

Radiation From the Circular Loop Antenna System

إعداد :

أحمد الحاج علي محمد منصور

عثمان عبد الله الأمين عبد الله

هاشم مصطفى عثمان عبد الله

مشروع تخرج كمطلوب تكميلي لنيل درجة بكالوريوس الشرف في الهندسة

الكهربائية والالكترونية / Power

قسم الهندسة الكهربائية والالكترونية

كلية الهندسة والتقنية

جامعة وادي النيل

يوليو 2016م

المستخلص

في هذا البحث تم إشتقاق تعبيرات للمجالات الكهرومغناطيسية المشعة لهوائي الحلقة الدائري (Cicular Loop) ذو التوزيع المنتظم للتيار (Uniform Distribution Current)، حيث تم إستخدام دوال بسيل الكروية وكثيرة حدود ليجندر لإشتقاق هذه المجالات. نجد أن التعبيرات للمجالات في هذا البحث تختزل إلى تعبيرات المجال البعيد لهوائي الحلقة الدائري ذو التوزيع المنتظم للتيار فوق سطح الأرض. وأيضاً تم حساب بعض البارومتريات الهامة وحسابها عن طريق برنامج حزمة الماتلاب.

الآية

بسم الله الرحمن الرحيم

(قُرْأُ بِأَسْمِ رَبِّكَ الَّذِي خَلَقَ ۝ خَلَقَ الْإِنْسَانَ مِنْ عَلَقٍ ۝ اقْرَأْ وَرَبُّكَ الْأَكْرَمُ ۝ الَّذِي
عَلَّمَ بِالْقَلَمِ ۝ عَلَّمَ الْإِنْسَانَ مَا لَمْ يَعْلَمِ)

صدق الله العظيم

سورة العلق

إهداء

إلى :

والدي الذي طبع في نفسي الإسلام فطرة وغرس في محاسن الإيمان سلوكاً ودفعتني إلى مدرج العلم ثقة وأحاطني بمعاني الطموح تواضعاً .

إلي :

والدتي التي أروضتني الصبر مهداً وغطتني بالعفة والحياة طاعة وبراً وأكسبتني الصدق قولاً .

إلى من آثروني على أنفسهم

إلى من علموني علم الحياة

إلى من أظهروا لي ما هو أجمل من الحياة إخوتي

إلى من كانوا ملاذي وملجئي

إلى من تذوقت معهم أجمل اللحظات

إلى من سأفتقدهم وأتمنى أن يفتقدوني

إلى من جعلهم الله أخوتي ومن أحببتهم في الله طلاب كلية الهندسة والتقنية .

الشكر والعرفان

الحمد لله الذي هدانا للإسلام ، برسالة سيدنا الإمام ووضح لنا الحلال من الحرام، وأرشدنا إلي ما فيه صلاحنا و سعادتنا في الدارين، والصلاة والسلام علي خير خلقه محمد أفضل من صلي وصام، وعلي آله وصحبه الأئمة الأعلام .

أما بعد :

الشكر أجزلة لله أولاً والمنتهى الذي وفقنا في إنجاز هذا البحث . أسمى آيات الشكر والتقدير للأستاذة الجليلة / فردوس عبد الله في الإشراف والتي بذلت معنا قصارى جهدها وبسطت لنا معرفتها فإستطعنا بعون الله ثم عونها أن نتقدم حتى بلغنا ما كنا نهدف إليه والشكر أيضا لأسرة كلية الهندسة والتقنية

ونخص بالشكر الدكتور الفاضل / سمير محمد علي حامد

ونتقدم بأجزل الشكر والتقدير والثناء للمولي عز وجل ثم لكل الذين مّموا لنا يدّ العون لإظهار هذا البحث بالصورة المتواضعة هذه ونتمنى أن ينال رضاء القراء وان يستفيد منه كل مطلع

والحمد لله أولاً وأخيراً

فهرس المحتويات

رقم الصفحة	الموضوع	البند
I	المستخلص	
II	الآية	
III	الإهداء	
IV	الشكر والعرفان	
V	فهرس المحتويات	
VII	فهرس الأشكال	
	الفصل الأول المقدمة	
1	مقدمة	1-1
2	الهدف من البحث	2-1
2	محتوى البحث	3-1
	الفصل الثاني أنواع الهوائيات وبارومترياتها	
3	أنواع الهوائيات	1-2
6	بارومتريات الهوائي	2-2
7	القدرة المشعة	1-2-2
8	شدة قدرة الإشعاع	2-2-2
9	نطاقات الإشعاع	3-2-2
10	النموذج الإشعاعي	4-2-2

13	نماذج الإشعاع الأساسية	5-2-2
13	الاتجاهية	6-2-2
15	مقاومة الإشعاع	7-2-2
15	الكسب	8-2-2
	الفصل الثالث الهوائي الحلقي الدائري	
16	مقدمة	1-3
16	تحليل الهوائي الحلقي الدائري	2-3
17	المجالات المشعة	3-3
24	إيجاد مركبات المجال المغناطيسي	4-3
30	إيجاد مركبات المجال الكهربائي	5-3
	الفصل الرابع حساب بارومتري الهوائي	
32	القدرة المشعة	1-4
33	شدة قدرة الإشعاع	2-4
34	الاتجاهية	3-4
34	مقاومة الإشعاع	4-4
35	حساب بارومتري الهوائي بواسطة الماتلاب	5-4
35	شدة قدرة الإشعاع	1-5-4
36	الاتجاهية	2-5-4
37	مقاومة الإشعاع	3-5-4
38	النموذج الإشعاعي للمجالات المشعة	4-5-4
44	الفصل الخامس الخلاصة	
45	المراجع	

فهرس الأشكال

الصفحة	الشكل	البند
3	هوائي ثنائي القطب	1-2
4	الهوائي الحلقي	2-2
4	الهوائي الحلزوني	3-2
5	هوائي البوق الهرمي	4-2
6	هوائي طبق القطع المكافئ	5-2
6	الهوائي الشريطي الدقيق	6-2
18	هوائي حلقي يقع مركزه على بعد $2'$ من نقطة الأصل	1-3
22	هوائي حلقي موضوع على مستوى $x-y$ عند $z=0$	2-3
36	النموذج لشدة قدرة الإشعاع	1-4
37	النموذج الإشعاعي للإتجاهيه	2-4
38	تغير قيمة مقاومة الإشعاع مع نصف القطر a	3-4
39	النموذج الإشعاعي لمستوى H - الأساسي	4-4
40	النموذج الإشعاعي لمستوى H - الأساسي المعياري	5-4
42	النموذج الإشعاعي لمستوى E - الأساسي	6-4
43	النموذج الإشعاعي لمستوى E - الأساسي المعياري	7-4

الفصل الأول

المقدمة

الفصل الأول

المقدمة

1-1 مقدمة (Introduction):

تعتبر الهوائيات (Antennas) من أهم عناصر الاتصالات حيث تستخدم في ارسال واستقبال الموجات الكهرومغناطيسية .والهوائي هو عبارة عن جهاز معدني غير فعال (Passive Element) يصنع من مادة جيدة التوصيل وغالباً من النحاس أو الألمونيوم وهذا الجهاز له القدرة إشعاع أو امتصاص الموجات الكهرومغناطيسية بكفاءة عالية حيث يقوم بتحول الإشارات الكهربائية (الجهد والتيار) إلي إشارات أو موجات كهرومغناطيسية تنتشر في الفضاء المحيط بالهوائي بسرعة تساوي سرعة الضوء وذلك عند الإرسال ، أما عند الاستقبال فيقوم بالعملية العكسية حيث يحول الموجات الكهرومغناطيسية إلي إشارة كهربائية (جهد وتيار) .وتختلف هندسة وأبعاد الهوائي حسب التطبيق ومدى الترددات الذي يستخدم فيه .وللهوائي أنواع عديدة ويمكن تصنيفها حسب بنيتها الهندسية إلي هوائيات سلكية (wire antennas) وهوائيات الفتحة (aperture antennas) والهوائيات العاكسة (reflector antennas) والهوائيات الالكترونية الدقيقة (microstrip antennas) وهوائيات المصفوفة (array antennas) وهوائيات العدسة (lens antennas) وغيرها .

ولأهمية الهوائيات فإنها تستخدم في العديد من التطبيقات مثل أنظمة الاتصالات وعلوم الفلك والجيولوجيا الفيزيائية والعلوم الطبية والموجات الصوتية ونظم الرادار وغيرها . والهدف الأساسي من الهوائي هو إشعاع الطاقة الكهرومغناطيسية بكفاءة عالية ،بالإضافة ذلك يمكن تعريف الهوائي على انه جهاز يعمل مواعمة بين المصدر والوسط المحيط .

1-2 الهدف من البحث:

دراسة الخصائص الإشعاعية لهوائي الحلقة الدائري (Radiation From Circular Loop Antenna System) ذو توزيع تيار منتظم.

1-3 محتوى البحث:

الفصل الأول يحتوي على مقدمة تعريفية بالهوائيات عموماً، والهدف الأساسي منها وتطبيقاتها المختلفة.

الفصل الثاني يحتوي على بعض أنواع الهوائيات المختلفة وبارومتري هذه الهوائيات.

الفصل الثالث تم فيه تحليل الهوائي الحلقي الدائري وإيجاد المجالات الكهرومغناطيسية له في منطقة المجال البعيد.

الفصل الرابع تم حساب بعض البارومتري الهامة للهوائي الحلقي الدائري ذو التوزيع المنتظم للتيار ومن ثم تطبيق برنامج حزمة الماتلاب لحساب تلك البارومتري.

الفصل الخامس يحتوي على الخلاصة.

الفصل الثاني

أنواع الهوائيات وبارومترياتها

الفصل الثاني

أنواع الهوائيات وبارومترياتها

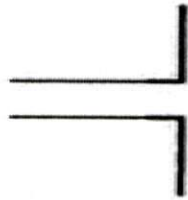
Types Of Antennas and their parameters

1-2 أنواع الهوائيات : types of antennas

لل هوائيات أنواع عديدة ومن أشهر أنواع الهوائيات وأكثرها استخداماً ما يلي :

(1) هوائي ثنائي القطب (Dipole Antenna):

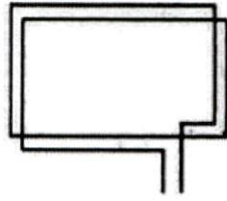
هو عبارة عن سلكيين من مادة معدنية مستقيمين يتم تغذية كل طرف فيهما عن طريق كابل مزدوج وهو من أكثر الأنواع انتشاراً ، ويجب أن يكون طول كل سلك مساوياً لربع الطول الموجي أي يجب أن يكون طول السلكيين مساوياً لنصف طول الموجه .



شكل (1-2) هوائي ثنائي القطب

(2) الهوائي الحلقي (Loop Antenna) :

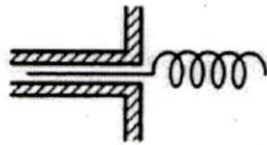
هو عبارة عن حلقة من السلك تستخدم في الإرسال والاستقبال وله مدي قصير نسبيا عن الهوائيات الأخرى ويتم وضعه داخل جهاز الإرسال أو الاستقبال .



شكل (2-2) الهوائي الحلقي

(3) الهوائي الحلزوني (Helical Antenna):

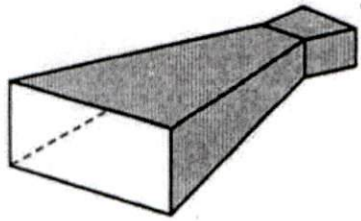
وهو عبارة عن سلك ملفوف بطريقه حلزونية ومن مميزات هذا الهوائي قدرته علي إرسال واستقبال مدي كبير من الترددات دون تغيير طوله مثل الدايبول ولذلك يستخدم بكثرة في الاتصالات ذات المدى الكبير من الترددات .



شكل (3-2) الهوائي الحلزوني

(4) هوائي البوق الهرمي : (Pyramidal Horn Antenna)

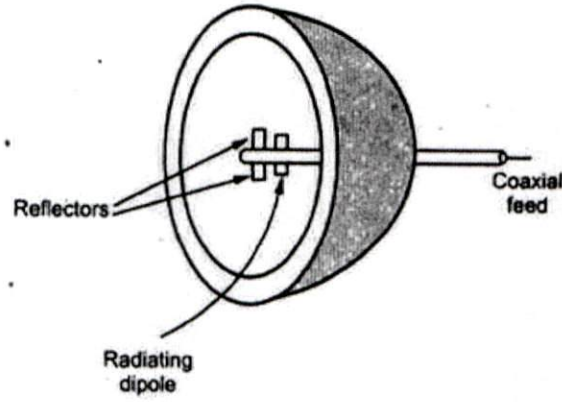
وهو عبارة عن جسم علي شكل بوق من ماده معدنية ويتم داخله وضع عنصر استقبال مثل المونوبول أو الدايبول حيث يقوم البوق بتركيز الإشارة وإعادة إرسالها إلي مدي اكبر ويستخدم في الترددات العالية وله عدة استخدامات وخصوصا في الاتصالات التي تتم فوق البحار .



شكل (2-4) هوائي البوق الهرمي

(5) هوائي طبق القطع المكافئ : (Parabolic Dish Reflector Antenna)

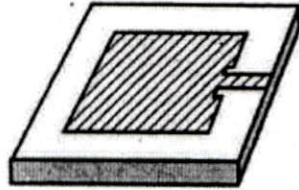
وهو عبارة هوائي يستخدم غالباً في اتصالات الأقمار الاصطناعية وفي الاتصالات ذات التردد العالي جدا وفي اتصالات الفضاء وهو عبارة عن طبق معدني يقوم بعكس الإشارة وتجميعها علي بؤرته حيث يوجد عنصر الإرسال أو الاستقبال ونشاهده كثيرا في أجهزة الاستقبال من الأقمار الاصطناعية حيث يتم وضعه اعلي أسطح المنازل .



شكل (2-5) هوائي طبق القطع المكافئ

(6) الهوائي الشريطي الدقيق : (Micro Strip Patch Antenna)

وهو عبارة عن شريط صغير من مادة موصله يتم وضعه علي اللوحات الالكترونية للأجهزة الالكترونية وذلك لصغر حجمه وخفة وزنه وهو يستخدم في أجهزة الموبايل الحديثة وفي الطائرات حيث يوضع علي جسم الطائرة وفي الأقمار الاصطناعية ومركبات الفضاء .



شكل (2-6) الهوائي الشريطي الدقيق

2-2 بارومترات الهوائي : antennas parameters

يتحدد أداء الهوائي ومقدرته على امتصاص أو إشعاع القدرة الكهرومغناطيسية من أو

إلى الفراغ بمجموعة من البارومترات الأساسية وهذه البارومترات تشمل الآتي :

- (1) نمط الإشعاع (Radiation Pattern):
- (2) الكسب ألاتجاهي (Directive Gain).
- (3) القدرة المشعة وشدة قدرة الإشعاع (Radiated Power And Radiation)
(Power intensity)
- (4) الاتجاهية (Directivity).
- (5) كسب الطاقة (Power Gain).
- (6) عرض الإشعاع (Beam width).
- (7) عرض النطاق (Bandwidth).
- (8) مساحة الفتحة الفعالة (Effective Aperture).
- (9) مقاومة الإشعاع (Radiation Resistance)

1-2-2 القدرة المشعة : Radiated Power

انتشار الموجات الكهرومغناطيسية عبر الف هو عبارة عن نقل للقدرة الكهرومغناطيسية من نقطة إلى أخرى.

كثافة القدرة المشعة : (Radiated Power Density)

هي متوسط كثافة القدرة المشعة عبر وحدة المساحة ويعبر عن رياضياً بمتجه بوينتج

(Pointing Vector) وتعطى بالعلاقة :

$$P_{ave} = \frac{1}{2} \text{Re}(\bar{E} \times \bar{H}^*) \quad (2 - 1)$$

ولإيجاد القدرة الكلية عبر مساحة سطحية مغلقة نأخذ التكامل السطحي لمتجه بوينتج خلال تلك المساحة ، وباستخدام المعادلة (2-1) يمكن التعبير عن القدرة المشعة بالمعادلة التالية:

$$P_r = \iint_S p_{ave} \cdot \bar{ds} = \frac{1}{2} \iint_S \text{Re}(\bar{E} \times \bar{H}^*) \cdot \bar{ds} \quad (2 - 2)$$

2-2-2 شدة قدرة الإشعاع : (Power Radiated Intensity)

شدة قدرة الإشعاع هي القدرة المشعة Δp_r من عنصر مشع خلال زاوية $\Delta \Omega$ وتعتبر شدة الإشعاع أحد مقاييس المجال البعيد للعناصر المشعة والهوائيات وهي دالة في الإحداثيات الفراغية (θ, ϕ) ويعبر عنها رياضياً بالمعادلة التالية :

$$U = \frac{\Delta p_r}{\Delta \Omega} = \frac{dp_r}{d\Omega} \quad (2 - 3)$$

من المعادلة (2-1) و(2-3) يمكن كتابة:

$$\begin{aligned} P_r &= \int U d\Omega = \iint U(\theta, \phi) \sin\theta d\theta d\phi = \iint p_{ave} \cdot \bar{ds} \\ &= \iint p_{ave} \cdot \bar{a}_r r^2 \sin\theta d\theta d\phi \end{aligned} \quad (2 - 4)$$

من المعادلة (2-4) يمكن استنتاج أن شدة الإشعاع هي :

$$U = p_{ave} \cdot r^2 \bar{a}_r \quad (2 - 5)$$

عادة ما يعبر عن شدة قدرة الإشعاع $U(\theta, \phi)$ بشدة الإشعاع المعيارية (Normalized Radiated Power Intensity) وذلك بقسمة شدة قدرة الإشعاع $U(\theta, \phi)$ على أكبر قيمة لها ، فإذا كانت أكبر قيمة تحدث في الاتجاه $U(\theta_m, \phi_m)$ فإن شدة قدرة الإشعاع المعيارية تعطى حسب العلاقة التالية :

$$U_{\text{norm}}(\theta, \phi) = \frac{U(\theta, \phi)}{U(\theta_m, \phi_m)} \quad (2 - 6)$$

3-2-2 نطاقات الإشعاع :

يمكن تمييز ثلاث نطاقات للإشعاع حول الهوائي حسب طبيعة القدرة في كل نطاق وهذه النطاقات هي :

1- منطقة المجال البعيد : (Far-Field Zone)

والقدرة في هذا النطاق تكون كلها مشعة وتعرف أيضاً بنطاق فرونهوفر (Fraunhofer).

2- منطقة المجال القريب المشع : (Radiating Near-Field Zone)

والقدرة في هذا النطاق جزء منها مشع والآخر متفاعل (Reactive) ولكن الجزء المشع هو الغالب وتعرف أيضاً بنطاق فريسنييل (Fresnel).

3- منطقة المجال القريب المتفاعل : (reactive near-field zone)

والقدرة المشعة أيضاً جزء منها مشع والأخر متفاعل (reactive) لكن الجزء المتفاعل

هو الغالب .

4-2-2 Radiation Pattern : النموذج الإشعاعي :

النموذج الإشعاعي هو عبارة عن رسم ثلاثي الأبعاد للإشعاع بالنسبة للمجال البعيد للهوائي في الفراغ بدلالة الإحداثيات الفراغية (r, θ, ϕ) ، ويمكن تعريفه على أنه التوزيع النسبي للقدرة المشعة أو المجال المشع (القدرة المعيارية والمجال المعياري) عبر الفراغ بدلالة الإحداثيات الفراغية (r, θ, ϕ) .

عادة يتم رسم النموذج الإشعاعي برسم مستوى الإشعاع مع احد المتغيرات θ (المتغير الزوالي) او ϕ (المتغير السمتي) أو كليهما خطياً (linear scale) أو بعد تحويل مستوى الإشعاع إلى مقياس لوغاريتمي بالديسبل (dB). وطرق الرسم هي :

1- الرسم الكارتيزي : (plot in rectangular coordinates)

وفيه يتم مستوى القدرة أو المجال مع θ عند مستوى سمتي ثابت (ϕ ثابت) أو رسم

مستوى القدرة أو المجال مع ϕ عند مستوى ثابت (θ ثابت) خطياً أو لوغاريتمياً .

2- الرسم البياني القطبي : (polar plot)

في هذه الحالة يتم تحويل الإحداثيات الكارتيزية إلى إحداثيات قطبية ثم يتم رسم مستوى القدرة أو المجال مع المتغير الزوالي أو السمتي خطياً أو لوغريثمياً .

3- الرسم البياني الثلاثي الأبعاد : (three dimensional plot)

وهو يعطي التوزيع الفراغي لمستوى القدرة المشعة بدلالة موضع نقطة المراقبة (observation point) r, θ, ϕ على بعد ثابت r من نقطة مصدر الإشعاع (source point). يمكن رسم النموذج الإشعاعي الثلاثي الأبعاد برسم القدرة خطياً أو لوغريثمياً مع المتغير الزوالي θ لعدة مستويات للمتغير السمتي ϕ أو برسم مستوى القدرة مع المتغير السمتي ϕ لعدة مستويات للمتغير الزوالي θ .

شكل النموذج الإشعاعي للهوائي يحدد بدرجة كبيرة أداء الهوائي وبعض خصائصه

الهامة . ونهتم عادة في النموذج الإشعاعي بمعرفة الأجزاء التالية :

1- الحزمة الرئيسية : (the main/major lobe)

وهي الحزمة التي تكون في اتجاه الإشعاع الأعظم ويجب أن تحتوي معظم القدرة المشعة فكلما كانت نسبة القدرة المتضمنة في هذه الحزمة كبيرة كلما كان أداء الهوائي أفضل .

2- الحزم الثانوية : (the minor/side lobes)

كل الحزم الأخرى غير الحزم الرئيسية تعرف بالحزم الثانوية . وكلما كانت نسبة القدرة المتضمنة في هذه الحزم من القدرة المشعة صغيرة كلما كان أداء الهوائي أفضل . ويمكن تقسيمها الى :

a- حزمة جانبية : (sides)

وهي الحزم الثانوية والتي تكون في نفس اتجاه الحزمة الرئيسية تقريباً وكلما قل مستوى الحزم الجانبية بالنسبة للحزمة الرئيسية كلما كان أداء الهوائي عموماً مستوى حزم جانبية - 20dB - فاقل (بالنسبة للرئيسية) يعتبر مقبولاً لكثير من التطبيقات .

b- حزم خلفية : (back lobes)

وهي الحزم الثانوية والتي تكون في اتجاه معاكس للحزمة الرئيسية.

c- نقاط التلاشي :

وهي النقاط التي تكون فيها مستوى القدرة اقل ما يمكن أو يساوي الصفر وهي الأجزاء بين الحزم .

d- عرض نطاق نصف القدرة : (half power beam width HPBW)

وهي عرض الحزمة بالزوايا الستينية (degrees) أو القطرية عند النقاط التي تقابل مستوى نصف القدرة (-3dB) في الحزمة الرئيسية للنموذج الإشعاعي .

يمكن القول أن النموذج الإشعاعي لأي هوائي يكون إما متماثل أو منتظم في جميع الاتجاهات ويعرف بالإشعاع المتجانس (موحد الخواص) (isotropic) مثل الإشعاع الناتج عن نقطة مشعة أو إشعاع اتجاهي (directional) وفيه يكون إشعاع أو استقبال القدرة في اتجاه محدد أعظم من الاتجاهات الأخرى . أو إشعاع زوالي (omni-directional) حيث الإشعاع ثابت في الاتجاه السمتي (لا يتغير مع θ) بينما يكون اتجاهي في المستوى الزوالي (تتغير شدة الإشعاع مع θ).

5-2-2 نماذج الإشعاع الأساسية : (principal patterns)

لتحليل أداء الهوائي نهتم بمستوى الإشعاع الذي يحتوي على شدة الإشعاع الأعظم . فالنموذج الإشعاعي لمستوى الإشعاع الذي يحتوي على شدة الإشعاع الأعظم يعرف بالنموذج الإشعاعي الأساسي . هنالك نموذجان إشعاعيان أساسيان هما مستوى E- الأساسي ومستوى H- الأساسي . بالنسبة لهوائي مستقطب خطياً فإن مستوى E- الأساسي هو مستوى الإشعاع الذي يحتوي متجه المجال الكهربائي واتجاه شدة الإشعاع الأعظم . إما مستوى H- الأساسي هو مستوى الإشعاع الذي يحتوي متجه المجال المغناطيسي واتجاه شدة الإشعاع الأعظم .

6-2-2 Directivity : الاتجاهية

الاتجاهية من بارومترات المجال البعيد للهوائي، وتعرف على إنها نسبة شدة القدرة المشعة في اتجاه ما على بعد ثابت من مصدر الإشعاع إلي شدة القدرة عند نفس البعد

بالتساوي في جميع الاتجاهات (شدة القدرة الناتجة عن مشع موحد الخواص isotropic radiator عادة ما يكون الاهتمام بأعظم اتجاهية يمكن الحصول عليها أي الاتجاهية العظمى وهي الاتجاهية في اتجاه الإشعاع الأعظم .

إذا كانت القدرة المشعة هي p_r وشدة القدرة على بعد r من المصدر المشع في الإتجاه (θ_0, ϕ_0) هي $U(\theta_0, \phi_0)$ وشدة القدرة المشعة لنفس القدرة من عنصر موحد الخواص على نفس البعد هي U_0 فإن الاتجاهية رياضياً عند الاتجاه (θ_0, ϕ_0) تعرف بالعلاقة :

$$D = \frac{U(\theta_0, \phi_0)}{U_0} \quad (2 - 7)$$

حيث U_0 هي شدة القدرة P_r المشعة بانتظام في جميع الاتجاهات أي انه على سطح كرة مقدارها r فإن شدة القدرة مقدار ثابت يساوي U_0 . من المعادلة (2-3) فإن شدة القدرة الناتجة عن مشع موحد الخواص يمكن كتابتها كالآتي :

$$U_0 = \frac{P_r}{4\pi} \quad (2 - 8)$$

باستخدام (2-3) و(2-4) فإن الاتجاهية عند اتجاه ما (θ_0, ϕ_0) لعنصر مشع (هوائي) شدة قدرة الإشعاع له عند ذلك الاتجاه $U(\theta_0, \phi_0)$ تعطى بالمعادلة:

$$D = 4\pi \frac{U(\theta_0, \phi_0)}{p_r} \quad (2 - 9)$$

وإذا كانت شدة قدرة الإشعاع الأعظم تحدث في الاتجاه (θ_m, ϕ_m) فإن الاتجاهية

العظمي D_m هي :

$$D_m = 4\pi \frac{U(\theta_m, \phi_m)}{p_r} \quad (2 - 10)$$

7-2-2 مقاومة الإشعاع : Radiation Resistance

يتم حساب مقاومة الإشعاع المعادلة الآتية :

$$R_{rad} = \frac{2P_{rad}}{I_0^2} \quad (2 - 11)$$

8-2-2 الكسب : the gain

الكسب هو الاتجاهية مع اخذ مقياس كفاءة الهوائي في الاعتبار . رياضياً يعطى الكسب

بالعلاقة:

$$G = \zeta D \quad (2 - 12)$$

حيث ζ هي كفاءة الهوائي أي نسبة القدرة المشعة بواسطة الهوائي P_r الى القدرة الداخلة P_m

ويعطى بالعلاقة الآتية:

$$\zeta = \frac{P_r}{P_m} \quad (2 - 13)$$

عملياً الكسب يعطى مدلول أفضل وأكثر دقة لوصف أداء الهوائي مقارنة بالاتجاهية لأنه يأخذ

الفقودات في الاعتبار . وإذا كانت الفقودات صغيرة ويمكن تجاهلها فإن $G \approx D$.

الفصل الثالث

الهوائي الحلقي الدائري

الفصل الثالث

الهوائي الحلقي الدائري

Circular Loop antenna

1-3 مقدمة:

الهوائي الحلقي هو عبارة عن هوائي في شكل حلقة وهذا الهوائي يأخذ أشكال هندسية عديدة مثل المربع والمثلث والبيضاوي والدائري وغيرها .

أفضل أنواع الهوائي الحلقي هو الهوائي الدائري لان له كفاءة إشعاع عالية ويمكن تقسيم الهوائي الحلقي إلي نوعين هما هوائي حلقي قصير (small loop antenna) والذي يكون طوله الكلي أو محيطه يساوي عشر الطول الموجي لتردد التشغيل أي $(c = \lambda/10)$ وهوائي حلقي طويل (large loop antenna) والذي طوله الكلي أو محيطه يساوي الطول الموجي لتردد التشغيل $(c = \lambda)$.

2-3 تحليل الهوائي الحلقي الدائري : (Analysis of circular loop antenna)

لسهولة التحليل نفترض أن الهوائي من النوع القصير أي (small loop antenna) ونفترض أن التيار المار في هذا الحلقة ذو توزيع منتظم كما هو موضح في الشكل (1-4) أي أن :

$$I_{\theta} = I_0 \quad (1 - 3)$$

3-3 المجالات المشعة : (Radiated Fields)

لإيجاد المجالات المشعة بواسطة الهوائي الحلقي نتبع الآتي :

1. اختيار نظام الإحداثيات المناسب ومن ثم إيجاد الجهد المغناطيسي المتجه وذلك باستخدام

المعادلة التالية:

$$A(x, y, z) = \frac{\mu}{4\pi} \int_C I_e(x', y', z') \frac{e^{-jkR}}{R} dl' \quad (2 - 3)$$

حيث :

$R =$ بعد أي نقطة على الحلقة من نقطة المراقبة

$dl' =$ عنصر تفاضلي صغير على الحلقة كما هو موضح في الشكل (4-1) .

2. حساب مركبات المجال المغناطيسي باستخدام المعادلة الآتية :

$$H_A = \frac{1}{\mu} \nabla \times A \quad (3 - 3)$$

3. حساب مركبات المجال الكهربائي وذلك باستخدام المعادلة الآتية :

$$E_A = \frac{1}{J\omega\epsilon} \nabla \times H_A \quad (4 - 3)$$

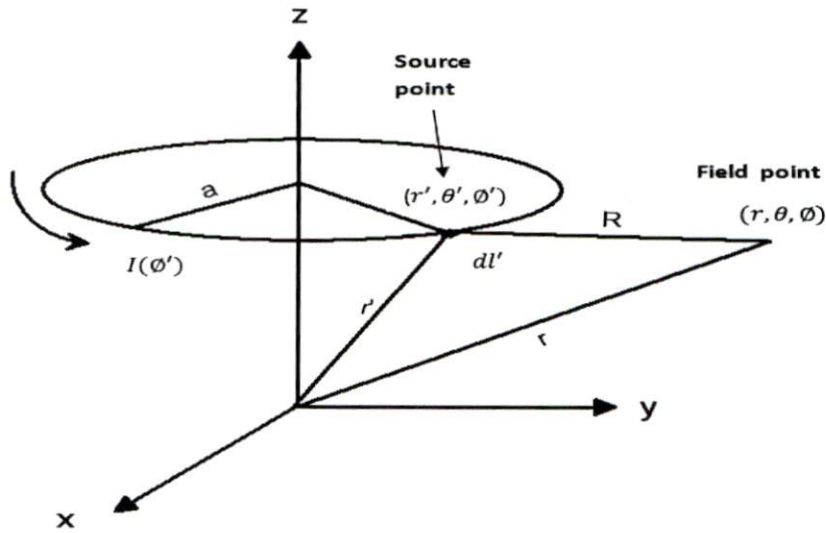
بصورة عامة يمكن التعبير عن توزيع التيار المار في الحلقة $I_e(x', y', z')$ في الفضاء كما

يلي :

$$I_e(x', y', z') = \hat{a}_x I_x(x', y', z') + \hat{a}_y I_y(x', y', z') + \hat{a}_z I_z(x', y', z') \quad (5-3)$$

من علاقة الإحداثيات الديكارتية والكروية والتيارات I_x, I_y, I_z تعطى بالعلاقة .

$$\begin{bmatrix} I_x \\ I_y \\ I_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin\theta' \cos\phi' & \cos\theta' \cos\phi' & -\sin\phi' \\ \sin\theta' \sin\phi' & \cos\theta' \sin\phi' & \cos\phi' \\ \cos\theta' & -\sin\theta' & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_r \\ I_\theta \\ I_\phi \end{bmatrix} \quad (6-3)$$



شكل (1-3) يوضح هوائي حلقي يقع مركزه على بعد r' من نقطة الأصل

وكذلك متجهات الوحدة $\hat{a}_x, \hat{a}_y, \hat{a}_z$ يمكن التعبير عنها بدلالة متجهات الوحدة في الإحداثيات الكروية كالآتي :

$$\begin{aligned} \hat{a}_x &= \hat{a}_r \sin\theta \cos\phi + \hat{a}_\theta \cos\theta \cos\phi - \hat{a}_\phi \sin\phi \\ \hat{a}_y &= \hat{a}_r \sin\theta \sin\phi + \hat{a}_\theta \cos\theta \sin\phi + \hat{a}_\phi \cos\phi \\ \hat{a}_z &= \hat{a}_r \cos\theta - \hat{a}_\theta \sin\theta \end{aligned} \quad (7-3)$$

$$R = \sqrt{r^2 + r'^2 - 2rr'[\sin\theta \sin\theta' \cos(\phi - \phi') + \cos\theta \cos\theta']} \quad (12-3)$$

: الأتي على حسب (9-3) المعادلة في (11-3) و (10-3) المتعلقين المتغيرين

(11-3)

$$\begin{aligned} x'^2 + y'^2 + z'^2 &= r'^2 \\ z' &= r' \cos\theta' \\ y' &= r' \sin\theta' \sin\phi' \\ x' &= r' \sin\theta' \cos\phi' \end{aligned}$$

وأيضا :

(10-3)

$$\begin{aligned} x^2 + y^2 + z^2 &= r^2 \\ z &= r \cos\theta \\ y &= r \sin\theta \sin\phi \\ x &= r \sin\theta \cos\phi \end{aligned}$$

: الأتي على حسب المتغيرات المتكافئة والمتكافئة من

(9-3)

$$R = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2}$$

التي :

من المتكافئة المتكافئة R هي بعد أي نقطة على المحاور الثلاثة ويمكن التمييز على حسب

(8-3)

$$l^e = a_r I_0 \sin\theta \sin(\phi - \phi') + a_\theta I_0 \cos\theta \sin(\phi - \phi') + a_\phi I_0 \cos\theta \cos(\phi - \phi')$$

يمكن كتابته .

0 الأخاه الأتي على حسب (5-3) في (7-3) و (6-3) المعادلة المتكافئة المتكافئة

من الشكل (1-3) نجد طول العنصر التفاضلي يعطي بالعلاقة :

$$dl' = a d\phi' \quad (13 - 3)$$

بما أن التيار له مركبة فقط في اتجاه ϕ بالتالي من المعادلة (4-2) و (4-13) و (4-8) يمكن كتابة الجهد المتجه في الإحداثيات الكروية كما يلي :

$$A_r = \frac{\mu a \sin\theta}{4\pi} \int_0^{2\pi} I(\phi') \sin(\phi - \phi') \frac{e^{-j\beta R}}{R} d\phi' \quad (14 - 3)$$

$$A_\theta = \frac{\mu a \cos\theta}{4\pi} \int_0^{2\pi} I(\phi') \sin(\phi - \phi') \frac{e^{-j\beta R}}{R} d\phi' \quad (15 - 3)$$

$$A_\phi = \frac{\mu a}{4\pi} \int_0^{2\pi} I(\phi') \cos(\phi - \phi') \frac{e^{-j\beta R}}{R} d\phi' \quad (16 - 3)$$

باستخدام دالة بسل (*Bessel function*) يمكن التعبير عن الحد $\frac{e^{-j\beta R}}{R}$ كالآتي :

$$\frac{e^{-j\beta R}}{R} = -j\beta h_0^{(2)}(\beta R) \quad (17 - 3)$$

حيث:

$h_0^{(2)}(\beta R) =$ دالة بسل الكروية (SBF) من النوع الثالث من الرتبة الصفرية ويمكن التعبير

عنها كما يلي :

$$h_0^{(2)}(\beta R) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} G_n e^{jn(\phi-\phi')} \quad (18 - 3)$$

حيث :

$$G_{\pm n} = \sum_{m=n}^{\infty} \alpha_{nm} p_m^n(\cos\theta) p_m^n(\cos\theta') \begin{cases} h_m^{(2)}(\beta r) J_m(\beta a), r > a \\ h_m^{(2)}(\beta a) J_m(\beta r), r < a \end{cases} \quad (19-3)$$

والمعامل α_{nm} يعطي بالعلاقة :

$$\alpha_{nm} = (2m + 1) \frac{(m-n)!}{(m+n)!} \quad (20 - 3)$$

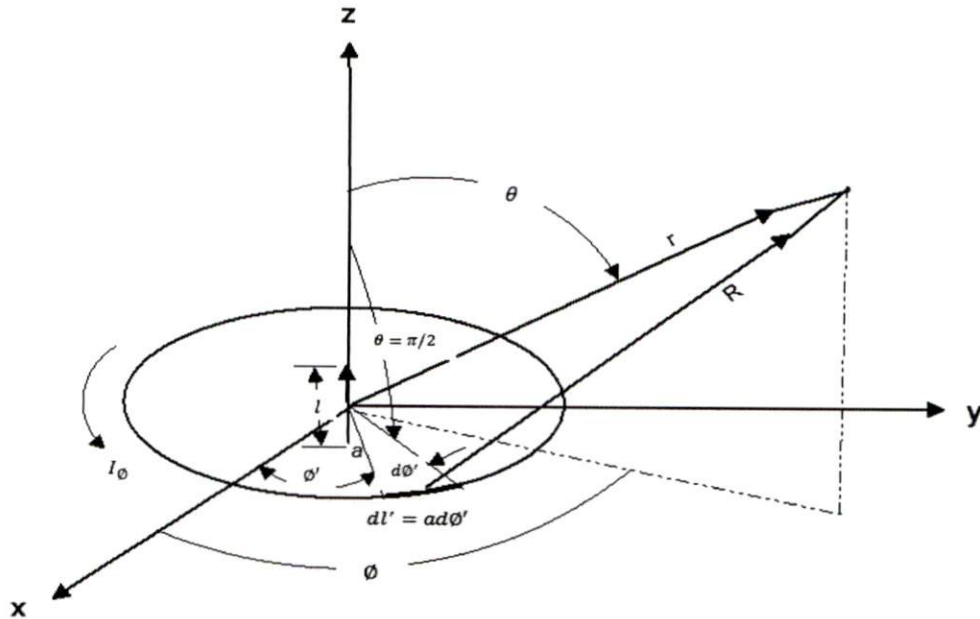
حيث :

$j_m(\beta a)$ = دالة بسل من النوع الاول من الرتبة m

$h_m^{(2)}(\beta r)$ = دالة بسل من النوع الثالث من الرتبة m

$p_m^n(\cos\theta)$ = كثيرة حدود لاجنדר من الرتبة m

بافتراض أن مركز الحلقة منطبق على نقطة الأصل $(\theta' = \frac{\pi}{2}, r' = a)$ كما في الشكل (2-3) أدناه :



الشكل (2-3) يوضح هوائي حلقي موضوع في المستوى $x - y$ عند $z = 0$

بالتالي المعادلة (19-3) يمكن كتابتها كما يلي :

$$G_n = \sum_{m=n}^{\infty} \alpha_{nm} Q_m P_{nm} \quad (21 - 3)$$

حيث :

$$Q_m = \begin{cases} h_m^{(2)}(\beta r) J_m(\beta a), r > a \\ h_m^{(2)}(\beta a) J_m(\beta r), r < a \end{cases} \quad (22 - 3)$$

$$P_{nm} = p_m^n(\cos\theta) p_m^n(0) \quad (23 - 3)$$

بتعويض المعادلة (1-3) و (17-3) و (18-3) في (14-3) يمكن كتابة :

$$\begin{aligned} A_r &= -j\beta \frac{\mu \sin\theta I_0}{4\pi} \int_0^{2\pi} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} G_n e^{jn(\phi-\phi')} \times \sin(\phi - \phi') d\phi' \quad (24 - 3) \\ &= -j\beta \frac{\mu \sin\theta I_0}{4\pi} \left[\left\{ \int_0^{2\pi} \sum_{m=-\infty}^1 G_n e^{jn(\phi-\phi')} \times \sin(\phi - \phi') d\phi' \right\} + \right. \\ &\quad \left. \left\{ \int_0^{2\pi} G_0 \sin(\phi - \phi') d\phi' \right\} + \left\{ \int_0^{2\pi} \sum_{m=-\infty}^1 G_n e^{jn(\phi-\phi')} \times \sin(\phi - \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \phi') d\phi' \right\} \right] \quad (25 - 3) \end{aligned}$$

من المعادلة (25-3) كل الحدود المتقاطعة سوف تتلاشى وبالتالي نحصل على :

$$A_r = -j\beta \frac{\mu \sin\theta I_0}{4\pi} \int_0^{2\pi} G_0 \sin(\phi - \phi') d\phi' = 0 \quad (26 - 3)$$

وبالمثل بتعويض المعادلات (1-3) و(17-3) و (18-3) في (15-3) و(16-3) يمكن كتابة :

$$A_{\theta} = 0 \quad (27 - 3)$$

$$A_{\phi} = -j\beta \frac{\mu a I_0}{2} G_1 \quad (28 - 3)$$

4-4 إيجاد مركبات المجال المغناطيسي : Magnetic Fields Components

باستخدام المعادلة (4-3) يمكن إيجاد مركبات المجال المغناطيسي $H_r, H_{\theta}, H_{\phi}$ من العلاقات الآتية :

$$H_r = \frac{1}{\mu r \sin \theta} \left[\frac{\partial(\sin \theta A_{\phi})}{\partial \theta} - \frac{\partial A_{\theta}}{\partial \phi} \right] \quad (29 - 3)$$

$$H_{\theta} = \frac{1}{\mu r} \left[\frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial A_r}{\partial \phi} - \frac{\partial(r A_{\phi})}{\partial r} \right] \quad (30 - 3)$$

$$H_{\phi} = \frac{1}{\mu r} \left[\frac{\partial(r A_{\theta})}{\partial r} - \frac{\partial A_r}{\partial \theta} \right] \quad (31 - 3)$$

بتعويض المعادلات (26-3) و(27-3) و (28-3) في (29-3) و(30-3) و(31-3) نحصل على :

$$H_r = -\frac{j\beta a I_0}{2r} g_1^{\theta} \quad (32 - 3)$$

$$H_{\theta} = -\frac{j\beta a I_0}{2r} g_1^r \quad (33 - 3)$$

$$H_{\phi} = 0 \quad (34 - 3)$$

حيث :

$$g_1^r = r \frac{\partial G_1}{\partial r} + G_1 \quad (35 - 3)$$

$$g_1^\theta = \frac{\partial G_1}{\partial \theta} + G_1 \cot \theta \quad (36 - 3)$$

من المعادلة (21-3) و (23-3) بوضع $n = 1$ نحصل على :

$$G_1 = \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_{1m} Q_m P_{1m} \quad (37 - 3)$$

$$P_{1m} = p_m^1(\cos \theta) p_m^1(0) \quad (38 - 3)$$

$$\frac{\partial G_1}{\partial \theta} = \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_{1m} Q_m \frac{\partial p_{1m}}{\partial \theta} \quad (39 - 3)$$

$$\frac{\partial G_1}{\partial r} = \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_{1m} p_{1m} \frac{\partial Q_m}{\partial r} \quad (40 - 3)$$

بتعويض المعادلات (37-3) و (40-3) في (35-3) نحصل على :

$$\begin{aligned} g_1^r &= r \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_{1m} p_{1m} \frac{\partial Q_m}{\partial r} + \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_{1m} Q_m P_{1m} \\ &= \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_{1m} p_{1m} \left(r \frac{\partial Q_m}{\partial r} + Q_m \right) \end{aligned} \quad (41 - 3)$$

بافتراض أن :

$$\zeta_m^r = r \frac{\partial Q_m}{\partial r} + Q_m \quad (42 - 3)$$

بالتالي يمكن كتابة المعادلة (41-3) كما يلي :

$$g_1^r = \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_{1m} p_{1m} \zeta_m^r \quad (43 - 3)$$

وكذلك بتعويض المعادلات (4-37) و(4-39) في (4-36) نحصل على :

$$\begin{aligned} g_1^\theta &= \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_{1m} Q_m \frac{\partial p_{1m}}{\partial \theta} + \cot \theta \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_{1m} Q_m P_{1m} \\ &= \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_{1m} Q_m \left(\frac{\partial p_{1m}}{\partial \theta} + \cot \theta P_{1m} \right) \end{aligned} \quad (44 - 3)$$

بافتراض أن :

$$\zeta_{1m}^\theta = \frac{\partial p_{1m}}{\partial \theta} + \cot \theta P_{1m} \quad (45 - 3)$$

بالتالي يمكن كتابة المعادلة (44-3) كما يلي :

$$g_1^\theta = \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_{1m} Q_m \zeta_{1m}^\theta \quad (46 - 3)$$

بتعويض المعادلات (4-43) و(4-46) في (4-32) و(4-33) نحصل على :

$$H_r = -\frac{J\beta a I_0}{2r} \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_{1m} Q_m \zeta_{1m}^\theta \quad (47 - 3)$$

$$H_\theta = -\frac{J\beta a I_0}{2r} \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_{1m} p_{1m} \zeta_m^r \quad (48 - 3)$$

من المعادلة (22-3) في منطقة المجال البعيد $r > a$ فإن :

$$Q_m = h_m^{(2)}(\beta r) J_m(\beta a), r > a \quad (49 - 3)$$

$$\therefore \frac{\partial Q_m}{\partial r} = J_m(\beta a) \frac{\partial h_m^{(2)}(\beta r)}{\partial r} \quad (50 - 3)$$

بتعويض المعادلات (49-3) و(50-3) في (42-3) نحصل على :

$$\zeta_m^r = h_m^{(2)}(\beta r) J_m(\beta a) + r J_m(\beta a) \frac{\partial h_m^{(2)}(\beta r)}{\partial r}$$

$$= j_m(\beta a) \left\{ h_m^{(2)}(\beta r) + r \frac{\partial h_m^{(2)}(\beta r)}{\partial r} \right\} \quad (51 - 3)$$

من علاقات دوال بيسل :

$$h_m^{(2)}(\beta r) = J_m(\beta r) - iY_m(\beta r) \quad (52 - 3)$$

$$\therefore \frac{\partial h_m^{(2)}(\beta r)}{\partial r} = \frac{\partial J_m(\beta r)}{\partial r} - i \frac{\partial Y_m(\beta r)}{\partial r} \quad (53 - 3)$$

وكذلك من علاقات بيسل التكرارية :

$$\frac{\partial J_m(\beta r)}{\partial(\beta r)} = J_{m-1}(\beta r) - \frac{m+1}{\beta r} J_m(\beta r)$$

$$\therefore \frac{\partial J_m(\beta r)}{\partial r} = \beta J_{m-1}(\beta r) - \frac{m+1}{r} J_m(\beta r) \quad (54 - 3)$$

$$\frac{\partial Y_m(\beta r)}{\partial(\beta r)} = Y_{m-1}(\beta r) - \frac{m+1}{\beta r} Y_m(\beta r)$$

$$\therefore \frac{\partial Y_m(\beta r)}{\partial r} = \beta Y_{m-1}(\beta r) - \frac{m+1}{r} Y_m(\beta r) \quad (55 - 3)$$

بتعويض (54-3) و(55-3) في (53-3) نحصل على :

$$\frac{\partial h_m^{(2)}(\beta r)}{\partial r} = -\frac{m}{r} h_m^{(2)}(\beta r) + \beta h_{m-1}^{(2)}(\beta r) - \frac{1}{r} h_m^{(2)}(\beta r) \quad (56 - 3)$$

وبتعويض (56-3) في (51-3) يمكن كتابة :

$$\zeta_m^r = J_m(\beta a) \left\{ \beta r h_{m-1}^{(2)}(\beta r) - m h_m^{(2)}(\beta r) \right\} \quad (57 - 3)$$

بتعويض المعادلة (20-3) و(23-3) و(57-3) في (48-3) نحصل على :

$$H_\theta = -\frac{J\beta a I_0}{2r} \sum_{m=1}^{\infty} (2m+1) \frac{(m-n)!}{(m+n)!} \times p_m^1(\cos\theta) p_m^1(0) \times J_m(\beta a) \left\{ \beta r h_{m-1}^{(2)}(\beta r) - m h_m^{(2)}(\beta r) \right\} \quad (58-3)$$

من علاقات دوال لاجندر :

$$P_m^n(x) = (-1)^n (1-x^2)^{\frac{n}{2}} \frac{d^n}{dx^n} P_m(x) \quad (59-3)$$

$$P_m(x) = \frac{1}{2^m m!} \frac{d^m}{dx^m} [(x^2-1)^m] \quad (60-3)$$

$$p_m^1(0) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cos\left(\frac{1}{2}\pi(m+1)\right) \times \Gamma\left(\frac{1}{2}m+1\right) / \Gamma\left(\frac{1}{2}m+\frac{1}{2}\right) \quad (61-3)$$

وأيضاً من العلاقات التكرارية لدوال بسل :

$$h_n^2 = j(-1)^n x^n \left[\frac{1}{x} \frac{d}{dx} \right]^n \frac{1}{x} e^{-jx} \quad (62-3)$$

وكذلك لقيمة صغير للمقدار βa فإن $J_m(\beta a)$ تعطي بالعلاقة الآتية :

$$J_m(\beta a) \approx 2^m \frac{m!}{(2m+1)!} (\beta a)^m \quad (63-3)$$

بوضع $n=1, m=1, x=\cos\theta$ في المعادلات (60-3)-(61-3) نحصل على :

$$p_1^1(\cos\theta) = -\sin\theta, p_1 = \cos\theta, p_1^1(0) = -1 \quad (64-3)$$

وبوضع $n=1, m=1, x=\beta r$ في المعادلات (20-3) و (62-3) و (63-3) نحصل

على :

$$h_0^{(2)}(\beta r) = \frac{j}{\beta r} e^{-j\beta r} \quad (65-3)$$

$$h_1^{(2)}(\beta r) = -\frac{1}{\beta r} e^{-j\beta r} + \frac{j}{(\beta r)^2} e^{-j\beta r} \quad (66-3)$$

$$\alpha_{11} = \frac{3}{2} \quad (67-3)$$

$$J_1(\beta a) = \frac{\beta a}{3} \quad (68-3)$$

بتعويض المعادلات (64-3)-(68-3) في (58-3) نحصل على :

$$H_\theta = -\frac{(\beta a)^2 I_0 \sin\theta}{4r} \left[1 + \frac{1}{j\beta r} - \frac{j}{(\beta r)^2} \right] e^{-j\beta r} \quad (69-3)$$

بوضع $m = 1$ في المعادلة (4-48) يمكن كتابة:

$$H_r = -\frac{j\beta a I_0}{2r} \alpha_{11} Q_1 \zeta_{11}^\theta \quad (70-3)$$

$$\zeta_{11}^\theta = \frac{\partial p_{11}}{\partial \theta} + \cot\theta P_{11} \quad (71-3)$$

$$P_{11} = p_1^1(\cos\theta) p_1^1(0) = -\sin\theta \times -1 = \sin\theta \quad (72-3)$$

$$\zeta_{11}^\theta = \frac{\partial p_{11}}{\partial \theta} + \cot\theta P_{11} = \frac{\partial}{\partial \theta} (\sin\theta) + \frac{\cos\theta}{\sin\theta} \sin\theta$$

$$\therefore \zeta_{11}^\theta = 2\cos\theta \quad (73-3)$$

$$Q_1 = h_1^{(2)}(\beta r) J_1(\beta a) = \frac{\beta a}{3} \times \left[-\frac{1}{\beta r} e^{-j\beta r} + \frac{j}{(\beta r)^2} e^{-j\beta r} \right] \quad (74-3)$$

بتعويض المعادلات (67-3) و (73-3) و (74-3) في المعادلة (70-3) نحصل على :

$$H_r = \frac{j\beta a^2 I_0 \cos\theta}{2r^2} \left[1 + \frac{1}{j\beta r} \right] e^{-j\beta r} \quad (75-3)$$

الآن يمكن التعبير عن المعادلات (34-3) و (69-3) و (75-3) في منطقة المجال البعيد

$r \gg a$ في الصورة الآتية :

$$H_\theta = -\frac{(\beta a)^2 I_0 e^{-j\beta r}}{4r} \sin\theta \quad (76-3)$$

$$H_r = 0 \quad (77 - 3)$$

$$H_\phi = 0 \quad (78 - 3)$$

5-4 إيجاد مركبات المجال الكهربائي : Electric Fields Components

لإيجاد مركبات المجال الكهربائي E_r, E_θ, E_ϕ يتم تعويض (32-3) و (33-3) و (34-3) في المعادلة (3-3) لنحصل على المعادلات التالية .

$$E_r = 0 \quad (79 - 3)$$

$$E_\theta = 0 \quad (80 - 3)$$

$$E_\phi = \frac{\eta a I_0}{2r} \left[\frac{\partial g_1^r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial g_1^\theta}{\partial \theta} \right] \quad (81 - 3)$$

بوضع $m = 1$ في المعادلات (43-3) و (46-3) نحصل على :

$$g_1^r = \alpha_{11} p_{11} \zeta_1^r = j \frac{\beta a}{2} \sin \theta \left[1 + \frac{1}{j\beta r} - \frac{j}{(\beta r)^2} \right] e^{-j\beta r}$$

$$\therefore \frac{\partial g_1^r}{\partial r} = \frac{\beta^2 a \sin \theta}{2} \left[1 + \frac{1}{j\beta r} - \frac{2}{(\beta r)^2} + \frac{2j}{(\beta r)^3} \right] e^{-j\beta r} \quad (82 - 3)$$

$$g_1^\theta = \alpha_{11} Q_1 \zeta_1^\theta = \beta a \cos \theta \left[-\frac{1}{\beta r} + \frac{j}{(\beta r)^2} \right] e^{-j\beta r}$$

$$\frac{\partial g_1^\theta}{\partial \theta} = \frac{\beta^2 a \sin \theta}{2} \left[\frac{2}{\beta^2 r} - \frac{2j}{\beta^3 r^2} \right] e^{-j\beta r} \quad (83 - 3)$$

بتعويض المعادلات (4-82) و (4-83) في (4-81) نحصل على :

$$E_\phi = \frac{\eta(\beta a)^2 I_0 \sin \theta}{4r} \left[1 + \frac{1}{j\beta r} \right] e^{-j\beta r} \quad (84 - 3)$$

الآن يمكن التعبير عن المعادلات (79-3) و (80-3) و (84-3) في منطقة المجال البعيد
في الصورة الآتية : $r \gg a$

$$E_r = 0 \quad (85 - 3)$$

$$E_\theta = 0 \quad (86 - 3)$$

$$E_\phi = \frac{\eta(\beta a)^2 I_0}{4} \frac{e^{-j\beta r}}{r} \sin\theta \quad (87 - 3)$$

الفصل الرابع

حساب بارومتري الهوائي

الفصل الرابع

حساب بارومتريات الهوائي

1-4 القدرة المشعة radiated power :

من المعادلة (1-2) كثافة القدرة المشعة تعطى بالعلاقة :

$$P_{ave} = \frac{1}{2} \text{Re}(\bar{E} \times \bar{H}^*) \quad (1 - 4)$$

حيث :

$$E = \hat{a}_r E_r + \hat{a}_\theta E_\theta + \hat{a}_\phi E_\phi \quad (2 - 4)$$

$$H = \hat{a}_r H_r + \hat{a}_\theta H_\theta + \hat{a}_\phi H_\phi \quad (3 - 4)$$

لكن $E_r = E_\theta = H_r = H_\phi = 0$ بالتالي يمكن كتابة المعادلة (2-4) و (3) كما يلي :

$$E = \hat{a}_\phi E_\phi \quad (4 - 4)$$

$$H = \hat{a}_\theta H_\theta \quad (5 - 4)$$

بتعويض (4-4) و (5-4) في (1-4) يمكن كتابة :

$$P_{ave} = \frac{1}{2} \text{Re}[(\hat{a}_\phi E_\phi) \times (\hat{a}_\theta H_\theta^*)] \quad (6 - 4)$$

بتعويض المعادلة (3-76) و (3-87) في (4-6) نحصل على :

$$P_{ave} = \hat{a}_r \frac{\eta(\beta a)^4}{32} |I_0|^2 \frac{\sin^2 \theta}{r^2} \quad (7 - 4)$$

لايجاد القدرة المشعة نستخدم العلاقة (2-2) أي :

$$P_r = \iint_s P_{ave} \cdot \bar{ds} = \frac{1}{2} \iint_s \text{Re}(\bar{E} \times \bar{H}^*) \cdot \bar{ds} \quad (8-4)$$

حيث :

$$ds = r^2 \sin\theta \, d\theta \, d\phi \, \hat{a}_r \quad (9-4)$$

بتعويض (7-4) و (8-4) في (9-4) نحصل على :

$$\begin{aligned} P_r &= \frac{\eta(\beta a)^4}{32} |I_0|^2 \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \sin^3 \theta \, d\theta \, d\phi \\ &= \eta \left(\frac{\pi}{12} \right) (\beta a)^4 |I_0|^2 \end{aligned} \quad (10-4)$$

2-4 شدة قدرة الإشعاع : Power Radiated Intensity

من المعادلة (5-2) شدة قدرة الإشعاع تعطى بالعلاقة

$$U = P_{ave} \cdot \bar{a}_r r^2 \quad (11-4)$$

بتعويض (7-4) في (11-4) نحصل على :

$$U = \frac{\eta(\beta a)^4}{32} |I_0|^2 \frac{\sin^2 \theta}{r^2} \bar{a}_r \cdot \bar{a}_r r^2 = \frac{\eta(\beta a)^4}{32} |I_0|^2 \sin^2 \theta \quad (12-4)$$

3-4 الاتجاهية : directivity

لايجاد الاتجاهية نستخدم المعادلة (9-2) أي :

$$D = 4\pi \frac{U(\theta_0, \phi_0)}{p_r} \quad (13 - 4)$$

بتعويض (10-4) و (12-4) في (13-4) نحصل على .

$$D = \frac{3}{2} \sin^2 \theta \quad (14 - 4)$$

ولإيجاد أعظم اتجاهية نضع $\theta = \frac{\pi}{2}$ في المعادلة (14-4) و بالتالي نحصل على:

$$D_m = \frac{3}{2} = 1.5 \quad (15 - 4)$$

4-4 مقاومة الإشعاع : Radiation Resistance

لإيجاد مقاومة الإشعاع نستخدم المعادلة (11-2) أي :

$$R_{rad} = \frac{2P_{rad}}{I_0^2} \quad (16 - 4)$$

وبتعويض (10-4) في (16-4) نحصل على .

$$R_{rad} \cong 31,171 \left(\frac{s^4}{\lambda^4} \right) \quad (17 - 4)$$

حيث :

$$s = \pi a^2, \lambda = \frac{2\pi}{\beta} \quad (18 - 4)$$

وإذا كان الهوائي مكون من N حلقة يمكن التعبير عن مقاومة الإشعاع بالعلاقة الآتية:

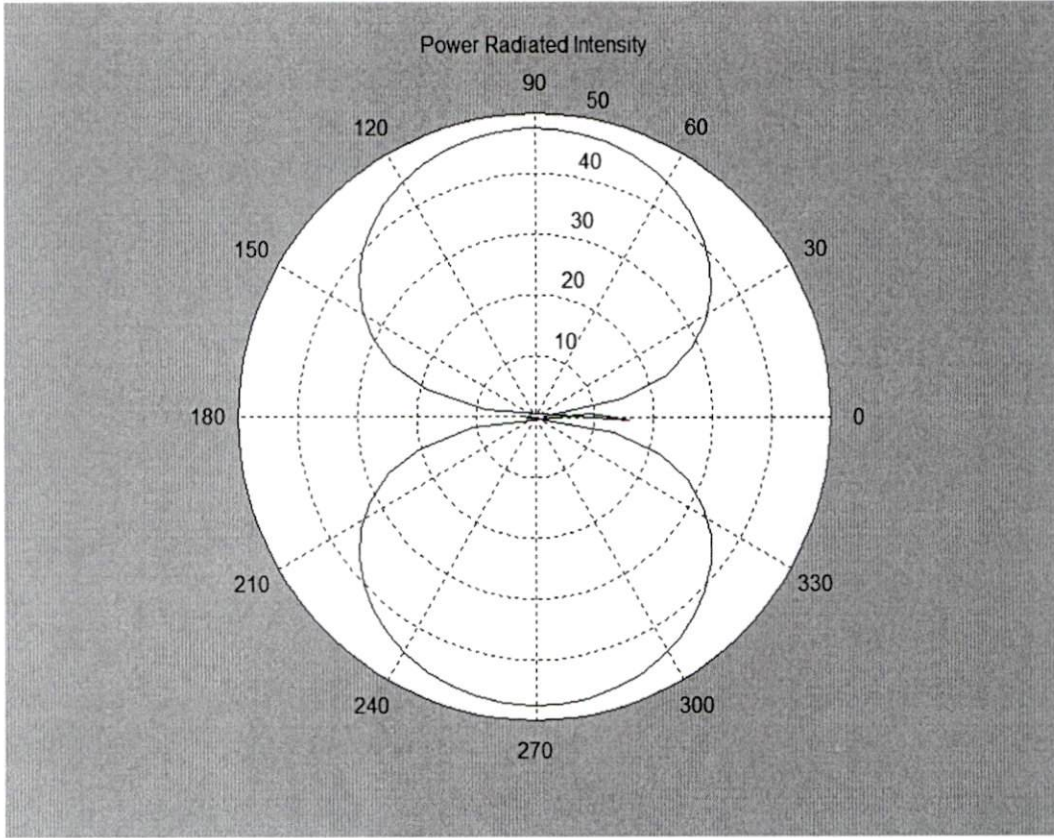
$$R_{rad} \cong 31,171 N^2 \left(\frac{s^4}{\lambda^4} \right) \quad (19 - 4)$$

5-4 استخدام الماتلاب لحساب بارومترات الهوائي:

1-5-4 شدة قدرة الإشعاع : Power Radiated Intensity

من المعادلة (12-4) يمكن كتابة الكود الخاص بشدة الإشعاع على النحو :

```
%Matlab code for Power Radiated Intensity in
equation (12-4)
F=500*10^6 ;%F = frequency in Hz
Y=3*10^8/F % Y= the waveLength
B=2*3.14/Y ; % B= the phase constant
a=0.5*Y;%a= the raduis of the loop
I=1;%I=the current
k=0:0.1:2*pi; % K= angle Theta
G=(sin(k)).^2;
r=4;
U=(B*a)^4*I*G.*120*3.14/32;
D=10*log(U) % in dB
polar(k,D,'k')
title('Power Radiated Intensity');
```

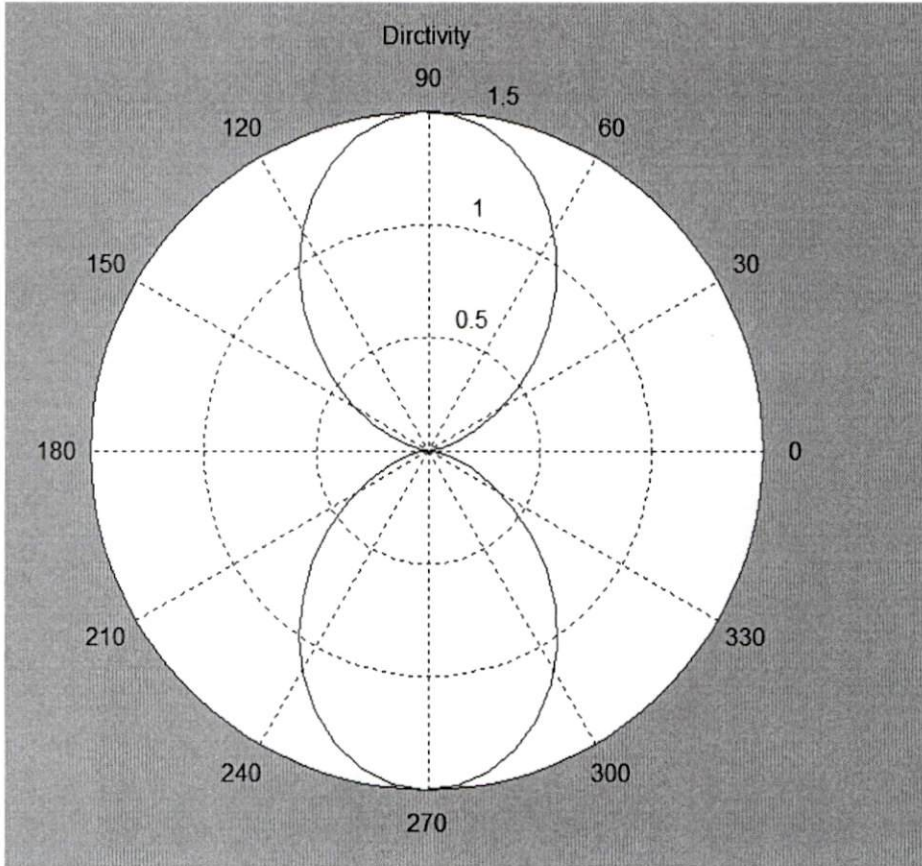


شكل (1-4) يوضح النموذج الإشعاعي لشدة قدرة الإشعاع

directivity : 2-5-4 الاتجاهية

من المعادلة (14-4) يمكن كتابة الكود الخاص بالاتجاهية على النحو :

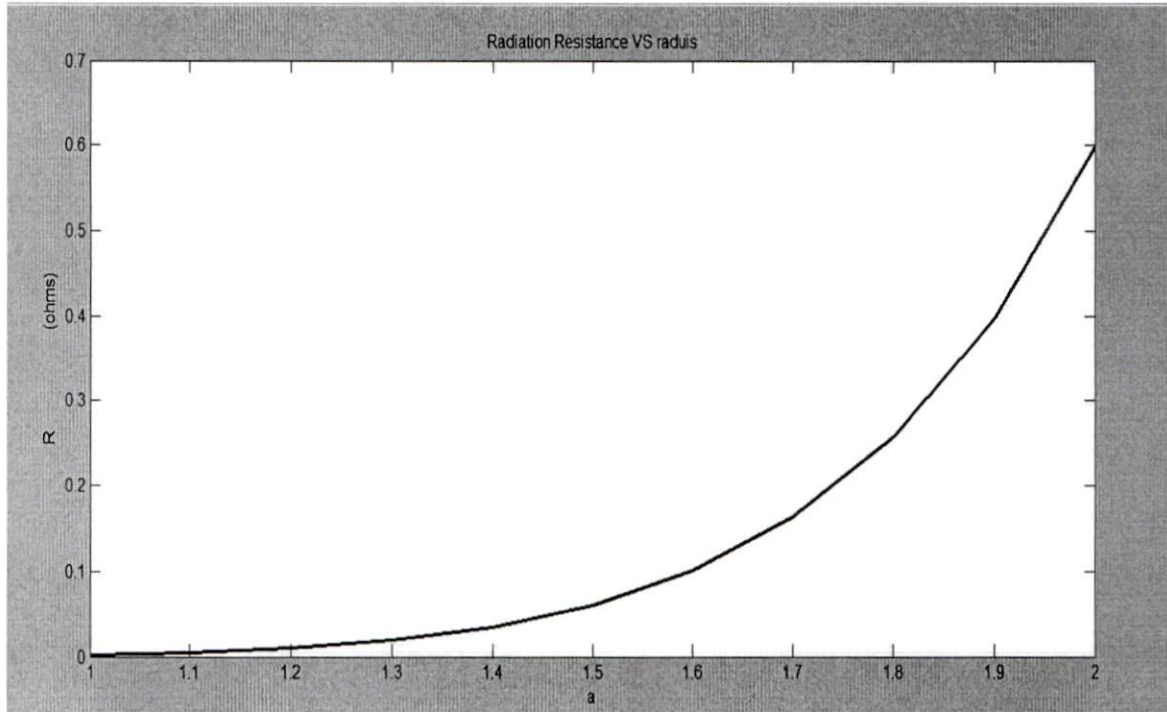
```
% matlab code for directivity
k=0:0.1:2*pi; % K= angle Theta
G=(sin(k)).^2;
D=1.5*G;
polar(k,D,'k')
title('Dirctivity')
```



شكل (2-4) يوضح النموذج الإشعاعي للاتجاهية

3-5-4 مقاومة الإشعاع : Radiation Resistance

```
%Radiation Resistance
F=500*10^6 ; %F = frequency in Hz
Y=3*10^8/F; % Y= the waveLength
a=0:0.1:2; %a= the raduis of the loop
S=3.14*a.^2;
R=S.^4/Y^4; %R=Radiation Resistance
plot(a,R,'k','linewidth',2)
xlabel('a')
ylabel('R')
title('Radiation Resistance VS raduis')
```

شكل (3-4) يوضح تغير قيمة مقاومة الإشعاع مع نصف القطر a

4-5-4 النموذج الإشعاعي Radiation Pattern للمجالات المشعة:

1- النموذج الإشعاعي لمستوى H:

من المعادلة (4-75) يمكن الحصول على النموذج الإشعاعي برسم المجال

المغناطيسي مع المتغير θ كما هو موضح بالكود الآتي :

%H-plane radiation pattern

F=500*10⁶ ; %F = frequency in Hz

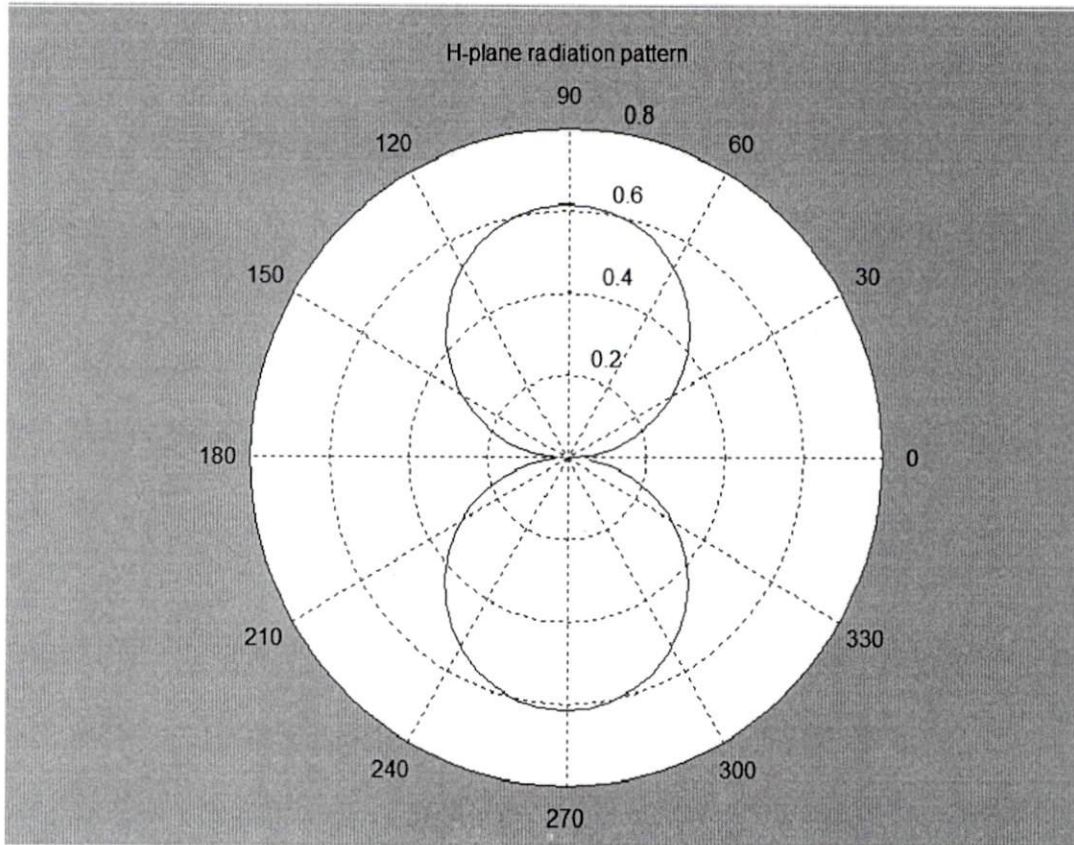
Y=3*10⁸/F; % Y= the waveLength

B=2*3.14/Y ; % B= the phase constant

```

a=0.5*Y;%a= the raduis of the loop
I=1;%I=the current
k=0:0.1:2*pi;% K= angle Theta
G=sin(k);
r=4;
H=-(B*a)^2*I*G.*exp(-i*B*r)/(4*r);
A=abs(H);
polar(k,A,'k')
title('H-plane radiation pattern');

```



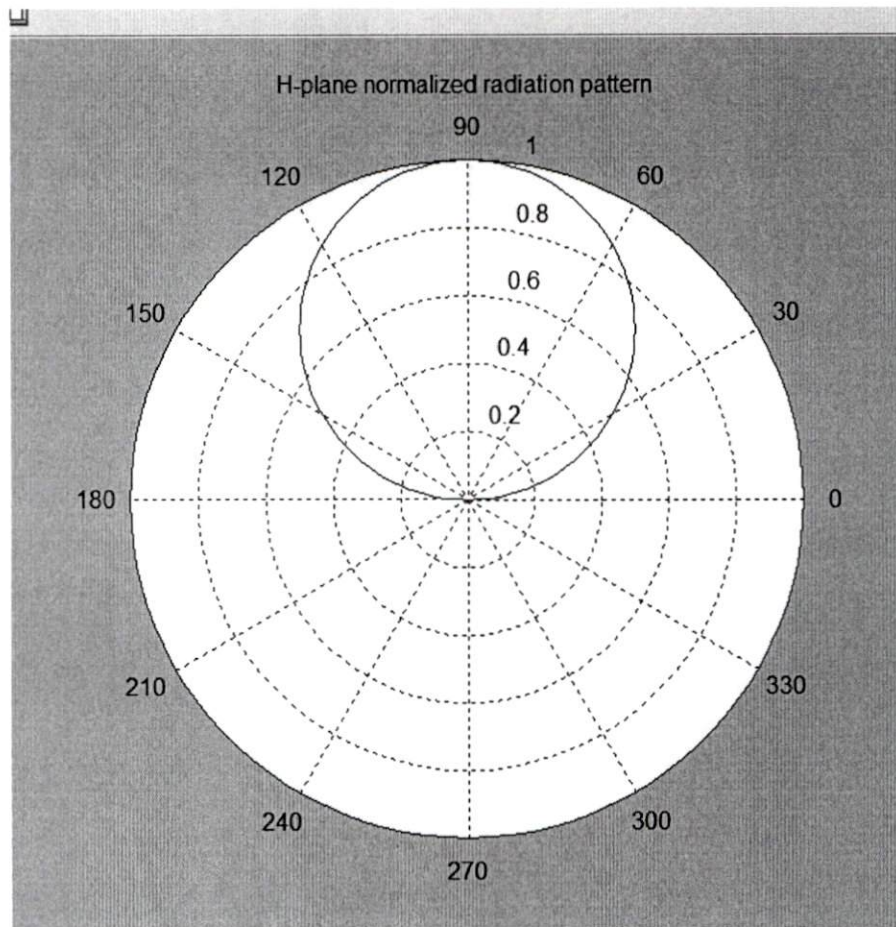
شكل (4-4) يوضح النموذج الإشعاعي لمستوى H- الأساسي

وكذلك يمكن رسم النموذج الإشعاعي لمستوى H- المعياري وذلك بعد القسمة على أقصى قيمة للمجال المغناطيسي H_{θ} . ومن المعادلة (4-75) القيمة المعيارية للمجال المغناطيسي هي $H_{\theta}(norm) = \sin(\theta)$ وبالتالي يمكن كتابة الكود في هذه الحالة كما يلي :

```

%H-plane normalized radiation pattern
k=0:pi/100:2*pi;% K= angle Theta
P=sin(k);
polar(k,P,'k')
title('H-plane normalized radiation pattern')

```



شكل (5-4) يوضح النموذج الإشعاعي لمستوى H- الأساسي المعياري

2- النموذج الإشعاعي لمستوى E-

من المعادلة (4-86) يمكن الحصول على النموذج الإشعاعي برسم المجال الكهربائي

مع المتغير θ كما هو موضح بالكود الآتي :

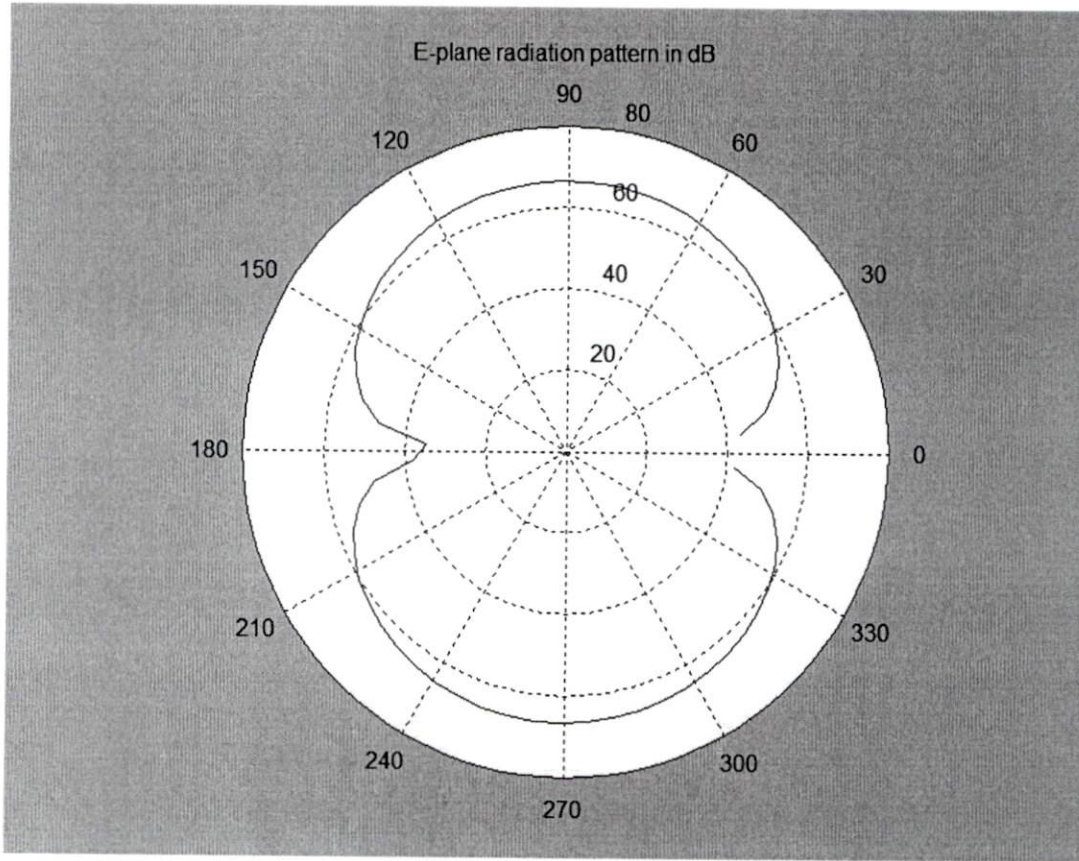
```
%E-plane radiation pattern
F=500*10^6 ; %F = frequency in Hz
Y=3*10^8/F; % Y= the waveLength
B=2*3.14/Y ; % B= the phase constant
a=0.5*Y;%a= the raduis of the loop
I=1;%I=the current
u=120*3.14;% u = ETA
k=0:0.1:2*pi;% K= angle Theta
G=sin(k);
r=4;
D=u*(B*a)^2*sin(k).*I/(4*r*a);
z=exp(-i*r*B*a)
E=D.*z
A=abs(E);
W=10*log(A);
polar(k,W,'k')
title('E-plane radiation pattern in dB')
```

وبالمثل يمكن رسم النموذج الإشعاعي لمستوى E- المعياري وذلك بعد القسمة على أقصى قيمة للمجال المغناطيسي E_{θ} . ومن المعادلة (4-86) القيمة المعيارية للمجال الكهربائي هي

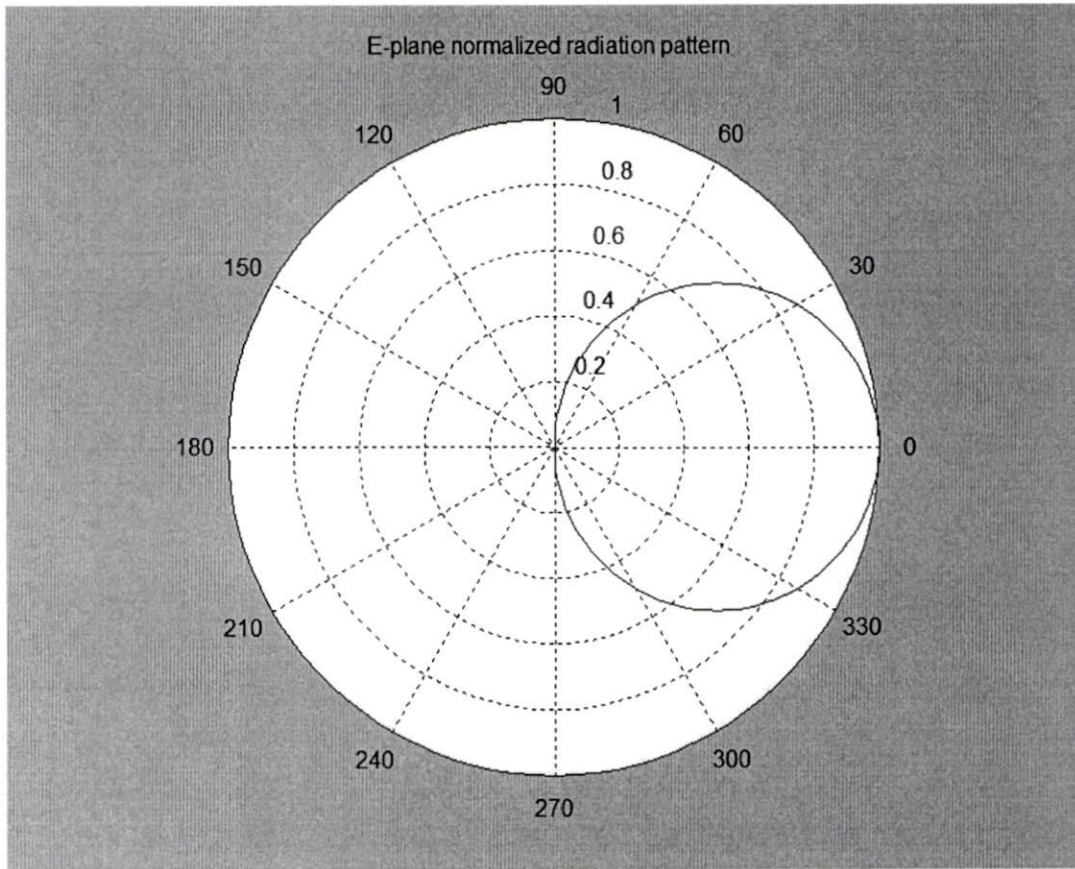
$$E_{\theta}(norm) = \cos(\theta)$$

ويتالي يمكن كتابة الكود في هذه الحالة كما يلي :

```
%E-plane normalized radiation pattern
k=0:pi/100:2*pi;% K= angle Theta
E=cos(k);
polar(k,E,'k')
title('E-plane normalized radiation pattern')
```



شكل (4-6) يوضح النموذج الإشعاعي لمستوى E- الأساسي .



شكل (4-7) يوضح النموذج الإشعاعي لمستوى E- الأساسي المعياري .

الفصل الخامس

الخلاصة

والمراجع

الفصل السادس

الخلاصة

حيث أن الهدف الأساسي من هذا البحث هو دراسة الخصائص الإشعاعية للهوائي الحلقي الدائري ، وتمت هذه الدراسة باستخدام الدوال الرياضية المتقدمة المختلفة وتم منها الوصول إلى تعبيرات رياضية للمجالات الكهرومغناطيسية وأيضاً البارومتريات الهامة للهوائي الحلقي الدائري ومن ثم تم استخدام برمجية حزمة ماتلاب لحساب المجالات المشعة وبعض البرومتريات الهامة للهوائي الحلقي الدائري .

المراجع

- [1]-A John Wiley - Antenna Theory Analysis And Design - Printed In The United States Of America - Third Edition - 2005
- [2]- *Exact Field Expressions For Circular Loop Antennas Using Spherical Functions Expansion - Ieee Transactions On Antennas And Propagation, Vol. - Ieee_02 -61, No. 6, June 2013.*
- [3]-*Matthew N. O. Sadiku - Elements of Electromagnetics - Wilfrid Laurier university*
- [4]-OMNIDIRECTIONAL HORIZONTALLY POLARIZED UHF ANTENNA DESIGN - PH-GSI-0701 -October 14, 2007
- [5]-*Richard Fitzpatrick -Classical Electromagnetism- The University of Texas at Austin*
- [6]-Milton Abramowitz and Irene A.stegum - Handbook of Mathematical function with formulas , Graphs and Mathematical Tables - United states department of commerce - June 1964 .
- [7]-D.van Nostrand company Ltd Londen - Special function for scientists and Engineers - University of Aberdeen - Catalog card No.68_ 26453 - 1967 .
- [8]-Roger F.Harrington - Time Harmonic Electromagnetic Field - IEEE Antennas and propagation society sponsor
- [9]- Theory of The Thin circular loop Antenna - API - Journal of mathematical physics - 1962 .

- [10]– R. W. P. King, “The loop antenna for transmission and reception,” in *Antenna Theory*, R. E. Collin and F. J. Zucker, Eds. New York, NY, USA: McGraw–Hill, 1969, pt. I, pp. 458–481. –
- [11]– C. A. Balanis, *Antenna Theory, Analysis, and Design*. New York, NY, USA: Harper and Row, 1982, ch. 5
- [12]– . G. S. Smith, “loop antennas,” in *Antenna Engineering Handbook*, R.C. Johnson and H. Jasik, Eds. New York: McGraw–Hill, 2007, ch. 5.
- [13]– D. H. Werner, “An exact integration procedure for vector potential of thin circular loop antenna,” *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP–44, no. 2, pp. 157–165, Feb. 1996.
- [14]– P. J. Cregg and P. Svedlindh, “Comment on: Analytical results for bessel function time legendre polynomials class integrals,” *J. Phy.A: Math. Theory.*, vol. 40, pp. 14029–14031, Oct. 2007.