

دراسة التأثير المتبادل بين المشعات على خصائص الهوائيات المصفوفة القوسية المكونة من مشعات ياغي

عبد المعين أحمد الرفاعي^{1*}

^{1*} أستاذ مساعد، دكتور، مهندس - قسم هندسة الاتصالات - كلية الهندسة - الجامعة الوطنية الخاصة.

abdoulmouen.alrifai@wpu.edu.sy

الملخص:

تقدم هذه المقالة نتائج المحاكاة العددية للهوائيات المصفوفة القوسية الشكل المكونة من مشعات ياغي. تمت دراسة المحددات الحاكمة للتأثير المتبادل بين المشعات على مخطط إشعاع وتوجيهية المصفوفة وعلى ممانعة دخل المشعات وذلك عند استخدام توزيعات مطالية وطورية مختلفة لتحريض المشعات. تم في التحليل استخدام طريقة المعادلات المتكاملة. الكلمات المفتاحية: مشع ياغي، مصفوفة قوسية، المحاكاة العددية، طريقة المعادلات المتكاملة

تاريخ الايداع: 2023/2/20

تاريخ القبول: 2023/4/4



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

Study the mutual effect of radiators on properties arc array antennas with Uda-Yagi radiators.

Abdoulmouen Ahmad Alrifai*¹

*¹.Associated Professor in the Department of Communications Engineering of College of Engineering - Al Wataniya Private University

abdoulmouen.alrifai@wpu.edu.sy

Received: 20/2/2023

Accepted: 4/4/2023

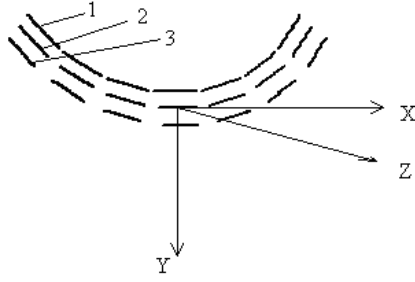


Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

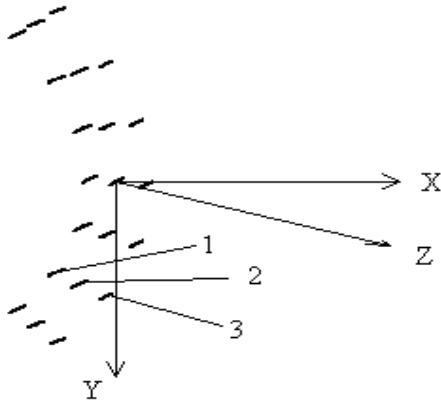
Abstract:

This article presents the results of a numerical simulation of arc antenna arrays composed of Yagi radiators. The governing determinants of the mutual effect between the radiators on the radiation pattern, the directivity of the array and the input impedance of the radiators were studied when using different amplitude and phase distributions to induce the radiators. In the analysis, the method of integrated equations was used.

keywords: Uda-Yagi radiator, arc array, numerical simulation, integrated equations method



الشكل (1) مصفوفة قوسية E-plane مع مشعات ذات إشعاع موجه



الشكل (2) مصفوفة قوسية H-plane مع مشعات ذات إشعاع موجه

سوف نستعرض في هذه المقالة مصفوفة المستوي الكهربائي E-plane.

2- طريقة البحث:

تعتمد طريقة البحث على التجربة العددية، حيث تم تصميم برنامج للمحاكاة العددية بواسطة اللغة البرمجية Delphi (Alrifai (2008,114)، (Alrifai,2017,11) على أساس معادلة بوكلينجتون التكاملية للتيار في سلك الهوائي وباستخدام طريقة العزوم Moment Method (2013,416) Mitra.

تم استخدام معادلة بوكلينجتون Pocklington التكاملية كمعادلة تكاملية في حالة تقريب السلك الناقل (قطر السلك

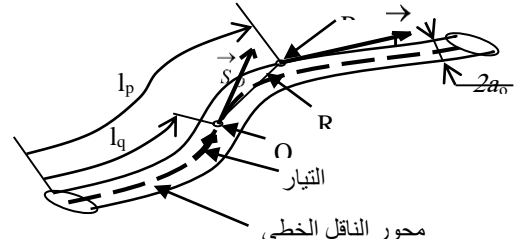
المقدمة:

تم استعراض الهوائيات المصفوفة القوسية والحلقية الشكل في العديد من المقالات (Jamunna et al.,2020,15)، (Loffler (Butler,1969,5)، (Hussein et al.,2009,5)، (et al.,1999,5)، (Ares et al.,1997,3). لكن لم تتم الدراسة بشكل كافٍ لمسألة التأثير المتبادل بين المشعات عندما يتم تحريضها بتوزيعات مطالية وطورية مختلفة. ويرجع ذلك إلى أنه في معظم الأبحاث، تم دراسة مصفوفات مكونة من مشعات ديبولية ذات مخطط إشعاعي أيزوتروبي. يعتمد التأثير المتبادل بين المشعات في المصفوفة على بنية المشعات ويمكن أخذه في الاعتبار عند تحديد مشع ذو نوع معين.

تتناول هذه المقالة مصفوفة قوسية ذات مشعات ياغي، حيث يضم المشع الياغي بشكل عام ديبول خطي نصف موجة وعاكس خطي وموجهات خطية. إذا كانت تلك المشعات متوضعة في مستوي قوس المصفوفة، فسيتم الإشارة إلى المصفوفة باسم مصفوفة المستوي الكهربائي E-plane. أما إذا كانت تلك المشعات متوضعة بشكل متعامد مع مستوي قوس المصفوفة، فإن المصفوفة تسمى مصفوفة المستوي المغناطيسي H-plane.

يوضح الشكلين (1) و (2) وبشكل رسومي نوعين مختلفين من مصفوفات من تلك المشعات. تشير الأرقام الموجودة في الشكلين إلى: 1- عاكس خطي، 2- ديبول فعال، 3- موجه خطي.

دراسة التأثير المتبادل بين المشعات على خصائص.....
 $2a_0$ أصغر بكثير من طوله L ومن طول الموجة (λ) . في هذه الحالة يمكن اعتبار التيار الذي يجري على طول محور السلك ذو كثافة واحدة في كافة نقاط المقطع العرضي للسلك. يوضح الشكل (3) الموديل التقريبي للسلك.



الشكل (3) الموديل التقريبي للسلك الناقل

تعطى معادلة بوكليينغتون التكاملية بالعلاقة التالية
 (Mitra (2013,416)، (Niziolek,2009,10):

$$\int_0^L I(l_q) Z(l_p, l_q) dl_q = U(l_p) \quad (1)$$

حيث:

L - طول السلك

$I(l_q)$ - تيار السلك (الناقل) المجهول.

$Z(l_p, l_q)$ - نواة المعادلة التكاملية وتساوي:

$$Z(l_p, l_q) = 30 \left[G(l_p, l_q) (\vec{l}_o, \vec{S}_o) - \frac{1}{K^2} \frac{d^2 G(l_p, l_q)}{dl_p dl_q} \right] \quad (2)$$

$G(l_p, l_q)$ - تابع غرين، ويعطى بالعلاقة التالية:

$$G(l_p, l_q) = \frac{e^{-ikR}}{R} \quad (3)$$

k - العدد الموجي للفراغ.

يعتمد القسم الايمن للمعادلة التكاملية $U(l_p)$ على توزيع الحقل على طول الناقل وواحدته هي الفولط ويعطى بالعلاقة التالية:

$$U(l_p) = -i \frac{1}{k} (\vec{E}_{cm}, \vec{S}_o) \quad (4)$$

الرفاعي

\vec{E}_{cm} - المركبة المماسية للحقل الخارجي على سطح السلك (الناقل).

يتم تحويل معادلة بوكليينغتون التكاملية إلى جملة من المعادلات الجبرية الخطية، حيث تم استخدام التوابع النبضية كتوابع أساس ووزن عند الحل (Mitra (2013,416):

$$\sum_{m=1}^M I_m K_{mn} = U_n \quad (5)$$

حيث:

$$K_{mn} = \int_0^L \int_0^L Z(l_p, l_q) f_m(l_q) g_n(l_p) dl_q dl_p \quad (6)$$

$$U_n = \int_0^L U(l_p) g_n(l_p) dl_p \quad (7)$$

حيث:

$f_m(l_q)$ - توابع الأساس.

m - رقم التابع.

M - عدد الثوابت المجهولة.

$g_n(l_p)$ - توابع الوزن.

وبحل جملة المعادلات الخطية يتم إيجاد التيار المار بأسلاك الهوائي، وحسب توزيع التيار في الأسلاك فإنه لا توجد صعوبة في إيجاد حقل الهوائي في نقطة الفراغ المطلوبة بطريقة الكمون الشعاعي للحقل الكهربائي (Mitra (2013,416) وبالتالي تحديد خصائص وبارامترات الهوائي الأساسية: المخطط الإشعاعي، الريح، ممانعة الدخل....الخ.

إن المؤشر الرئيسي للتأثير المتبادل بين الهوائيات هو معامل النقل S_{12} transmission coefficient تم تحديد معامل النقل $(S_{12} = |S_{12}| \exp(i \arg S_{12}))$ بين اثنين من الهوائيات كنسبة للتيار على دخل الهوائي المحرّض إلى التيار على دخل الهوائي الآخر ذو الممانعة المتوافقة (Manjeet et al., 2016,5).

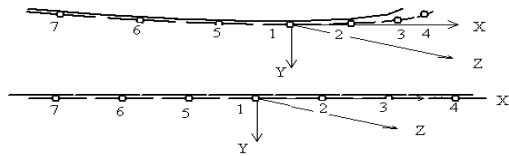
3- نتائج المحاكاة العددية:

تم في هذه المقالة، استعراض المحددات الرئيسية الحاكمة على الهوائيات المصفوفة القوسية (Josefsson et

الرفاعي

تم اختيار نصف قطر تقوس المصفوفة القوسية $Re=7\div 10$. بحيث جزء منه يشغل قوساً يساوي تقريباً 90 درجة. في هذه الحالة، ستكون المصفوفة الحلقية ككل قادرة على تشكيل 4 حزم مع مسح دائري مطابق conformal في قطاع زاوي يساوي 0-360 درجة (5, Frank(2015). من تلك التصورات، ولتوضيح المحددات الحاكمة المختلفة، فإنه على سبيل المثال، تم اختيار عدد المشعات يساوي $Ne=7$ ، نصف قطر المصفوفة الحلقية يساوي $Re=(2000-6000)$ mm. التردد المركزي للمحاكاة، كما تم ذكره أعلاه، يُؤخذ مساوياً لـ 300MHz.

يوضح الشكل (4) مصفوفة قوسية ومصفوفة خطية (المقارنة) مؤلفتين من مشعات ياغي مع عدد مشعات يساوي $Ne=7$. تم ترقيم المشعات على الشكل.



الشكل (4) ترقيم المشعات في مصفوفة

مكونة من 7 عناصر يوضح الشكل (5) علاقة X و R للمشح بالنسبة لعدد المشعات، مع مراعاة التأثير المتبادل في مصفوفة مكونة من 7 عناصر: (أ) - لمصفوفة قوسية، (ب) - لمصفوفة خطية.

تم تحريض جميع المشعات في المصفوفة بتوزيع مطالي منتظم وتوزيع طوري متساوٍ بالنسبة إلى المركز، هذا يضمن بأن يكون إشعاع المصفوفة مركز في اتجاه المحور Z . نصف قطر المصفوفة يساوي $Re=2\lambda_0=2000$ mm. المسافة بين المشعات المتجاورة تساوي $De=0.7\lambda_0=700$ mm.

دراسة التأثير المتبادل بين المشعات على خصائص.....

(al.,2006,32)، Balanis(2012,1040)،

Balanis(2005,951)، Volakis(2007,1872) وكمثال تم

دراسة هوائي مصفوفي قوسي مكون من مشعات ياغي تتألف من ديبول فعال وعاكس خطي. تم استخدام الرموز التالية:

L_v - طول الديبول.

L_r - طول العاكس.

De - المسافة الخطية بين العاكس والديبول.

A_o - نصف قطر ناقل العاكس والديبول.

Re - نصف قطر قوس المصفوفة.

Ne - عدد المشعات في المصفوفة.

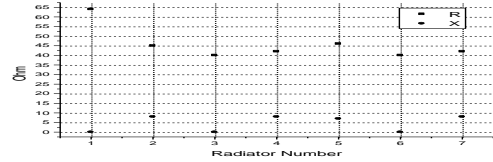
$Z=R+iX$ - ممانعة دخل المشع في المصفوفة.

سوف يتم أدناه تقديم نتائج المحاكاة على شكل مخططات لممانعة الدخل وللتوجيهية بالنسبة للتردد وكذلك سوف يتم تقديم المخططات الإشعاعية عند بارامترات هندسية مختلفة للمصفوفة. تم اختيار التردد 300 MHz (على سبيل المثال) كتردد مركزي f_0 لنطاق التردد الذي يتم تنفيذ الدراسة عليه.

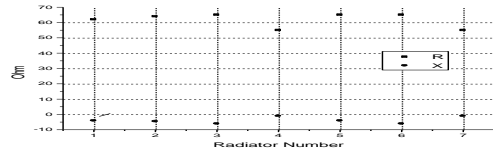
عند هذا التردد، تم ضبط المشع المذكور باختيار أبعاده الهندسية كالتالي: $L_v=434$ mm، $De=196$ mm، $A_o=5$ mm، بحيث يتم الحصول على ممانعة دخل تساوي $Z=R+iX=50\Omega$ ، وذلك بدون الأخذ بالاعتبار التأثير المتبادل للمشعات ضمن المصفوفة.

تم اعتبار المصفوفة القوسية أنها جزء من مصفوفة حلقية. تم اختيار عدد المشعات ونصف قطر انحناء المصفوفة القوسية من أجل دراسة المحددات الحاكمة الرئيسية من الاعتبارات التالية: تم اختيار المسافة الخطية بين المشعات المتجاورة متساوية وتساوي $De=(0.5-1.0)\lambda_0$ طول الموجة الموافق للتردد المركزي f_0 لنطاق التردد الذي تم تحليله). تضمن المسافة $De=0.5\lambda_0$ استيفاء شرط تواجد لوب رئيسي وحيد للمخطط الإشعاعي أثناء المسح الطوري في القطاع الزاوي $(45-50)^\circ$ ، عندما يكون عدد المشعات في المصفوفة في مستوي القوس يساوي

دراسة التأثير المتبادل بين المشعات على خصائص.....



أ- من أجل المصفوفة القوسية



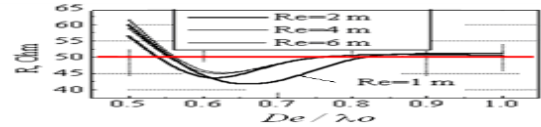
ب - من أجل المصفوفة الخطية

الشكل (5) علاقة R و X للمشح بالنسبة لعدد المشعات، مع الأخذ بعين الاعتبار التأثير المتبادل بين المشعات لمصفوفة مكونة من 7

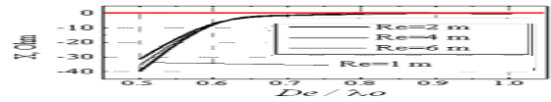
عناصر

يستنتج من الشكل (5) أن التأثير المتبادل بين مشعات المصفوفة على ممانعة الدخل يختلف اختلافاً كبيراً ما بين المصفوفة القوسية والمصفوفة الخطية. حيث يؤدي التأثير المتبادل بين المشعات في المصفوفة الخطية إلى بعض الزيادة في القسم الفعال (R) من ممانعة الدخل، وزيادة في القسم السلبي (X) باتجاه القيم السالبة مقارنة بالمصفوفة القوسية.

تعتمد ممانعة الدخل لكل مشع في المصفوفة على المسافة بين المشعات المتجاورة، وعلى التوزيع المطالي والطوري لتحريض المشعات، وعلى تأثيرهم المتبادل في المصفوفة. هذه المحددات الحاكمة موضحة في الشكلين (6) و (7).



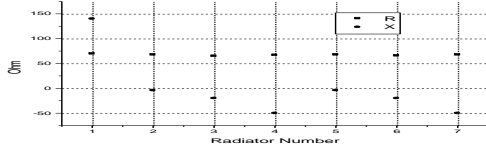
أ - الجزء الفعال من ممانعة الدخل



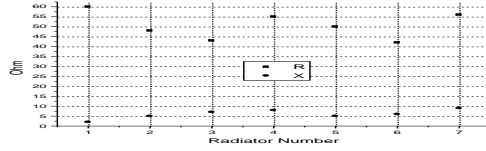
ب - الجزء السلبي من مقاومة الدخل

الشكل (6) علاقة ممانعة دخل المشعات بالنسبة للمسافة بين المشعات المتجاورة إلى طول الموجة المركزي De/λ_o عند أنصاف أقطار مختلفة للمصفوفة القوسية

الرفاعي



أ- من أجل المصفوفة القوسية



ب- من أجل المصفوفة الخطية

الشكل (7) علاقة ممانعة الدخل بالنسبة لرقم المشع. المسافة بين المشعات: (أ) $De = 0,5\lambda_o$ (ب) $De = 0,8\lambda_o$

تم تنفيذ الحساب في الشكل (7) من أجل نصف قطر المصفوفة $Re = 2\lambda_o = 2000mm$. كما يلاحظ، يؤدي التأثير المتبادل إلى تغيير أكبر في الجزء السلبي من ممانعة الدخل مقارنة بالجزء الفعال.

يوضح الشكلين (8) و (9) المخطط الإشعاعي للمصفوفة عند المسافات De المشار إليها أعلاه. عدد المشعات في المصفوفة يساوي $Ne=7$. للمقارنة، يظهر على نفس الشكل المخطط الإشعاعي لمصفوفة خطية مع نفس البارامترات. كما يلاحظ، في المصفوفة القوسية تكون التوجيهية أقل، مقارنة بالمصفوفة الخطية. هذه النتيجة هي بسبب أن حجم فتحة المصفوفة أصغر.

تم على الشكلين (8) و (9) الترميز كالتالي:

f - تردد المحاكاة المركزي، D - التوجيهية، F/B - نسبة التوجيهية في اتجاه المخطط الإشعاعي الأعظمي على الاتجاه المعاكس.

يكون مستوى الفصوص الجانبية للمصفوفة القوسية أعلى نظراً لحقيقة أن المخطط الإشعاعي الأعظمي للمشعات يتم توجيهه على طول نصف قطر المصفوفة، بما في ذلك اتجاه الفصوص الجانبية للمخطط الإشعاعي للمصفوفة. ترتبط

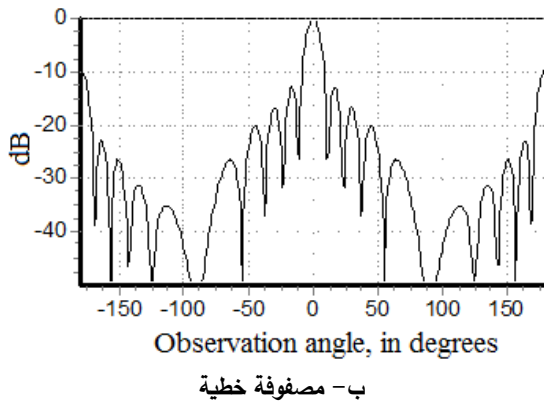
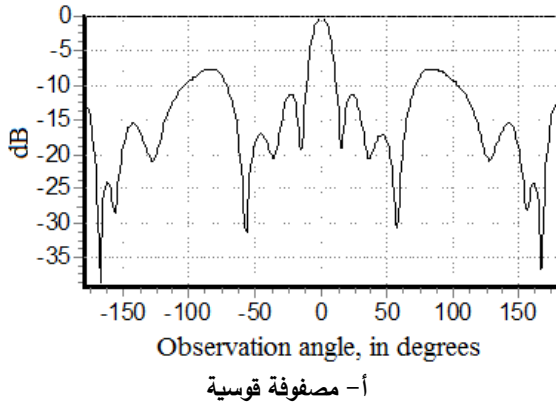
دراسة التأثير المتبادل بين المشعات على خصائص.....
الزيادة في الفصوص الجانبية أيضًا بالتغيير في شكل
المخطط الاشعاعي للمشع الفردي بسبب التأثير المتبادل.

3-1 تأثير التوزيع المطالي على المخطط

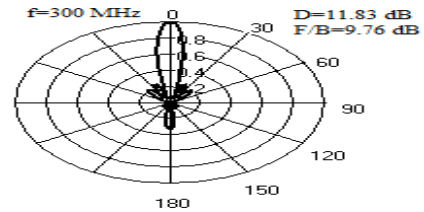
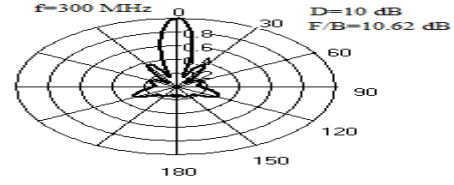
الاشعاعي، وعلى توجيهية المصفوفة القوسية:

تم استخدام التوزيع المطالي الموصوف بواسطة جيب التمام إلى الأس Pa (رقم عشوائي) على "الأساس" Da. وكمثال، يتم استعراض نفس المصفوفة القوسية ذات المشعات الديبولية مع عدد مشعات يساوي $N_e=7$ ، المسافة بين مراكز المشعات المتجاورة يساوي $De = 0.7\lambda$ ($De=700\text{mm}$)، التردد 300MHz). يعرض الشكل (10) نتائج المحاكاة العددية للمخطط الاشعاعي عند قيم $Da=0.2$ و $Pa=1$. التوزيع الطوري منتظم على المصفوفة الخطية المكافئة.

نصف قطر المصفوفة القوسية $Re=2000\text{mm}$.



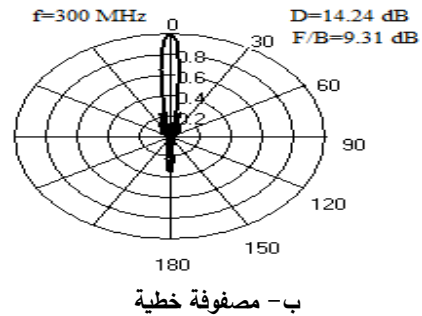
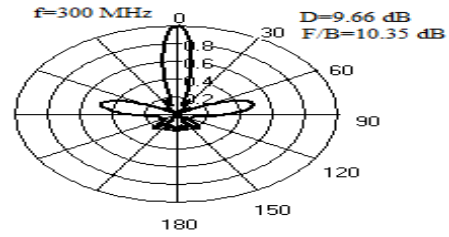
الشكل (10) المخطط الاشعاعي للمصفوفة الخطية والقوسية عند التحريض بتوزيع مطالي منتظم.
نصف قطر المصفوفة القوسية $Re=2000\text{mm}$.



الشكل (8) - المخطط الاشعاعي لمصفوفة قوسية وخطية مكونة من

7 عناصر مع $De = 0.5\lambda_o$

على التردد المركزي 300 MHz



الشكل (9) المخطط الاشعاعي لمصفوفة قوسية وخطية مكونة من 7

عناصر مع $De = 0.8\lambda_o$

على التردد المركزي 300 MHz.

القوسية أقل مما هي في المصفوفة الخطية عند نفس عدد المشعات ونفس المسافة بين المشعات المتجاورة.

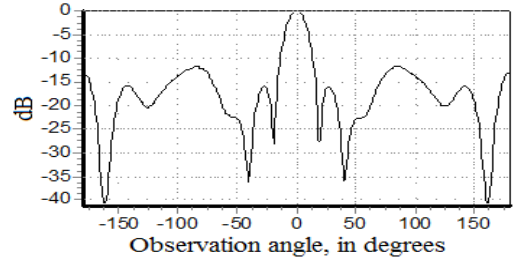
2-3 تأثير التوزيع الطوري على المخطط الإشعاعي.

في المصفوفات الحلقية والاسطوانية، فإن طريقة المسح الرئيسية هي الطريقة الامتثالية (المطابقة) Frank(2015,5)، في هذه الحالة، تتحرك مجموعة من المشعات المتحيزة التي تشكل مخططاً إشعاعياً على طول المصفوفة. مع هذا النوع من المسح، يكون الفاصل الزاوي لإزاحة المخطط الإشعاعي يساوي المسافة الزاوية بين مشعات المصفوفة المتجاورة. إذا كان هذا الفاصل كبيراً جداً بالنسبة لمسألة فنية معينة، عندها يتم وبشكل إضافي استخدام المسح الطوري.

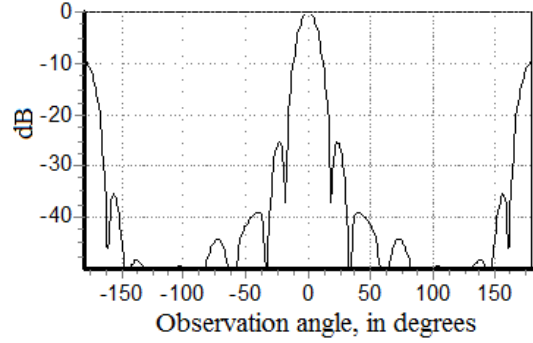
يتم أدناه، استعراض المسح الطوري فقط، أي، المسح عن طريق تغيير التوزيع الطوري لتحريض مشعات المصفوفة.

في هذه الحالة، يكون الجزء المتحرض من المصفوفة الحلقية عبارة عن مصفوفة قوسية ويستعرض أدناه. توجد بعض الاختلافات في بارامترات الجزء المتحرض للمصفوفة الحلقية والمصفوفة القوسية ذات نفس البارامترات الهندسية Ne و De و Re ، ويرجع ذلك إلى حقيقة أن هناك طرفين (نهايتين) في المصفوفة القوسية، وبالتالي، هناك تأثير طرفي. تتواجد جميع مشعات المصفوفة في ظروف مختلفة - بيئات مختلفة. ونتيجة لذلك، فإن التيارات في المشعات تكون مختلفة ولها توزيعات دخل مختلفة، حتى مع تحريضها بتوزيع مطالي - طوري منتظم.

يكن التأثير النهائي (الطرفي) في المصفوفة الحلقية، من حقيقة أنه خارج المنطقة الفعالة، حيث يتم تحريض المشعات بالتوزيع المطالي - الصفحي المطلوب، توجد مشعات سلبية. حيث تتحرض التيارات فيها من قبل حقل مشعات



أ - مصفوفة قوسية



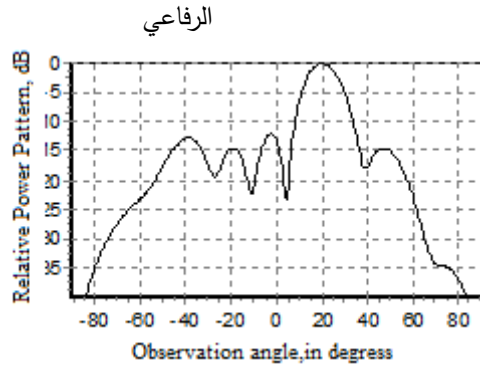
ب - مصفوفة خطية

الشكل (11) المخطط الإشعاعي للمصفوفة الخطية والقوسية عند التحريض بتوزيع مطالي متناقص.

يستنتج من الشكل (10)، أنه عند نفس التوزيع المطالي ونفس المسافة بين المشعات المتجاورة، يكون مستوى الفصوص الجانبية في المصفوفة القوسية أعلى مما هو في المصفوفة الخطية. تزداد الفصوص الجانبية بشكل خاص عند حدود نصف الفراغ الأمامي والخلفي نظراً لحقيقة أن الاتجاه الأعظمي للمخطط الإشعاعي للمشعات الطرفية في المصفوفة القوسية موجه في اتجاه قريب من 90 درجة.

كما يستنتج من مقارنة الشكلين (10) و (11) أن درجة انخفاض مستوى الفصوص الجانبية بسبب استخدام التوزيع المطالي المتناقص نحو حواف المصفوفة في المصفوفة القوسية أقل مما هو في المصفوفة الخطية.

ونظراً لارتفاع مستوى الفصوص الجانبية والطول الأقصر للمصفوفة الخطية المكافئة، فإن التوجيهية في المصفوفة



ب- المصفوفة الخطية

الشكل (12) المخطط الاشعاعي للمصفوفة الخطية والقوسية عند زاوية مسح $\theta_m = 20^\circ$ ونصف قطر المصفوفة القوسية $Re=2000mm$

يلاحظ من الشكل (12) أن اتجاه الفص الرئيسي للمخطط الإشعاعي في المصفوفة القوسية قد انحرف عن زاوية المسح، بينما في المصفوفة الخطية كان اتجاهه تماماً عند $\theta_m = 20^\circ$.

4- النتائج:

يستنتج مما سبق ما يلي:

1- يؤدي التأثير المتبادل بين المشعات في كلا المصفوفتين الخطية والقوسية عند نفس قيم المسافة البينية De ونفس عدد المشعات Ne إلى تغير في ممانعة دخل المشعات، حيث يكون تأثير ذلك أكبر في المصفوفة القوسية (الشكل 5).

2- تعتمد ممانعة دخل كل مشع في المصفوفة على المسافة بين المشعات المتجاورة في المصفوفة وعلى تأثيرهم المتبادل (الشكلين 6 و 7).

3- التوجيهية في المصفوفة القوسية أقل، مقارنة بالمصفوفة الخطية (الشكلين 8 و 9).

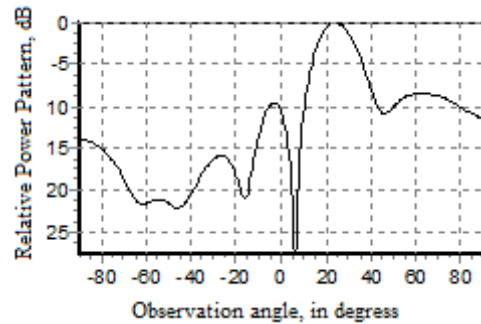
4- عند استخدام نفس التوزيع المطالي ونفس المسافة بين المشعات المتجاورة فإن مستوى الفصوص الجانبية في المصفوفة القوسية أعلى مما هو عليه في المصفوفة الخطية (الشكل 10).

دراسة التأثير المتبادل بين المشعات على خصائص.....

المنطقة الفعالة. يضاف حقل هذه التيارات إلى حقل مشعات المنطقة الفعالة، والتي بسببها يتم تشويه المخطط الاشعاعي للمنطقة الفعالة. يجب أن يؤخذ هذا التأثير في الاعتبار عند المسح الامتثالي في المصفوفة الحلقية.

سوف يتم الآن، تقييم تأثير التأثير المتبادل بين المشعات أثناء المسح الطوري. وكتوزيع طوري، يتم استعراض توزيع طوري خطي على مصفوفة خطية مكافئة، والذي يوفر مسحا طورياً. في هذه الحالة، يختلف التوزيع الطوري على المصفوفة القوسية عما هو عليه في المصفوفة الخطية بسبب التوزيع الطوري الإضافي، الذي يضمن تركيز المصفوفة في الاتجاه المحدد. يؤخذ توزيع الطور الإضافي في مشعات المصفوفة في الاعتبار في جميع النتائج الواردة أدناه.

لتوضيح السمات الرئيسية للمخطط الاشعاعي في المصفوفة القوسية، يوضح الشكل (12) المخطط الاشعاعي للمصفوفة الخطية وللمصفوفة القوسية عند زاوية مسح تساوي $\theta_m = 20^\circ$ (تم اختيار زاوية المسح بقيمة صغيرة للضبط الدقيق لاتجاه اللوب الرئيسي للمخطط الاشعاعي). بارامترات المصفوفة كالتالي: عدد المشعات يساوي $Ne=7$ ، المسافة الخطية بين مراكز المشعات المتجاورة $De = 0,5\lambda$ ، نصف قطر المصفوفة القوسية $Re=2000mm$. التوزيع المطالي منتظم.



أ- المصفوفة القوسية

دراسة التأثير المتبادل بين المشعات على خصائص.....

5- درجة انخفاض مستوى الفصوص الجانبية في المصفوفة القوسية بسبب استخدام التوزيع المطالي المتناقص نحو حواف المصفوفة أقل مما هو عليه في المصفوفة الخطية (مقارنة الشكلين 10 و 11).

6- عند زاوية مسح ما فإن اتجاه المخطط الإشعاعي للمصفوفة القوسية غير دقيق، بينما في المصفوفة الخطية يكون دقيقاً (الشكل 12).

5- المقترحات:

يجب أن تؤخذ المحددات الحاكمة التي تم الحصول عليها لتأثير التأثير المتبادل على المخطط الإشعاعي للمصفوفة القوسية في الاعتبار عند تنظيم المسح الامتثالي في المصفوفات الحلقية أو القوسية. إذا تم استخدام المسح الامتثالي بالاقتران مع المسح الطوري في قطاع زاوي ضيق ("الضبط الدقيق" لاتجاه الفص الرئيسي)، فيمكن عندئذ تقليل التأثير المتبادل بين المشعات عن طريق زيادة المسافة البينية *De*.

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

ternational conference on Electrodynamics and Mechatronics, pages 323-332.

[10] Manjeet, S, P., Supreet, K, S., (2016), "Analysis of Mutual Coupling Effects on Linear Antenna Array", International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology (IJLTET), PP. 685-689.

[11] Lars Josefsson; Patrik Persson, (2006), "Circular Array Theory," in Conformal Array Antenna Theory and Design , IEEE, 2006, pp.15-47.

[12] Balanis, C, A., (2012), "Advanced Engineering Electromagnetics", 2nd edition, John Wiley & Sons, New York, pp. 1040.

[13] Balanis, C, A, (2005), "Antenna theory", 2nd edition, John Wiley and Sons, pp. 931.

[14] Volakis, J, L., (2007), "Antenna Engineering Handbook", 4th Edition, Georgia, Mc Graw-Hill, pp. 1872.

[15] Frank, C, Richard, B, (2015), "Conformal array antenna" , patent number US9000982B2 , Lockheed Martin Corporation.

6-References:

[1] Jamunaa, D. ,Mahanti, G.K, Hasoon, Feras. (2020). "Optimized inter-element arc spacing and ring radius in the synthesis of phase-only reconfigurable concentric circular array antenna using various evolutionary algorithms". Electromagnetics. 40. Pages 1-15.

[2] J. K. Butler, "Radiation from circular arc antenna arrays", Radio Science, vol. 4, no. 6, pp. 539-544, (1969).

[3] Hussein, Rammal, Charif, Olleik, Kamal, Sabbah, Rammal, Mohammad , Vaudon, Patrick. (2009). "Synthesis of Phased Cylindrical Arc Antenna Arrays". International Journal of Antennas and Propagation, p.5.

[4] Loffler, D., Gschwendtner, E. , Wiesbeck, W.. (1999). "Design and measurement of conformal antennas on cylindrical and spherical geometries". IEEE. 1005 - 1010 vol.2.

[5] Ares, F., Rengarajan, Sembiam , Ferreira, J.A., Trastoy, A. (1997). "Synthesis of antenna patterns of circular arc arrays". Electronics Letters. 32. 2248 - 2251 vol.4.

[6] A, ALRIFAI, (2008) ,"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.

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

[8] Mitra, R., (2013) "Computer techniques for electromagnetics", International Series of Monographs in Electrical Engineering, pp. 416.

[9] Niziolek, M., (2009), "Review of methods used for computational electromagnetics", 2nd In-