الأكاديمية العربية الدولية
Arab International Academy

الأكاديمية العربية الدولية

المقررات الجامعية

www.aiacademy.info | care@aiacademy.info

الهوائيات و انتشار الموجات

أساسيات الهوائيات

الفصل الثالث

أساسيات الهوائيات

Fundamentals of Antennas

اسم الوحدة: أساسيات الهوائيات

الجدارة: التعرف على الهوائيات من حيث الخصائص الهندسية و الخصائص الفنية.

الأهداف: أن يصل المتدرب إلى إتقان الجدارة بنسبة ٩٠٪

الوقت المتوقع للتدرب على الجدارة: ٨ ساعات

الوسائل المساعدة: معمل الهوائيات و انتشار الموجات

متطلبات الجدارة: أن يكون المتدرب قد استوعب الوحدتين الأولى والثانية جيدا ليتمكن من دراسة الخصائص الفنية للهوائيات.

٣- ١ مقدمة

يعرف الهوائي (Antenna) على أنه جهاز معدني يستخدم لإرسال و استقبال الموجات الكهرومغناطيسية. وهذا الجهاز من أكثر الأجهزة الكهربية استخداماً و انتشاراً و ذلك لأن له تطبيقات عديدة في الأغراض السلمية و العسكرية.

في هذه الوحدة سنعرض لجزأين هامين و هما الخصائص الوصفية (Antenna structure) لشكل وبناء الهوائي و الخصائص الفنية (Antenna parameters) التي من خلالها ندرس و نتعرف إلى الخصائص الفنية للهوائيات.

في الجزء الأول سنتعرف إلى أبعاد الهوائى- والدعامات– والمعادن – والعوازل – والحماية الجوية– وطرق التغذية- وشروط المواءمة. و في الجزء الثاني سنتعرف إلى رسم الإشعاع – ومقاومة الإشعاع و كفاءة الهوائي - والكسب الاتجاهي و كسب الطاقة - وقطبية الهوائي – وزاوية الفص للهوائي – ومقاومة المدخل للهوائي.

٣- ٢ بناء الهوائي Antenna Structure

٣- ٢- ١ الأبعاد Size

تعتمد أبعاد الهوائي على الطول الموجي للموجات التي يرسلها و يستقبلها حيث تكون هذه الأبعاد في حدود الطول الموجي لهذه الموجات. فالهوائيات التي ترسل الموجات المنخفضة التردد تكون ذات أبعاد كبيرة و العكس صحيح حيث إنه كلما ارتفع التردد قل الطول الموجي و بالتبعية تقل أبعاد الهوائي فمثلاً:

إذا كان للموجة لها تردد ٣ كيلو هرتز فإن الطول الموجي يكون:

$$\lambda = c / f = 3\times10^8 / 3\times10^3 = 100{,}000 \text{ m} = 100 \text{ km}$$

في هذه الحالة يجب أن يكون الهوائي المرسل لهذه الموجات ذا أبعاد في حدود ١٠٠كم وهذا بالطبع غير عملي.

إذا كان للموجة لها تردد ٣ ميجا هرتز فإن الطول الموجي يكون:

$$\lambda = c / f = 3\times10^8 / 3\times10^6 = 100 \text{ m}$$

في هذه الحالة يجب أن يكون الهوائي المرسل لهذه الموجات ذا أبعاد في حدود ١٠٠ م.

إذا كان للموجة لها تردد ٣ جيجا هرتز فإن الطول الموجي يكون:

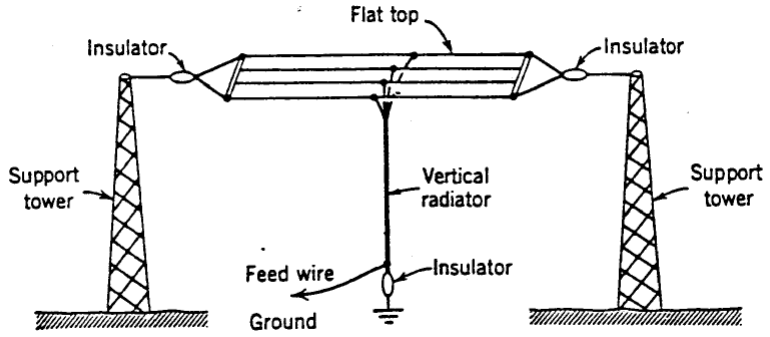
$$\lambda = c / f = 3\times10^{8} / 3\times10^{9} = 0.1 \text{ m} = 10 \text{ cm}$$

فى هذه الحالة يجب أن يكون الهوائي المرسل لهذه الموجات ذا أبعاد في حدود ١٠ سم.

من الأمثلة السابقة يتضح أنه كلما ارتفع التردد فإن أبعاد الهوائي تقل لذلك عندما نصمم هوائيات للجوال مثلا يجب أن تكون الموجات المستخدمة عالية التردد حتى يكون هوائي الجوال ذا أبعاد صغيرة.

٣- ٢- ٢ **الدعامات** Supports

لكي يعمل الهوائي بطريقة جيدة يجب أن يثبت بعيداً عن أي أجسام معدنية أو أي مواد ماصة للموجات الكهرومغناطيسية. لذلك توجد بعض الدعامات التي تستخدم لتبعد الهوائي عن هذه المواد وهذه الدعامات مثل الأبراج. ويجب عند تثبيت الهوائيات على الأبراج أن تكون معزولة عنها كما في الشكل ٣- ١.



الشكل ٣- ١ الأبراج كإحدى طرق تثبيت الهوائيات

٣- ٢- ٣ **المعادن** Conductors

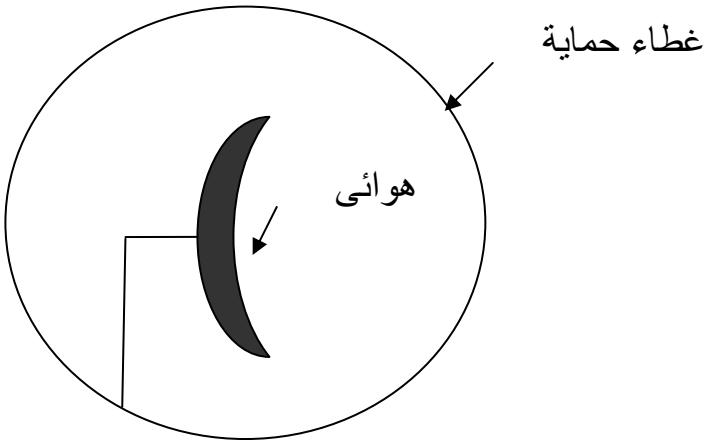
تصنع الهوائيات من المعادن التي لها توصيلية عالية مثل الألمنيوم و النحاس و الحديد و الذهب. و يستخدم الذهب في الهوائيات الصغيرة كالتي تستخدم في الجوال و الأقمار الصناعية و التي تعمل في النطاق الترددي لموجات المايكروويف (Microwave Band)

٣- ٢- ٤ **العوازل** Insulators

تستخدم العوازل لعزل الهوائيات عن المعادن المحيطة بها و التي قد تكون مثبتة فوقها كالأبراج المعدنية. ويستخدم الزجاج و السيراميك و البلاستيك كعوازل للهوائيات. البلاستيك يستخدم عندما تكون الهوائيات مثبتة على أجسام متحركة كالسيارات. أما الزجاج و السيراميك فيستخدم عندما تكون الهوائيات مثبتة على أجسام ثابتة كالأبراج.

٣- ٢- ٥ **الحماية الجوية** Weather Protection

تثبت الهوائيات غالباً خارج الأبنية مما يجعلها عرضة للعوامل الجوية المختلفة من مطر و رياح متربة و حاملة للرمال و غيرها. هذا يجعل من الضروري حماية هذه الهوائيات و خاصة لأن الأعمار الافتراضية لها تصل إلى عشرات السنين. لذلك فإن الكثير من الهوائيات يغطى داخل أغلفة من القماش أو الورق المقوى حتى لا يتأثر سطح الهوائي نتيجة الرياح الحاملة للرمال كما في الشكل ٣- ٢ .التغير الذي قد يحدث لسطح الطبق يؤدي إلى فقدانه لخصائصه الفنية.



.

شكل ٣- ٢ الحماية الجوية للهوائيات

٣- ٢- ٦ **خطوط التغذية** Feed Lines

خطوط التغذية هي تلك الوصلات التي تصل بين الهوائي والمرسل أو الهوائي و المستقبل. و توجد أنواع مختلفة من خطوط التغذية. و يعتمد اختيار خط تغذية لهوائي معين على:

أ- نوع الهوائي (مقاومة المدخل للهوائي)

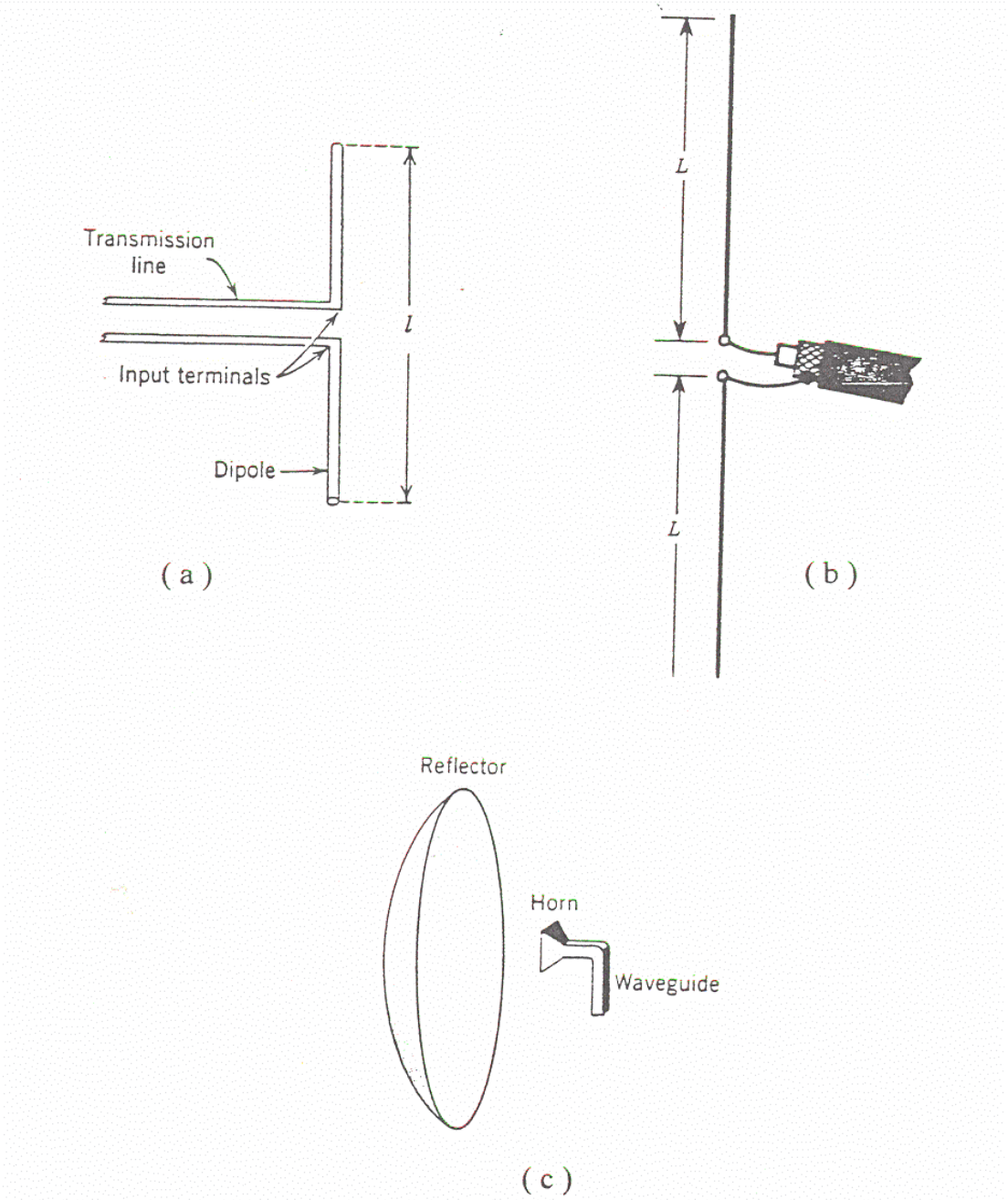
ب- التردد الذي يعمل عنده الهوائي

و توجد ثلاثة خطوط تغذية شهيرة موضحة في الشكل٣- ٣ و هي:

أ- خط النقل Transmission line : ويعمل حتى تردد ٣٠ ميجا هرتز

ب- الكيبل المحوري Coaxial cable : ويعمل حتى تردد ١٠٠٠ ميجا هرتز

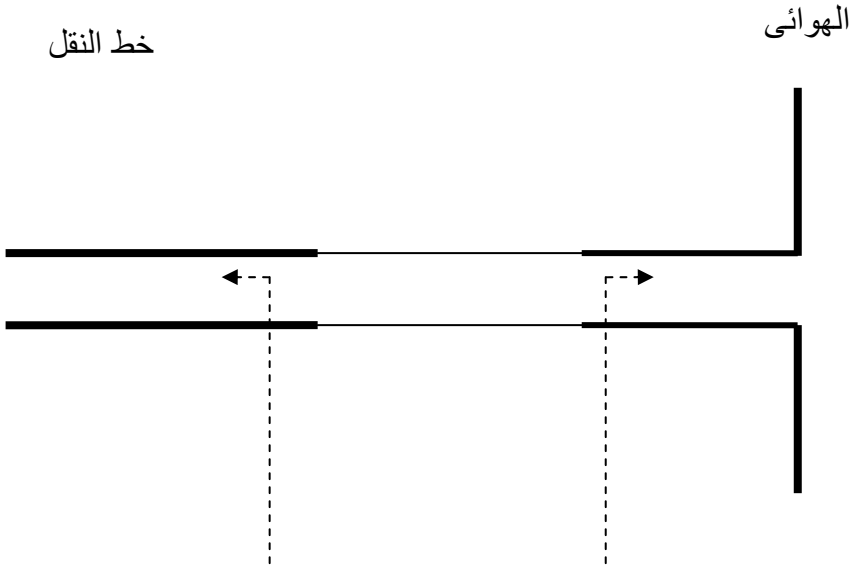
ت- هوائي البوق Horn antenna : ويعمل فوق تردد ١٠٠٠ ميجا هرتز



الشكل ٣- ٣ خطوط التغذية

٣- ٢- ٧ شروط المواءمة Matching Conditions

عند توصيل خطوط التغذية بالهوائيات يجب أن تتوفر شروط المواءمة عند نقاط التوصيل. و هذه الشروط تنص على أنه يجب أن تكون المعاوقة على جانبي نقاط التوصيل متساوية كما في الشكل ٣- ٤.



$$Z_T = Z_{in\ (antenna)}$$

الشكل ٣- ٤ شروط المواءمة

توفرشروط المواءمة يضمن أن الطاقة التي يستقبلها الهوائي تنتقل كلية إلى خط التغذية و منه إلى المستقبل أو العكس (الطاقة التي يرسلها المرسل تنتقل كلية إلى خط النقل و منه تنتقل كلية إلى الهوائى).

هذه الشروط يجب أن تتوفر عند نقاط الاتصال بين أي عنصرين (دائرتين) كهربيتين أي أنه يجب أن تتساوى معاوقة الهوائي و خط التغذية من ناحية و بين خط التغذية و المرسل من الناحية الأخرى

٣- ٣ الخصائص الفنية Antenna Parameters

لكي نتعرف على الخصائص الفنية للهوائي فإنه يجب تعريف الهوائي المثالي و الذي بناء عليه يمكن دراسة و مقارنة الهوائيات الأخرى بهذا الهوائي المثالي الذي حددت خصائصه الفنية. و يعرف الهوائي المثالي بأنه ذلك الهوائي الذي يبث كل الطاقة القادمة إليه من المرسل في الاتجاه أو الاتجاهات المطلوبة و بالاستفطاب المرغوب. الهوائي المثالي هو هوائي نظري لا يوجد إلا في كتب الهوائيات أما الهوائيات العملية فإنها لا تحقق تماماً المواصفات الخاصة بالهوائي المثالي و لكنها تقترب و تبتعد عن هذه المواصفات تبعاً لتصميمها و طبيعة عملها.

و في الأجزاء التالية سندرس بعض العناصر التي بها يمكن أن نتعرف على خصائص الهوائي الفنية و التي يمكن من خلالها معرفة مدى قرب أو بعد الهوائي عن كونه مثالياً.وهذه العناصر هي رسم الإشعاع – ومقاومة الإشعاع و كفاءة الهوائي - والكسب الاتجاهي و كسب الطاقة - وإستقطاب الهوائي – وزاوية الفص للهوائي – ومقاومة المدخل للهوائى.

٣- ٣- ١ رسم الإشعاع Radiation Pattern

رسم الإشعاع هو رسم يبين كيفية توزيع الطاقة المنتشرة من الهوائي في الفراغ أو الوسط المحيط به كما هو مبين في الشكل ٣- ٥ . ولهذا الرسم أهمية قصوى لأنه يحدد :

أ- كيفية تثبيت و توجيه الهوائى

ب- التطبيق الذي يعمل فيه الهوائى

من الشكل ٣- ٥ يتضح أن الطاقة المنبعثة من الهوائي يمكن أن تتوزع بطرق عدة:

أ- متساوية في جميع الاتجاهات Omnidirectional pattern

الهوائى الذي له هذه الخاصية يسمى هوائي غير موجه للطاقة Omnidirectional Antenna

ب- مركزة في اتجاه معين عن بقية الاتجاهات الأخرى Directive pattern وعليه فالهوائى الذي له هذه الخاصية يسمى هوائي موجه للطاقة Directive Antenna

إن الهوائيات التي لها إمكانية لتوزيع الطاقة في جميع الاتجاهات بالتساوي لها تطبيقات عديدة في مجالات الاتصالات المتحركة (Mobile communications) أما الهوائيات التي لها إمكانية

لبث الطاقة في اتجاه معين بتركيز أكبر من الاتجاهات الأخرى فلها تطبيقات عديدة في كل أنواع الاتصالات ما عدا المتحرك منها.

يتم الحصول على رسم الإشعاع بطريقتين:

أ- الطريقة الحسابية:

و في هذه الطريقة يتم تحليل الهوائي رياضياً و الحصول على معادلات رياضية تعبر عن رسم الإشعاع والتي يتم رسمها لنحصل على رسم الإشعاع.

ب- الطريقة المعملية:

و في هذه الطريقة نستخدم الهوائي المراد رسم الإشعاع له كمرسل و نستخدم هوائياً آخر كمستقبل. يدور المرسل حول المستقبل دورة كاملة (٣٦٠ درجة) و عند كل زاوية يقيس المستقبل كمية الطاقة الموجودة عند هذه الزاوية لنحصل في النهاية على جدول به عمودان لكل من الزاوية و كمية الطاقة عند هذه الزاوية. ويتم رسم العلاقة بين الزاوية و الطاقة لنحصل على رسم الإشعاع.

و يتم الرسم بطريقتين:

أ- الرسم القطبي Polar diagram

فى هذه الطريقة يتم توقيع قيمة الطاقة عند الزاوية المصاحبة في رسم دائري أي أن تقاس الزاوية على دائرة. كما في الشكل ٣- ٥.

ب- الرسم الكرتيزي Cartesian diagram

فى هذه الطريقة يتم توقيع قيمة الطاقة عند الزاوية المصاحبة على محورين متعامدين أحدهما يمثل الزاوية(المحور الأفقي) و الآخر (المحور الرأسي) يمثل قيمة الطاقة.

و من الطبيعي أن هذا الرسم يكون مجسماً و الذي يصعب رسمه على ورق مسطح لذا فإنه يستعاض عن رسم المجسم برسم مقطعين فيه و هما:

أ- المقطع الرأسي E-plane

وهو يمثل غالبا توزيع المجال الكهربي الموجود في الموجة الكهرومغناطيسية المنتشرة من الهوائي

ب- المقطع الأفقي H-plane

وهو يمثل غالبا توزيع المجال المغناطيسي الموجود في الموجة الكهرومغناطيسية المنتشرة من الهوائي

وفي هذه الحقيبة سنعتمد على رسم الإشعاع القطبي.

و لقياس الطاقة المنبعثة من الهوائي توجد أيضاً طريقتان:

أ- الوات (Watt)

وغالباً ما تستخدم هذه الوحدة عندما تكون الطاقة المقاسة كبيرة

ب- الديسيبل (Decibel) dB

وغالباً ما تستخدم هذه الوحدة عندما تكون الطاقة المقاسة صغيرة جداً ويتم حسابها من العلاقة الآتية:

$$P\ (dB) = 10 \log (P / P_{max})$$

حيث إن:

P : الطاقة المقاسة بالوات

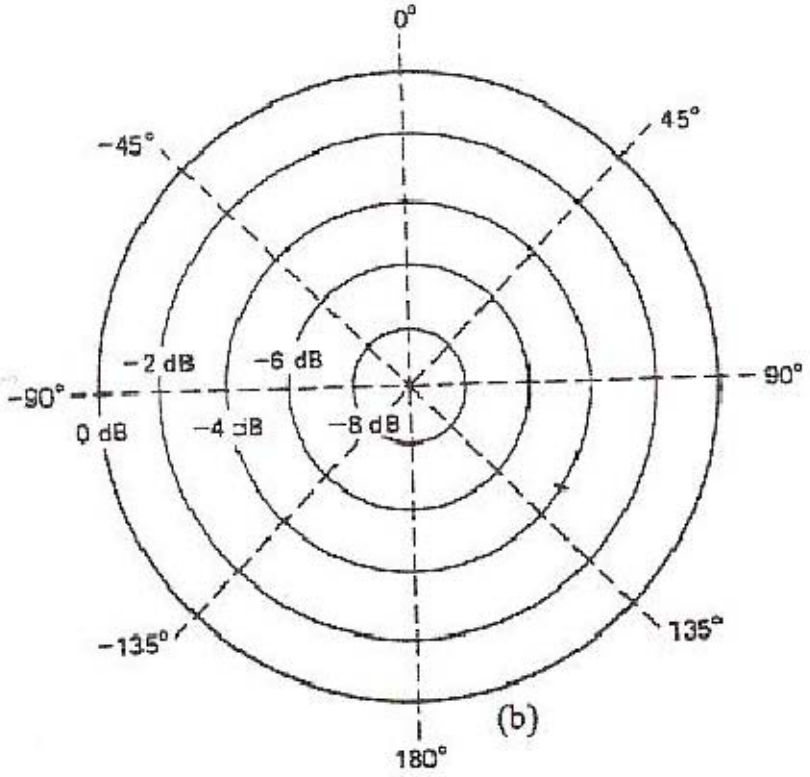
P (dB) : الطاقة المقاسة بالديسيبل

P_{max} : أكبر طاقة مقاسة بالوات

فمن الشكل ٣- ٥ يتضح لنا أن الطاقة المنبعثة من الهوائي الموجه للطاقة تتركز في فصوص (Lobes) و أن معظم الطاقة موجودة في الفص الأمامي (Front Lobe) أما الفص الخلفي (Back Lobe) و الفصوص الجانبية (Side Lobes) فتحتوي على جزء أصغر من الطاقة. كلما زادت الطاقة في الفص الأمامي على حساب الطاقة في الفصوص الأخرى فإن الهوائي يصبح أكثر اتجاهية. لهذا فقد عرفت قيمة لقياس نسبة توزيع الطاقة أمام و خلف الهوائي وسميت نسبة الأمام إلى الخلف (Front-to-Back ratio) و هي:

نسبة الأمام إلى الخلف = طاقة الفص الأمامي / طاقة الفص الخلفي

كلما زادت هذه النسبة كلما زادت الاتجاهية للهوائي.



شكل ٣- ٥ الرسم القطبى لمجسم الإشعاع

٣- ٣- ٢ مقاومة الإشعاع و كفاءة الهوائى

Radiation Resistance and Antenna Efficiency

أولا: مقاومة الإشعاع

مقاومة الإشعاع هي مقاومة مترددة للهوائي (AC antenna resistance) و تساوي نسبة الطاقة المنبعثة (Radiated power) من الهوائي إلى مربع التيار الداخل للهوائي عند نقطة التغذية. و هذه المقاومة يمكن اعتبارها تخيلية من حيث الوجود لأنها تحسب و لا تقاس.

تحسب مقاومة الإشعاع من العلاقة الآتية:

$$R_r = P_r / i^2$$

حيث إن:

R_r : مقاومة الإشعاع ووحداتها الأوم (Ohm Ω)

P_r : الطاقة المنبعثة من الهوائي بالوات (Watt w)

i : القيمة الفعلية للتيار (rms) عند نقطة تغذية الهوائي بالأمبير (Ampere A)

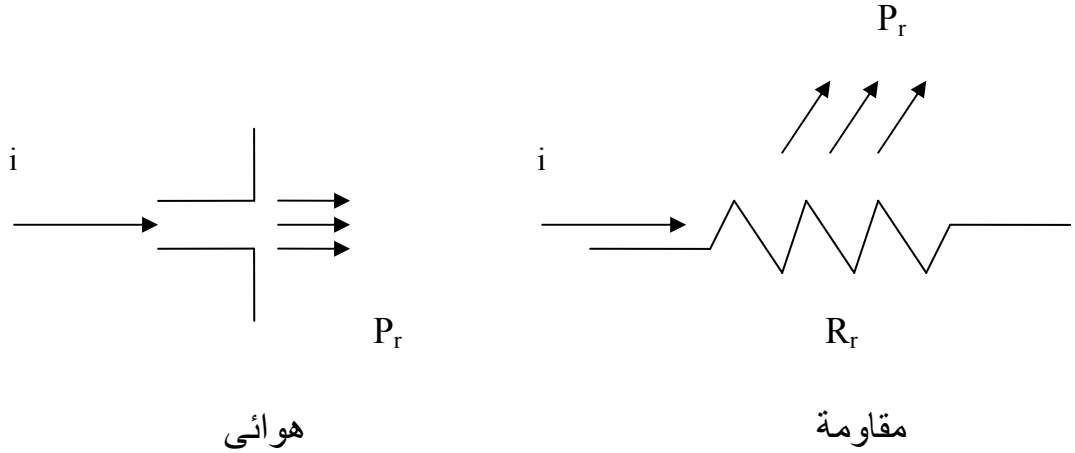
و تعرف مقاومة الإشعاع بأنها تلك المقاومة التي إذا استبدلت بالهوائي فإن كمية الطاقة المفقودة صحيحة بها تكون مساوية للطاقة المنبعثة من الهوائي بشرط أن يكون التيار الداخل لكليهما متساوياً كما في الشكل ٣- ٦.

مثال ٣- ١

أوجد قيمة مقاومة الإشعاع لهوائي كانت له طاقة منبعثة مساوية ١٠٠٠ وات عندما كان التيار الداخل إليه عند نقطة التغذية مساوياً ١٠ أمبير.

الحل:

$$R_r = P_r / i^2$$
$$= 1000 / (10)^2 = 10\ \Omega$$



شكل ٣- ٦ مقاومة الإشعاع للهوائي

ثانيا: كفاءة الهوائي

كفاءة الهوائي تساوي نسبة الطاقة المنبعثة من الهوائي إلى الطاقة الداخلة للهوائي عند نقطة التغذية. و هذه الطاقة الداخلة (Input power P_{in}) للهوائي تساوي مجموع الطاقة المنبعثة من الهوائي و الطاقة المفقودة بداخله (Dissipated power P_d) .

تحسب كفاءة الهوائي من العلاقة الآتية:

$$\eta = P_r / P_{in}$$

حيث إن:

η : كفاءة الهوائي و ليس لها وحدة

P_r : الطاقة المنبعثة من الهوائي بالوات (Watt w)

P_{in}: الطاقة الداخلة للهوائي بالوات(Watt w)

ولكن الطاقة الداخلة تساوى:

$$P_{in} = P_r + P_d$$

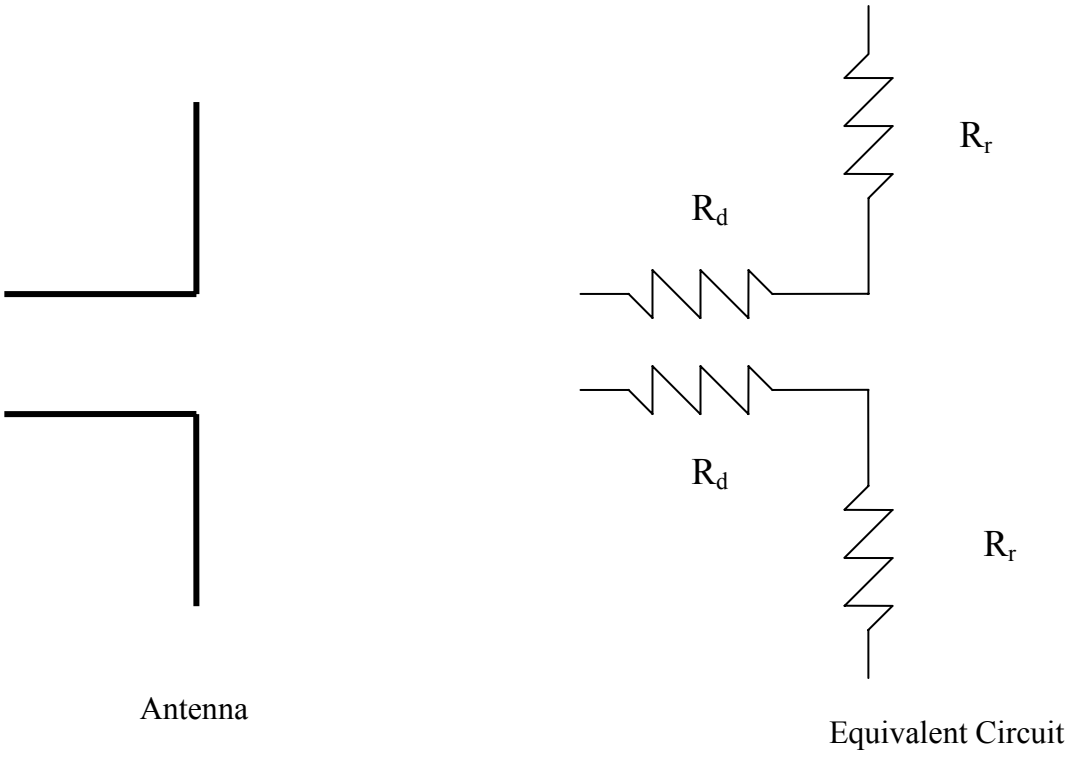
حيث إن:

P_d: الطاقة المفقودة داخل الهوائى (Watt)

باستخدام العلاقة السابقة فإنه يمكن إيجاد الكفاءة من العلاقة الآتية:

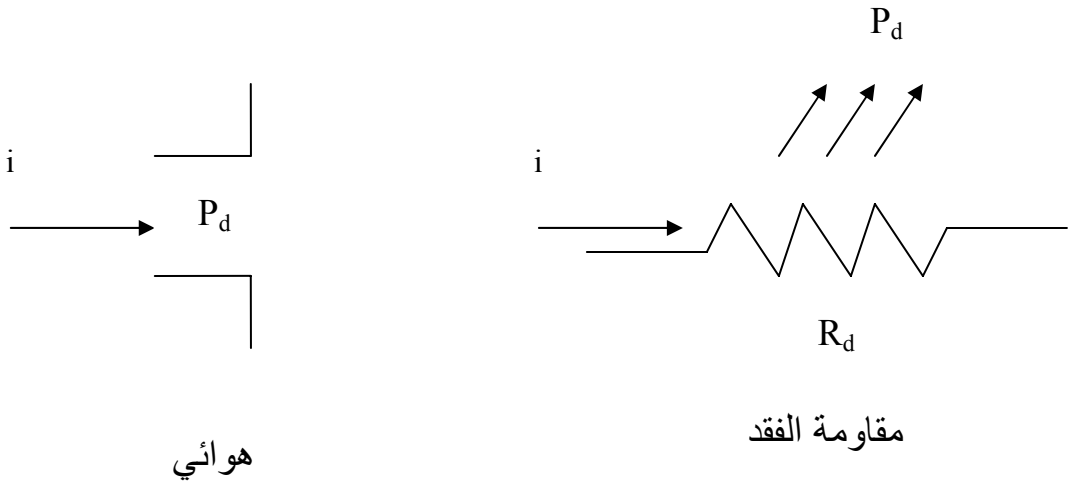
$$\eta = P_r / P_{in}$$
$$= P_r / (P_r + P_d)$$

الشكل ٣- ٧ يبين دائرة كهربية بسيطة مكافئة للهوائي والتى فيها استبدل الهوائي بمقاومتين واحدة هي مقاومة الإشعاع و الأخرى مقاومة الفقد. حيث عرفت مقاومة الفقد بأنها تلك المقاومة التي إذا استبدلت بالهوائي فإن كمية الطاقة المفقودة بها تكون مساوية للطاقة المفقودة في الهوائي بشرط أن يكون التيار الداخل لكليهما متساوياً كما في الشكل ٣- ٨



.

شكل ٣- ٧ دائرة كهربية مكافئة للهوائي



شكل ٣- ٨ مقاومة الفقد للهوائي

باستخدام المقاومات المكافئة للهوائي فإن كفاءة الهوائي يمكن صياغتها كالآتي:

$$\eta = P_r / P_{in}$$
$$= P_r / (P_r + P_d)$$
$$= i^2 R_r / i^2 (R_r + R_d)$$
$$= R_r / (R_r + R_d)$$
$$= R_r / R_{in}$$

حيث إن:

$$R_{in} = R_r + R_d$$

يمكن التعبير عن الكفاءه كنسبة أو كنسبة مئوية. النسبة المئوية نحصل عليها كالآتي:

$$\eta = (P_r / P_{in}) \times 100\ \%$$

مما هو جدير بالذكر أن ورقة المواصفات (Data sheet) للهوائيات تحتوي على مقاومة الإشعاع و كفاءة الهوائي مما يجعل الفني قادراً على اختيار الهوائي المناسب للتطبيق الذي يريده.

مثال ٣- ٢:

أوجد كفاءة الهوائي إذا كانت الطاقة المنبعثة منه ٩٠٠ وات و الطاقة الداخلة إليه ١٠٠٠ وات.

الحل:

$$\eta = P_r / P_{in}$$
$$= 900/1000 = 0.9$$
$$= 0.9 \times 100\ \%$$
$$= 90\%$$

مثال ٣- ٣:

أوجد كفاءة الهوائي إذا كانت الطاقة المنبعثة منه ٩٠٠ وات و الطاقة المفقودة داخله تساوى١٠٠ وات.

الحل:

$$P_{in} = P_r + P_d$$
$$= 900 + 100 = 1000\ w$$

$$\eta = P_r / P_{in}$$
$$= 900/1000 = 0.9$$
$$= 0.9 \times 100\ \%$$
$$= 90\%$$

مثال ٣- ٤:

أوجد كفاءة الهوائي إذا كانت مقاومة الإشعاع له ٩٠٠ أوم و مقاومة الفقد داخله تساوى١٠٠ أوم.

الحل:

$$\eta = R_r / (R_r + R_d)$$
$$= 900 / (900 +100)$$
$$= 0.9 = 90\%$$

مثال ٣- ٤:

هوائي مقاومة الإشعاع له ٩٠٠ أوم و مقاومة الفقد داخله تساوى١٠٠ أوم. أوجد الطاقة المنبعثة و الطاقة المفقودة به إذا كان التيار الداخل إليه ١٠ أمبير.

الحل:

$$P_r = i^2 R_r$$
$$=10^2 (900)$$
$$=90{,}000\ \Omega$$
$$= 90\ k\Omega$$
$$P_d = i^2 R_d$$
$$=10^2 (100)$$
$$=10{,}000\ \Omega$$
$$= 10\ k\Omega$$

مثال ٣- ٥:

أوجد مقاومة الفقد لهوائي له مقاومة الإشعاع له ٩٠٠ أوم وكفاءة ٩٠ ٪

الحل:

$$\eta = R_r / (R_r + R_d)$$
$$= 900 / (900 + R_d)$$
$$= 0.9$$
$$R_d = 100\ \Omega$$

مثال ٣- ٦:

أوجد كفاءة الهوائي الذي مقاومة الإشعاع له ٩٠٠ أوم و طاقه مفقودة ١٠٠ وات و ذلك إذا كان التيار الداخل للهوائي يساوي ١ أمبير.

الحل

$$P_r = i^2 R_r$$
$$= 1^2 (900) = 900 \text{ w}$$
$$\eta = P_r / P_{in}$$
$$= P_r / (P_r + P_d)$$
$$= 900 / (900 + 100)$$
$$= 0.9$$

مثال ٣- ٧:

أوجد كفاءة الهوائي الذي تدخله طاقة مساوية ١٠٠٠ وات ومقاومة الإشعاع له ٩٠٠ أوم و التيار الداخل له يساوي ١ أمبير.

الحل

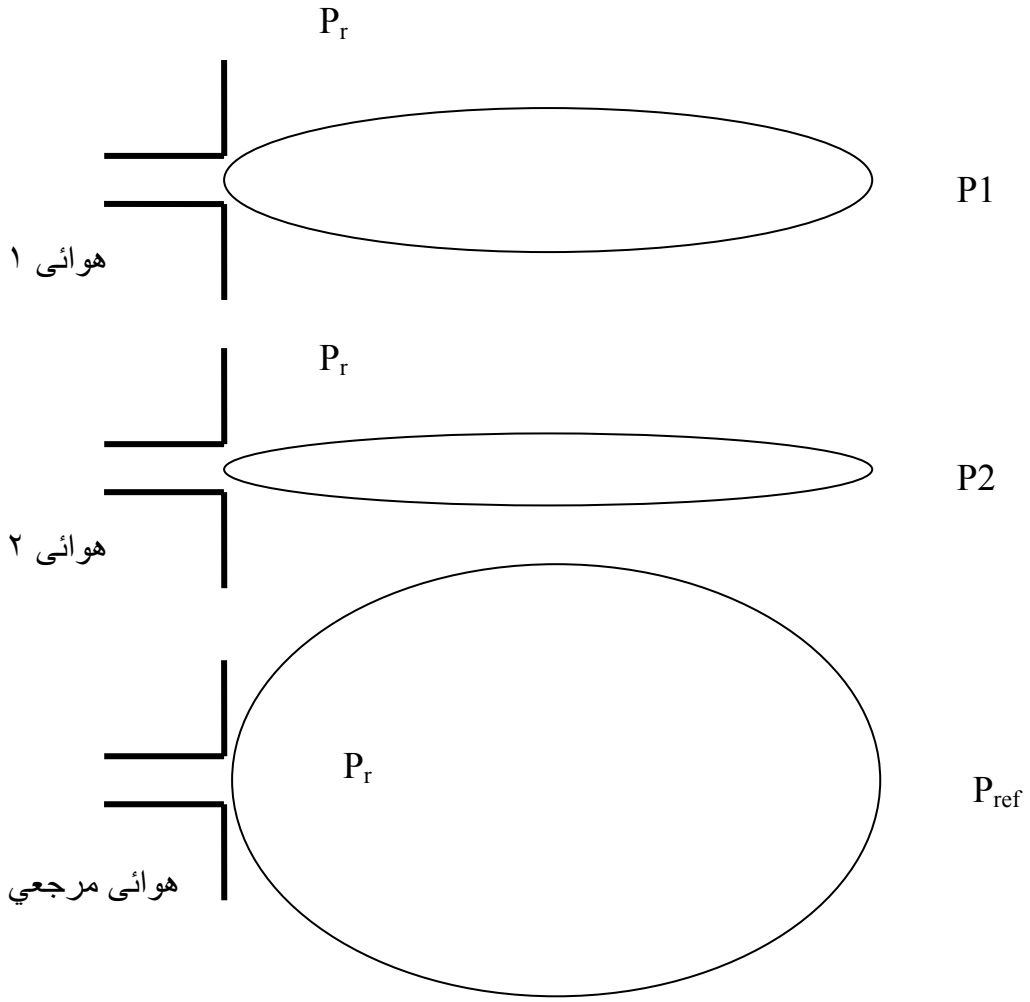
$$R_{in} = R_r + R_d$$
$$R_{in} = P_{in} / i^2$$
$$= 1000 / 1^2$$
$$= 1000\ \Omega$$
$$\eta = R_r / R_{in}$$
$$= 900/1000 = 0.9$$
$$= 0.9 \times 100\ \%$$
$$= 90\%$$

٣- ٣ الكسب الاتجاهي و كسب الطاقة للهوائي

Directive Gain and Power Gain

أولا: الكسب الاتجاهي

يعرف الكسب الاتجاهي لهوائي معين بأنه نسبة كثافة الطاقة المنبعثة منه في اتجاه معين إلى كثافة الطاقة المنبعثة من هوائي مرجعي (Reference antenna) عند نفس النقطة مع فرض أن **الطاقة المنبعثة** من كليهما متساوية كما هو موضح في الشكل ٣- ٩.



الشكل ٣- ٩ حساب الكسب الاتجاهي للهوائي

و غالبا مايكون الهوائي المرجعي يبث الطاقة تقريباً في جميع الاتجاهات بالتساوي (Isotropic antenna).

ويحسب الكسب الاتجاهي بالعلاقة الآتية:

$$D = P_r / P_{ref}$$

حيث إن:

D : الكسب الاتجاهي للهوائي

P_{ref} : كثافة الطاقة المنبعثة من الهوائي المرجعي

كلما زادت قيمة الكسب الاتجاهي فإن الهوائي تصبح له قدرة أكبر على بث الطاقة في اتجاه معين.

=0.9

مثال ٣- ٨:

أوجد الكسب الاتجاهي لكل من الهوائيات التالية إذا كان الهوائي المرجعي له كثافة طاقة عند نقطة معينة تساوي ١٠٠ وات / م^{٢}:

أ- هوائي له كثافة طاقة عند نفس النقطة تساوي ٥٠٠ وات / م^{٢}

ب- هوائي له كثافة طاقة عند نفس النقطة تساوي ١٠٠٠ وات / م^{٢}

ت- هوائي له كثافة طاقة عند نفس النقطة تساوي ١٥٠٠ وات / م^{٢}

الحل

أ-

$$D = P_r / P_{ref}$$
$$= 500 / 1000 = 0.5$$

ب –

$$D = P_r / P_{ref}$$
$$= 1000 / 1000 = 1$$

ت –

$$D = P_r / P_{ref}$$
$$= 1500 / 1000 = 1.5$$

من المثال السابق يتضح لنا أن الهوائي الأخير له قدرة عالية على بث الطاقة في اتجاه معين من الهوائيين السابقين له

ثانيا: كسب الطاقة

يعرف كسب الطاقة لهوائي معين بأنه نسبة كثافة الطاقة المنبعثة منه في اتجاه معين إلى كثافة الطاقة المنبعثة من هوائي مرجعي (Reference antenna) عند نفس النقطة مع فرض أن الطاقة الداخلة لكليهما متساوية.

وبمقارنة الكسب الاتجاهي بكسب الطاقة نجد أن الأخير يأخذ في الاعتبار كمية الطاقة المفقودة داخل الهوائي أو بمعنى آخر كفاءة الهوائي لذلك فإنه يعطى بالعلاقة الآتية:

$$A_P = D\,\eta$$

حيث إن:

A_P : كسب الطاقة للهوائي

مثال ٣- ٩:

أوجد كسب الطاقة لكل من الهوائيات التالية إذا كان الهوائي المرجعي له كثافة طاقة عند نقطة معينة تساوي ١٠٠ وات / م^{٢}:

ث- هوائي له كثافة طاقة عند نفس النقطة تساوي ٥٠٠ وات / م^{٢} و كفاءة ٨٠٪

ج- هوائي له كثافة طاقة عند نفس النقطة تساوي ١٠٠٠ وات / م^{٢} و كفاءة ٩٠٪

ح- هوائي له كثافة طاقة عند نفس النقطة تساوي ١٥٠٠ وات / م^{٢} و كفاءة ١٠٠٪

الحل

أ-

$$D = P_r / P_{ref}$$
$$= 500 / 1000 = 0.5$$
$$A_P = \eta D = 0.8 \times 0.5 = 0.40$$

ب –

$$D = P_r / P_{ref}$$
$$= 1000 / 1000 = 1$$
$$A_P = \eta D = 0.9 \times 1.0 = 0.90$$

ت –

$$D = P_r / P_{ref}$$
$$= 1500 / 1000 = 1.5$$
$$A_P = \eta D = 1.0 \times 1.5 = 1.50$$
$$= D$$

من المثال السابق يتضح أنه عندما يكون الهوائي عديم الفقد فإن كسب الطاقة يساوي الكسب الاتجاهي.

مما هو جدير بالذكر أن الطاقة المنبعثة من الهوائي تكون دائماً أصغر من الداخلة إليه و ذلك يعني أن الهوائي لا يكبر الطاقة الداخلة إليه و لكنه يعمل على تركيزها في اتجاه معين مما يجعل النقاط التي تكون في هذا الاتجاه تبدو و كأن لها كثافة طاقة مكبرة نسبياً عن النقاط التي توجد في الاتجاهات الأخرى .

و تحتوي ورقة المواصفات (Data sheet) للهوائيات على الكسب الاتجاهي و كسب الطاقة مما يجعل الفني قادراً على اختيار الهوائي المناسب للتطبيق الذي يريده. و عامة فإن التطبيق هو

الذي يحدد نوع الهوائي المناسب فمثلا إذا كان الهوائي المطلوب سيستخدم على أجسام متحركة (كالسيارات وغيرها ...) فإن الهوائيات التي لها اتجاهية منخفضة هي التي تصلح لهذا الغرض أما إذا كان الهوائي المطلوب سيستخدم على أجسام ثابتة (مثبت فوق برج) فإن الهوائيات التي لها اتجاهية عالية هي التي تصلح لهذا الغرض .

٣- ٣- ٤ استقطاب الهوائي

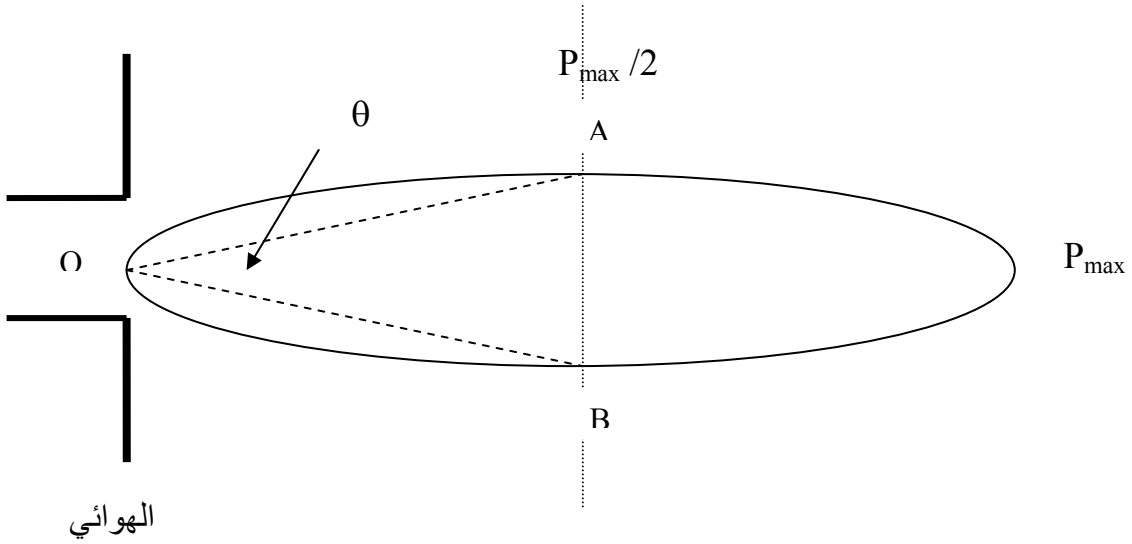
Antenna Polarization

كما ذكرنا في الوحدة الأولى فإن الاستقطاب يحدده المجال الكهربي الموجود في الموجة الكهرومغناطيسية المنبعثة من الهوائى. و بناء على ذلك توجد ثلاثة أنواع من الاستقطاب و هي الخطية و الدائرية و البيضاوية. وعند استخدام الهوائي في الاستقبال فإنه يجب أن يضبط لكي يكون له نفس الاستقطاب الموجودة لدى الموجات المستقبلة.

٣- ٣- ٥ زاوية الفص للهوائى

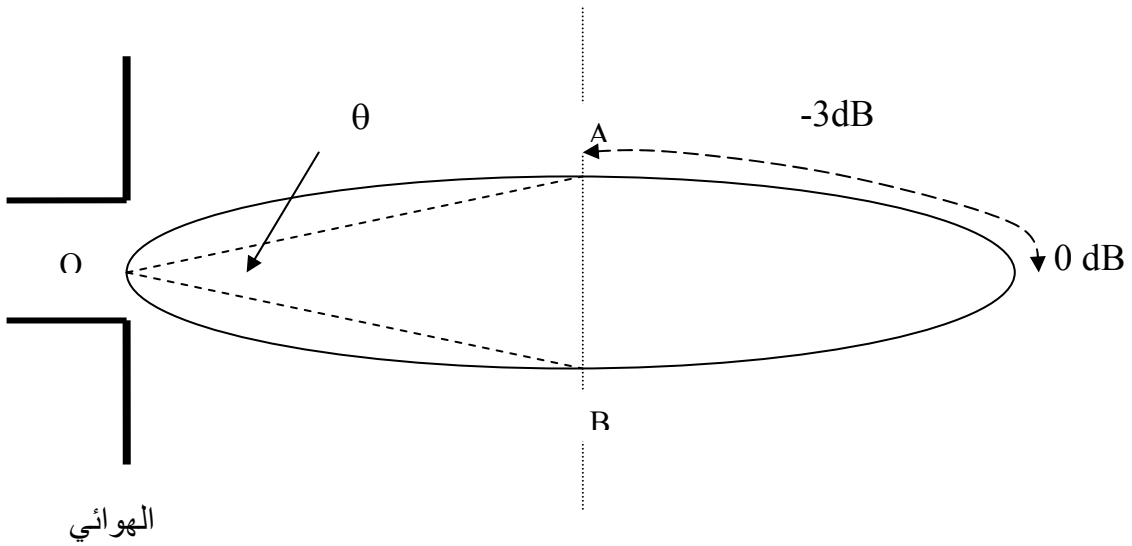
Antenna Beamwidth (θ)

زاوية الفص للهوائي هي تلك الزاوية المقاسة بين نقطتي نصف الطاقة في الفص الأمامي لرسم الإشعاع. فإذا كانت الطاقة ممثلة في رسم الإشعاع بالوات فإننا نحدد نقطة منتصف الطاقة بقسمة الطاقة العظمى على اثنين لنحدد النقطتين A, B ثم نصل AO, BO لنحصل على زاوية الفص كما في الشكل ٣- ١٠.



الشكل ٣- ١٠ زاوية الفص للهوائي

أما إذا كانت الطاقة ممثلة في رسم الإشعاع بالديسيبل فإننا نحدد نقطة منتصف الطاقة بأن نحدد النقطتين اللتين تقلان ٣ ديسيبل عن الصفر لنحدد النقطتين A, B ثم نصل AO, BO لنحصل على زاوية الفص كما في الشكل ٣- ١١.



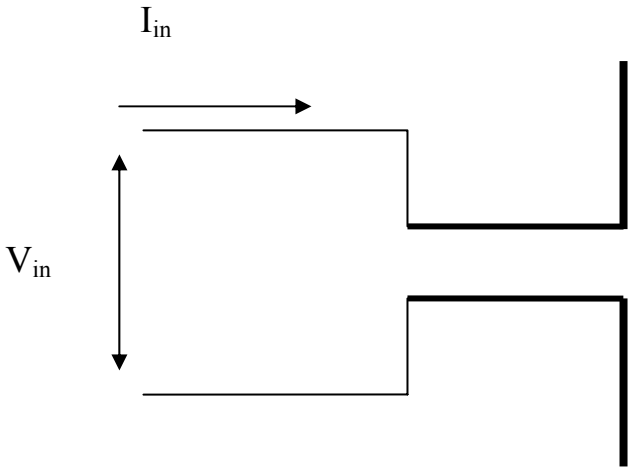
الشكل ٣- ١١ زاوية الفص للهوائي

من الشكل ٣- ١٠ و الشكل ٣- ١١ نلاحظ أنه كلما قلت قيمة زاوية الفص للهوائي فإن اتجاهيته تزداد و العكس صحيح. و هذه الزاوية تتواجد في ورقة المواصفات للهوائيات و التي منها يمكن معرفة و مقارنة هذه الهوائيات من حيث اتجاهيتها.

٣- ٣- ٦ معاوقة المدخل للهوائي

Antenna Input Impedance Z_{in}

النقاط التي يتصل عندها خط النقل بالهوائي تسمى أطراف المدخل للهوائي أو أحيانا تسمى نقاط التغذية للهوائي و المقاومة بين هذه الأطراف تعطي **معاوقة** المدخل للهوائي كما في الشكل ٣- ١٢.



الهوائي

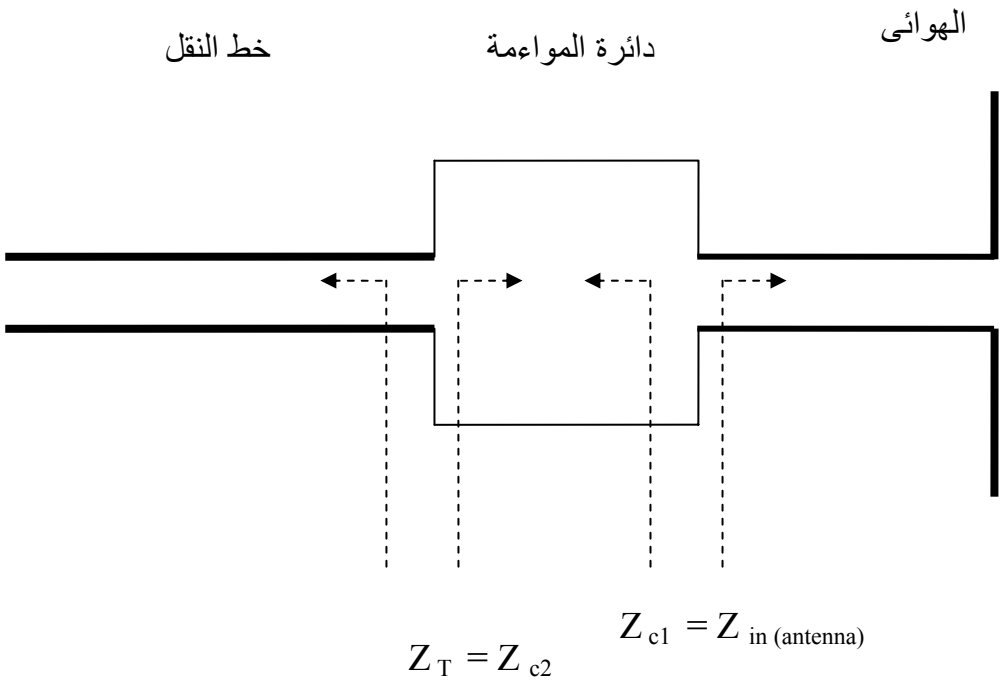
hgشكل ٣- ١٢ **معاوقة** المدخل للهوائي

و تعرف **معاوقة** المدخل للهوائي بأنها تلك **المعاوقة** المقاسة بين طرفي مدخل الهوائي إذا وضع جهد مقداره V_{in} على هذين الطرفين فمر فيهما تيار مقداره I_{in} بحيث:

$$Z_{in} = V_{in} / I_{in}$$

و تأتي أهمية معرفة **معاوقة** المدخل للهوائي لأنها تحدد نوع خط النقل الذي يصلح لأن يكون خط تغذية للهوائي حيث إن هذا الخط يجب أن يكون له **معاوقة** مساوية **لمعاوقة** مدخل الهوائي طبقاً لشروط المواءمة (Matching conditions) و إذا لم يتوفر خط نقل له نفس قيمة **معاوقة** المدخل للهوائي فإنه يلزم استخدام دائرة مواءمة بين خط النقل و الهوائي كما في الشكل ٣- ١٣ . في الرسم ٣- ١٣ مقاومة دائرة المواءمة من جهة الهوائي تكون مساوية **لمعاوقة** مدخل الهوائي أما من الجهة الأخرى فتكون مساوية **لمعاوقة** خط النقل.

إذا توفرت شروط المواءمة فإن الطاقة التي يستقبلها الهوائي تنتقل كلية إلى خط النقل و منه إلى المستقبل (Receiver).



hgشكل ٣- ١٣ استخدام دائرة المواءمة لربط الهوائي بخط النقل

عندما تكون قيمة المعاوقة حقيقية فإنها تؤول إلى مقاومة.

مثال ٣- ١٠

اختر لكل هوائي من الهوائيات التالية خط التغذية المناسب له:

أ- هوائي له مقاومة مدخل ٧٥ أوم

خطوط النقل المتاحة لها مقاومات (٥٠ – ٧٠ – ٧٥ – ١٠٠ – ١٥٠ – ٣٠٠)

ب- هوائي له مقاومة مدخل ١٥٠ أوم

خطوط النقل المتاحة لها مقاومات (٥٠ – ٧٠ – ٧٥ – ١٠٠ – ١٥٠ – ٣٠٠)

ت- هوائي له مقاومة مدخل ٣٠٠ أوم

خطوط النقل المتاحة لها مقاومات (٥٠ – ٧٠ – ٧٥ – ١٠٠ – ١٥٠ – ٣٠٠)

الحل:

أ- خط النقل الذي له مقاومة ٧٥ أوم

ب- خط النقل الذي له مقاومة ١٥٠ أوم

ت- خط النقل الذي له مقاومة ٣٠٠ أوم

أسئلة

١- كيف تتحدد أبعاد الهوائي؟

٢- ماالشروط التي يجب أن تتوفر عند تثبيت الهوائي؟

٣- ما المعادن التي تستخدم في صناعة الهوائيات؟

٤- لماذا تلزم الحماية الجوية لبعض الهوائيات؟

٥- لماذا تختلف طرق التغذية للهوائيات؟

٦- حدد ثلاث طرق تستخدم في التغذية؟

٧- ما شروط المواءمة؟

٨- ماالمقصود بالخصائص الفنية للهوائي؟

٩- ما رسم الإشعاع؟

١٠- ما فائدة رسم الإشعاع؟

١١- ما مقاومة الإشعاع للهوائي؟

١٢- كيف تحدد كفاءة الهوائي؟

١٣- ماذا يزيد أو يقلل من قيمة كفاءة الهوائي؟

١٤- ما الكسب الاتجاهي؟

١٥- كيف يقاس الكسب الاتجاهي؟

١٦- ماالذي تدل عليه زيادة قيمة الكسب الاتجاهى؟

١٧- ما زاوية الفص للهوائى؟

١٨- ماالذى تدل عليه زيادة زاوية الفص للهوائي؟

١٩- ما فائدة مقاومة المدخل للهوائي؟