

تطوير هوائي ESPAR-8 عريض المجال الترددي وتقويمه*

م. بشير الشامي**

د. محمد ديب****

د. حسن أبو النور***

الملخص

تبيّن ورقة البحث هذه إجراءات تطوير أداء هوائي نوع ESPAR عريض المجال الترددي ذي بنية متناظرة متحكم به كهربائياً وتقويمه، مكون من هوائي فعّال وحيد نوع مكوكي عريض المجال الترددي، مثبت في مركز أرضية أسطوانية الشكل ومحاط بثمانية مشعات طفيلية عريضة المجال الترددي أيضاً.

صُمّم هذا الهوائي باستخدام برمجية النمذجة التخصصية CST (تكنولوجيا المحاكاة الحاسوبية Computer Simulation Technology) ليعمل في المجال الترددي [500-700]MHz.

بيّنت نتائج المحاكاة أن الهوائي المطور يعمل في المجال الترددي [500-700] MHz وله قيم نسبة أمواج مستقرة VSWR أقل من 3.1:1 على كامل المجال الترددي.

كذلك بيّنت نتائج المحاكاة أن للهوائي المطور اتجاه إشعاع ثابتاً على كامل المجال الترددي عند توصيل مجموعة ممانعات تخيلية (مفاعلات) ثابتة على العناصر الطفيلية الثمانية فيه.

صيغ نموذج إشارة الهوائي المقترح وأعطيت علاقات هذه الإشارة في حالتها العمل كمرسل أو كمستقبل لاستخدامها لاحقاً في خوارزميات حساب زاوية الورود.

الكلمات المفتاحية: الهوائيات الذكية، هوائي ESPAR، هوائي عريض المجال الترددي، حساب زوايا الورود.

* أعدّ هذا البحث في سياق بحث الدكتوراه للمهندس بشير الشامي بإشراف الأستاذ الدكتور حسن أبو النور، والدكتور محمد ديب

** طالب دكتوراه - قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

*** أستاذ - قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

**** أستاذ - قسم الاتصالات - المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا.

1- مقدمة:

الإشارة المفيدة عن إشارات التداخل المحيطة، ومن ثم تؤثر في دقة تحديد الاتجاه.

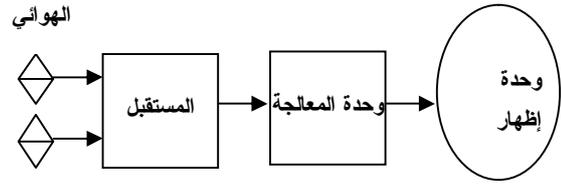
يعدُّ الهوائي القابل للتوجيه كهربائياً باستخدام مصفوفة مشعات طفيلية Electrically Steerable Parasitic Array Radiators (ESPAR) [2] أحد أهم الأنواع المرشحة لتطبيقات تحديد جهة ورود DOA لما يقدمه من إمكانيات لتحريك المخطط الإشعاعي كهربائياً ضمن 360^0 في المستوي الأفقي فضلاً عن ميزاته الأخرى كبساطة التصميم، والكلفة المنخفضة، والحجم الصغير والاستهلاك القليل للطاقة [9][3]، مما يجعله المرشح الأكثر احتمالاً للاستخدام الواسع في تطبيقات الاتصالات اللاسلكية المختلفة [14]، وفي مقدمتها أنظمة الاتصالات الخلوية Cellular phones [13].

تستخدم عدة خوارزميات لتحديد زاوية الورد، وتعدُّ طريقة تصنيف الإشارات المتعددة Multiple Signals Classification (MUSIC) من أهم الطرائق المستخدمة في مسائل تحديد الاتجاه وأدقها [5]، حيث يتم فيها تشكيل مصفوفة الترابط Correlation matrix [4] من خلال قياس M إشارة على خرج الـ M عنصر المشكلة للهوائي المصفوفي التقليدي، أما في الهوائيات ذات المشعات الطفيلية فيمكن الحصول على ما يماثل M هوائي بإشعاع مختلف من خلال تغيير محددات أحمال المشعات الطفيلية M مرة، ومن ثم الحصول على M إشارة مختلفة لتشكيل مصفوفة الترابط [14].

سيجري في هذه المقالة استعراض تصميم بنية الهوائي ESPAR الذي يستخدم مشعات طفيلية، والأنواع التطبيقية المتوافرة عريضة المجال الترددي. سيجري بعد ذلك عرض بنية طُوِّرت لدينا لنظام هوائي ESPAR عريض المجال الترددي باعتماد مصفوفة مشعات طفيلية مكونة من ثمانية عناصر BB-ESPAR-8. سيوضح هذا التطوير الإضافية التي تقدمها هذه البنية المقترحة

تعدُّ مسألة تحديد زاوية اتجاه الورد Direction of Arrival DOA من المسائل المهمة التي ما زالت تشغل حيزاً كبيراً من البحوث، إذ تساعد معرفة جهة الإشارة المفيدة في توجيه حزمة الهوائي الرئيسية باتجاهها، وهذا يؤدي إلى تحسين نسبة الإشارة للضجيج [16] [4] [5] SNR.

يبين الشكل (1) مخطط نظام تحديد الاتجاه (DF) Direction Finding [14]، حيث نرى أنه مكون من الأجزاء الرئيسية الآتية: الهوائي Antenna، المستقبل Receiver، وحدة المعالجة Processing Unit، ووحدة الإظهار Display Unit.

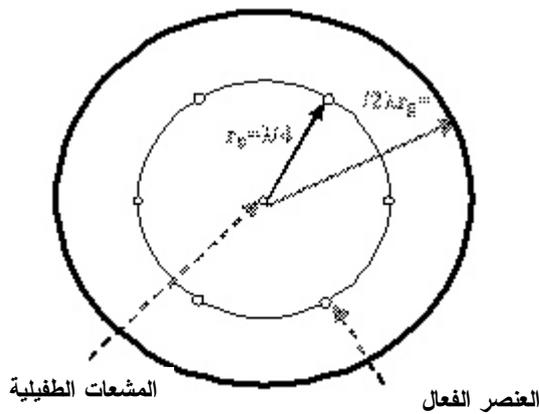


الشكل (1): بنية نظام تحديد الاتجاه

تعدُّ الهوائيات (التي تكون على شكل هوائيات مصفوفية) الجزء الأكثر أهمية في تحديد دقة الاتجاه وسرعة قياسه في أنظمة تحديد الاتجاه، لأن الخطأ المرتكب في تصميم الهوائي يؤثر سلباً في دقة هذا القياس.

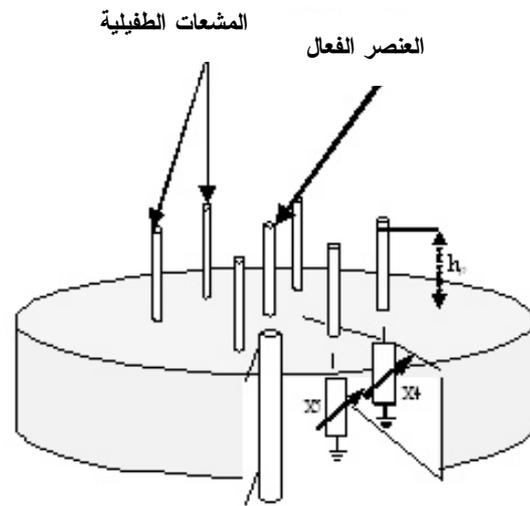
يُقوِّم أداء الهوائي المخصص للاستخدام في نظام تحديد الاتجاه من خلال مجموعة محددات يجب أخذها بالحسبان عند التصميم وهي: ربح الهوائي Gain، مستوى الحزم الجانبية Side lobe level، تردد العمل Frequency of operation، الاستقطاب Polarization، عرض المجال الترددي frequency Bandwidth، الحجم الكلي للهوائي Size، والتوجيهية Directivity التي تؤدي الدور الأكبر في تحديد قدرة الهوائي على عزل جهة ورود

يتكون الهوائي ESPAR النظامي من $M+1$ عنصراً [2] (الشكل (2) الممثل لهوائي ESPAR حالة $M=6$) حيث العنصر المركزي هو العنصر الفعّال الوحيد في بنية الهوائي، وهو مشع من نوع هوائي عامودي أحادي القطبية monopole [5]



بالمقارنة بالأنواع التطبيقية المتوافرة سابقاً. فضلاً عن ذلك سيُصاغ نموذج إشارة الهوائي المقترح وتُحدّد علاقات هذه الإشارة في حالي العمل كمرسل أو كمستقبل.

2- بنية الهوائي القابل للتوجيه كهربائياً باستخدام مصفوفة مشعات طفيلية ESPAR:



الشكل (2): بنية الهوائي ESPAR المقابلة لـ $M=6$

يتم تأمين قيم المفاعلات اللازمة للمشعات الطفيلية باستخدام تقنية التحكم بدارة سعات متغيرة بالجهد [2] aractor control circuit، الشكل (3)، من خلال تطبيق جهد انحياز V_m عليها.

تعطي هذه التقنية قيمة مفاعلة X_m تابعة لقيمة جهد الانحياز المطبق ومحصورة بين القيمتين X_{min} - X_{max} التي توفرها السعة المتغيرة بالجهد المستخدمة [15]. إن تغيير قيم الأحمال أو المفاعلات يكافئ تغييراً في أطوال العناصر الطفيلية المحيطة بالعنصر المركزي الفعّال [15]، مما يجعل أثرها المتبادل مع العنصر

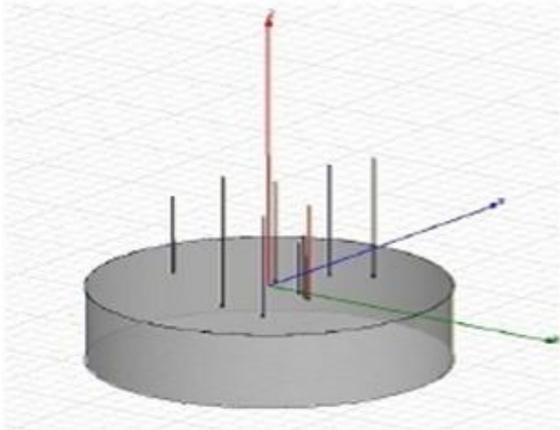
بطول أقل بقليل من ربع طول الموجة $\lambda/4$ لتردد العمل لهذا الهوائي، يُنبت في مركز مستوي أرضي دائري، ويوصل إلى وحدة مكبر الاستطاعة في حالة استخدامه كهوائي إرسال أو إلى دارة استقبال أولي في حالة استخدامه كهوائي استقبال، بينما تمثل العناصر M الباقية عناصر طفيلية سلبية متشابهة من نوع هوائي عامودي أحادي القطبية أيضاً طول كل منها $\lambda/4$ تنتوزع بشكل منتظم على محيط دائرة نصف قطرها $\lambda/4$ ومركزها ينطبق على العنصر الفعّال السابق، وتوصّل عن طريق قيم مفاعلات مختلفة إلى الأرض .

وعناصر طفيلية على شكل مشعات عامودية لها أطوال مختلفة ومثبتة في أماكن غير متناظرة أي على مسافات وزوايا مختلفة من العنصر الفعال وفق ما هو مبين في الشكل (4) وذلك لكي يعمل على مجموعة ترددات ضمن المجال الترددي المذكور أعلاه، ويبين الجدول (1) الأطوال المختلفة للعناصر المكونة لهذا النوع من الهوائيات، وكذلك إحداثيات توضع كل منها بالنسبة إلى العنصر الفعال .

الجدول (1): أبعاد عناصر الهوائي W-ESPAR وإحداثياته

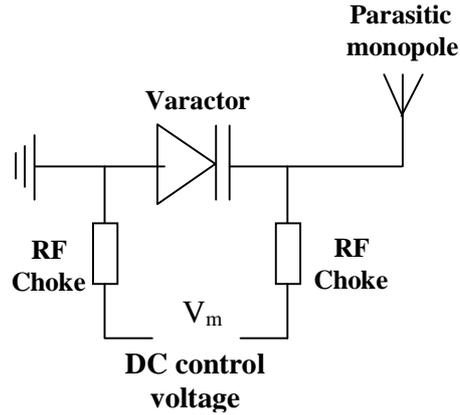
Element	radius	length	(x,y) position
#1	0.002	0.2526	0.29441 - 0.09581
#2	0.002	0.2669	0.15156 - 0.02453
#3	0.002	0.1616	0.27550 - 0.08404
#4	0.002	0.2699	0.29922 - 0.26796
#5	0.002	0.2978	0.21579 - 0.08535
#6	0.002	0.2022	0.07384 - 0.0932
#7	0.002	0.3493	0.17811 - 0.25096
#8	0.002	0.1327	0.25410 - 0.07396
#9	0.002	0.3210	0.29808 - 0.13437

توصل المشعات الطفيلية إلى مجموعة أحمال تقوم بحرف جهة الإشعاع إلى زاوية θ_1 عند التردد f_1 ، وإلى الزاوية θ_2 عند التردد f_2 عن طريق تطبيق مجموعة أحمال مخصصة للعمل عند كل زاوية وتردد محددين.



الشكل (4): بنية الهوائي W_ESAPR

الفعال مختلفاً بحسب الطول المكافئ لكل منها، وبشكل آخر فأنها تابع لقيمة المفاعلة أو لقيمة جهد التحكم المطبق على دارة السعة المتغيرة بالجهد، مما يمكن من التحكم بتوجيه حزمة الإشعاع Radiation pattern.



الشكل(3): دارة التحكم باستخدام السعات المتغيرة مع الجهد

يتم التحكم باتجاه الحزمة الرئيسية لإشعاع الهوائي عبر تطبيق مجموعة M من جهود الانحياز الخاصة V_m على دارات السعات المتغيرة مع الجهد المربوطة إلى العناصر الطفيلية X_m التي تعمل على توجيه الإشعاع بزاوية θ ويتم تدويره بالفراغ $0-360^\circ$ عن طريق إزاحة دورانية لقيم هذه المجموعة [4].

3- الأنواع الرئيسية لهوائيات ESPAR عريضة المجال الترددي.

3-1 الهوائي عريض المجال الترددي نوع

[3] Wideband ESPAR W-ESPAR

يعمل الهوائي W-ESPAR ضمن مجال ترددي عريض (مثلاً في المجال 470 -830 MHz) ويحدد لهذا الهوائي مجال عمل وفق ترددات واتجاهات محددة مسبقاً وتدخل في تصميم بنيته.

وفقاً لذلك يتميز هذا الهوائي عن هوائي ESPAR النظامي ببنية غير متناظرة مكونة من عنصر فعال

ترددات العمل كلها ضمن المجال الترددي للهوائي BB-ESPAR. يعطي هذا الهوائي ربحاً اتجاهياً أكبر من 8dBi على كامل المجال الترددي، ويُغَيَّرُ موقع اتجاه حزمة إشعاع الهوائي من خلال تبديل دوراني لمجموعة الأحمال المطبقة على المشعات الطفيلية باستخدام مفاتيح الكترونية وذلك من أجل الترددات كلها ضمن المجال الترددي الذي يعمل عليه هذا الهوائي. ومن ثمَّ فإن هذا الهوائي قابل للاستخدام في نظم الاتصالات عريضة المجال الترددي.

يبين الشكل (11- ب) المخطط الإشعاعي للهوائي النظامي BB-ESPAR عند مجموعة ترددات ضمن المجال الترددي [500-700] MHz

4- الهوائي المطور BB-ESPAR-8:

طُوِّرَ الهوائي BB-ESPAR-8 ذو ثمانية مشعات طفيلية ليعمل ضمن المجال الترددي العريض [500-700] MHz، بحيث يؤمن نسبة أمواج مستقرة VSWR أقل من 3.1:1، ويسمح بالتحكم بجهة الإشعاع بخطوة تحريك 45° ضمن قطاع زاوي $0-360^{\circ}$ ، ويؤمن ربحاً أكبر من 9dBi على كامل المجال الترددي العامل، وذلك في حالة استخدامه كهوائي موجه للاستقبال أو للإرسال.

صُمِّمَ هذا الهوائي باستخدام برمجية النمذجة التخصصية (CST) وذلك وفقاً لما يأتي:

I - تصميم هوائي عريض المجال الترددي من الشكل المكوكي Shuttle Antenna [1]، كهوائي يمثل العنصر الفعّال للهوائي BB-ESPAR-8 مثبت على قاعدة معدنية دائرية بحيث يحقق المواصفات الآتية:

- العمل على المجال الترددي المطلوب [500-700] MHz.

يستخدم هذا الهوائي على سبيل المثال للعمل كهوائي استقبال تلفزيوني بحيث يمكن تغيير وجهته دون تدوير ميكانيكي، وذلك لتنظيم الاستقبال التلفزيوني الرقمي DVB- Digital Video Broadcasting reception (T) حيث يتم ربط العنصر الفعّال فقط إلى المستقبل التلفزيوني.

3-2 الهوائي عريض المجال نوع

BroadBand ESPAR Antenna BB-ESPAR [1]

هو هوائي يعمل ضمن مجال ترددي عريض وكمثال على ذلك المجال الترددي [465-700] MHz. لهذا الهوائي بنية مشابهة لبنية الهوائي ESPAR النظامي المتناظرة ويختلف عنه من حيث نوع العناصر المشكلة للهوائي [1]، فالعنصر الفعّال هو هوائي عريض المجال الترددي. كما أن العناصر الطفيلية هي مشعات عامودية عريضة المجال الترددي أيضاً وذات أطوال متساوية تتناسب وربع طول الموجة لأعلى تردد مستخدم في المجال الترددي العريض.

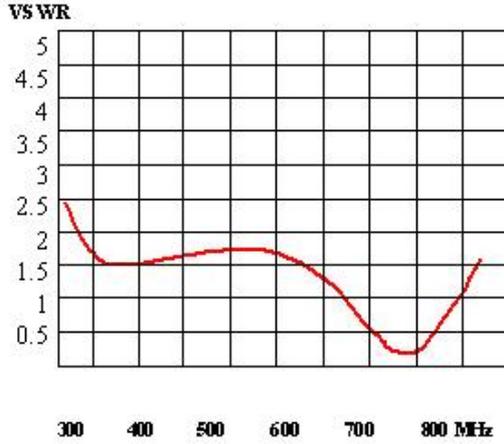
يبين الشكل (5) صورة هذا الهوائي.



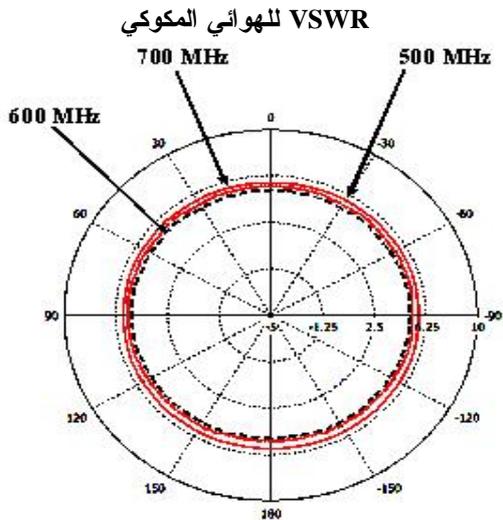
الشكل (5): صورة الهوائي BB_ESAPR .

توصل المشعات الطفيلية إلى أحمال ثابتة، تعمل على توجيه حزمة إشعاع الهوائي بزاوية θ ثابتة من أجل

وفق ما هو موضح في الشكل (7- أ) إذ إنَّ هذه النسبة هي أقل من 2.1:1 على كامل المجال الترددي، كذلك بيَّنت نتائج المحاكاة أن المخطط الإشعاعي للهوائي، كما هو مبين في الشكل (7- ب)، عديم التوجيهية على كامل المجال الترددي العامل ويؤمن



الشكل (7- أ): نتائج المحاكاة نسبة الأمواج المستقرة



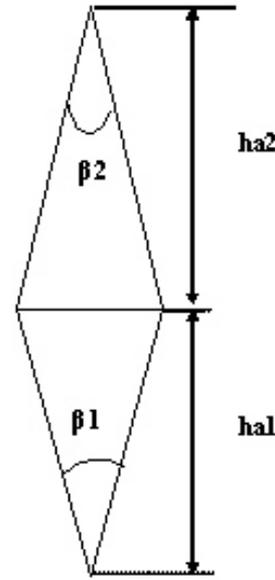
الشكل (7- ب): نتائج المحاكاة للمخطط الإشعاعي للهوائي المكوكي في المستوي الأفقي عند ثلاث قيم ترددية مختلفة ضمن مجال عمله الترددي

I- اختيار المشعات الطفيلية من نوع وحيد القطبية monopole-disco على شكل مخروط دائري قاعدي. تم خلال تصميم هذه المشعات اعتماد جزء علوي من المخروط على شكل مخروط عكسي بطول 10% من الطول الكلي للمشع، وذلك بهدف تحسين خصائص عمله

- له نموذج إشعاع عديم التوجيهية على كامل المجال الترددي Omnidirectional radiation pattern .

- يتمتع بنسبة أمواج مستقرة VSWR منخفضة (أقل من 2.5:1) على كامل المجال الترددي.

حُسِبَت قيم مجموعة محددات الهوائي المكوكي المبينة في الشكل (6).



ha1: ارتفاع المخروط القاعدي للهوائي المكوكي.

ha2: ارتفاع المخروط العلوي العكسي للهوائي.

β_1 : زاوية فتحة المخروط القاعدي .

β_2 : زاوية فتحة المخروط العلوي.

الشكل (6) محددات الهوائي المكوكي

من خلال المحاكاة باستخدام برمجية CST وبفرض مواصفات الهوائي المكوكي المذكورة أعلاه تم الحصول على قيم هذه المحددات وفق الجدول (2) .

الجدول (2) : محددات الهوائي المكوكي Shuttle Antenna.

اسم المحدد	h_{a2}	h_{a1}	β_1	β_2
القيمة	mm	mm	Degree	Degree
	110	90	40	35.5

بيَّنت نتائج المحاكاة أيضاً، قيم نسبة الأمواج المستقرة VSWR للهوائي المكوكي ضمن مجال العمل الترددي

-تأمين توجيهية ثابتة مع تغيير التردد وعلى كامل المجال الترددي (مع تطبيق الأحمال نفسها على العناصر الطفيلية).

- تأمين قيمة عظمى لرياح الهوائي على كامل المجال الترددي.

- تأمين قيم نسبة أمواج مستقرة VSWR (أقل من 3.1:1) ضمن مجال العمل الترددي.

يبين الجدول (4) قيم السعات والحثيات التي حصلنا عليها نتيجة المحاكاة للحصول على زاوية توجيه 45° ورياح أكبر من 9dBi ضمن شروط الاستخدام وهي: $VSWR \leq 3.1:1$ في المجال الترددي 500-700 MHz. تُزاحُ في هذا الهوائي المطور حزمة إشعاع الهوائي بخطوة زاوية 45° ضمن المجال $0-360^\circ$ ، من خلال إجراء إزاحة دورانية لقيم السعات والحثيات على المشعات الطفيلية الثمانية للهوائي المطور.

الجدول (4): قيم الأحمال السعوية والحثية الموصولة إلى العناصر الطفيلية

X.1	X.2	X.3	X.4	X.5	X.6	X.7	X.8
nH			pF			nH	
10	50	100	0.1	1	0.1	100	50

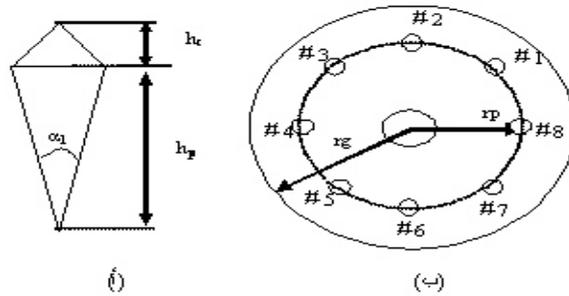
يبين الشكل (9) نموذجاً لبنية الهوائي المطور BB-ESPAR-8، حيث العنصر الفعّال الممثل بالهوائي المكوكي هو العنصر المركزي، والعناصر المخروطية التي تمثل المشعات الطفيلية الثمانية موزعة بشكل متناظر حوله. هذه العناصر جميعها مثبتة على قاعدة معدنية تمثل عاكساً إسطوانياً الشكل، ذا سطح علوي ومفرغ من الداخل، بارتفاع h_g يساوي 0.23λ لأعلى تردد في المجال الترددي العامل، وذلك للتخفيف من أثر

على المجال الترددي المطلوب. كما اعتمد الطول الكلي لهذا المشع بقيمة 0.23λ لأعلى تردد في المجال الترددي الذي يعمل عليه الهوائي المطور BB-ESPAR-8، كما هو مبين في الشكل (8-أ).

ثبتت ثمانية مشعات طفيلية على محيط دائرة مركزها العنصر الفعّال ونصف قطرها يساوي $r_p = 0.25\lambda$ لأعلى تردد في المجال الترددي الذي يعمل عليه الهوائي المطور، كما هو مبين في الشكل (8-ب). يبين الجدول (3) محددات هذه المشعات، وكذلك نصف قطر الدائرة التي ثبتت عليها المشعات الطفيلية ونصف قطر الصفيحة المعدنية العاكسة.

الجدول (3) : محددات المشع الطفيلي والصفيحة المعدنية العاكسة

a_2	a_1	h_t	hp	r_p	r_g
Degree					
76	10	10	90	110	180



hp: ارتفاع المخروط القاعدي.

a_1 : فتحة زاوية المخروط القاعدي.

ht: ارتفاع المخروط العلوي.

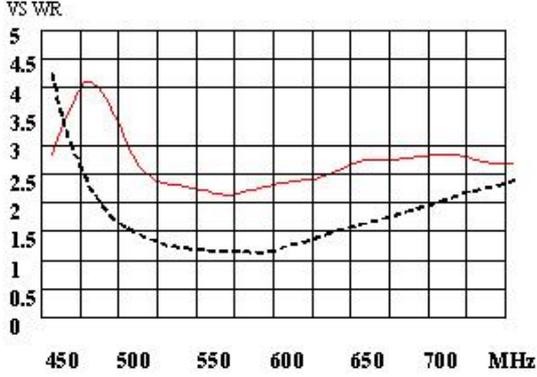
a_2 : فتحة زاوية المخروط العلوي.

rg: نصف قطر صفيحة الأرضي.

الشكل (8): (أ) - المشع الطفيلي. (ب) - توزيع المشعات.

II- حساب قيم السعات والحثيات الواجب توصيلها إلى المشعات الطفيلية باستخدام برمجية CST بحيث يتم تحقيق الشروط الآتية:

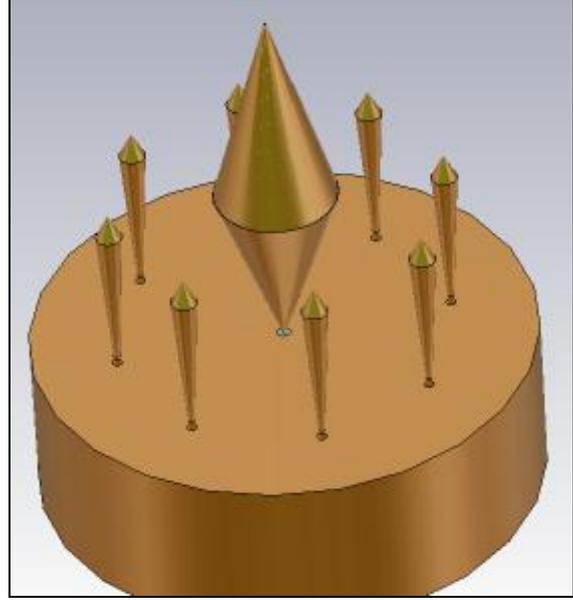
أعلى، وزاوية إزاحة أدق، يؤدي من جهة أخرى إلى انقاص عرض المجال الترددي الذي يعمل عليه هذا الهوائي، وذلك عند المحافظة على قيم VSWR نفسه.



الشكل (10): نتائج المحاكاة لقيم نسبة الأمواج المستقرة VSWR للهوائي المطور BB-ESPAR-8 (الخط المستمر) والنظامي BB-ESPAR (الخط المقطع)

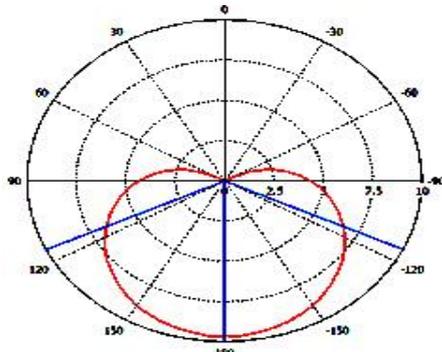
يبين الشكل (11- أ) نتائج المحاكاة للمخطط الإشعاعي للنموذج المطور أنه يحافظ على اتجاه إشعاع ثابت على كامل المجال الترددي، وذلك عند تطبيق قيم السعات والحثيات نفسها على المشعات الطفيلية المعطاة في الجدول (4)، كما يعطي هذا الهوائي المطور ربحاً اتجاهياً أكبر من 9dBi عند ترددات اختيرت لتغطي كامل المجال. بالمقارنة بالشكل (11- ب) الذي يبين نتائج المحاكاة للهوائي BB-ESPAR النظامي في المجال الترددي نفسه نرى أن زيادة عدد المشعات الطفيلية يحسن عموماً من توجيهية الهوائي بنسبة أفضل من 20% ويحسن من الربح الذي يعطيه على كامل المجال الترددي بنحو 1dB.

تأريض القاعدة المعدنية العاكسة في مخطط إشعاع الهوائي المطور [3] تتوضع بداخل هذه القاعدة عناصر مفاعلات ممثلة بسعات أو حثيات. يتم تأريض المشعات الطفيلية عن طريقها باستخدام وحدة مفاتيح الكترونية متحكم بها وفق اتجاه الإشعاع المطلوب للهوائي .

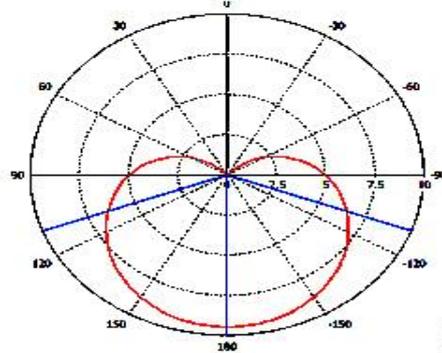


الشكل (9): النموذج المطور لبنية الهوائي BB-ESPAR-8 بينت نتائج المحاكاة لقيم نسبة الأمواج المستقرة VSWR للنموذج المطور BB-ESPAR-8 المبيّنة على الشكل (10) باستخدام قيم المفاعلات الواردة في الجدول (4)، أن VSWR لهذا الهوائي أصغر من 3.1:1 على كامل المجال الترددي [500-700] MHz.

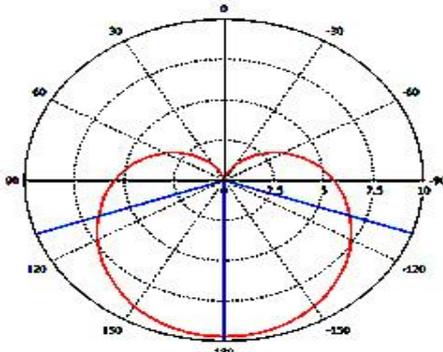
للمقارنة يبين الشكل (10) أيضاً نتائج المحاكاة لقيم VSWR للهوائي BB-ESPAR النظامي عند المجال الترددي نفسه، ويتضح من المقارنة أن زيادة عدد المشعات الطفيلية في هذا النوع من الهوائيات للحصول على توجيهية



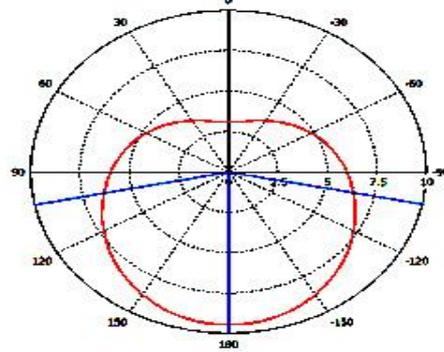
Frequency = 500 MHz
Main lobe magnitude = 9.6 dBi
Angular width (3dB) = 128 Deg



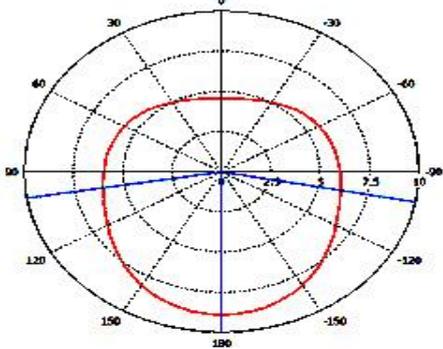
Frequency = 550 MHz
Main lobe magnitude = 9.4 dBi
Angular width (3dB) = 139 Deg



Frequency = 600 MHz
Main lobe magnitude = 9.7 dBi
Angular width (3dB) = 141 Deg



Frequency = 650 MHz
Main lobe magnitude = 9.4 dBi
Angular width (3dB) = 157 Deg

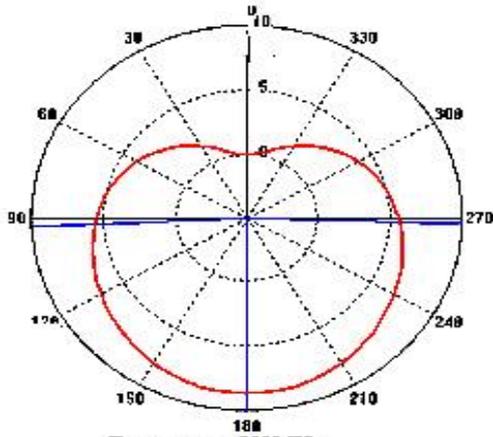


Frequency = 700 MHz
Main lobe magnitude = 9.5 dBi
Angular width (3dB) = 168 Deg

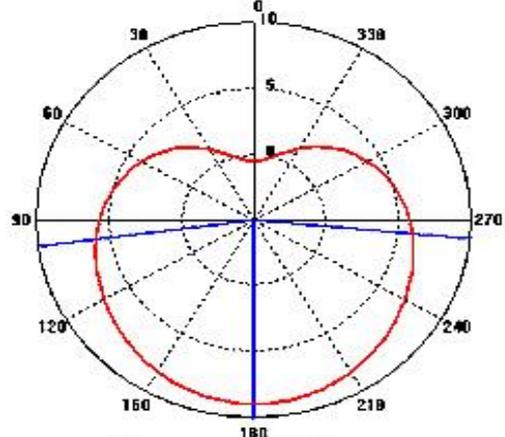
الشكل (11-أ)

نتائج المحاكاة للمخطط الإشعاعي للهوائي B-ESP AR - 8

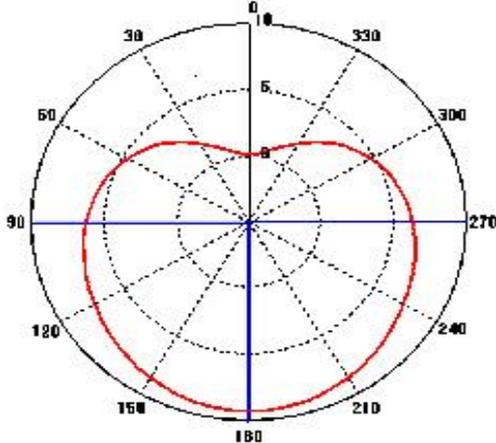
عند ترددات مختلفة ضمن المجال الترددي 500-700 MHz



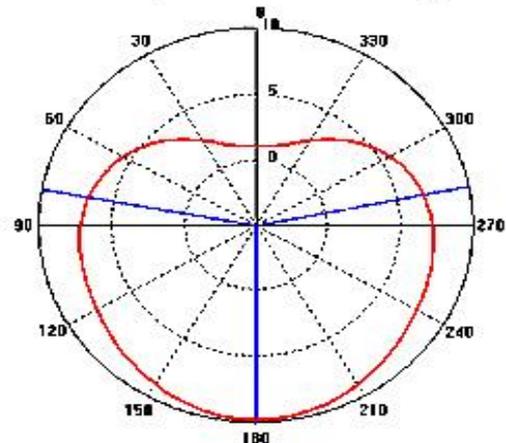
Frequency = 500MHz
Main lobe magnitude = 8.2 dBi
Angular width (3dB) = 161 Deg.



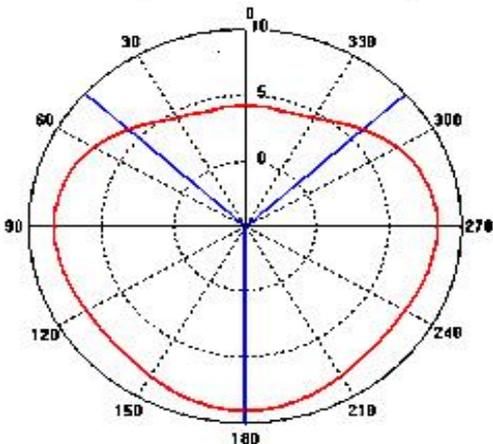
Frequency = 550 MHz
Main lobe magnitude = 9.1 dBi
Angular width (3dB) = 159 Deg.



Frequency = 600 MHz
Main lobe magnitude = 9.6 dBi
Angular width (3dB) = 180 Deg.



Frequency = 650 MHz
Main lobe magnitude = 10 dBi
Angular width (3dB) = 198 Deg.



Frequency = 700MHz
Main lobe magnitude = 9.8 dBi
Angular width (3dB) 237 Deg.

الشكل (11-ب)

نتائج المحاكاة للمخطط الإشعاعي للهوائي B-ESPAR-8 عند ترددات مختلفة ضمن المجال الترددي 500-700 MHz

ويعطى أيضاً شعاع التيارات المتشكلة على كافة عناصر الهوائي بالعلاقة :

$$\dot{\mathbf{I}} = [i_0, i_1, i_2, \dots, i_8]^T \quad (5)$$

وكذلك يعطى شعاع الجهود المتشكلة على عناصر الهوائي كلها بالشكل :

$$\ddot{\mathbf{V}} = [v_0, v_1, \dots, v_8]^T \quad (6)$$

إذ يعطى الجهد المتشكل على العنصر m بالعلاقة مع التيار i_m المتشكل عليه و المفاعلة x_m الموصلة إليه وفق العلاقة :

$$v_m = -jx_m i_m \quad m = 1, 2, \dots, 8 \quad (7)$$

وكذلك يعطى الجهد v_0 الذي يمثل جهد إشارة الهوائي RF في العنصر المركزي بالعلاقة:

$$v_o = V_s - Z_o i_o \quad (8)$$

إذ:

Z_o : تمثل ممانعة خرج المرسل في حال عمل الهوائي كمرسل أو ممانعة دخل المستقبل في حال عمل الهوائي كمستقبل [5]. تعطى قيمة هذه الممانعة كالاتي:

$$Z_o = 50\Omega$$

V_s : تمثل جهد المنبع RF الموصول إلى الهوائي.

من ثم يعطى شعاع الجهود المبين بالعلاقة (6) بعد تعويض العلاقات (7) و (8) وفق ما يأتي:

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} V_s - Z_o i_0 \\ -jx_1 i_1 \\ -jx_2 i_2 \\ \vdots \\ -jx_8 i_8 \end{bmatrix} = V_s \mathbf{r} \mathbf{u}_0 - \mathbf{X} \mathbf{I} \quad (9)$$

\mathbf{u}_0 : شعاع يعطى وفق العلاقة الآتية:

$$\mathbf{u}_0 = [1, 0, 0, \dots, 0]^T$$

5- نموذج إشارة الهوائي المطور BB-ESPAR-8:

نبيّن فيما يأتي دراسة نموذج إشارة الهوائي المطور BB-ESPAR-8 في حالتي الاستقبال والإرسال؛ وذلك لتحديد علاقات التيارات والجهود المتشكلة على عناصر الهوائي من العنصر الفعّال المركزي إلى المشعات الطفيلية المحيطة به.

1- في حالة الاستقبال:

تعطى الإشارة $y(t)$ على العنصر الفعّال الوحيد في الهوائي التي تمثل نموذج إشارة الهوائي بحالة استقبال [5] بالعلاقة الآتية:

$$y(t) = \dot{\mathbf{I}}^T \dot{\mathbf{S}}(t) + n(t) \quad (1)$$

إذ:

$\dot{\mathbf{I}}^T$: يمثل منقول شعاع التيارات لإشارة الهوائي RF المتشكلة على عناصر الهوائي ويعطى وفق ما يأتي:

$$\dot{\mathbf{I}} = [i_0, i_1, i_2, \dots, i_8]^T \quad (2)$$

$\dot{\mathbf{S}}(t)$: تمثل شعاع الإشارات المتشكلة على عناصر الهوائي ويعطى وفق العلاقة الآتية:

$$\dot{\mathbf{S}}(t) = [s_0(t), s_1(t), \dots, s_8(t)]^T \quad (3)$$

$n(t)$: يمثل ضجيجاً أبيضاً مرافقاً للإشارة ذا توزيع غاوسي واستطاعة σ^2

2- في حالة الإرسال:

تُعرّف إشارة الهوائي BB-ESPAR-8 في حالة الإرسال من خلال بعض التعريفات:

تعطى قيم المفاعلات الخاصة بتوجيه إشعاع الهوائي والمطبقة على المشعات الطفيلية على شكل شعاع المفاعلات وفق ما يأتي:

$$\dot{\mathbf{X}} = [x_1, x_2, \dots, x_8]^T \quad (4)$$

\mathbf{X} : مصفوفة قطرية تعطى وفق ما يأتي:

$$\mathbf{X} = \text{diag} [Z_0, jx_1, jx_2, \dots, jx_8]$$

من جهة أخرى فالعلاقة بين شعاعي التيار والجهد تعطى وفق ما يأتي:

$$\mathbf{V} = \mathbf{Z} \mathbf{I} \quad (10)$$

إذ $\mathbf{Z} = [z_{kl}]_{9 \times 9}$ تمثل مصفوفة الممانعات الناتجة عن التأثير المتبادل بين عناصر الهوائي.

كمثال يمثل العنصر z_{kl} الممانعة المتبادلة بين العنصرين k و l إذ $(0 \leq k, l \leq 8)$ بتعويض المعادلة (10) في المعادلة (9) ينتج ما يأتي:

$$\mathbf{I} = \mathbf{V}_s (\mathbf{Z} + \mathbf{X})^{-1} \mathbf{u}_0 \quad (11)$$

التي تمثل نموذج إشارة الهوائي في حالة الإرسال.

6- الاستنتاجات

من خلال تصميم ومحاكاة الهوائي المطور BB-ESPAR-8 وجدنا ما يأتي:

- إن تناظر مكونات المشعات الطفيلية حول الهوائي المركزي يعطي إمكانية تحليل سهل لإشارة الهوائي المركزي سواء في الاستقبال أو في الإرسال.
- إن إمكانية التحكم الدوراني بقيم المفاعلات الموصولة إلى المشعات الطفيلية تزودنا بإمكانية حساب زوايا الورد للإشارات باستخدام خوارزميات خاصة بذلك، وذلك ضمن كامل المجال الزاوي $0 - 360^\circ$.

- إن اختيار العنصر الفعّال من الشكل المكوكي وعناصر المشعات الطفيلية من الشكل المخروطي، سمح بالحصول على توجيهية مستقرة وثابتة على كامل المجال الترددي [500-700] MHz باستخدام مجموعة مفاعلات محددة للمشعات الطفيلية وثابتة على كامل المجال الترددي، مما يعطي إمكانية

استخدام هذا الهوائي في الاتصالات اللاسلكية عريضة المجال الترددي كلها.

- إن بنية الهوائي المطور والمكونة من ثمانية مشعات طفيلية تسمح بزيادة فعالية التوجيه في الإرسال والاستقبال كما تسمح بزيادة دقة حساب زوايا الورد من خلال خوارزميات تحديد جهة الورد.

- إن البنية المشكلة لهذا الهوائي هي بنية بسيطة قابلة للتنفيذ بشكل سهل في أي من المجالات الترددية الراديوية والمكروية VHF- and Microwave UHF.

7- المقترحات:

- تصميم خوارزمية تصنيف فعّالة لتحديد جهة الورد للإشارات الخاصة بالاتصالات اللاسلكية عريضة المجال الترددي باستخدام الهوائي المطور BB-ESPAR-8، وإجراء المحاكاة اللازمة عليها لحساب مواصفاتها الأساسية ودقة القياس التي توفرها.

- لما كان هذا الهوائي يسمح بالتعامل مع إشارات ذات طيف ترددي عريض، أمكن تطوير خوارزميات تسمح باستقبال الإشارات المفيدة بترددات معينة من جهة محددة وتمنع استقبال إشارات غير مفيدة أو متداخلة بالترددات نفسها أو بترددات أخرى من جهات أخرى.

المراجع

- Meguro, Tokyo, Japan, ATR Adaptive Communications Research Labs. 2-2-2, Hikaridai, Keihanna Science City, Kyoto, Japan.
9. Junwei Lu, "Smart Antennas for Mobile Wireless Communications," Microelectronic Engineering Research Conference 2001.
 10. L. Ortolan, T. L. S. Santos, M. C. F. DeCastro and F. C. C. DeCastro, "A Reactance-Domain Concurrent Blind Beam former," journal of communication and information systems, vol. 21, no. 3, 2006.
 11. Sean Winfree, "Angle of Arrival Estimation using Received Signal Strength with Directional Antennas" The Ohio State University 2007.
 12. Junwei Lu, David Ireland, and Robert Schlub, "Dielectric Embedded ESPAR (DE-ESPAR) Antenna Array for Wireless Communications," IEEE transactions on antennas and propagation, vol. 53, no. 8, august 2005.
 13. Robert Schlub, Junwei Lu, and Takashi Ohira. "Seven-Element Ground Skirt Monopole ESPAR Antenna Design From a Genetic Algorithm and the Finite Element Method," IEEE transactions on antennas and propagation, vol. 51, no. 11, november 2003.
 14. Kyouichi Iigusa Takashi Ohira. "A Simple and Accurate Mathematical Model of Electronically Steerable Parasitic Array Radiator Antennas," ATR Adaptive Communications Research Laboratories, Hikari-dai, Keihanna Science City, Kyoto, Japan 2002.
 15. A. Balanis, "Antenna Theory Analysis and Design," New York: Harper & Row, 1982.
 16. Bashir ALSHAMI, Hassan ABOULNOUR, Mohamad DIB. "Implementation and field test of a Broadband ESPAR Antenna," Proc.2010 IEEE Meditarian Microwave Simposiom MMS 2010 .
 1. Bashir ALSHAMI, Hassan ABOUNOUR, Mouhammad DIB, "Design of a BradBand ESPAR Antenna," Proc.2009 IEEE Meditarian Microwave Simposiom MMS 2009 .
 2. Gyoda, K. and T. Ohira, "Electronically Steerable Passive Array Radiator Antennas For Low-Cost Analog Adaptive Beamforming," Proc. 2000 IEEE International Conference on Phased Array Systems and Technology, 2000.
 3. V. G. Tsiafakis, A. I. Sotiriou, Y. I. Petropoulos E. S. Psarropoulos, E. D. Nanou, and C. N. Capsalis, "Design Of A Wideband ESPAR Antenna For DVB-T Reception," Progress In electromagnetics Research B, Vol. 12, 183–199, 2009.
 4. Sathish Chandran, "advance in direction-of-arrival estimation," artech house 2006.
 5. Chen Sun and Nemaï Chandra Karmakar, "Direction Of Arrival Estimation Based On A Single Port Smart Antenna Using MUSIC Algorithm With Periodic Signals," International Journal Of Signal Processing Volume 1 Number 2 2004 Issn:1304-4494.
 6. Dola Saha¹, Siuli Roy¹, Somprakash Bandyopadhyay¹, Tetsuro Ueda², Shinsuke Tanaka², "A Power-Efficient MAC Protocol with Two-Level Transmit Power Control in Ad Hoc Network Using Directional Antenna," 1 Indian Institute of Management Calcutta Diamond Harbour ,2 ATR Adaptive Communications Research Laboratories 2-2-2 Hikaridai, Keihanna Science City, Kyoto, Japan.
 7. Panagiotou, S.C.; Dimousios, T.D.; Capsalis, C.N. "Development of a Broadband ESPAR Antenna Utilizing the Genetic Algorithms Technique," Antennas and Propagation, 2007. EuCAP 2007. Volume , Issue , 11-16 Nov. 2007.
 8. (hulgyun PARK, 2001)hulgyun PARK, Jun-ich TAKADA, Kei SAKAGUCHI, and Takashi OHIRA, "Analysis of a Radial-Cavity-Excited ESPAR Antenna," Tokyo Institute of Technology 2-12-1, O-okayama,