطط الاشعاعي، وبالتالي إلى زيادة التوجيهية. الثاني: في نفس الوقت يؤدي انخفاض مستوى إثارة الإطارات الحدية إلى زيادة عرض الفص الرئيسي للمخطط الاشعاعي وإلى انخفاض التوجيهية. وبسبب تأثير هذه العوامل عند زيادة عدد الإطارات، فإن سرعة (معدل) انخفاض عرض الفص الرئيسي للمخطط الاشعاعي وزيادة التوجيهية تتباطئ. يوضح الشكل (4a) هذا بالنسبة للتوجيهية. يمكن أيضًا توضيح هذه المحددات الحاكمة بمساعدة علاقات معروفة من النظرية العامة للهوائيات، نستعرض ذلك. تعتبر مصفوفة هوائيات اطارية مع تحريض متسلسل عبارة عن مصفوفة خطية متساوية البعد بين المشعات. في مصفوفة الهوائيات الخطية ذات التوزع المنتظم للتحريض المطالي والصفحي لمشعات المصفوفة فإنه من أجل تقييم التوجيهية (D) وعرض الفص الرئيسي للمخطط الإشعاعي $(2\theta_{0.5})$ عند عدد مشعات أكبر من 10، فإنه غالباً ما يتم استخدام العلاقات التي تم الحصول عليها من ضارب المنظومة [3,4].

$$D = A\frac{L}{\lambda} \quad , \quad 2\theta_{0.5} = B\sqrt{\frac{\lambda}{L}}$$

يظهر في الشكل (7) علاقة الثوابت A و B بالنسبة لعدد الإطارات، التي تم الحصول عليها نتيجة المحاكاة العددية لمصفوفة الهوائيات الاطارية.



الشكل رقم (7): علاقة الثوابت A و B بالنسبة لعدد الاطارات

عند التوزيع المطالي والصفحي المنتظم لتحريض المشعات في المصفوفة الخطية A=2 و $B = 51^o$. مصفوفة الهوائيات الاطارية المدروسة متوافقة ضمن مجال ترددي عريض. أظهر التحليل العددي أن نسبة الموجة الواقفة في خط ذو مقاومة مميزة تبلغ 150Ω أقل من 2 في المجال الترددي $f_0 \mp 40\%$ عند عدد إطارات من 6 حتى 18.

5- النتائج والمناقشة

أظهر التحليل العددي لمصفوفة الهوائيات الاطارية مع تحريض متسلسل على أن الهوائي المقترح هو عريض المجال، خاصة من حيث موافقة الممانعة. يتيح الثني في الإطارات في المستوي الكهربائي الحصول على مخطط اشعاعي مع عدم انتظام NR في هذا المستوي لا يزيد عن dB (2–3). تسمح زيادة عدد الإطارات بالوصول إلى توجيهية حتى (12–13) dB. وهذا يتوافق مع عدد إطارات يساوي Nz=14–18. من غير المستحسن استخدام عدد أكبر من الإطارات، لأنه عندما Nz>18 فإن زيادة التوجيهية تتباطأ بشكل كبير مع زيادة عدد الإطارات. مع العدد المشار إليه من الإطارات، فإن عرض الفص الرئيسي يتناقص حتى $10^o - 12^o$ في المستوي المغناطيسي. تتوافق نتائج المحاكاة المذكورة أعلاه مع الحالة التي يكون فيها عدد الإطارات أعلى وأسفل نقاط التحريض (a و b في الشكل 1) هو نفسه (Na=Nd). إذا كان $Na \neq Nd$، فإن الاتجاه الأعظمي للمخطط الاشعاعي ينحرف عن الناظم باتجاه خط توضع الاطارات في جهة عدد الاطارات الأكبر. مع زيادة عدم التناظر في عدد الإطارات في الأعلى والأسفل، يتناقص الجزء الفعال من ممانعة الدخل، ويزداد الجزء السلبي بالقيمة المطلقة.

6- الاستنتاجات

أظهرت نتائج المحاكاة العددية أن الهوائي المصفوفي المقترح والمكون من مشعات إطارية طول محيطها يساوي 2λ يتميز بمخطط إشعاعي شبه آيزوتروبي في المستوي الكهربائي وله خصائص إشعاعية محسنة من حيث تباين ربح المخطط الإشعاعي على كامل سطح الاشعاع الكروي وبمجال ترددي عريض من حيث موافقة الممانعة مقارنة بالهوائي المصفوفي ذو طول محيط المشع الذي يساوي λ.

7- التوصيات

من المستحسن استخدام مصفوفة الهوائيات الاطارية المدروسة في أنظمة الاتصالات الأرضية كهوائي عمودي مع مخطط اشعاع شبه آيزوتروبي في المستوي الأفقي.

8- المراجع:

[1] S. I. Hussain Shah, S. M. Radha, P. Park and I. –J. Yoon, (2021), "Recent Advancements in Quasi–Isotropic Antennas: A Review," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 146296–146317, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3122181.

[2] A, ALRIFAI, (2018), "Numerical Simulation of the Properties of the Scattering Array Antennas Consisting of Dipole and Loop Antennas" ,PhD dissertation, Dept. Antenna and UHF Devices, Belarus State University of Informatics and Radio Electronic.

[3] Balanis, C, A, (2016), "Antenna theory", 2nd edition, John Wiley and Sons, pp. 931.

[4] Volakis, J, L., (2019), ‘‘Antenna Engineering Handbook‘‘, 4th Edition, Georgia, Mc Graw–Hill, pp. 1872.

[5] Ren Wang, Jing–Jing Ma, ChuanSheng Chen, Jiang Xiong, (2020), "Low–Profile Implementation of U–Shaped Power Quasi–Isotropic Antennas for Intra–Vehicle Wireless Communications", IEEE Access PP(99):1–1, DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2979880,

[6] Radha, Sonapreetha Mohan, Mee–Su Lee, Seong Hoon Choi, and Ick–Jae Yoon, (2024), "A Compact, Low–Profile, Broadband Quasi–Isotropic Antenna for Non–Line–of–

Sight Communications" *Applied Sciences* 14, no. 5: 2068, https://doi.org/10.3390/app14052068

[7] Jianxing Li, Yanyang Wang, Luoxing Zhang, Huang Binke, Sen Yan, Xiaoming Chen, (2023), "Quasi-Isotropic Antenna With System Ground Plane for IoT-Based Smart Home Applications" , IEEE Internet of Things Journal PP(99):1-1, DOI: 10.1109/JIOT.2023.3342452,

[8] Jia Wen Luo, Yongmei Pan, Shao Yong Zheng,Shui Hong Wang, (2020), "Communication A Planar Angled-Dipole Antenna With Quasi-Isotropic Radiation Pattern", IEEE Transactions on Antennas and Propagation PP(99):1-1, February 2020, DOI: 10.1109/TAP. 2963898,

[9] Yangyang Wang, Sen Yan, (2021), "Design of an Electrically Small 3-D Antenna With Quasi-Isotropic Radiation Pattern", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters PP(99):1-1, DOI:10.1109/LAWP.2021.3098174,

[10] Arboleda, M. B., Klionovski, K., Zhen, S., & Shamim, A, (2021), "Hertzian Magnetic Dipoles Model of a Quasi-isotropic radiation microstrip patch based Antenna-in-Package". IEEE 19th International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics (ANTEM). doi:10.1109/ antem51107.2021.951869

[11] Alrifai, A, (2010), "Computer modeling of wire antennas All about the MMANA", Higher Institute of Applied Sciences, PP 65.

[12] Alrifai, Abdoulmouen, (2017), "Improving the Frequency Range of Franklin's Antenna:. International Journal on Communications Antenna and Propagation (IRECAP), 7. 410.

[13] Alrifai. Abdoulmouen, (2023), "Study of a broadband toroidal array antenna composed of bi-conical radiators for radio direction finding", International Journal on Communications Antenna and Propagation (IRECAP), Vol.13. no. 4.

[14] Ellingson, Steven, (2020), "Electromagnetics". 10.21061/electromagnetics, vol.2.