

## نمذجة ومحاكاة هوائي مصفوف دولف تشيبيشيف باستخدام V.B ودراسة تأثير عدد عناصره على بارامترات المخطط الإشعاعي

عزيز يوسف\*

تاريخ الإيداع 26 / 9 / 2011. قَبْلَ للنشر في 21 / 11 / 2011

### □ ملخص □

تم في هذا البحث دراسة هوائي مصفوف دولف تشيبيشيف منتظم المسافات غير منتظم التغذية إذ تبين أنه باختيار مناسب لمعاملات التغذية لعناصر الهوائي يمكن الحصول على المخطط الإشعاعي بالمواصفات المرغوبة وأهمها في بحثنا نسبة الوريقات الرئيسة إلى الوريقات الثانوية. تم بالنهاية كتابة برنامج محاكاة يقوم بإيجاد قيم معاملات التغذية لعناصر الهوائي كما ويقوم بحساب قيم الاتجاهية وعرض حزمة الإشعاع عند مستوي نصف الاستطاعة واستنتاج معادلة معامل المصفوف الناتجة، أضفنا للبرنامج إمكانية رسم المخطط الإشعاعي لمعامل المصفوف الناتج وذلك في المستويين الديكارتي والقطبي، ووسعنا إمكانية البرنامج لتشمل عدد عناصر للمصفوف من 3 إلى 10 عناصر.

**الكلمات المفتاحية:** هوائيات مصفوفية، دولف تشيبيشيف، معامل المصفوف، مخطط إشعاعي، اتجاهية، عرض حزمة نصف الاستطاعة، الوريقة الرئيسة والوريقات الثانوية.

\* قائم بالأعمال - قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## Modulating and Simulating Dolph Chebyshev Array Antenna using V.B. and studying the effect of a Number of its Elements on Radiation Planner Parameters

Aziz Yousef\*

(Received 26 / 9 / 2011. Accepted 21 / 11 / 2011)

### □ ABSTRACT □

This paper studies Dolph Chebyshev array antenna of regular distance and irregular feeding. If we choose the value of feeding elements well, we will have the desired radiation planner, especially the rate of the main loops vis-a-vis minor ones.

We design a simulation program that computes the value of the feeding elements and that of direction and of half power beam width (HPBW), obtaining an equation for the array factor, and drawing the radiation planner; this program can compute 3-10 elements.

**Keywords:** Array antenna, Dolph Chebyshev, array factor, radiation planner, direction, HPBW, main and minor loops.

---

\* Academic Assistant, Department of Communication and Electronics Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**مقدمة:**

وضع دولف تشيبيشيف الأساس الرياضي للحصول على أفضل علاقة بين فتحة الإشعاع الرئيس ومستوى الوريقات الجانبية وذلك عند فتحة إشعاع عند مستوي نصف الاستطاعة مناسبة حيث إن مصفوف دولف تشيبيشيف يعطي أقل مستوى للوريقات الجانبية وبالتالي فالمصفوف المطلوب هو مصفوف دولف تشيبيشيف وهو عبارة عن هوائي مصفوفي منتظم المسافات (المسافة بين كل عنصرين متتاليين هي  $d$ ) غير منتظم التغذية [1].

اعتمد في هذا البحث على الأساس الرياضي الذي وضعه دولف تشيبيشيف وذلك لتصميم مصفوف منتظم المسافات ( $d = \lambda/2$ ) غير منتظم التغذية وتحديد قيم معاملات التغذية لعناصر المصفوف وحساب قيم الاتجاهية، وفتحة الإشعاع عند مستوي نصف الاستطاعة، واستنتاج صيغة معامل المصفوف الناتج ورسم المخطط الإشعاعي بشكليه الديكارتى والقطبي وذلك عند نسبة مطلوبة لمستوى الوريقات الرئيسة إلى الوريقات الثانوية  $R_0$ ، مع إمكانية تغيير عدد عناصر الهوائي المصفوف المطلوب تصميمه.

إن لعملية النمذجة أهمية بالغة في تصميم هكذا نوع من المسائل وذلك لصعوبة حساب القيم المطلوب استنتاجها نظراً لكثرة المعادلات الرياضية فيها وعلو درجتها كما سنرى لاحقاً، لذلك قمنا بعمل برنامج محاكاة يقوم بكل ما سبق ذكره وذلك لما يقدمه الحاسب من سرعة في الأداء ودقة وسهولة في التصميم.

**أهمية البحث وأهدافه:**

إن هدف البحث وأهميته تكمن في النقاط التالية:

- دراسة الأساس الرياضي لتصميم مصفوف دولف تشيبيشيف.
- تقديم برنامج نمذجة لهوائي مصفوف تشيبيشيف منتظم المسافات غير منتظم التغذية يمكن الباحث في هذا المجال من اختصار الوقت والجهد في الدراسة والتصميم.
- إظهار تأثير عدد عناصر الهوائي على بارامترات المخطط الإشعاعي الناتج باستخدام برنامج النمذجة.
- إظهار تأثير تغيير النسبة المطلوبة لمستوى الوريقات الرئيسة إلى الوريقات الثانوية  $R_0$  على بارامترات المخطط الإشعاعي الناتج باستخدام برنامج النمذجة.

**طرائق البحث ومواده:**

تم في البداية بدراسة طريقة دولف تشيبيشيف واستنتاج المعادلات الرياضية والقيم النهائية المطلوبة (معاملات التغذية-الاتجاهية- فتحة الإشعاع عند مستوي نصف الاستطاعة-معادلة معامل المصفوف) وذلك عند كل قيمة لعدد عناصر الهوائي المصفوف وذلك من 3 عناصر إلى 10 عناصر، واكتفينا في المقالة بإدراج إحداها فقط لمحدودية عدد صفحات المقالة، وتشابه خطوات الدراسة كما سنرى لاحقاً.

تم بعد ذلك وضع خوارزمية البرنامج المطلوب للقيام بكل ما سبق، وأضافنا إليها إمكانية رسم المخطط الإشعاعي الناتج بشكليه الديكارتى والقطبي، ثم قمنا بترجمة الخوارزمية إلى برنامج بلغة الفيجوال بيزك. أخيراً تمت مناقشة النتائج التي حصلنا عليها.

## كثيرات حدود تشيبيشيف وطريقة دولف تشيبيشيف وتطبيقها:

### 1-كثيرات حدود دولف تشيبيشيف:

إن أحد معايير التصميم الذي يختار غالبا هو الذي ينتج عرض حزمة إشعاع ضيقة قدر الإمكان من أجل مستوى وريقات جانبية محدد، أو بشكل معاكس هو الذي سوف ينتج وريقات جانبية أصغر من أجل عرض حزمة إشعاع معين [1].

إذا كان لدينا كثير حدود مع هذه الخواص، فسيكون من السهل تحديد توزيع التيار المطلوب في عناصر المصفوفة، كثيرات الحدود الممكن اعتمادها لتصميم المصفوفات حسب المعيار المحدد سابقا هي كثيرات حدود تشيبيشيف، حيث تم تطوير نظرية مصفوف تشيبيشيف باستخدام سلاسل فورييه لتمثل معامل المصفوف.

تعطى علاقة معامل المصفوف في حال عدد العناصر زوجي  $2M$  أو فردي  $2M + 1$  كما يلي [1], [2], [3]:

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

$$(AF)_{(2M+1)} = \sum_{n=1}^{M+1} a_n \cos[2(n-1)u] = a_1 + \sum_{n=2}^{M+1} a_n \cos[2(n-1)u]$$

حيث  $u = \frac{\pi d}{\lambda} \cos \theta$  ،  $a_n$  معاملات التغذية المختلفة لعناصر المصفوف.

يمكن كتابة أي من هذه التوافقيات على صورة سلسلة قوى في التردد الأساسي كمايلي [1], [2], [4]:

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

$$m = 1 \Rightarrow \cos(mu) = \cos u$$

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

$$m = 3 \Rightarrow \cos(mu) = \cos(3u) = 4 \cos^3 u - 3 \cos u \quad (1)$$

$$m = 4 \Rightarrow \cos(mu) = \cos(4u) = 8 \cos^4 u - 8 \cos^2 u + 1$$

$$m = 5 \Rightarrow \cos(mu) = \cos(5u) = 16 \cos^5 u - 20 \cos^3 u + 5 \cos u$$

.....

$$\cos(mu) = \cos^m u - \frac{m(m-1)}{2} \cos^{m-2} u (1 - \cos^2 u)$$

بافتراض أن  $z = \cos u$  وبالتعويض في العلاقات الأخيرة نحصل على كثيرات حدود تشيبيشيف كما يلي [1]:

$$m = 0 \Rightarrow T_0(z) = 1$$

$$m = 1 \Rightarrow T_1(z) = z$$

$$m = 2 \Rightarrow T_2(z) = 2z^2 - 1$$

$$m = 3 \Rightarrow T_3(z) = 4z^3 - 3z \quad (2)$$

$$m = 4 \Rightarrow T_4(z) = 8z^4 - 8z^2 + 1$$

$$m = 5 \Rightarrow T_5(z) = 16z^5 - 20z^3 + 5z$$

.....

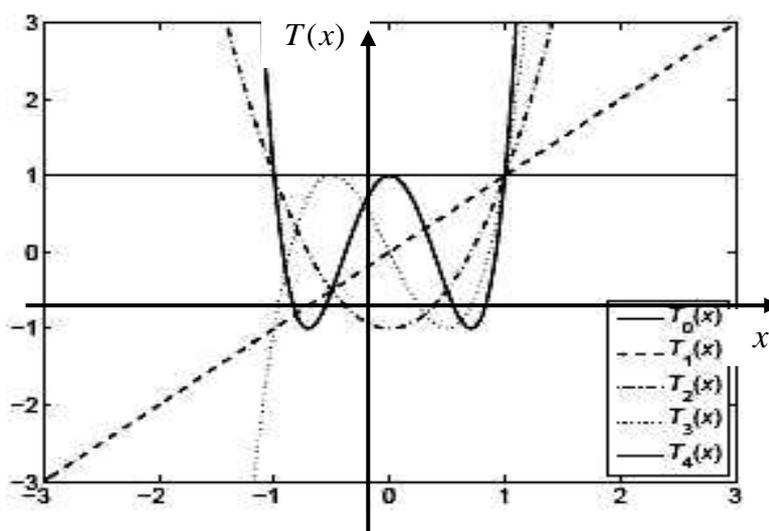
$$T_{m+1}(z) = 2zT_m(z) - T_{m-1}(z)$$

وتعرف بالحالة العامة بالعلاقات التالية [1],[5]:

$$\begin{aligned} T_m(z) &= \cos[m.\cos^{-1}(z)] \quad ; -1 \leq z \leq 1 \\ T_m(z) &= ch[m.ch^{-1}(z)] \quad ; z < -1 \text{ and } z > 1 \end{aligned} \quad (3)$$

يبين الشكل (1) كثيرات حدود تشيبشيف وهي تتميز بمايلي:

- 1- كل هذه التوابع تمر بالنقطة (1,1).
- 2- في المجال  $-1 \leq z \leq 1$  فإن قيم هذه التوابع تقع في المجال  $-1 \leq T_m(z) \leq 1$ .
- 3- كل التقاطعات مع المحور الأفقي وكذلك كل القيم الحدية الصغرى والعظمى تقع في المجال  $-1 \leq z \leq 1$ .



الشكل (1) منحنيات دولف تشيبشيف

## 2- طريقة دولف تشيبشيف:

يصمم مصفوف دولف تشيبشيف بالشكل التالي [6]:

- 1- نحدد علاقة معامل المصفوف المناسب (أي العلاقة عندما يكون عدد العناصر  $n$  فردياً أو زوجياً).
- 2- نجري عملية تحليل لعلاقة معامل المصفوف بالتعويض عن  $\cos(mu)$  بما يساويها من  $\cos(u)$  فقط باستخدام جملة المعادلات (1).
- 3- نحدد النقطة  $z_0$  التي تحقق  $T_M(z_0) = R_0$  من المعادلة (3).  
حيث  $M$  عدد عناصر المصفوف ناقص واحد.  
 $R_0$  نسبة مستوى الوريقات الجانبية بعد تحويلها من الديسبل إلى العادي.
- 4- نعوض عن كل  $\cos(u)$  بالمقدار  $\frac{z}{z_0}$  أي  $\cos(u) = \frac{z}{z_0}$ .
- 5- نساوي معامل المصفوف الناتج بـ  $T_M(z)$  من جملة المعادلات (2) أي  $Af\left(\frac{z}{z_0}\right) = T_M(z)$  ومن خلال المطابقة نحدد معاملات التغذية.

6- إذا أردنا الحصول على معامل المصفوف نعوض قيم معاملات التغذية الناتجة في علاقته ويمكن بعد ذلك رسمه.

7- يمكن بعد ذلك حساب فتحة الإشعاع عند مستوي نصف الاستطاعة  $\Delta_H$  والاتجاهية  $D_0$  بالعلاقات التالية:

$$\Delta_H = \Delta_{HPBW} \cdot f$$

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

$$\Delta_{HPBW} = 2 \sin^{-1} \frac{1.391 \lambda}{n \pi d}$$

$$D_0 = \frac{2R_0^2}{1 + (R_0^2 - 1) f \lambda / (L + d)} ; L = n.d$$

3- تطبيق طريقة دولف تشيبيشيف على مصفوف مكون من 5 عناصر :

يمكن تنفيذ الخطوات في الفقرة السابقة على فرض أن مستوى وريقاته الجانبية الأعظمي يساوي 26dB كمايلي:

1- بما أن عدد عناصر المصفوف فردي  $2M+1=5$  تكون علاقة معامل المصفوف كما يلي:

$$(Af)_{(2M+1)} = a_1 + \sum_{n=2}^3 a_n \cos[2(n-1)u] = a_1 + 2a_2 \cos 2u + 2a_3 \cos 4u$$

-2

$$\cos(2u) = 2 \cos^2 u - 1$$

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

$$\begin{aligned} Af(u) &= a_1 + 2a_2 [2 \cos^2 u - 1] + 2a_3 [8 \cos^4 u - 8 \cos^2 u + 1] \\ &= (a_1 - 2a_2 + 2a_3) + (4a_2 - 16a_3) \cos^2 u + 16a_3 \cos^4 u \end{aligned}$$

-3

$$R_{0(dB)} = 26 = 20 \log R_0 \Rightarrow R_0 = 19.95$$

$$R_0 = T_M(z_0) \Rightarrow 19.95 = ch[4ch^{-1}z_0] \Rightarrow z_0 = 1.456$$

4- نعوض في معامل المصفوف

$$\cos(u) = \frac{z}{z_0} \Rightarrow$$

$$Af\left(\frac{z}{z_0}\right) = (a_1 - 2a_2 + 2a_3) + (4a_2 - 16a_3) \left(\frac{z}{z_0}\right)^2 + 16a_3 \left(\frac{z}{z_0}\right)^4$$

-5

$$Af\left(\frac{z}{z_0}\right) = T_4(z) \Rightarrow$$

$$(a_1 - 2a_2 + 2a_3) + (4a_2 - 16a_3)\left(\frac{z}{z_0}\right)^2 + 16a_3\left(\frac{z}{z_0}\right)^4 = 1 - 8z^2 + 8z^4$$

بالمطابقة وبعد تعويض  $z_0$  بقيمتها ينتج لدينا:

$$a_3 = 2.247, a_2 = 4.748, a_1 = 6.002$$

6- يعطى معامل المصفوف في هذه الحالة بالعلاقة

$$Af(u) = 6.002 + 9.496 \cos 2u + 4.494 \cos 4u$$

للحصول على قيمة معامل المصفوف النسبي نحسب أولاً القيمة العظمى، ثم نقسم عليها كمايلي:

$$Af(0) = 19.992 \Rightarrow Af(u)\% = 0.3002 + 0.4749 \cos 2u + 0.2247 \cos 4u$$

7- حساب فتحة الإشعاع عند مستوي نصف الاستطاعة  $\Delta_H$  والاتجاهية  $D_0$

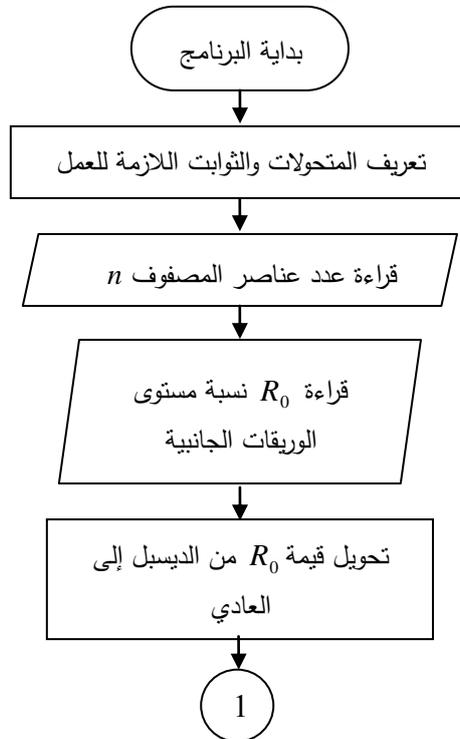
$$\Delta_H = 22.022^\circ, D_0 = 6.64 \text{ dB}$$

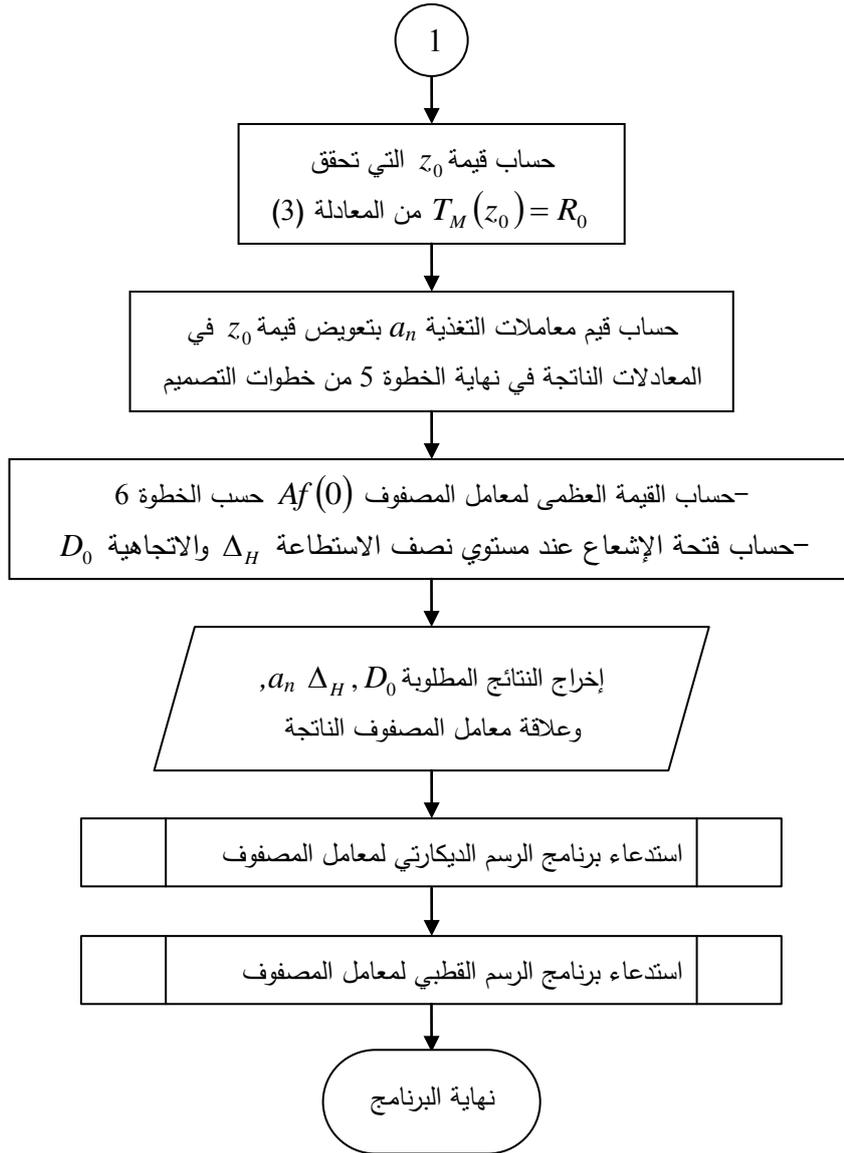
بالنسبة لتصميم الهوائيات المصفوفية يعتبر تحديد معاملات التغذية الخطوة الأساسية في التصميم حيث في مثل هذه المسائل تعطى المواصفات المطلوبة للمصفوف ويطلب حساب عناصر التغذية (المنابع) التي تحقق المخطط الإشعاعي المطلوب.

برنامج التصميم والواجهة:

1- النقاط الأساسية في خوارزمية برنامج التصميم:

يبين الشكل (2) النقاط الأساسية لخوارزمية برنامج التصميم.





الشكل (2) خوارزمية برنامج التصميم والمحاكاة

أغفلنا في الخوارزمية السابقة ذكر بعض الخطوات التي تخص تصميم واجهة البرنامج أو تهيئة نوافذ الرسم أو ضبط خاصيات الأدوات وغيرها وذلك؛ لأنها لا تشكل أهمية علمية لفهم تسلسل عمل الخوارزمية. يتم كتابة برنامج عمل الخوارزمية السابقة من أجل كل قيمة لعدد عناصر المصفوف من 3 إلى 10 وذلك لاختلاف بعض قيم البارامترات لبعض العلاقات وعدد معاملات التغذية ودرجة المعادلات الناتجة أي قمنا بتكرار كتابة برنامج العمل عند كل قيمة لعدد عناصر المصفوف.

## 2- واجهة برنامج التصميم:

يبين الشكل (3) الواجهة الرئيسة لبرنامج التصميم والتي تمكن المستخدم من اختيار عدد عناصر هوائي مصفوف دولف تشيبيشيف مستعرض منتظم المسافات وغير منتظم التغذية المطلوب تصميمه.

Form1

تصميم هوائي مصغوف دولف تشيبيشيف مستعرض غير منتظم التغذية مكون من ٢ - ١٠ عناصر

7 3

8 4

9 5

10 6

Exit

الشكل(3) واجهة التصميم الرئيسية

يبين الشكل(4) واجهة التصميم لهوائي دولف تشيبيشيف مكون من 4 عناصر.

Form1

تصميم هوائي مصغوف مستعرض غير منتظم التغذية مكون من ٤ عناصر

R0=

DO draw clear draw2 exit

$A_f(u)$

$u$

$A_f(r, \theta)$

الشكل(4) واجهة تصميم هوائي تشيبيشيف

تمكننا هذه النافذة من إدخال  $R_0$  نسبة مستوى الوريقات الجانبية بالديسبل وعند الضغط على زر DO يقوم البرنامج بتنفيذ بقية خطوات الخوارزمية حيث يطبع على الجهة اليسرى من النافذة بارامترات التصميم  $a_n$  (معاملات التغذية المطلوبة لعناصر الهوائي) كما تمكننا هذه النافذة من حساب فتحة الإشعاع عند مستوى نصف الاستطاعة  $\Delta_H$  (HPBW) والاتجاهية  $D_0$  وعلاقة معامل المصفوف العادي  $Af(u)$  والنسبي  $Af(u)\%$  الناتجة كما سنرى لاحقاً. وعلى الجهة اليمنى من النافذة يمكننا مشاهدة الرسم الديكارتي والقطبي لمعامل المصفوف الناتج من خلال الزرين draw و draw2 على الترتيب. يمكننا من خلال الزر go menu العودة إلى الواجهة الرئيسية لاختيار قيمة أخرى لعدد عناصر المصفوف.

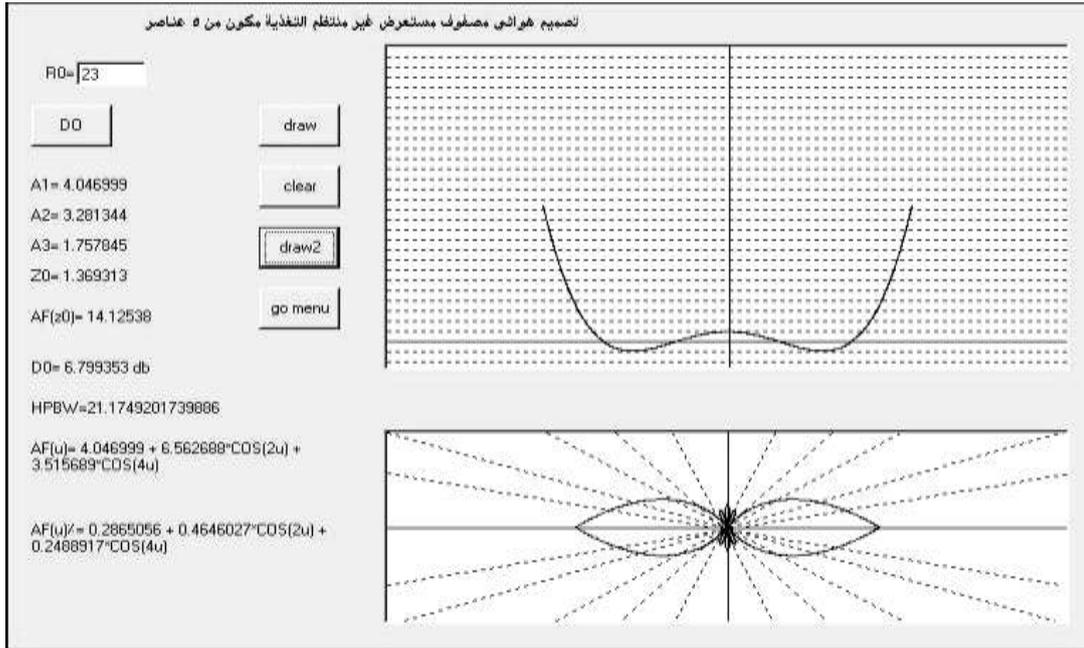
## النتائج والمناقشة:

### 1-تأثير قيمة $R_0$ على معاملات التغذية وبارامترات المخطط الإشعاعي:

لنأخذ هوائي مصفوف تشيبيشيف منتظم المسافات غير منتظم التغذية مكون من 5 عناصر مرة عند  $R_0 = 23$  ومرة أخرى عند  $R_0 = 27$ . يبين الشكل (5) هوائي مصفوف تشيبيشيف منتظم المسافات غير منتظم التغذية مكون من 5 عناصر وقيمة نسبة مستوى الوريقات الجانبية المطلوبة تساوي 23 وكانت النتائج كمايلي:

$$A_1 = 4.04, A_2 = 3.28, A_3 = 1.75$$

$$D_0 = 6.79dB, HPBW = 21.17^\circ$$

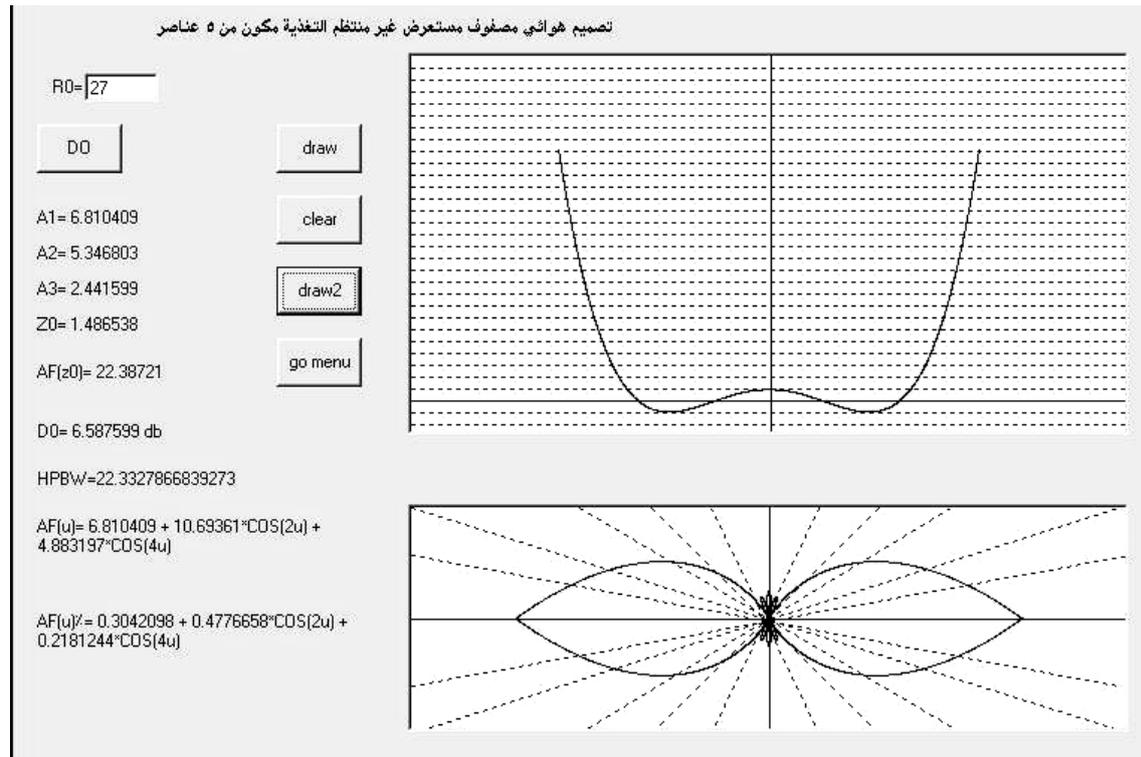


الشكل (5) هوائي تشيبيشيف  $n = 5, R_0 = 23dB$

يبين الشكل (6) هوائي مصفوف تشيبيشيف منتظم المسافات غير منتظم التغذية مكون من 5 عناصر وقيمة نسبة مستوى الوريقات الجانبية المطلوبة تساوي 27 وكانت النتائج كمايلي:

$$A_1 = 6.81, A_2 = 5.34, A_3 = 2.44$$

$$D_0 = 6.58dB, HPBW = 22.33^\circ$$



الشكل (6) هوائي تشيبيشيف  $n = 5, R_0 = 27 \text{ dB}$

نلاحظ من حيث التصميم أن معاملات التغذية اللازمة لعناصر الهوائي تختلف عند كل قيمة مطلوبة لنسبة مستوى الوريقات الجانبية  $R_0$ ، أما من حيث النتائج فنلاحظ أنه كلما زادت  $R_0$  يزداد مستوى الوريقات الرئيسية بالنسبة للثانوية ولكن تقل قيمة الاتجاهية أي تزداد فتحة الإشعاع عند مستوي نصف الاستطاعة والعكس بالعكس.

## 2- تأثير عدد عناصر المصفوف على بارامترات المخطط الإشعاعي:

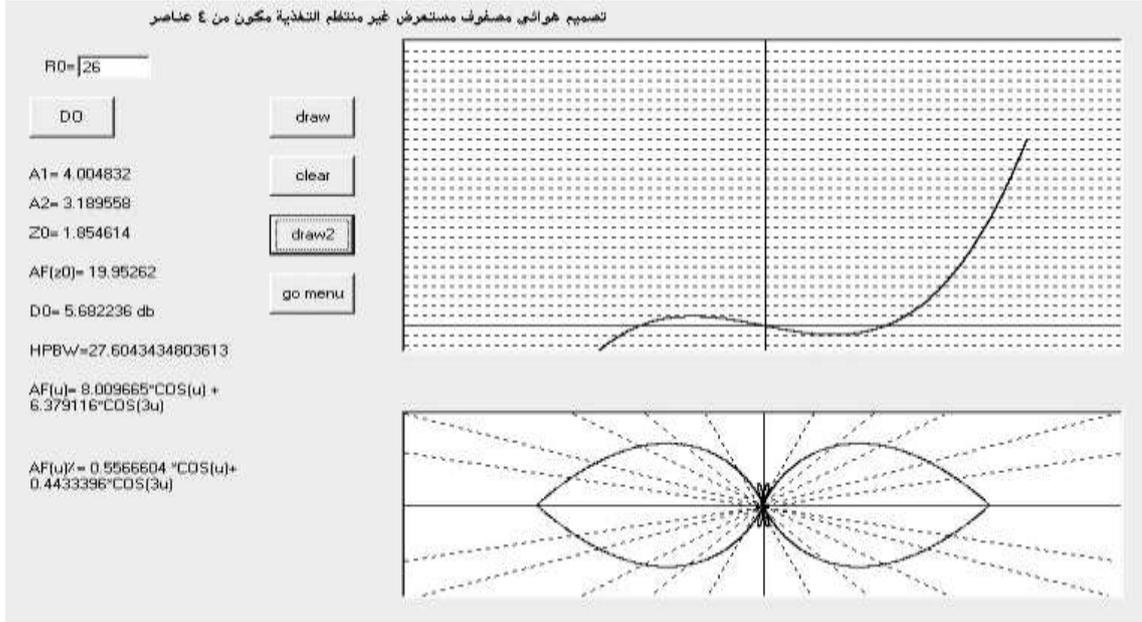
سنقوم في هذه الحالة بتغيير عدد عناصر مصفوف تشيبيشيف حيث أضفنا للبرنامج إمكانية تصميم المصفوف بعدد عناصر من 3 إلى 10، ولإيجاد تأثير ذلك على معاملات التغذية وبارامترات المخطط الإشعاعي سنحافظ على قيمة نسبة مستوى الوريقات الجانبية ولكن  $R_0 = 26$ ، وسنقتصر هنا على بعض النتائج.

يبين الشكل (7) هوائي مصفوف تشيبيشيف منتظم المسافات غير منتظم التغذية مكون من 4 عناصر وقيمة

نسبة مستوى الوريقات الجانبية المطلوبة تساوي 26 وكانت النتائج كمايلي:

$$A_1 = 6.81, A_2 = 5.34, A_3 = 2.44$$

$$D_0 = 6.58 \text{ dB}, HPBW = 22.33^\circ$$

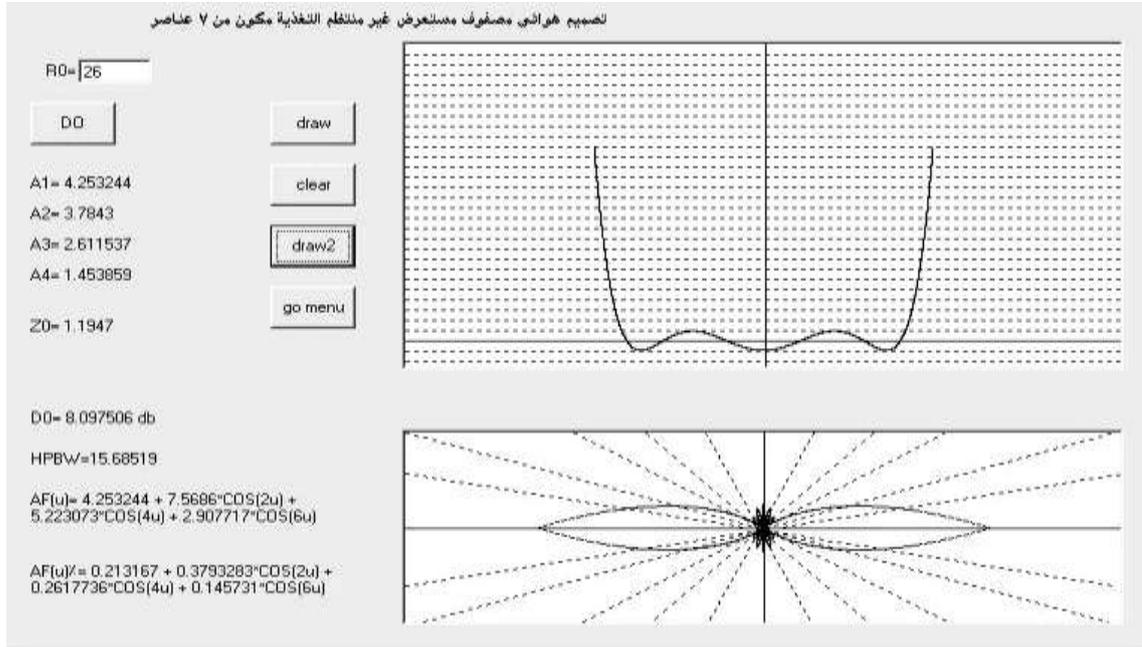


الشكل (7) هوائي تشيبيشيف  $n = 4, R_0 = 26 \text{ dB}$

يبين الشكل (8) هوائي مصفوف تشيبيشيف منتظم المسافات غير منتظم التغذية مكون من 7 عناصر وقيمة نسبة مستوى الوريقات الجانبية المطلوبة تساوي 26 وكانت النتائج كمايلي:

$$A_1 = 4.25, A_2 = 3.78, A_3 = 2.61, A_4 = 1.45$$

$$D_0 = 8.09 \text{ dB}, HPBW = 15.68^\circ$$

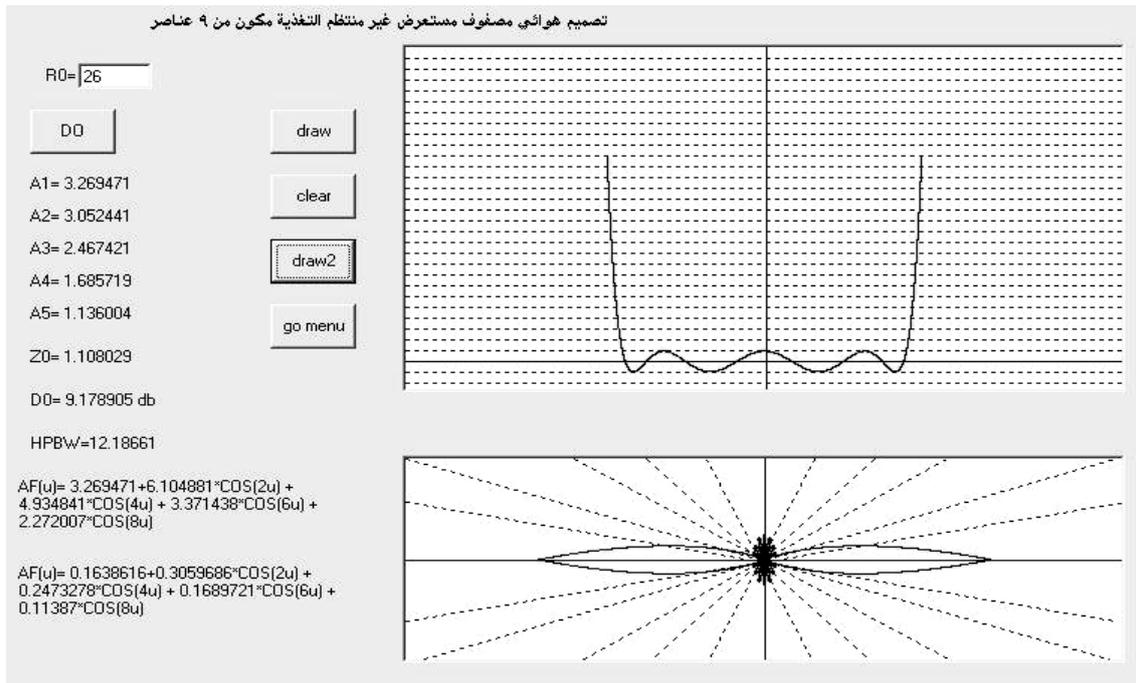


الشكل (8) هوائي تشيبيشيف  $n = 7, R_0 = 26 \text{ dB}$

يبين الشكل (9) هوائي مصفوف تشيبيشيف منتظم المسافات غير منتظم التغذية مكون من 9 عناصر وقيمة نسبة مستوى الوريقات الجانبية المطلوبة تساوي 26 وكانت النتائج كمايلي:

$$A_1 = 3.26, A_2 = 3.05, A_3 = 2.46, A_4 = 1.68, A_5 = 1.13$$

$$D_0 = 9.17dB, HPBW = 12.18^\circ$$

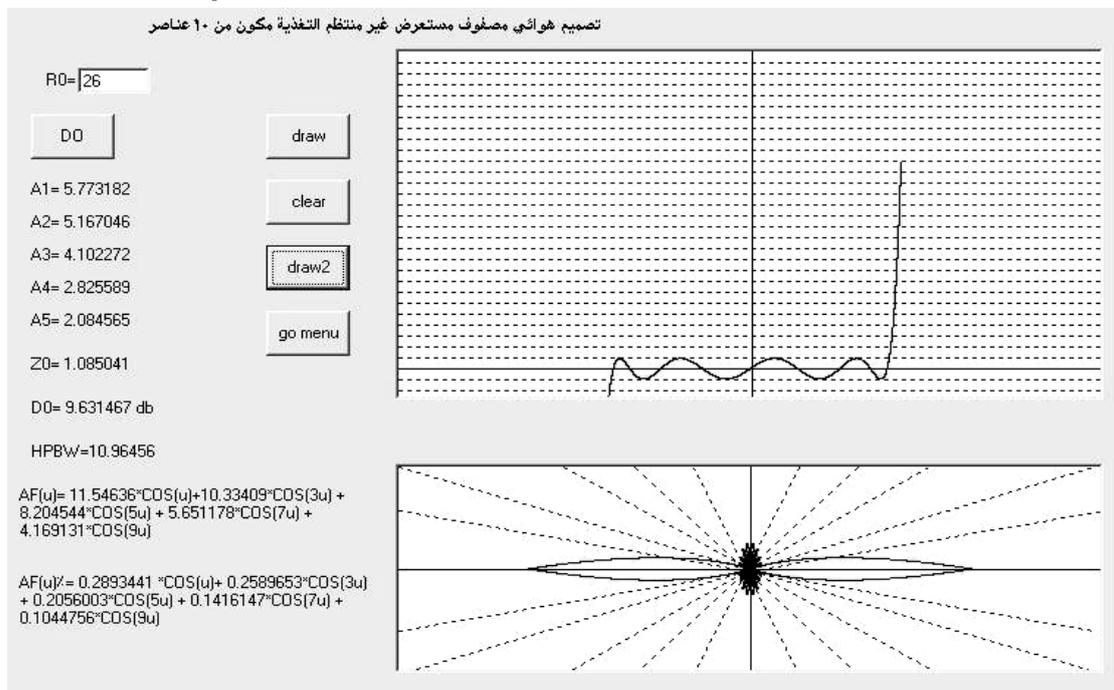


الشكل (9) هوائي تشيبيشيف  $n = 9, R_0 = 26dB$

يبين الشكل (10) هوائي مصفوف تشيبيشيف منتظم المسافات غير منتظم التغذية مكون من 9 عناصر وقيمة نسبة مستوى الوريقات الجانبية المطلوبة تساوي 26 وكانت النتائج كمايلي:

$$A_1 = 5.77, A_2 = 5.16, A_3 = 4.102, A_4 = 2.82, A_5 = 2.08$$

$$D_0 = 9.63dB, HPBW = 10.96^\circ$$



الشكل (10) هوائي تشيبيشيف  $n = 10, R_0 = 26dB$

نلاحظ من النتائج السابقة أن زيادة عدد عناصر المصفوف تؤدي إلى زيادة الاتجاهية (أي تقل قيمة فتحة الإشعاع عند مستوي نصف الاستطاعة)، ولكن من جهة أخرى نلاحظ ازدياد عدد الوريقات الثانوية، وتعقيد عملية الدراسة والتصميم بالإضافة إلى ازدياد الكلفة الاقتصادية اللازمة لتصميم الهوائي.

### الاستنتاجات والتوصيات:

- يمكن الاعتماد على البرنامج الذي قمنا بعمله عند دراسة وتصميم هوائيات مصفوف دولف تشيبشيف منتظم المسافات وغير منتظم التغذية بمسافات بينية  $d = \lambda/2$ .
- يجب الموازنة عند تصميم الهوائي بين مستوى الوريقات الرئيسية بالنسبة للثانوية المطلوب  $R_0$  وقيمة الاتجاهية المرغوبة  $D_0$  لأن التناسب بينهما عكسي وذلك عند قيمة محددة لعدد عناصر المصفوف  $n$ .
- يمكن الحصول على اتجاهية أفضل عن طريق زيادة عدد عناصر المصفوف وذلك عند قيمة محددة لمستوى الوريقات الرئيسية بالنسبة للثانوية.
- يجب الأخذ بالحسبان عند زيادة عدد عناصر أن ذلك يؤدي إلى ازدياد عدد الوريقات الثانوية والكلفة الاقتصادية وصعوبة الدراسة والتصميم ويجب الموازنة بين الأمرين.
- يمكن توسيع الدراسة لتشمل هوائيات مصفوفة بعدد عناصر أكثر من عشرة وبمسافات بينية  $d > \lambda/2$ .

### المراجع:

- 1- يونس، معين. - الهوائيات وانتشار الأمواج، منشورات جامعة تشرين، 1996، 516.
- 2- <http://www.antenna-theory.com/>
- 3- Senthil Kumar, Priyesh, Hema Singh, and R.M. Jha, *A study of Dolph-Chebyshev spherical phased antenna array for wave propagation and aerospace applications*, National Aerospace Laboratories, Bangalore, India, Project Document PD AL 0918, 2009, 18 p.
- 4- Sophocles J. Orfanidis, *Electromagnetic Waves and Antennas*, Rutgers University, 2002, 794.
- 5- T. N. Davidson, "A note on the calculation of the Dolph-Chebyshev shading for a linear array", ASPL- 1991-3, Dept. Electrical and Electronic Eng, the University of Western Australia, 1991.
- 6- B. K. Lau, Y. H. Leung, "Analysis of Dolph-Chebyshev patterns for uniform linear arrays", SPL-TR-013, ATRI, Curtin University of Technology, Sep. 1999.