

تصميم مصفوف هوائي خطي بطريقة دولف - تشيبشيف

فؤاد غانم*

(تاريخ الإيداع 21 / 10 / 2015. قُبِلَ للنشر في 14 / 6 / 2016)

□ ملخص □

تم في هذا البحث تصميم مصفوف هوائي خطي منتظم المسافات وغير منتظم التغذية بطريقة " دولف - تشيبشيف " ، حيث ندرس طريقة التصميم باستخدام مصفوفتين هوائيتين إحداهما ذات عدد عناصر فردي والثانية بعدد زوجي من العناصر وذلك عند قيمتين مختلفتين لنسبة الوريقة الإشعاعية الرئيسة إلى الثانوية ، وعند مسافات بينية مختلفة ، تم حساب معاملات التغذية مع رسم المخطط الإشعاعي لكل حالة ، إضافة إلى حساب زاوية فتحة الإشعاع عند سوية نصف الاستطاعة والاتجاهية الموافقة، ورسم منحنى توسيع عرض الحزمة بتابعية نسبة الوريقة الإشعاعية الرئيسة إلى الثانوية ومنحنى الاتجاهية بتابعية طول المصفوف.

الكلمات المفتاحية : مصفوف خطي - معامل المصفوف - كثيرات حدود تشيبشيف - النموذج الإشعاعي.

* مشرف على الأعمال - قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Design of Linear antenna array using Dolph-Chebyshev method

Fouad Ghanem*

(Received 21 / 10 / 2015. Accepted 14 / 6 / 2016)

□ ABSTRACT □

This paper illustrates a design of linear array antenna equal space and non uniform excitation using Dolph – Chebyshev method , We will discuss the designing procedure for antenna array having odd or even number of elements at two different values of the major to minor sidelobe level and at various between spaces , we will calculate the excitation coefficients and plot the radiation pattern for each case in addition to calculate both of the half power beam width angel and directivity. Finally : two curves will be plotted : first of them for beam broadening factor as a function of the major to minor sidelobe ratio ,the other one for directivity as a function of the array length.

Keywords linear array, array factor, Cheybeshev polynomial, radiation pattern

*Work Supervisor, Department of Communications Engineering ,Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University ,Lattakia, Syria.

مقدمة:

من الأهمية بمكان - عملياً - تصميم منظومة هوائيات مصفوفية تحقق نموذجاً إشعاعياً مرغوباً مع عرض حزمة محدد عند مستوى نصف الاستطاعة إضافةً إلى مستوى وريقات ثانوية side lobes منخفضة ، الأمر الذي يستوجب حساب الأبعاد الهندسية للمنظومة مع حساب توزيع معاملات تغذية العناصر المختلفة . لا بد أيضاً من التمييز بين النموذج الإشعاعي المرغوب desired radiation pattern وبين الطرائق التقريبية المتبعة للحصول على النموذج المفترض ، وهذا ما ندعوه بعملية تركيب المصفوفات الهوائية antenna array synthesis . يتطلب تركيب نموذج إشعاعي معطى مجموعة من الإجراءات : تتمثل بدايةً في التحليل الرياضي (الدقيق أو التقريبي) القابل للتحقيق ، أما الخطوة التالية فتكمن في بناء النموذج المركب بوساطة منظومة هوائيات محددة .

أهمية البحث وأهدافه :

يهدف البحث إلى تصميم مصفوف هوائي خطي منتظم المسافات يمتاز بمستوى وريقات ثانوية متدنٍ ومحدد ، وذلك بوساطة التحكم في معاملات تغذية عناصر الهوائي المصفوفي المدروس ، كما يدرس هذا البحث تأثير كل من عدد العناصر والمسافة البينية على كل من شكل النموذج الإشعاعي وزاوية فتحة الإشعاع عند سوية نصف الاستطاعة وعلى اتجاهية المصفوف ، ويتم ذلك باستخدام كثيرات حدود " تشيبشيف " ، حيث يقدم البحث دراسة رياضية لكثيرات حدود " تشيبشيف " ، وخواصها ، إضافةً إلى توظيفها في الدراسة التصميمية للهوائي المصفوفي الخطي منتظم المسافات وغير منتظم التغذية .

طرائق البحث ومواده:

1- المصفوفات الهوائية الخطية منتظمة المسافات والتغذية :

تستخدم الهوائيات المصفوفية بهدف الحصول على ربح كبير واتجاهية عالية وفتحة إشعاع ضيقة ، ويتحدد شكل النموذج الإشعاعي للمصفوف الناتج بتأثير عدد من العوامل : الشكل الهندسي للهوائي - المسافات البينية - سعة وزاوية طور التغذية لكل عنصر - شكل النموذج الإشعاعي لكل عنصر [1] . وعند ثبات سعات وأطوار التغذية للعناصر المكونة للمصفوف ، وثبات المسافة d بين عناصره ، نحصل عندئذٍ على المصفوف الهوائي منتظم المسافات والتغذية .

ومن أجل مصفوف خطي مستعرض (اتجاه الإشعاع الرئيس يعامد محور المصفوف) ، متوضع على طول المحور Z كما في الشكل (1) ، يعطى معامل المصفوف بالعلاقة [1]، [2] :

$$AF(\theta) = \frac{\sin\left(\frac{N.k.d.\cos\theta}{2}\right)}{N.\sin\left(\frac{k.d.\cos\theta}{2}\right)} \quad (1)$$

تمثل N عدد عناصر المصفوف ، أما d فهي المسافة بين عناصره ، في حين تعبر k عن العدد الموجي ، حيث $k = 2\pi/\lambda$.

كما تتحدد فتحة الإشعاع عند سوية نصف الاستطاعة half power beam width بالعلاقة التقريبية [4] ،

: [3]

$$\theta_h = \Delta_{HPBW} = \frac{2.782\lambda}{N.\pi.d} \quad (rad) \quad (2)$$

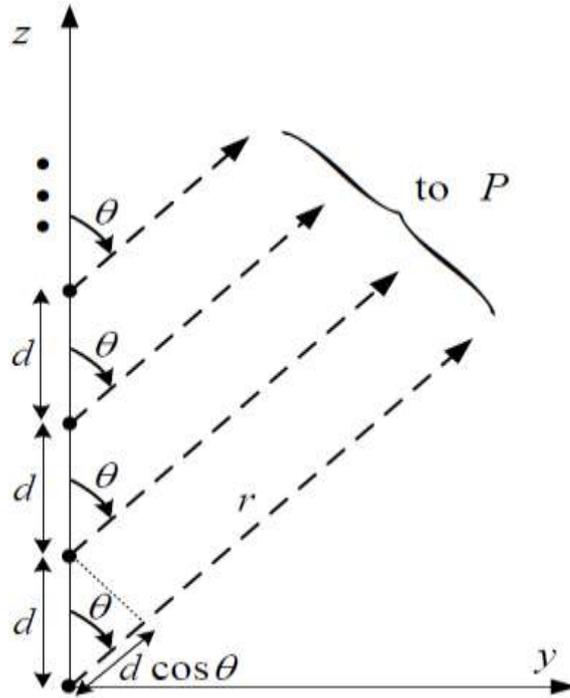
وتمثل λ طول الموجة ، أما اتجاهية المصفوف المذكور فيمكن حسابها من العلاقة [4] :

$$D_0 = 2N \left(\frac{d}{\lambda} \right) \quad (3)$$

$$D_0(\text{dB}) = 10 \log ((D_0)) \quad (4) \quad \text{وتكون :}$$

2- مصفوف دولف - تشيبيشيف :

تمتاز المصفوفات الهوائية الخطية منتظمة المسافات والتغذية بالريح والاتجاهية العالين ، غير إنها تعاني من ارتفاع واضح في نسبة الوريقات الإشعاعية الثانوية بالنسبة للإشعاع الرئيس . يمكن تخفيض سوية الوريقات الثانوية للإشعاع بطرق متعددة تعتمد جميعها على التحكم بمطال وطور تغذية عناصر المصفوف ، بحيث نحصل على مصفوف منتظم المسافات وغير منتظم التغذية . تعد طريقة " دولف - تشيبيشيف " من أهم الطرق المتبعة في التصميم إلى جانب طريقة ثنائي حد نيوتن [4] ، [5] ، [6].



الشكل (1) المصفوف الخطي المدروس

تعتمد طريقة دولف - تشيبيشيف على استنباط معاملات التغذية باستخدام كثيرات حدود تشيبيشيف مما يسمح بالحصول على R_0 سوية وريقات إشعاع رئيسة main lobe مرتفعة جداً مقارنةً مع الوريقات الثانوية للإشعاع . ترتبط كثيرات حدود تشيبيشيف ذات الدرجة m بتتابع \cos ضمن المجال $-1 \leq Z \leq +1$ بالعلاقات التالية:

$$m = 0 \Rightarrow \cos(mu) = 1 = T_0(Z)$$

$$m = 1 \Rightarrow \cos(mu) = Z = T_1(Z)$$

$$m = 2 \Rightarrow \cos(mu) = 2Z^2 - 1 = T_2(Z)$$

$$m = 3 \Rightarrow \cos(mu) = 4Z^3 - 3Z = T_3(Z)$$

يمكن كتابة الصيغة التكرارية التالية لكثيرات حدود تشيبيشيف :

$$T_m(Z) = 2Z.T_{m-1}(Z) - T_{m-2}(Z) \quad (5)$$

وتتميز كثيرات الحدود السابقة بالخواص التالية :

- 1- جميع التوابع الممثلة لكثيرات الحدود السابقة تمر من النقطة (1,1) .
- 2- عندما $Z \in [-1, +1]$ فإن $T_m(Z) \in [-1, +1]$.
- 3- جميع جذور كثيرات الحدود السابقة تقع ضمن المجال $[-1, +1]$ ، وقيمتها العظمى توافق $T_{m,max}(Z) = +1$ ، في حين توافق قيمتها الصغرى $T_{m,min}(Z) = -1$.

وطالما أن معامل المصفوف عبارة عن مجموع توابع $\cos(\mu)$ ، فيمكن الحصول على معاملات التغذية من مساواة كثير حدود تشيبيشيف مع منشور معامل المصفوف بتابعية $\cos u$ ، ومن ثم استبدال كل $\cos u$ بالمقدار $\frac{Z}{Z_0}$ ، حيث يعطى المعامل Z_0 بالعلاقة [5]. [6] :

$$Z_0 = \cosh \left[\frac{1}{m} \cosh^{-1}(R_0) \right] \quad (6)$$

حيث m درجة كثير حدود تشيبيشيف وهي دوماً أقل من عدد عناصر المصفوف بمقدار (1) ، أما $\cosh(x)$ فهو تابع التجيب القطعي المعروف رياضياً بالشكل: $\cosh(x) = ch(x) = \frac{e^x + e^{-x}}{2}$.

يتطلب تصميم مصفوف دولف - تشيبيشيف معرفة كل من : المسافة البينية d بين عناصر المصفوف ، N عدد عناصر المصفوف ، R_0 نسبة الوريقات الرئيسية إلى الثانوية ، وعندها يعطى معامل المصفوف تبعاً لعدد العناصر (زوجي أو فردي) بالعلاقات التالية [6]:

$$(AF)_{2M} = \sum_{n=1}^M a_n \cdot \cos[(2n-1)u] \quad (7)$$

$$(AF)_{2M+1} = \sum_{n=1}^{M+1} a_n \cdot \cos[2(n-1)u] \quad (8)$$

$$u = \frac{\pi \cdot d}{\lambda} \cos \theta$$

3-الاتجاهية وعرض الحزمة عند مستوى نصف الاستطاعة :

يمكن الحصول على عرض الحزمة عند مستوى نصف الاستطاعة - وكذلك الاتجاهية - لمصفوف تشيبيشيف المستعرض عندما تتغير R_0 ضمن المجال $[20, 60 \text{ dB}]$ [1] عن طريق تعريف معامل توسيع الحزمة Beam broadening factor ، حيث يعرف المعامل السابق بالعلاقة [5] ، [6] :

$$f = 1 + 0.636 \left\{ \frac{2}{R_0} \cosh \left[\sqrt{\cosh^{-1}(R_0)^2 - \pi^2} \right] \right\}^2 \quad (9)$$

لذا يتم الحصول على عرض الحزمة عند سوية نصف الاستطاعة لمصفوف تشيبيشيف كما يلي :

1- حساب عرض الحزمة عند سوية نصف الاستطاعة للمصفوف الخطي منتظم المسافات والتغذية والذي يملك العدد ذاته من العناصر وفقاً للعلاقة (2) .

2- أخذ حاصل جداء عرض الحزمة المحسوب في الخطوة أعلاه في معامل توسيع عرض الحزمة والذي

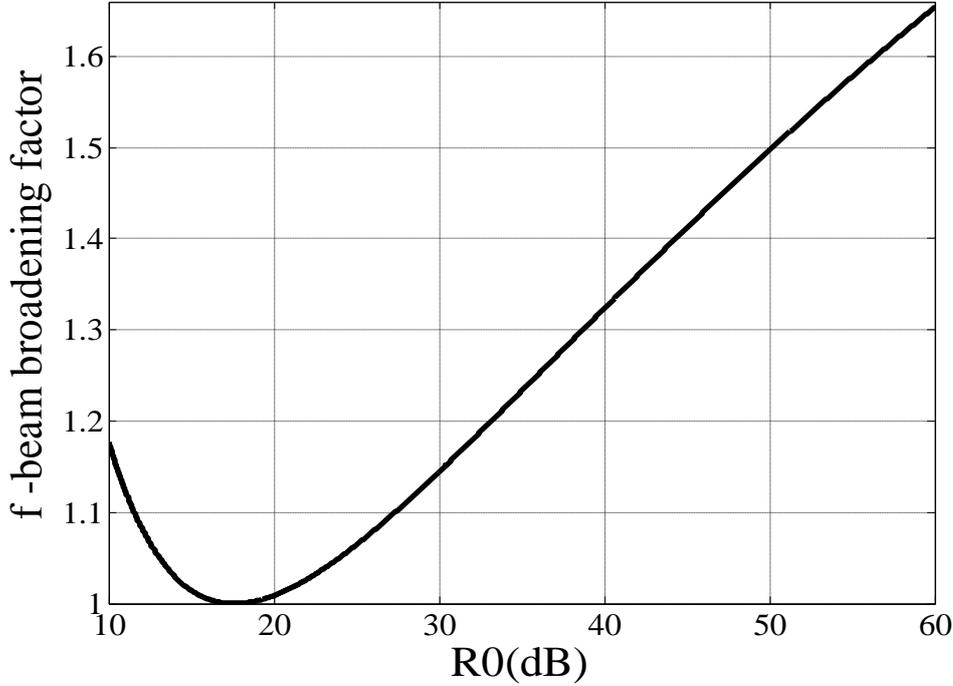
نحصل عليه من المنحنى الموافق .

أما الاتجاهية فيمكن حسابها من العلاقة [6]:

$$D_0 = \frac{2(R_0)^2}{1+(R_0^2-1)f \cdot \frac{\lambda}{L+d}} \quad (10)$$

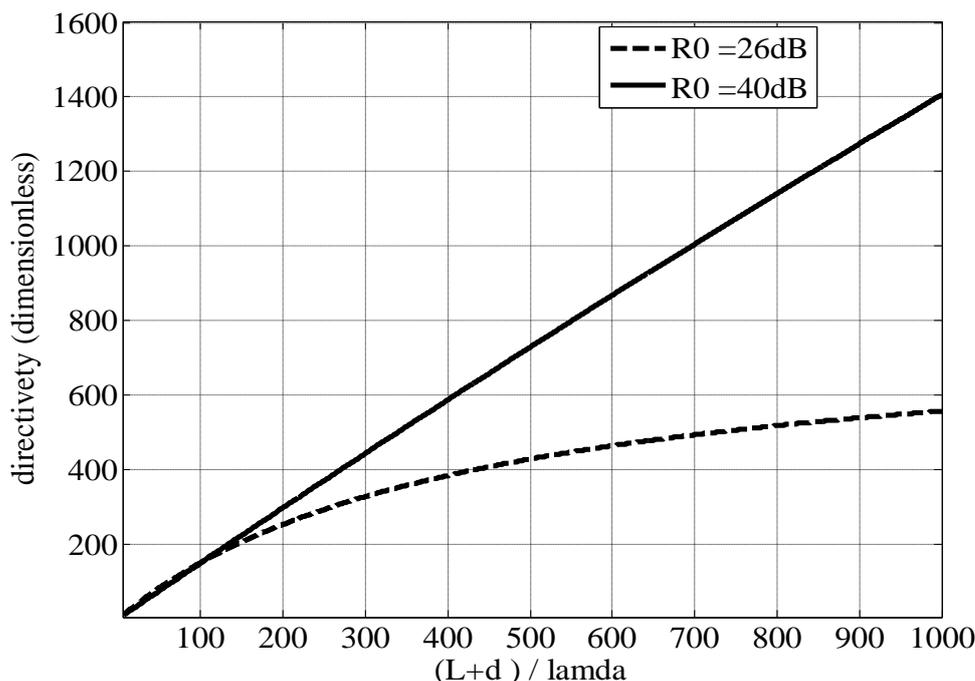
حيث تمثل L طول المصفوف (بتابعية طول الموجة) ، d المسافة البينية .

ندرس تصميم دولف - تشيبيشيف في حالتين : الأولى ذات عدد عناصر فردي ($N = 5$) لسهولتها ، والثانية عند عدد زوجي من العناصر $N=10$ ، بالتالي ندرس أثر تضاعف عدد العناصر على الخواص الإشعاعية للمصفوف. نلاحظ من العلاقة (9) أنه يمكن تحديد معامل توسيع عرض الحزمة بيانياً بمعرفة قيمة النسبة R_0 ، ويمكن توضيح تابعة معامل التوسيع للنسبة المذكورة من المنحنى المبين في الشكل (2) والذي يمثل الرسم البياني للعلاقة (9) باستخدام برنامج Matlab :



الشكل (2) معامل توسيع عرض الحزمة كتابع للنسبة R_0

وباستخدام برنامج Matlab يمكن رسم منحنى الاتجاهية الموصوف بالعلاقة (10) بتابعة طول المصفوف ، ويمكن الاعتماد على المنحنى المرسوم عند النسبتين المدروستين $R_0=26\text{dB}$ ، $R_0 = 40\text{dB}$ في حساب الاتجاهية بيانياً ، والمنحنى المذكور موضح في الشكل (3).



الشكل (3) منحنى الاتجاهية بتابعية النسبة $(L+d)/\lambda$

النتائج والمناقشة :

1- حساب معاملات التغذية واستنتاج معامل المصفوف :

الحالة الأولى: حساب معاملات التغذية من أجل عدد العناصر $N=5$, $R_0 = 26dB$: [6]

إن القيمة الخطية $R_0 = 26dB \Rightarrow R_0 = 20$ بما أن عدد عناصر المصفوف $N=5$ ، يكون كثير حدود تشيبشيف الموافق هو $T_4(Z) = 8Z^4 - 8Z^2 + 1$ ، وباستخدام العلاقة (8) الموافقة لعدد فردي من العناصر ، يكون معامل المصفوف الموافق هو : $(AF)_5 = a_1 + a_2 \cdot \cos 2u + a_3 \cdot \cos 4u$ ، ثم باستخدام العلاقة (6) نجد أن $T_4(Z_0) = 20 \Rightarrow Z_0 = 1.456$ ، وبمطابقة المعامل $(AF)_5$ مع $T_4(Z)$ بعد استبدال كل $\cos u$ بالمقدار $\frac{Z}{Z_0}$ (مع مراعاة أن $u = \frac{\pi \cdot d}{\lambda} \cos \theta$) نحصل على معاملات التغذية الحقيقية ، ومنها يمكن استنتاج معاملات التغذية النسبية الموضحة في الجدول (1) :

الجدول (1) معاملات التغذية الحقيقية والنسبية لمصفوف تشيبشيف $N=5$ ، $R_0 = 26dB$

معاملات التغذية الحقيقية	معاملات التغذية المنسوبة
$a_1 = 6.002$	$a_1 = 1.335$
$a_{\pm 2} = 9.4965$	$a_{\pm 2} = 2.113$
$a_{\pm 3} = 4.494$	$a_{\pm 3} = 1$

ومعامل المصفوف النسبي لهذه الحالة :

$$AF(\theta) = 1.335 + 2.113 \cos\left(\frac{2\pi \cdot d}{\lambda} \cos \theta\right) + \cos\left(\frac{4\pi \cdot d}{\lambda} \cos \theta\right) \quad (11)$$

الحالة الثانية: حساب معاملات التغذية من أجل عدد العناصر $N=5$ ، $R_0=40\text{dB}$:

النسبة الخطية الموافقة $20 \log(R_0) = 40 \Rightarrow R_0 = 10^2 = 100$ وبالتالي تكون قيمة المعامل Z_0 هي $Z_0 = ch \left(\frac{1}{4} ch^{-1}(100) \right) = 2.0132$ ، ويكون معامل المصفوف الموافق لهذه الحالة وفقاً للعلاقة (8) هو:

$$(AF)_5 = a_1 + a_2 \cos 2u + a_3 \cos 4u$$

بمعالجة مماثلة لما سبق :

نستبدل

$$\cos 2u = 2(\cos u)^2 - 1 , \cos 4u = 8(\cos u)^4 - 8(\cos u)^2 + 1$$

ثم نجمع الحدود المتماثلة ونستعويض عن كل $\cos u$ بالمقدار $\frac{Z}{2.0132} = \frac{z}{Z_0}$ ، ونطابق مع التابع $T_4(Z)$

تكون معاملات التغذية الحقيقية بالترتيب : $a_3 = 16.427$ ، $a_2 = 49.496$ ، $a_1 = 34.069$ ، ومنه نحصل على معاملات التغذية المنسوبة كما يوضحها الجدول (2) :

الجدول (2) معاملات التغذية الحقيقية والنسبية لمصفوف تشيبيشيف $N=5$ ، $R_0=40\text{dB}$:

معاملات التغذية الحقيقية	معاملات التغذية المنسوبة
$a_1 = 34.069$	$a_1 = 2.074$
$a_{\pm 2} = 49.492$	$a_{\pm 2} = 3.013$
$a_{\pm 3} = 16.427$	$a_{\pm 3} = 1$

ومعامل المصفوف الموافق لهذه الحالة :

$$AF(\theta) = 2.074 + 3.013 \cos \left(\frac{2\pi \cdot d}{\lambda} \cos \theta \right) + \cos \left(\frac{4\pi \cdot d}{\lambda} \cos \theta \right) \quad (12)$$

الحالة الثالثة: حساب معاملات التغذية من أجل عدد العناصر $N=10$ ، $R_0=26\text{dB}$ [6]

باستخدام العلاقة (7) لمعامل مصفوف تشيبيشيف من أجل عدد زوجي من العناصر ومطابقته مع كثير

الحدود $T_9(Z)$ مع مراعاة حساب قيمة Z_0 من العلاقة (4) ، نجد $Z_0 = 1.0851 \Rightarrow T_9(Z_0) = 20$ ، بالتالي

تكون معاملات التغذية الحقيقية والنسبية لمختلف عناصر المصفوف موضحة في الجدول (2) :

الجدول (3) معاملات التغذية لمصفوف تشيبيشيف $N=10$ ، $R_0=26\text{dB}$:

معاملات التغذية الحقيقية	معاملات التغذية المنسوبة
$a_{\pm 1} = 5.8377$	$a_{\pm 1} = 2.798$
$a_{\pm 2} = 5.2073$	$a_{\pm 2} = 2.496$
$a_{\pm 3} = 4.1184$	$a_{\pm 3} = 1.974$
$a_{\pm 4} = 2.8308$	$a_{\pm 4} = 1.357$
$a_{\pm 5} = 2.0860$	$a_{\pm 5} = 1$

مع مراعاة أن :

$$(AF)_{10} = 2.798 \cos\left(\frac{\pi \cdot d}{\lambda} \cos \theta\right) + 2.496 \cos\left(3 \frac{\pi \cdot d}{\lambda} \cos \theta\right) + 1.974 \cos\left(5 \frac{\pi \cdot d}{\lambda} \cos \theta\right) + 1.357 \cos\left(7 \frac{\pi \cdot d}{\lambda} \cos \theta\right) + \cos\left(9 \frac{\pi \cdot d}{\lambda} \cos \theta\right) \quad (13)$$

الحالة الرابعة :حساب معاملات التغذية من أجل عدد العناصر $R_0 = 40\text{dB}$, $N=10$

باستخدام العلاقة (7) لمعامل مصفوف تشيبيشيف من أجل عدد زوجي من العناصر ومطابقته مع كثير الحدود $T_9(Z)$ مع مراعاة حساب قيمة Z_0 من العلاقة (4) ، نجد $Z_0 = 1.1783 \Rightarrow T_9(Z_0) = 100$ ، بالتالي تكون معاملات التغذية الحقيقية والنسبية لمختلف عناصر المصفوف موضحة في الجدول (4) :

الجدول (4) معاملات التغذية لمصفوف تشيبيشيف $R_0 = 40\text{dB}$ ، $N=10$

معاملات التغذية الحقيقية	معاملات التغذية النسبية
$a_{\pm 1} = 34.924$	$a_{\pm 1} = 7.977$
$a_{\pm 2} = 29.303$	$a_{\pm 2} = 6.693$
$a_{\pm 3} = 20.267$	$a_{\pm 3} = 4.629$
$a_{\pm 4} = 11.021$	$a_{\pm 4} = 2.517$
$a_{\pm 5} = 4.378$	$a_{\pm 5} = 1$

ويكون :

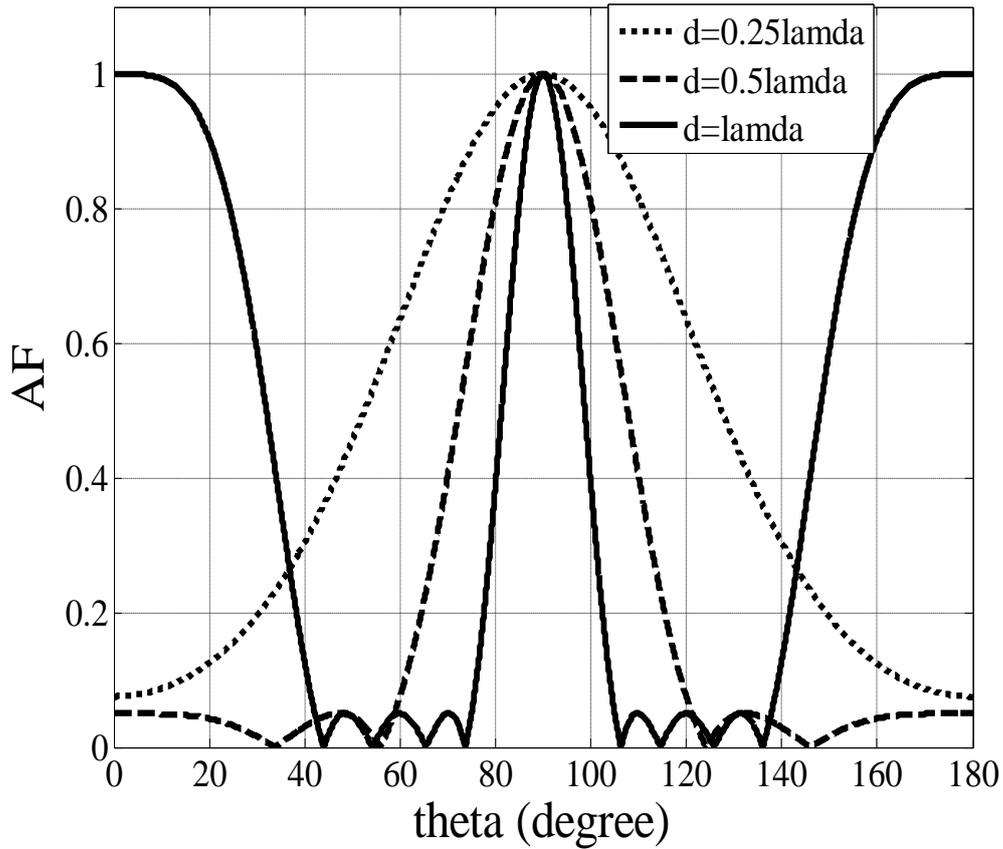
$$(AF)_{10} = 7.977 \cos\left(\frac{\pi \cdot d}{\lambda} \cos \theta\right) + 6.693 \cos\left(3 \frac{\pi \cdot d}{\lambda} \cos \theta\right) + 4.629 \cos\left(5 \frac{\pi \cdot d}{\lambda} \cos \theta\right) + 2.517 \cos\left(7 \frac{\pi \cdot d}{\lambda} \cos \theta\right) + \cos\left(9 \frac{\pi \cdot d}{\lambda} \cos \theta\right) \quad (14)$$

2-دراسة تأثير تغير المسافة البينية عند قيم R_0 مختلفة على شكل النموذج الإشعاعي لمصفوف

تشيبيشيف :

الحالة الأولى : $N=5$, $R_0= 26\text{dB}$ من معرفة معامل مصفوف تشيبيشيف المعرف بالعلاقة (11) ومن أجل الحالات $d=0.25\lambda$, $d=0.5\lambda$, $d=\lambda$

وباستخدام برنامج Matlab نحصل على المخطط الإشعاعي في المستوى الديكارتي المبين في الشكل (4) :



الشكل (4) المخطط الإشعاعي لمعامل مصفوف تشيبيشيف عند $R_0=26\text{dB}$, $N=5$

الحالة الثانية : $N=10$, $R_0= 26\text{dB}$

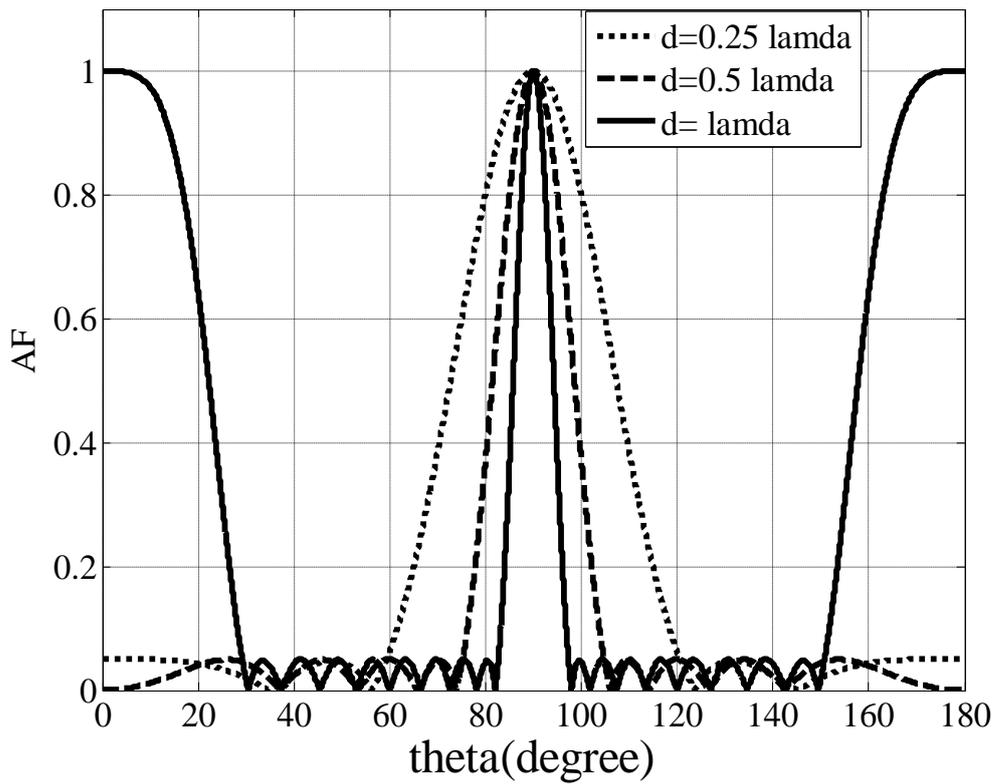
بالعودة لعلاقة معامل المصفوف الموضحة بالعلاقة (13) مع التعويض عن المسافة البينية d بالقيم 0.25λ , 0.5λ , λ على الترتيب نحصل باستخدام Matlab على المخططات الإشعاعية الديكارتية موضحة في الشكل (5) .

الحالة الثالثة : $N=5$, $R_0= 40\text{dB}$

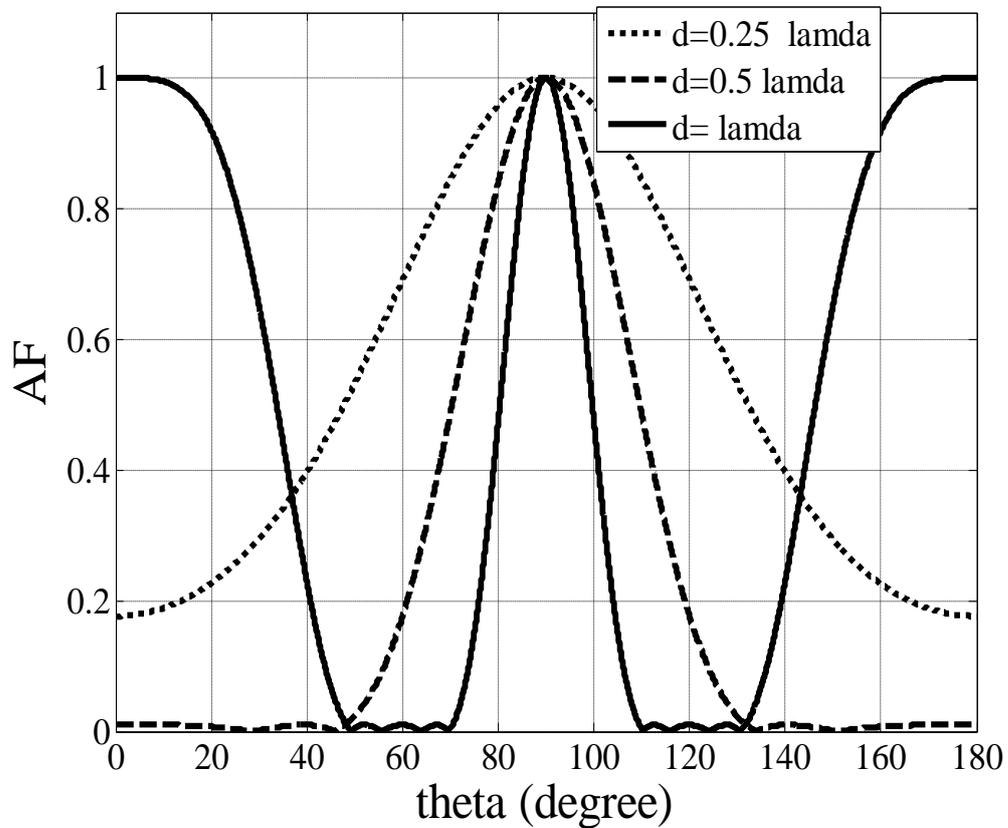
من معرفة معامل المصفوف الموافق لهذه الحالة (العلاقة (12)) ، وبالدراسة من أجل الحالات الثلاث السابقة $d=0.25\lambda$, $d=0.5\lambda$, $d=\lambda$ مع الاستعانة ببرنامج Matlab نحصل على المخططات الإشعاعية الموضحة في الشكل (6) :

الحالة الرابعة : $N=10$, $R_0= 40\text{dB}$

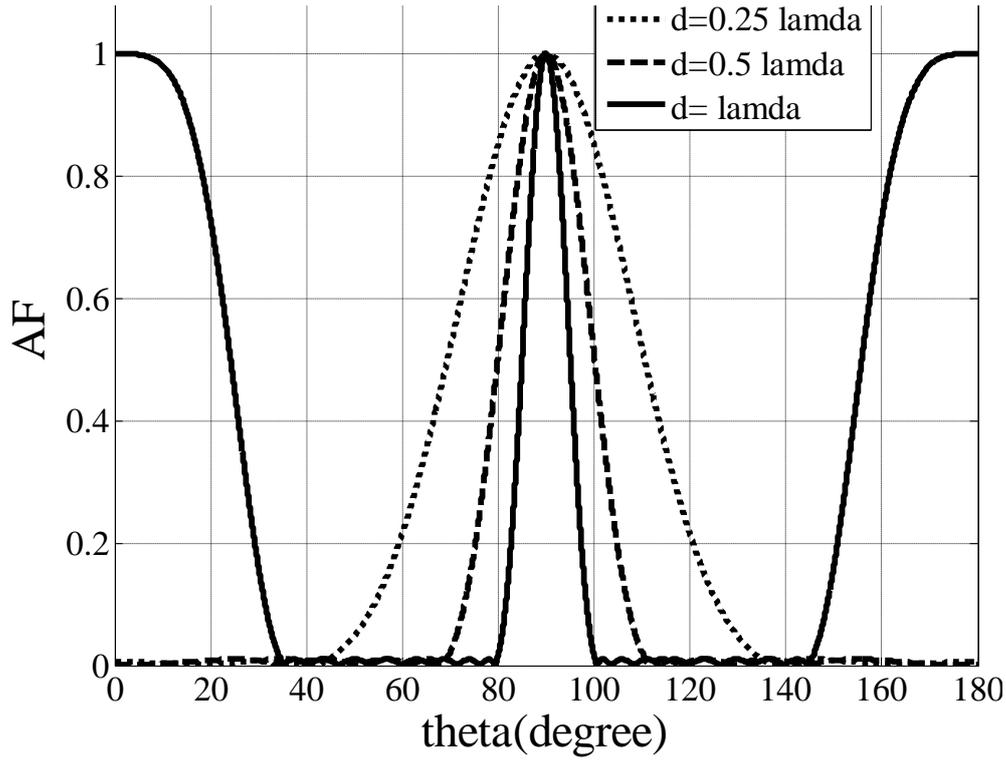
من معرفة معامل المصفوف الموافق لهذه الحالة (العلاقة (14)) ، وبالدراسة من أجل الحالات الثلاث السابقة $d=0.25\lambda$, $d=0.5\lambda$, $d=\lambda$ مع الاستعانة ببرنامج Matlab نحصل على المخططات الإشعاعية الموضحة في الشكل (7) :



الشكل (5) المخطط الإشعاعي لمعامل مصفوف تشيبيشيف عند $R_0=26\text{dB}$ $N=10$



الشكل (6) المخطط الإشعاعي لمعامل مصفوف تشيبيشيف عند $R_0=40\text{dB}$, $N=5$

الشكل (7) المخطط الإشعاعي لمعامل مصفوف تشيبيشيف عند $R_0=40\text{dB}$, $N=10$

3-مقارنة عرض الحزمة والاتجاهية عند سوية نصف الاستطاعة مع المصفوف الخطي المنتظم

يمكن حساب فتحة الإشعاع عند منتصف الاستطاعة للمصفوف الخطي منتظم المسافات والتغذية وذلك باستخدام العلاقة (2) ، ومن معرفة القيمة السابقة ومن ثم استخدام العلاقة (9) وحساب معامل التوسيع f (أو من الشكل (2) وبالتالي يصبح بالإمكان عرض الحزمة لمصفوف تشيبيشيف ، وبتطبيق العلاقتين (4) ، (3) - مع استخدام المنحنى (3) لمصفوف تشيبيشيف أو العلاقة (1) - نستطيع حساب اتجاهية كل من المصفوف الخطي ومصفوف تشيبيشيف ، إن الحسابات الموافقة تم توضيحها في الجداول رقم (5) ، (6) ، (7) ، (8) ، (9) ، (10) .

الجدول (5) مصفوف خطي عدد عناصره $N=5$

الاتجاهية $D_0(\text{dB})$	فتحة الإشعاع θ_n (degree)	
3.98	40.63	$d=0.25\lambda$
6.99	20.31	$d=0.5\lambda$
10	10.15	$d=\lambda$

الجدول (6) مصفوف خطي عدد عناصره $N=10$

الاتجاهية $D_0(dB)$	فتحة الإشعاع θ_h (degree)	
6.99	20.31	$d=0.25\lambda$
10	10.15	$d=0.5\lambda$
13	5.087	$d=\lambda$

الجدول (7) مصفوف تشبيبيشيف عدد عناصره $N=5$ مع $R_0=26dB$ ، $f=1.079$

$D_0(dB)$	θ_h (degree)	
3.65	43.83	$d=0.25\lambda$
6.64	21.91	$d=0.5\lambda$
9.63	10.95	$d=\lambda$

الجدول (8) مصفوف تشبيبيشيف عدد عناصره $N=10$ مع $R_0=26dB$ ، $f=1.079$

$D_0(dB)$	θ_h (degree)	
6.65	21.91	$d=0.25\lambda$
9.63	10.95	$d=0.5\lambda$
12.59	5.48	$d=\lambda$

الجدول (9) مصفوف تشبيبيشيف عدد عناصره $N=5$ مع $R_0=40dB$ ، $f=1.323$

$D_0(dB)$	θ_h (degree)	
2.764	53.75	$d=0.25\lambda$
5.774	26.87	$d=0.5\lambda$
8.783	13.43	$d=\lambda$

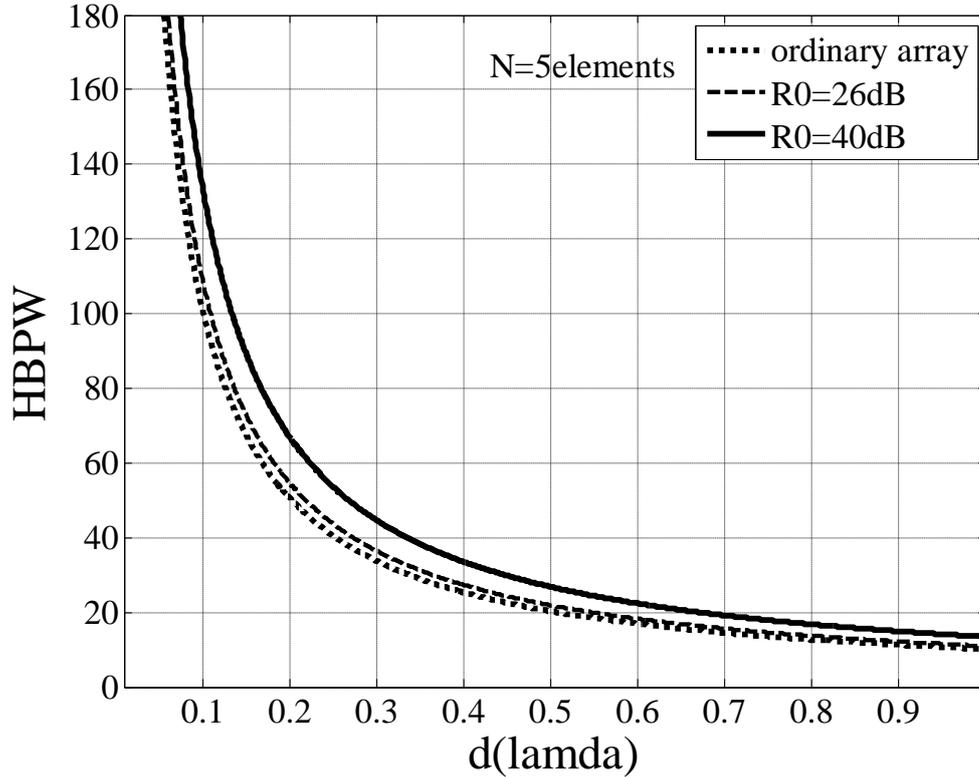
الجدول (10) مصفوف تشبيبيشيف عدد عناصره $N=10$ مع $R_0=40dB$ ، $f=1.323$

$D_0(dB)$	θ_h (degree)	
5.774	26.87	$d=0.25\lambda$
8.78	13.43	$d=0.5\lambda$
11.79	6.73	$d=\lambda$

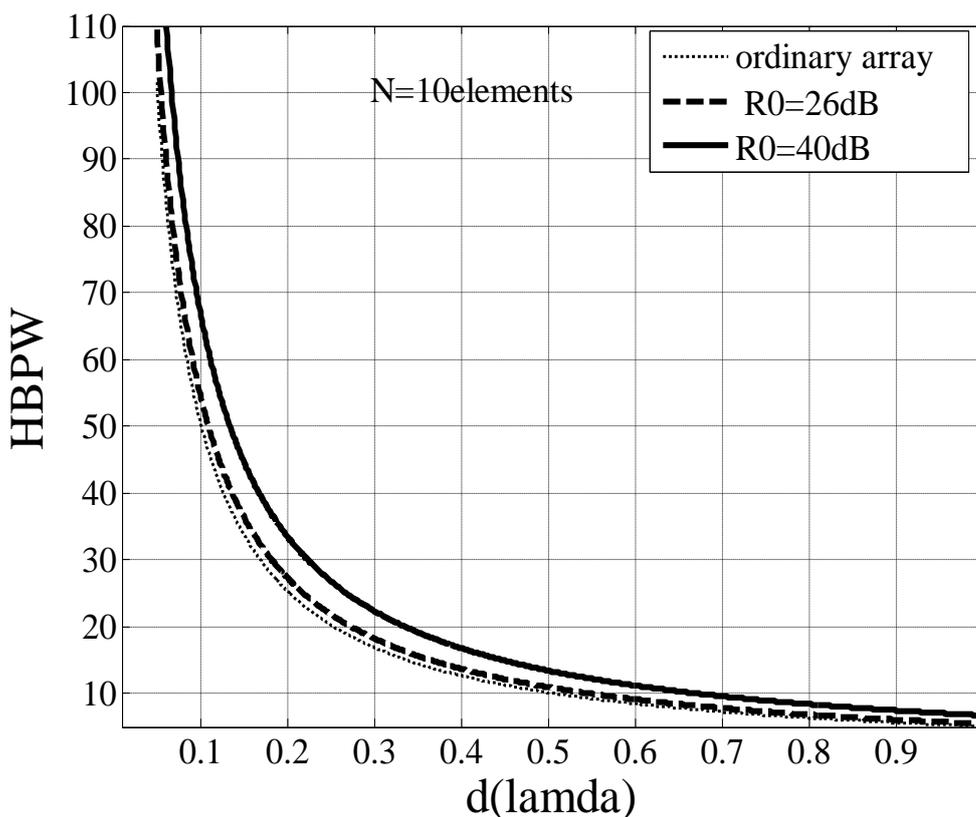
واعتماداً على العلاقة (2) التي تعطي عرض حزمة الإشعاع عند سوية نصف الاستطاعة للمصفوف الخطي منتظم المسافات والتغذية ، وعلى إجرائية حساب عرض الحزمة المناظر لمصفوف تشيبشيف والتي يمكن التعبير عنها بالمعادلة :

$$\Delta HBPW_{Chebyshev} = \Delta HBPW_{linear} * f$$

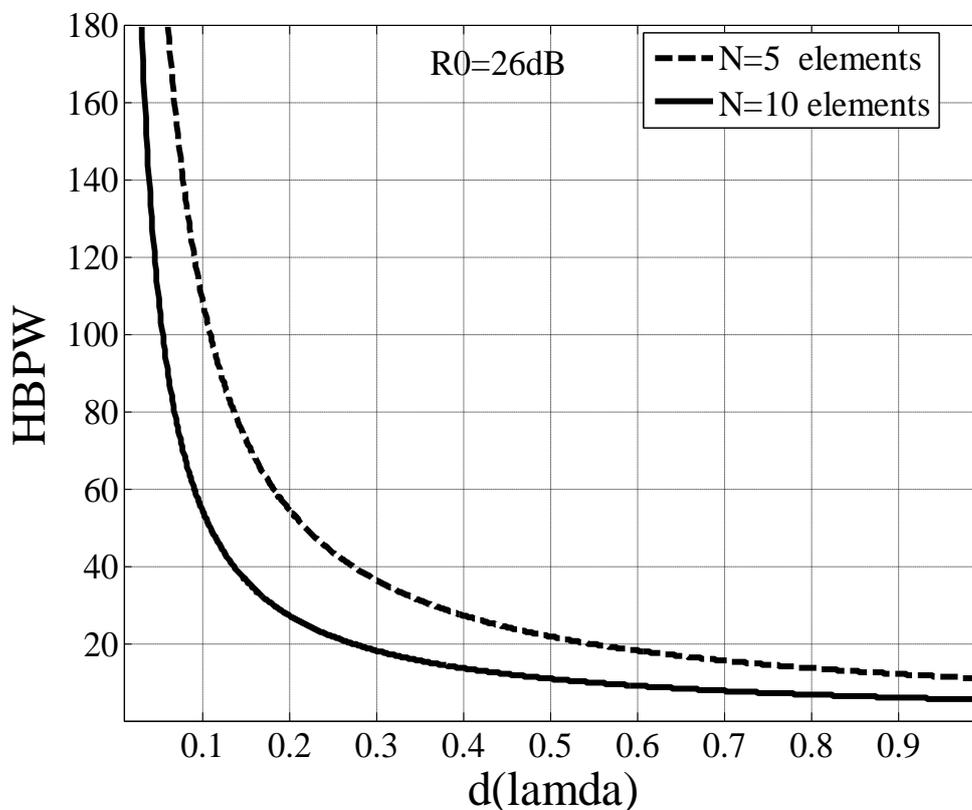
نرسم باستخدام Matlab علاقة زاوية فتحة الإشعاع عند مستوى نصف الاستطاعة كتابع للمسافة بين عناصر كل من المصفوف الخطي منتظم المسافات والتغذية ومصفوف " تشيبشيف " والتي يوضحها الشكلان (8) ، (9) .



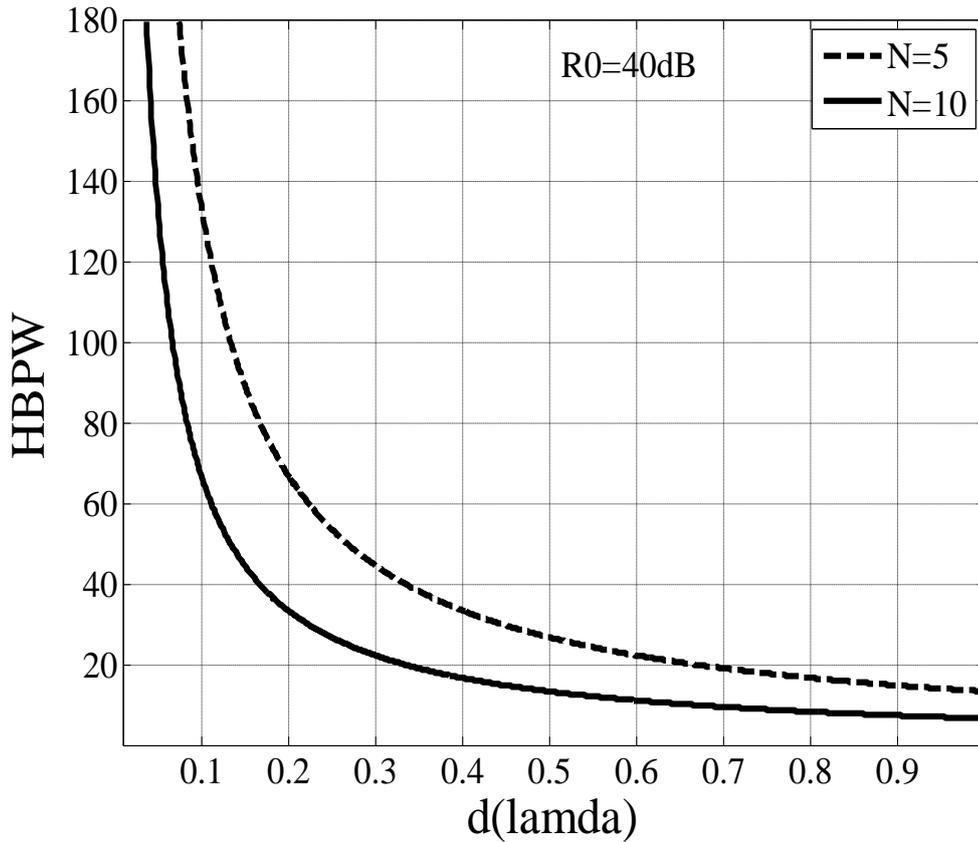
الشكل (8) مقارنة عرض الحزمة بتابعية المسافة البينية عند N=5



الشكل (9) مقارنة عرض الحزمة بتابعية المسافة البينية عند $N=10$



الشكل (10) مقارنة عرض الحزمة بتابعية المسافة البينية عند $R_0 = 26dB$



الشكل (11) مقارنة عرض الحزمة بتابعية المسافة البينية عند $R_0 = 40\text{dB}$

الاستنتاجات والتوصيات :

نلاحظ من مقارنة الجدولين (1) و (2) ، كذلك الجدولين (3) و (4) أن معاملات التغذية لمصفوف تشيبيشيف " ذي عدد ثابت من العناصر تتعلق بنسبة الوريقة الإشعاعية الرئيسة إلى الثانوية ، حيث تزداد قيم هذه المعاملات مع زيادة النسبة R_0 .

من منحنى الاتجاهية المرسوم في الشكل (3) عند النسبتين المدروستين $R_0 = 40\text{dB}$ ، $R_0 = 26\text{dB}$ يتبين لنا تزايد اتجاهية مصفوف تشيبيشيف مع زيادة طول المصفوف ، تكون الزيادة المذكورة متقاربة من أجل النسبتين المدروستين وذلك في حال مصفوفات ذات عدد عناصر لا يزيد عن 120 ، ومع تزايد عدد عناصر المصفوف تكون زيادة الاتجاهية عند النسبة $R_0 = 40\text{dB}$ أكبر من مقابلتها للنسبة $R_0 = 26\text{dB}$.

من الجداول (7) ، (8) ، (9) ، (10) والمنحنيات الموضحة في الأشكال (4) ، (5) ، (6) ، (7) نلاحظ أنه من أجل عدد محدد من العناصر ونسبة ثابتة للوريقة الرئيسة إلى الثانوية سوف تناقص عرض الحزمة الموافقة لسوية نصف الاستطاعة لمصفوف تشيبيشيف مع زيادة المسافة بين العناصر ، حيث ينخفض عرض الحزمة المذكور إلى نصف قيمته مع زيادة في الاتجاهية قدرها 3dB عند كل تضاعف للمسافة البينية ، ويترافق تناقص عرض فتحة الإشعاع السابقة مع زيادة في عدد الوريقات الثانوية للنموذج الإشعاعي للمصفوف.

كما نلاحظ من الأشكال (8) , (9) أنه من أجل مصفوف ذي عدد ثابت من العناصر وعند مسافة بينية ثابتة فإن فتحة الإشعاع عند سوية نصف الاستطاعة تتعلق بنسبة الوريقة الإشعاعية الرئيسة إلى الثانوية ، حيث تزداد قيمة زاوية فتحة الإشعاع مع زيادة النسبة المذكورة .

تشير المنحنيات (11), (10) إلى نتيجة أخرى مهمة : من أجل نسبة R_0 ثابتة ومسافة بينية d محددة، فإن زاوية فتحة الإشعاع عند سوية نصف الاستطاعة سوف تتناقص مع زيادة عدد عناصر المصفوف ، وبالنتيجة فإن هناك مرونة كبيرة في التحكم بالنموذج الإشعاعي لمصفوف " تشيبيشيف " ، ويتم ذلك بضبط المسافة البينية أو عدد العناصر أو النسبة R_0 .

وبملاحظة النموذج الإشعاعي للمصفوف والذي تبينه الأشكال (4) , (5), (6) , (7) نجد أن مشكلة الوريقة الثانوية الكبيرة المرافقة للمسافة البينية $d=\lambda$ ، مما يحد من استخدام مصفوف تشيبيشيف الهوائي عند المسافة المذكورة وبالتالي يجب أن يكون $d < \lambda$.

نوصي في نهاية هذه الدراسة باستخدام طرق رياضية جديدة في تحليل أداء مصفوف تشيبيشيف الخطي ، تشمل دراسة المصفوف غير منتظم المسافات وغير منتظم التغذية المناظر للمصفوف الهوائي موضوع هذا البحث .

المراجع:

- 1- ORFANIDIS ,S. J. "Electromagnetic Waves And Antenna ".5th.ed, Rutgers University 2006, 819.
- 2- MILLIGAN ,T.A. "Modern Antenna Design ". 2nd edition, John Wiley & Sons, Inc New Work, 2005, 477.
- 3-HAVSE , C.R ." Phased array antenna".3rd edition, John Wiley & Sons, Inc New Work, 2009, 615.
- 4- LO ,T,Y. " Antenna handbook volume1 Fundamentals And Mathematical Technique " . 4th edition , Chapman &Hall , New York , 1993,423.
- 5-HAUPT,L, R ."Antenna Arrays: computational Approach" 2nd edition, John Wiley & Sons, Inc New Work, 2010, 534.
- 6- BALANIS,C.A."Antenna Theory Analysis And Design".3thedition, John Wiley & Sons, Inc New Work, 2005, 790.