

دراسة خصائص حقل وتأبير هوائي القطع المكافئ

د. م عبد المعين الرفاعي⁽¹⁾

الملخص

اقترح هذا البحث استخدام طريقة البصريات الفيزيائية لتحديد خصائص هوائي القطع المكافئ ذي العاكس الوحيد في المنطقة القريبة، في المستوي السوري، وعلى طول المحور المحرق للهوائي المؤبر في المنطقة البعيدة وفي نقطة محددة من المنطقة القريبة. درست محددات المسح للهوائي المؤبر في المنطقة القريبة. نفذت المحاكاة العددية باستخدام برنامج صمم باستخدام طريقة البصريات الفيزيائية، وبواسطة اللغة البرمجية Delphi.

تبيّن أنّ مطال حقل الهوائي يتناقص عند ابتعاد نقطة المراقبة عن فتحة العاكس، كما أنّ المطال يعاني من بعض التآرجح. لوحظ أنّ النقاط ذات المطال الحقل الأعظمي على المحور المحرق في الهوائي المؤبر في المنطقة البعيدة ليست نقاط تأبير. كما لوحظ عند المسح أنّ الزيادة في عرض الوريقة الرئيسة، وفي مستوى الوريقات الجانبية في المستوي السوري تكون أقل مما هي عليه في المنطقة البعيدة.

الكلمات المفتاحية: هوائي القطع المكافئ ذو العاكس الوحيد، طريقة البصريات الفيزيائية، المنطقة القريبة، المستوى السوري، المحور المحرق، تأبير الهوائي، مسح الهوائي.

⁽¹⁾ مدرس في قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات - كلية الهندسة - جامعة القلمون الخاصة.

Study of The Parabolic Antenna Field and Focusing Characteristics

Abed Al-Moueen Al-Refaee⁽¹⁾

Abstract

This research proposes using optical physics method to determine the parameters of a single reflector parabolic antenna in the near field region, at the image plane, and along the focal axis. The study was carried out when the antenna is focused to the far field region, and at a specific point in near field region.

The scanning parameters of the antenna were studied when the antenna is focused to the near field.

The numerical simulation was carried out by using Delphi code. It showed that, the field amplitude, with ripple, decreased when the test point moved out from the antenna aperture. We found that the points of maximum field intensity on the focal axis of the antenna focused in near region were not the focusing points. It also showed that during the scanning, the increase in the width of the main lobe and the level of side lobes at the picture plane was less than it in the far region.

keywords: single-reflector parabolic antenna, optical physics method, near field, picture plane, focal axis, antenna focusing, antenna scanning.

⁽¹⁾ Assistant Professor, Dep., Electronics and Communications Engineering

1- المقدمة:

قدم المرجع [1] نتائج التحليل العددي لتوزيع الحقل المتساوي الصفحة في المنطقة القريبة لهوائي ذب فتحة مستوية، دائرية، ومستطيلة. تم تبيان أنه عند الابتعاد الناظمي عن مستوي الفتحة فإن تناقص مطال الحقل لا يكون بشكل متناغم، ولكن يعاني من بعض الرجحان (التذبذبات)، بسبب تداخل الحقول التي تشعها مناطق فريزل المختلفة.

يتم في هذا البحث قَدَمَت دراسة مماثلة، لكن طبقت على هوائي القطع المكافئ ذي العاكس الوحيد [2,3,4,5].

أيضاً قَدَمَ في هذا البحث تقديم تحليل عددي لتوزيع الحقل في المستوي الصوري (هو المستوي الموازي لمستوي التأبير الذي يمر عبر نقطة التأبير، على طول المحور X في الشكل (2))، وذلك عند تأبير الهوائي في المنطقة القريبة، وعند القيام بالمسح.

نقطة تأبير الهوائي هي النقطة التي تتركز فيها الإشارات الواردة جميعها. عند الإشعاع من هذه النقطة فإن الإشارات تنعكس عن السطح العاكس على شكل حزم موازية للمحور المحرقي. تعتمد بارامترات هوائي القطع المكافئ على مكان المشع بالنسبة للمحرق، عند تحريك المشع بالنسبة الى المحرق فإنه يتغير توزيع مطال وصفحة الحقل على سطح العاكس، ومن ثم تتغير بارامترات المخطط الإشعاعي وهذا يؤدي الى تناقص توجيهية الهوائي وزيادة مستوى الوريقات الجانبية، ومن هنا تكمن أهمية تأبير الهوائي [5].

استخدمت طريقة البصرييات الفيزيائية Physical Optics (PO) عند تنفيذ المحاكاة [6, 7].

تستخدم البصرييات الفيزيائية عادة في مجال البصرييات، الهندسة الكهربائية، والفيزياء التطبيقية. وهي وسيلة وسيطة بين البصرييات الهندسية Geometric Optics (GO) التي لا تأخذ الاهتمام تأثيرات الموجة

(التداخل، الحيود، الاستقطاب، وغيرها من الظواهر) [8, 9, 10] والنظرية الكهرومغناطيسية التي تعدّ النظرية الدقيقة [11, 12]. تستخدم في طريقة PO بصريات الشعاع لتقدير الحقل على السطح، ومن ثم يكامل ذلك الحقل لحساب الحقل المرسل أو المبعثر. لنظرية البصرييات الفيزيائية بعض العيوب في تقييم الحقول المبعثرة التي تقود إلى تخفيض الدقة في الاتجاهات المطلوبة [13, 14, 15]. تدخل نظرية محسنة في عام 2004 والتي أعطت حلولاً دقيقة للمشكلات التي تخص انحراف الموجة الناتجة عن التبعثر عن السطوح الناقلة [16].

2- طريقة البحث:

1-2 الموديل الرياضي لهوائي القطع المكافئ ذي العاكس الوحيد

يتضمن الموديل الرياضي لهوائي القطع المكافئ مراحل حل المسألة، وهي [17]:

- حساب حقل اشعاع البوق الهرمي في نقاط سطح العاكس.
- حساب التيار على سطح عاكس الهوائي.
- حساب حقل التيارات السطحية في نقطة محددة من الفراغ.
- حساب المخطط الاشعاعي وبارامتراته في المنطقة القريبة والبعيدة.
- حساب الحقل على امتداد المحور المحرقي بهدف تحديد مستوى التأبير عند إزاحة المشع على طول المحور المحرقي.
- حساب توزيع التيار في المستوي الصوري.

1-1-2 البوق المشع

يبين الشكل (1) مسقطين للبوق المشع الهرمي.

تحدد الزوايا θ_p و φ_p عن طريق الإحداثيات x_r ,

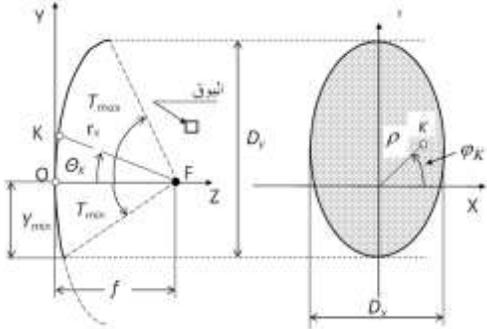
y_r و z_r و x_p و y_p و z_p بالعلاقات الآتية:

$$\sin\theta_p = \frac{\sqrt{(x_r-x_p)^2+(y_r-y_p)^2}}{r_p}$$

$$\operatorname{tg}\varphi_p = \frac{x_r-x_p}{y_r-y_p}$$

2-1-2 القطع المكافئ (العكس)

العكس هو قطعة من قطع مكافئ دوراني (تدوير منحني القطع حول محوره)، التي تضاء من قبل بوق هرمي، وهو مبين بمسقطين على الشكل (2).

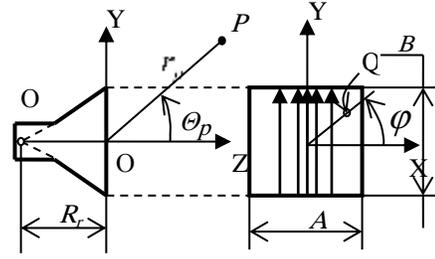


الشكل (2) العاكس (القطع المكافئ)

اذ: D_x, D_y - أبعاد العاكس على المحاور x و y ،
 F - نقطة المحرق، f - المسافة المحرقة، $-Y_{min}$ -
 إحداثية الحافة السفلى للعاكس بالمحور y ،
 T_{min}, T_{max} - الإحداثيات الزاوية للحافة السفلى
 والعليا للعاكس، O - قمة (ذروة) العاكس، K - نقطة
 اختيارية على سطح العاكس، r_K, θ_K, φ_K -
 الإحداثيات الكروية للنقطة K بالنسبة الى مركز فتحة
 البوق، ρ - ابتعاد النقطة K عن المحور OZ في
 المستوي XY ، يشير المربع على الشكل (2) إلى مكان
 توضع البوق المشع.

في الحالة العامة إنّ المشع مزاح عن المحرق
 بالإحداثيات X, Y, Z على مسافة $D_r X, D_r Y, D_r Z$
 على الترتيب.

من أجل تحديد التيارات على العاكس ومن ثمّ تحديد
 حقل هذه التيارات، فإنّه يتم تقريب (تمثيل) سطح
 العاكس بواسطة مجموعتين من الأسلاك الناقلة بشكل
 مثالي تتوضع فيما بينها على مسافة أقل من طول



الشكل (1) البوق الهرمي

اذ:

Q - نقطة على فتحة البوق. x_r, y_r, z_r - الإحداثيات
 الديكارتية للنقطة Q ، P - نقطة المراقبة (النقطة التي
 يراد تحديد حقل البوق عندها) التي تتوضع على سطح
 العاكس، x_p, y_p, z_p - الإحداثيات الديكارتية للنقطة
 P ، θ_p, φ_p, r_p - الإحداثيات الكروية للنقطة P . R_r -
 عمق البوق، A, B - الأبعاد الخطية لفتحة البوق.
 يعطى حقل البوق في النقطة P بالعلاقة الآتية
 : [1, 17]

$$\vec{E} = i \frac{1}{2\lambda} \int_S \dot{E}_S [\bar{\theta}_0(\eta \cos\theta_p + 1) \cos\varphi_p - \bar{\varphi}_0(\eta \cos\theta_p + 1) \sin\varphi_p] \frac{e^{-kr_p}}{r_p} dS \quad (1)$$

$\dot{E}_S = E_S(x_r, y_r) e^{j\Psi_S(x_r, y_r)}$ - التوزع المطالي -
 الصفحي للحقل على فتحة البوق.
 $E_S = E_m \cos\left(\frac{\pi x_r}{A_r}\right)$ - توزع المطال على فتحة
 البوق، E_m - مطال الحقل الكهربائي الأعظمي على
 فتحة البوق. $\Psi(x_r, y_r)$ - توزع الصفحة على فتحة
 البوق، اذ: $\Psi_x(x_r) = -k\sqrt{R_r^2 + x_r^2}$
 $\Psi_y(y_r) = -k\sqrt{R_r^2 + y_r^2}$
 $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ - الرقم الموجي للفراغ الحر.
 تعطى المسافة بين النقاط P و Q بالعلاقة:

$$r_p = \sqrt{(x_p - x_r)^2 + (y_p - y_r)^2 + (z_p - z_r)^2}$$

$S = A_r B_r$ - مساحة فتحة البوق.

الموجة، مثل هذه الشبكة موضحة على الشكل (3) إذ يشير المربع على الشكل إلى مكان توضع البوق المشع.

ذلك الحقل تحدّد مركبات كثافة التيار في عقد شبكة العاكس. يعبر عن شعاع كثافة تيار الناقلية \vec{J} عن طريق مجموع المركبات الديكارتيّة لتيار الناقلية بالعلاقة الآتية:

$$\vec{J} = \vec{J}_x + \vec{J}_y + \vec{J}_z$$

لحساب الشعاع \vec{E}_y تحسب في البداية المركبات الثلاث E_x, E_y, E_z بمركبات التيار المقابلة في منظومتي الأسلاك، وبعد ذلك تحسب المركبات E_θ, E_ϕ . تجمع تلك المركبات مع المركبات المقابلة لحقل المشع، وبالنتيجة يتم الحصول على الحقل الكلي \vec{E}_Σ ، إذ يعطى المخطط الإشعاعي بالعلاقة:

$$f(\theta, \phi) = |\vec{E}_\Sigma|$$

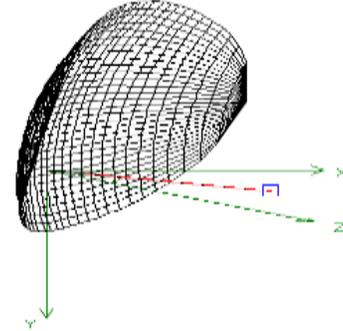
3- نتائج المحاكاة العددية

نفذت المحاكاة العددية بطريقة البصريّات الفيزيائية، وباستخدام برنامج بني باللغة البرمجية Delphi. نفذت المحاكاة لعاكس مع النسبة $D_y / f = 10 \dots 100$

$$\text{ولنسبة } f / D_y = 0.5$$

درس توزع الحقل في المستوي الصوري (عندما $Z = \text{const}$)، وعلى طول المحور المحرق Z وبالنسبة الى الزاوية θ . نفذت الحسابات للمنطقة القريبة، والمتوسطة، والبعيدة عند تأبير الهوائي في المنطقة البعيدة، وفي نقطة محددة من المنطقة القريبة أو المتوسطة.

استعرضت مسائل المسح عند تأبير الهوائي. واختيرت بارامترات المشع بحيث يكون مستوى إشعاع حافات العاكس بالنسبة الى مركزه في المستويات E ، و H يساوي تقريباً 0.3، وهذا يوافق ثابت توجيهية أعظمي [2, 4]. النتائج العددية المبينة لاحقاً جميعها هي من أجل المستوي E .



الشكل (3) شكل العاكس الشبكي

العلاقات الأساسية التي تصف الأبعاد الهندسية للقطع المكافئ (العاكس):

$$r_K = \frac{2f}{1 + \cos\theta_K}$$

الإحداثيات الكروية للنقطة K :

$$x_K = r_K \sin\theta_K \cos\phi_K$$

$$y_K = r_K \sin\theta_K \sin\phi_K$$

$$z_K = r_K \cos\theta_K$$

اذ ترتبط الإحداثيات x_K و y_K بالعلاقات الآتية:

$$y_K = Y_{min} + \frac{D_y}{2} \sqrt{1 - \left(\frac{2x_K}{D_x}\right)^2}$$

$$\text{اذ: } -\frac{D_x}{2} \leq x_K \leq \frac{D_x}{2}$$

وبإحداثيات النقطة K المتوضعة في العقد المتقاطعة

لخطين من شبكة الأسلاك X_{Knm}, Y_{Knm} ، اذ:

$$-n \text{ رقم العقدة بالإحداثيات } X, 1 \leq n \leq N$$

$$-m \text{ رقم العقدة بالإحداثيات } Y, 1 \leq m \leq M$$

تحدّد الإحداثيات الكروية لهذه النقطة بالنسبة الى مركز فتحة البوق:

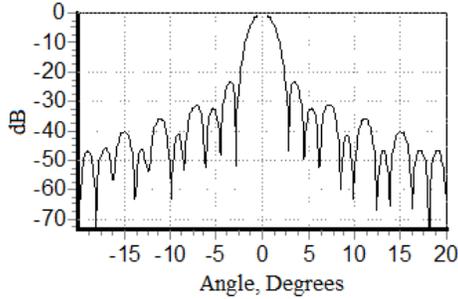
$$r_{nm} = \sqrt{(x_{Knm} - D_r X)^2 + (y_{Knm} - D_r Y)^2 + (z_{Knm} - D_r Z)^2}$$

$$\phi_{Knm} = \arctg\left(\frac{y_{Knm}}{x_{Knm}}\right)$$

$$\theta_{Knm} = 2 \arctg \sqrt{\frac{(x_{Knm} - D_r X)^2 + (y_{Knm} - D_r Y)^2}{f - D_r Z}}$$

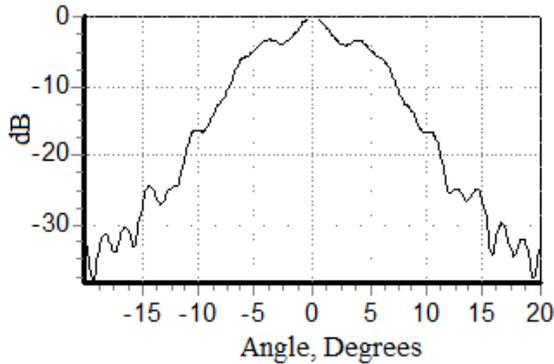
يحسب حقل البوق في النقاط ذات الإحداثيات

لا تعدّ أية نقطة من نقاط المطال الأعظمي المبينة على الشكل (3) كنقطة تأبير للهوائي. للتوضيح مبين على الشكل (5) المخطط الإشعاعي للهوائي، المؤبر في المنطقة البعيدة، وعلى الشكل (6) و(7) علاقة مطال الحقل بالنسبة الى الزاوية θ على كرة ذات نصف قطر $2.5D_y$ و $7.5D_y$ (وهذا يوافق النقطتين الأخيرتين لمطال الحقل الأعظمي على الشكل (3)).



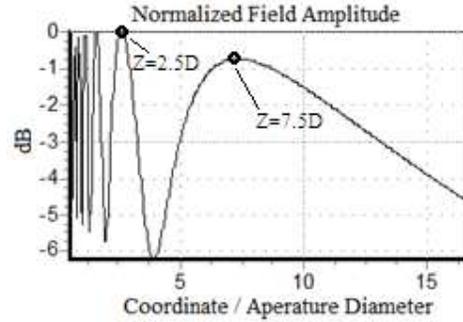
الشكل (5) المخطط الإشعاعي للهوائي ($D_y / \lambda = 30$; $f/D_y = 0.5$)

وللمقارنة بالشكل (6) الذي يبين توزع الحقل على مسافة $R = 2.5D_y$ دون تأبير، يبين الشكل (8) توزع الحقل على المسافة السابقة نفسها ولكن عند تأبير الهوائي في تلك النقطة عن طريق إزاحة المشع على طول المحور المحرقى لمسافة تساوي 3.6λ . كما يبين الشكل (9) توزع مطال الحقل على طول المحور المحرقى عند تلك الإزاحة للمشع.

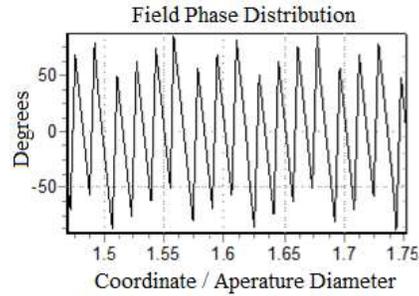


الشكل(6) توزع الحقل على مسافة $R = .5D_y$

يبين الشكل (3) و(4) توزع مطال الحقل وصفحته في المنطقة القريبة على طول المحور المحرقى (على طول المحور Z) من أجل عاكس مع $D_y/\lambda = 30$ ، $f/D_y = 0.5$. اذ تبدأ الإحداثية Z بالتغير ابتداء من نقطة المحرق. الهوائي مؤبر في المنطقة البعيدة.



الشكل (3) توزع مطال الحقل على طول المحور المحرقى دون تأبير

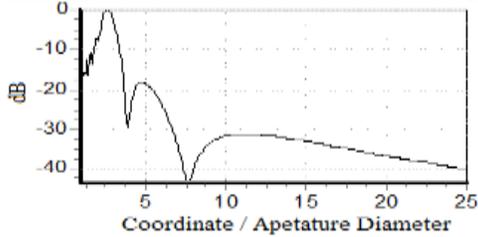


الشكل (4) توزع صفحة الحقل على طول المحور المحرقى

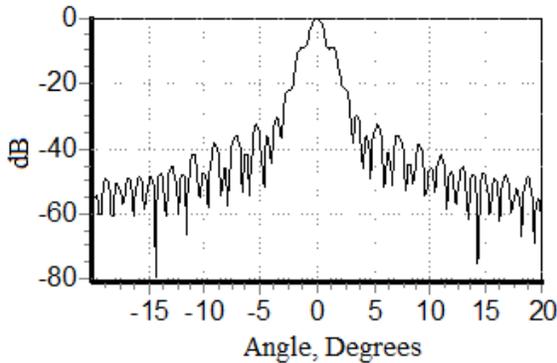
يستنتج من الشكل (3) بأنه عند ابتعاد نقطة المراقبة عن العاكس فإن مطال الحقل يعاني من تأرجح، هذا مرتبط بتداخل الحقول المشعة من قبل عناصر العاكس المختلفة. وابتداءً من مسافة ما Z_0 فإن مطال الحقل يهبط بشكل متناغم.

يلاحظ من الشكل (4) أن صفحة الحقل تتغير على شكل خطوط مستقيمة تحكمها علاقة خطية بين قيم مختلفة على طول المحور المحرقى (خطوط مستقيمة)، وهذا يشهد على انتشار موجة حقل راحلة على طول المحور المحرقى.

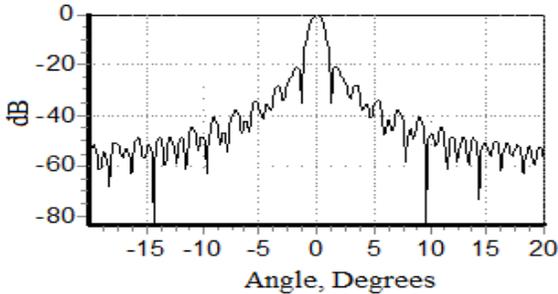
ما ذكر سابقاً. يظهر الشكل (10) توزع الحقل على طول المحور المحرقى لهوائي ذي بارامترات $D_y/\lambda = 60$; $f/D_y = 0.5$ وإزاحة المشع على طول المحور المحرقى 9λ . يوافق المطال الأعظمي للحقل الإحداثية $Z_0 = 2.5D_y$ ، والمطال الأعظمي السابق له الإحداثية $Z_0 = 2D_y$. علاقة مطال الحقل بالنسبة الى الإحداثية θ على كرات بنصف قطر $R = 2D_y$ و $R = 2.5D_y$ مبيّنة بالترتيب على الشكل (11 a, b). مبيّن على الشكل (12) المخطط الإشعاعي للهوائي المؤبر في المنطقة البعيدة.



الشكل (10) توزع مطال الحقل على طول المحور المحرقى

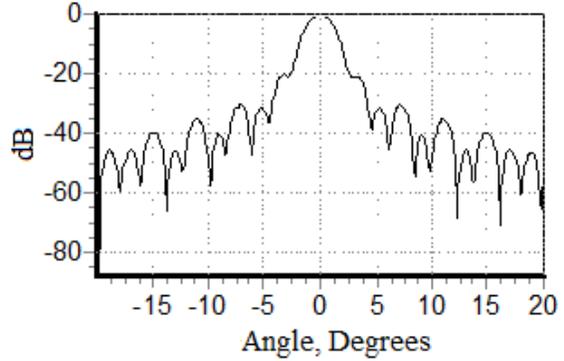


a) $R = 2.5D_y$

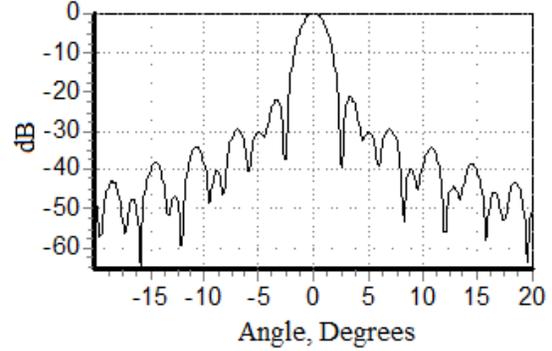


b) $R = 2D_y$

الشكل (11) توزع الحقل على كرة في المنطقة القريبة

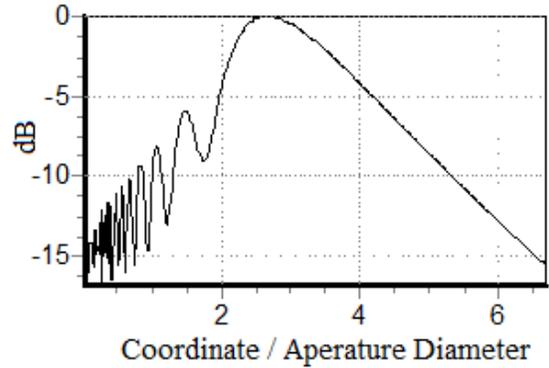


الشكل (7) توزع الحقل على مسافة $R = 5D_y$



الشكل (8) توزع الحقل على مسافة $R = 5D_y$ عند تأبير الهوائي

يستنتج من مقارنة الشكل (3) والشكل (9) أنه في نقطة التأبير يزداد مطال الحقل ازدياداً كبيراً.

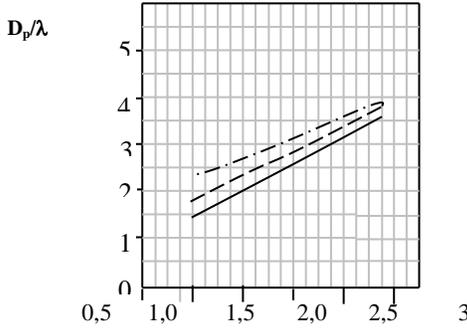


الشكل (9) توزع مطال الحقل على طول المحور المحرقى للهوائي، المؤبر على مسافة $2.5D_y$

تحدث مع زيادة الأبعاد الموجية للعاكس إزاحة لنقاط التأبير بالنسبة الى المطال الأعظمي للحقل على المحور المحرقى في اتجاه العاكس.

بعد نقطة التأبير عند الابتعاد عن العاكس فإن مطال الحقل يواصل التآرجح. توضّح الأشكال اللاحقة

كما يلاحظ أن قطر بقعة التأبير يزداد بزيادة المسافة، ويتناقص بزيادة القطر الموجي للعاكس. يبين الشكل (14) علاقة نسبة قطر بقعة التأبير على طول الموجة D_p/λ بالنسبة الى المسافة حتى نقطة التأبير عند نسبة D_y/λ مختلفة.

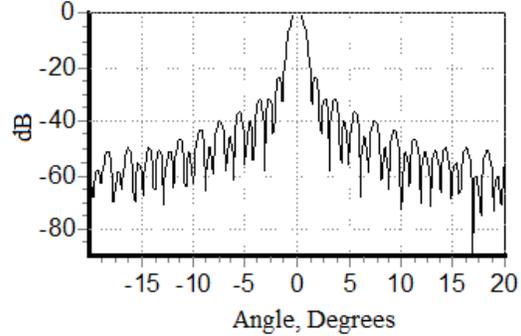


الشكل (14) علاقة نسبة قطر بقعة التأبير على طول الموجة بالنسبة الى المسافة حتى نقطة التأبير الخط المتصل $D_y/\lambda = 30$ ، الخط المنقطع $D_y/\lambda = 60$ ، خط نقطة $D_y/\lambda = 90$ يلاحظ من الشكل (14) أن القطر الموجي لبقعة التأبير يزداد بزيادة المسافة وزيادة القطر الموجي للعاكس.

درست مسائل المسح وذلك عن طريق إزاحة المشع مع المحور المحرقي بالنسبة الى المنطقة القريبة. هذه المحددات لها أهمية عند استخدام هوائي القطع المكافئ كهوائي متعدد الحزم multi-beams في منظومات الإرسال التلفزيوني.

إن تغير بارامترات البقعة في المستوي الصوري للمنطقة القريبة مماثل لتغير بارامترات المخطط الإشعاعي في المنطقة البعيدة. ومع ذلك فإن آثاراً غير مرغوب فيها عند المسح منها: زيادة عرض الوريقة الرئيسية للمخطط الإشعاعي، وزيادة مستوى الوريقات الجانبية، ولوحظ بأنها في المستوي الصوري للمنطقة القريبة كانت أقل وضوحاً مما هي عليه في المنطقة البعيدة. وتبين الأشكال (15) و(16) تلك

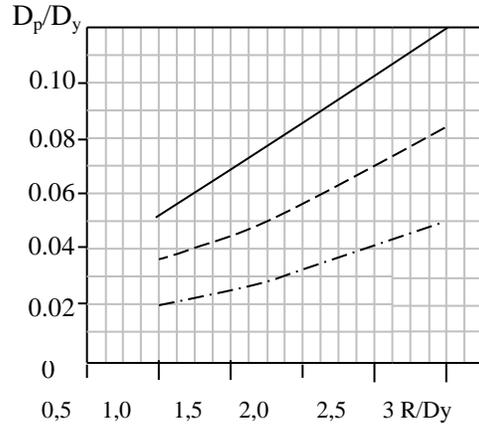
كما يلاحظ، أن نقطة التأبير هي النقطة ذات الإحداثية $R = 2D_y$ ، وليست النقطة ذات المطال الأعظمي على المحور المحرقي.



الشكل (12) المخطط الإشعاعي للهوائي المؤبر في المنطقة البعيدة

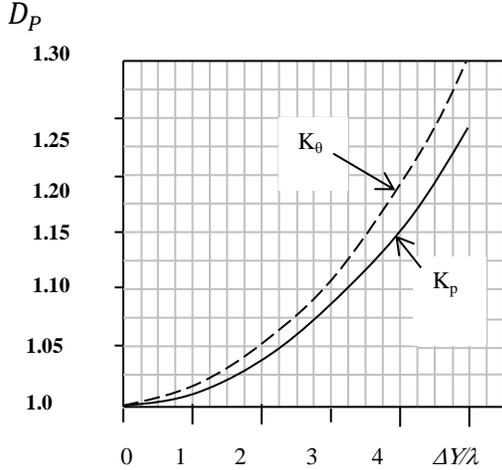
درست علاقة حجم بقعة التأبير بالنسبة الى المسافة حتى نقطة التأبير، وبالنسبة الى القطر الموجي للعاكس.

مبين على منحنيات الشكل (13) علاقة نسبة قطر البقعة في المستوي الصوري (D_p) عند مستوى -3dB على قطر العاكس (D_y) عند تأبير هوائي القطع المكافئ على مسافات مختلفة في المنطقة القريبة (R/D_y) وعند نسب مختلفة D_y/λ .



الشكل (13) علاقة قطر بقعة التأبير بالنسبة الى المسافة حتى نقطة التأبير

الخط المتصل $D_y/\lambda = 30$ ، الخط المنقطع $D_y/\lambda = 60$ ، خط نقطة $D_y/\lambda = 90$



الشكل (16) تغير ثابت زيادة الوريقات الجانبية عند المسح
($D_y/\lambda = 30; f/D_y = 0.5$)

تكون قيمة الفرق بين عرض الوريقة الرئيسية ومستوى الوريقات الجانبية المحسوبة للمنطقة البعيدة والقريبة، أكثر وضوحاً كلما زادت إزاحة المشع مع المحور المحرق في مستوى التأبير.

4- النتائج:

- درست خصوصية توزع الحقل في المنطقة القريبة، وعلى طول المحور المحرق، وفي المستوي الصوري لهوائي القطع المكافئ، المؤبر في المنطقة البعيدة والقريبة.

- تم تبيان أنه عند ابتعاد نقطة المراقبة عن مستوي الفتحة فإنّ مطال الحقل يتناقص، ويعاني من تأرجح.

يزداد عمق التأرجح مع زيادة النسبة D_y/λ .

- تم تبيان أن نقاط الحقل الأعظمي على المحور المحرق في الهوائي المؤبر في المنطقة البعيدة ليست نقاط تأبير.

- على الرغم من الطبيعة المتأرجحة لتغير المطال، فإنّ صفة الحقل على طول المحور المحرق تتغير وفق قانون خطي.

- في الهوائي المؤبر في المنطقة القريبة فإنّ التغير المتأرجح لمطال الحقل على طول المحور المحرق يشاهد قبل نقطة التأبير وبعدها.

- تم تبيان أنه عند المسح فإنّ زيادة عرض الوريقة الرئيسية ومستوى الوريقات الجانبية في المستوي الصوري للمنطقة القريبة أقل وضوحاً ممّا هو في المنطقة البعيدة.

الخصوصيات. يبيّن الشكل (15) تغير ثابت توسع الوريقة الرئيسية عند المسح الذي يحسب بالعلاقات الآتية [2,3]:

$$F_{\theta}(\Delta Y/\lambda) = F_b(0) - F_b(\Delta Y)$$

$$F_p(\Delta Y/\lambda) = F_{bp}(0) - F_{bp}(\Delta Y)$$

كما يبين الشكل (16) تغير ثابت زيادة الوريقات الجانبية عند المسح والذي يتم حسابه بال علاقات التالية [2,3]:

$$K_{\theta}(\Delta Y/\lambda) = 2\theta_{0,5}(\Delta Y) / 2\theta_{0,5}(0)$$

$$K_p(\Delta Y/\lambda) = D_p(\Delta Y) / D_p(0)$$

اذ:

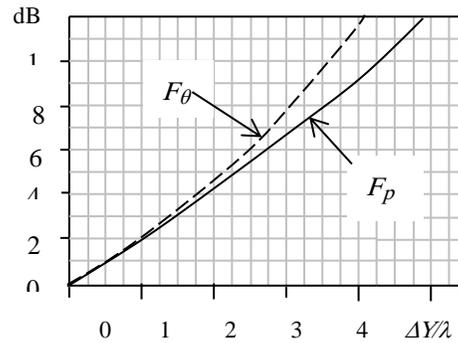
$-\Delta Y$ - إزاحة المشع مع المحور المحرق في المستوي المحرق.

$2\theta_{0,5}$ - عرض الوريقة الرئيسية للمخطط الإشعاعي للهوائي، المؤبر في المنطقة البعيدة عند مستوى نصف الاستطاعة.

F_b - مستوى الوريقة الرئيسية الأولى للمخطط الإشعاعي.

F_{bp} - مستوى الوريقة الرئيسية الأولى للبقعة في المستوي الصوري للهوائي، المؤبر في المنطقة القريبة.

قطر البقعة في المستوي الصوري بمستوى -3dB .



الشكل (15) تغير ثابت توسيع الوريقة

الرئيسية عند المسح

$$(D_y/\lambda = 30; f/D_y = 0.5)$$

References

- [14] John, S, A., 2008, "The physical optics method in electromagnetic scattering", *Journal of Mathematical Physics*, Vol. 21., Issue 2., pages 173-178.
- [15] Ufimtsev, P., Ya, 1991, "Elementary edge waves and the physical theory of diffraction", *Journal of Electromagnetics*, Vol 11, Issue 2, pages 125-160.
- [16] Umull., Y., Z., 2014, "Modified theory of physical optics", *Opt Exp.*, Vol 12, pages 4959-4972.
- [17] Mitra, R., 2013 *Computer techniques for electromagnetics*, International Series of Monographs in Electrical Engineering, pp. 416.
- [1] Laybros, S., Combes, P.F., Mametsa, H.J, 2005, "The «Very-Near-Field» Region of Equiphase Radiating Apertures", *IEEE Antennas & Propagation Magazine*, Vol. 47, N°4, pages 50-66.
- [2] Balanis, C, A., 2012, "Advanced Engineering Electromagnetics", 2nd edition, John Wiley & Sons, New York, pp. 1040.
- [3] Volakis, J, L., 2007, "Antenna Engineering Handbook", 4th Edition, Georgia, Mc Graw-Hill, pp. 1872.
- [4] Stutzman, W, L, and Thiele, G, A, 2012, *Antenna Theory and Design*, 3rd edition, John Wiley and Sons, pp. 595.
- [5] Balanis, C, A, 2005, *Antenna theory*, 2nd edition, John Wiley and Sons, pp. 931.
- [6] Robert, W, W, 2015, *Physical Optics*, Scholor's Choice, pp 582.
- [7] Ufimtsev, P., Ya, 2014, "Fundamentals of the physical theory of diffraction", John Wiley & Sons, 2nd edition, pp.496.
- [8] Samii, Y., R., 1984, "A comparison between GO aperture-field and physical-optics methods for offset reflectors", *IEEE Antennas and Propagation Society*, pages 301-306.
- [9] Duan, D., W., Samii, Y., R., Mahon, J., P., 1991, "Scattering from a circular disk: a comparative study of PTD and GTO techniques", *IEEE Antennas and Propagation*, Vol 79, Issue 10, pages 1472-1480.
- [10] Micheal, B, 2010, *Handbook of Optics– Geometrical and Physical Optics*, Vol 1, 3rd edition, McGraw-Hill, pp 1150.
- [11] Niziolek, M., 2009, "Review of methods used for computational electromagnetics", 2nd International conference on Electrodynamics and Mechatronics, pages 323-332.
- [12] Bakshi, U, A, 2009, *Electromagnetic theory*, Technical Publications, pp. 884.
- [13] Cowley, J, M , 1995, *Diffraction Physics*, 3rd edition, pp. 481.

Received	2017/06/19	إيداع البحث
Accepted for Publ.	2018/02/15	قبول البحث للنشر