الأكاديمية العربية الدولية
Arab International Academy

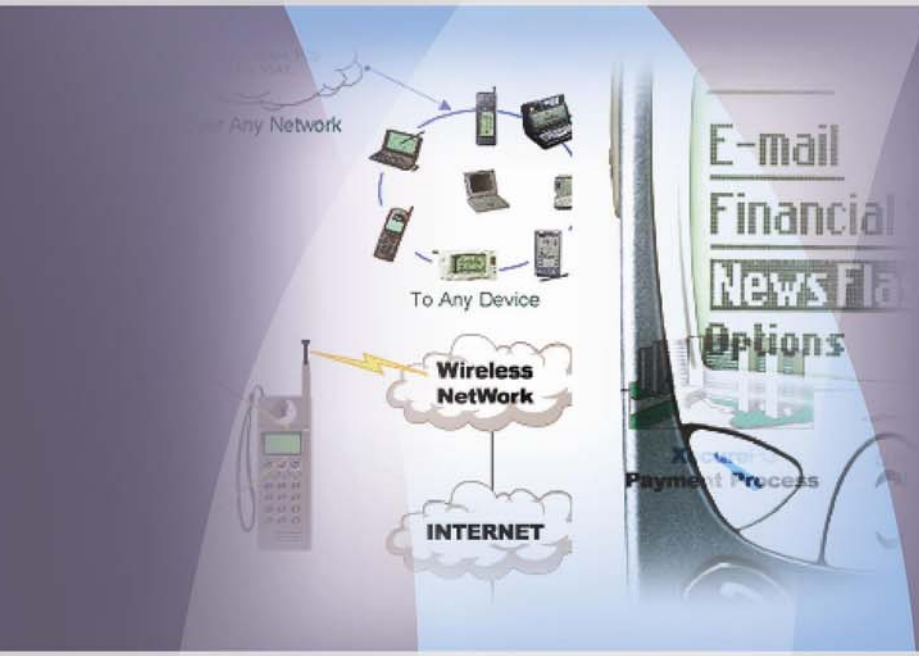
الأكاديمية العربية الدولية

المقررات الجامعية

www.aiacademy.info | care@aiacademy.info

برنامج التدريب العسكري المهني

المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج



تخصص اتصالات

الهوائيات وانتشار الموجات

232 تصل

طبعة ١٤٢٩ هـ

مقدمة

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي: لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " **الهوائيات وانتشار الموجات** " لمتدربي تخصص "**اتصالات**" في معاهد التدريب العسكري المهني موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه: إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

الهوائيات و انتشار الموجات

الموجات الكهرومغناطيسية

الفصل الأول

الموجات الكهرومغناطيسية

The Electromagnetic waves

اسم الوحدة: الموجات الكهرومغناطيسية

الجدارة: التعرف على ماهية الموجات الكهرومغناطيسية من حيث خصائصها – أنواعها – طرق انتشارها و كذلك خصائص وسط الانتشار و كيف يؤثر على الموجات المنتشرة خلاله.

الأهداف: أن يصل المتدرب إلى إتقان الجدارة بنسبة 90٪

الوقت المتوقع للتدرب على الجدارة: 5 ساعات

الوسائل المساعدة: معمل الهوائيات و انتشار الموجات

متطلبات الجدارة: أن يكون المتدرب قد اجتاز مقررات الهندسة الكهربية و أساسيات الاتصالات

1-1 مقدمة

الموجات الكهرومغناطيسية هي الأساس في الاتصالات اللاسلكية والتي بها يتم الاتصال بين نقطتين أو أكثر(مرسل و مستقبل) بينهما مسافات شاسعة و لايوجد بينهما خطوط نقل مباشرة. والاتصالات اللاسلكية لها تطبيقات عديدة في مجالات الاتصالات الهاتفية و المراقبة الجوية و الأقمار الصناعية.

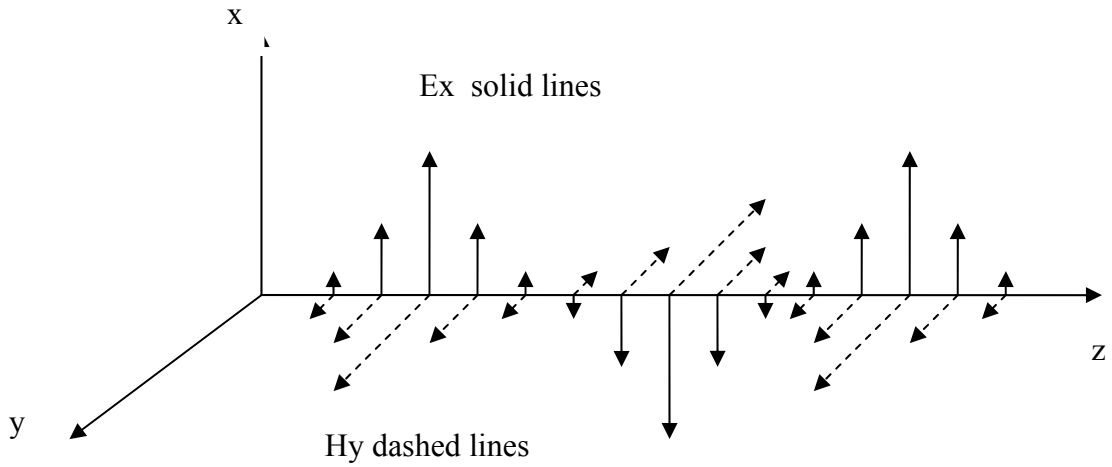
عند المرسل تقوم الهوائيات بتحويل الطاقة الكهربية القادمة إليها إلى موجات لاسلكية والتي تنتشر من الهوائي في الوسط المحيط به و عند المستقبل يقوم هوائي المستقبل باستقبال الموجات اللاسلكية و تحويلها بعد عدد من العمليات إلى تيار و جهد مثل تلك التي كانت موجودة عند المرسل قبل ارتفاع قيمة تردد الإشارة الكهربية. عند ارتفاع التردد فإن الجهد و التيار يتحولان إلى مجال كهربي و مجال مغناطيسي على التوالي. و في هذه الوحدة سوف ندرس خصائص الموجات الكهرومغناطيسية و طرق و طبيعة انتشارها.

2-1 خصائص الموجات الكهرومغناطيسية

Electromagnetic waves characteristics

الموجة هي بوجه عام حركة مترددة مثل حركة سطح الماء الساكن عند سقوط حجر فيه أو مثل الموجات الصوتية التي هي عبارة عن مجموعة من التضاغطات و التخلخلات في الهواء المحيط بمصدرالصوت. و المثالان السابقان يمثلان حركة أو موجة ميكانيكية في الوسط. الموجات الكهرومغناطيسية هي عبارة عن تغيرات في المجالين الكهربي و المغناطيسي المكونين لهذه الموجة حيث تتكون الموجات الكهرومغناطيسية من مجالين كهربي و مغناطيسيي متعامدين يتحركان كل مع الآخر كما هو موضح في الشكل (1- 1).

الموجات الكهرومغناطيسية مثل موجات الضوء و الموجات فوق الحمراء و الموجات فوق البنفسجية و موجات المايكروويف و غيرهما.



الشكل 1- 1 موجة كهرومغناطيسية

3-1 سرعة الموجة

Wave velocity

تتحرك الموجة المغناطيسية بسرعة مميزة تعتمد قيمتها على طبيعة و نوع الوسط الذي تنتشر فيه الموجة. حيث تتغير هذه القيمة تبعاً للخصائص الكهربية للوسط. و أعلى سرعة لهذه الموجات هي سرعة الضوء (3×10^8 م/ ث) و ذلك عندما تنتشر هذه الموجات في الفراغ أما في الأوساط الأخرى فإن هذه السرعة تقل عن سرعة الضوء.

4-1 التردد و الطول الموجي

Frequency and Wavelength

التغيرات التي تحدث في الموجات المترددة قد تكون تكرارية مثل تلك الموجودة في الموجات الكهرومغناطيسية الجيبية و الوحدة التكرارية تسمى ذبذبة (Cycle). و يعرف التردد بأنه عدد الذبذبات في الثانية الواحدة لذا فإن وحدة التردد هي ذبذبة/ثانية (cycle/s) و التي أيضاً يطلق عليها هرتز Hertz. ويرمز له f.

الطول الموجي هو تلك المسافة التي تسيرها الموجة خلال ذبذبة واحدة و هو أيضاً يعرف بأنه المسافة بين أي نقطتين متتاليتين لهما نفس الطور (The same phase) ووحدته هي المتر. ويرمز له λ

ويرتبط التردد و الطول الموجي بالعلاقة الآتية:

الطول الموجي = سرعة الموجة / التردد

$$\lambda = v / f$$

حيث:

λ : الطول الموجى

v : سرعة الموجة و هي تساوي سرعة الضوء عندما تنتشر الموجة في الفراغ

f : التردد

مثال 1- 1:

احسب قيمة الطول الموجي لموجة تنتشر في الفراغ و لها الترددات الآتية :

1- 1 KHz

2- 1 MHz

3- 1GHz

الحل:

$$\lambda = v / f$$

1- $\lambda = v / f = c / f = 3x10^8 / 1x10^3 = 3x10^5$ m

2- $\lambda = v / f = c / f = 3x10^8 / 1x10^6 = 3x10^2$ m

4- $\lambda = v / f = c / f = 3x10^8 / 1x10^9 = 3x10^{-1}$ m $= 0.3$ m $= 30$ cm

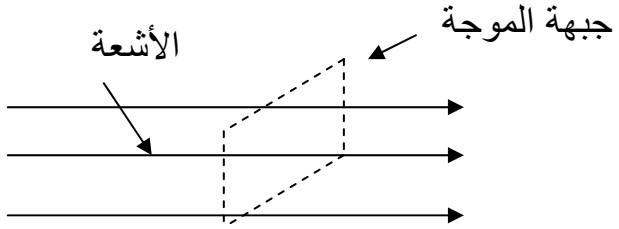
5-1 الأشعة و جبهة الموجة

Rays and Wavefront

تعتبرالموجات الكهرومغناطيسية من الأشياء غير المرئية و لذلك فإنه عند تحليلها و التعامل معها فإنه يجب أن يوضع تصور لشكلها حتى نتمكن من تصنيفها و تحليلها و تصميم الدوائر المستخدمة في توليدها من حيث الإرسال و الاستقبال. وإحدى طرق التعرف على هذه الموجات تعتمد على الأشعة و جهة الموجة:

الأشعة: يستخدم الشعاع ليدل على اتجاه إنتشار الموجة حيث يدل رأس الشعاع على هذا الاتجاه

جبهة الموجة: هي سطح يمر خلال الموجة و يحتوي على النقاط التي لها نفس الطور(الخصائص)

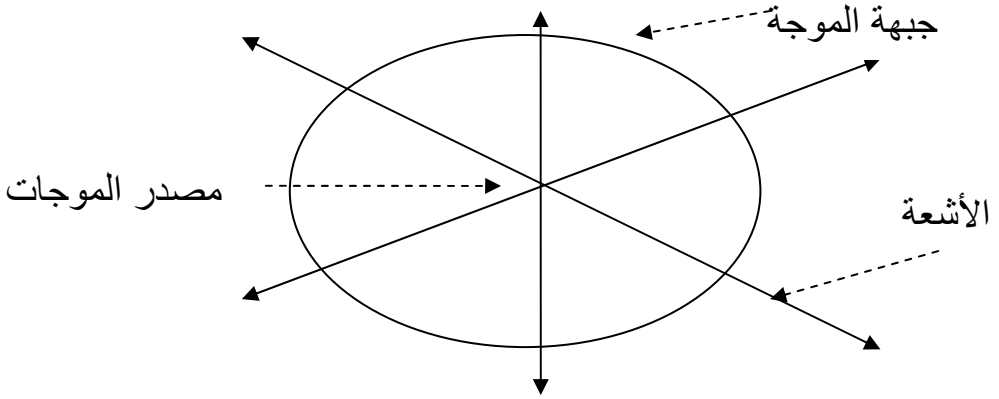


الشكل 1- 2 الأشعة و جبهة الموجة (موجة مستوية)

و بناء على شكل جبهة الموجة فإنه يمكن تصنيف الموجات إلى:

- موجات مستوية: في الموجات المستوية يكون شكل جبهة الموجة عبارة عن مستوى وهذا المستوى عمودي على اتجاه انتشار الموجة كما في الشكل 1- 2

- موجات كروية: في الموجات الكروية يكون شكل جبهة الموجة عبارة عن كرة وهذه الكرة يكون مستواها عمودياً على اتجاه انتشار الموجة كما في الشكل 1- 3



شكل 1- 3 الأشعة و جبهة الموجة (موجة كروية)

6-1 الموجات الكروية و قانون التربيع العكسي

Spherical waves and Inverse square law

تعبر الموجات الكهرومغناطيسية بوجه عام عن تدفق للطاقة الكهربية في اتجاه انتشار الموجة لذلك فإذا افترضنا أن الطاقة الكلية الموجودة في الموجة هي P_t فإنه يمكن تعريف كثافة الطاقة P_d بأنها معدل مرور الطاقة عمودياً خلال وحدة المساحة في وسط الإنتشار وتكون وحدات الطاقة الكلية هي الوات Watt و يرمزله بالرمز w أما كثافة الطاقة فإن وحداتها هي الوات / م^2 (W/m^2)

فإذا أخذنا مثالاً على ذلك الموجات الكروية الموضحة في الشكل 1- 4 فإن كثافة الطاقة عند المسافة R1 هي:

$$P_{d1} = P_t / 4\pi R1^2$$

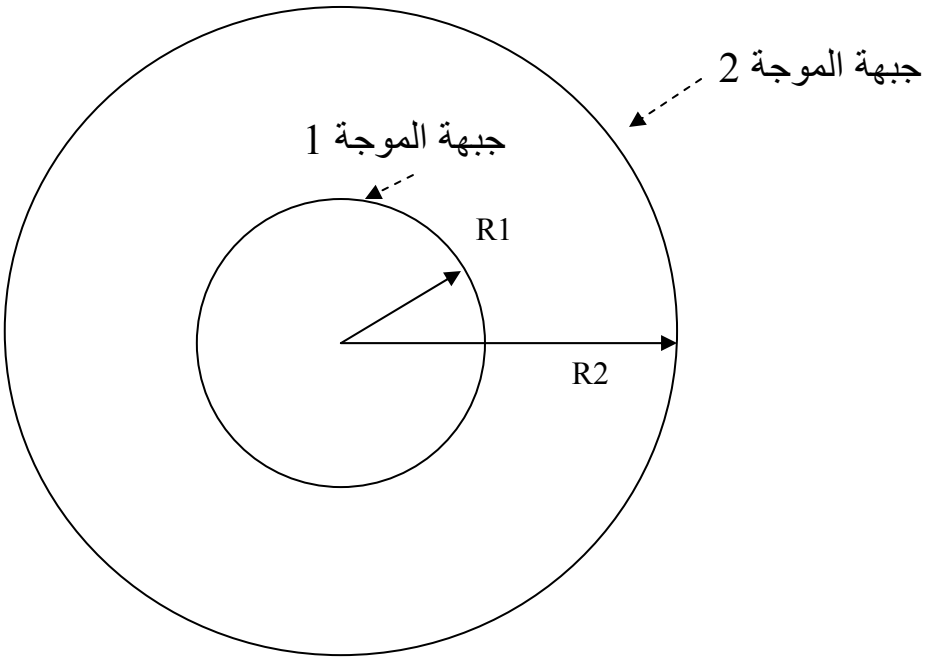
و كذلك عند المسافة R2 هي:

$$P_{d2} = P_t / 4\pi R2^2$$

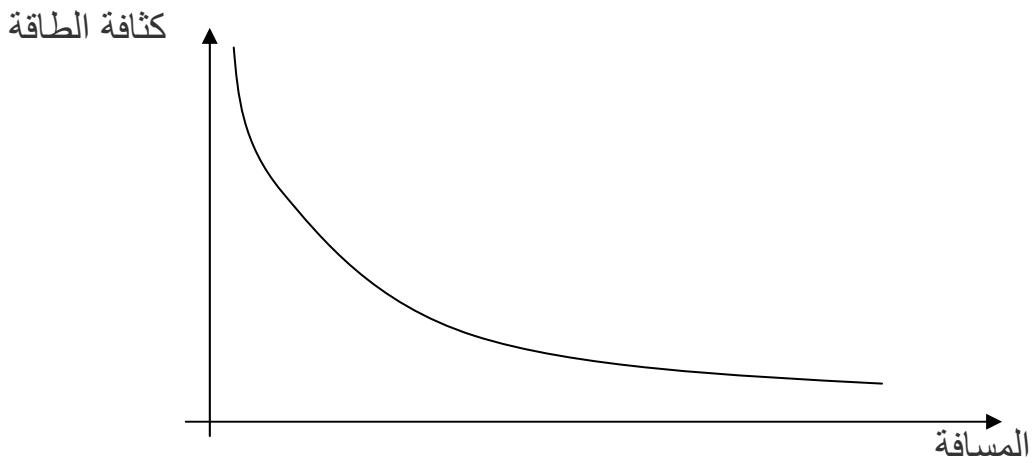
من العلاقتين السابقتين يمكن استنتاج قانون التربيع العكسي:

$$P_{d1} / P_{d2} = (R2 / R1)^2$$

من العلاقات السابقة يتضح لنا أنه كلما زادت المسافة بعداً عن مصدر توليد الطاقة فإن كثافة الطاقة تقل بصورة كبيرة متناسبة عكسياً مع مربع المسافة كما في الشكل 1- 5



الشكل 1- 4 الموجات الكروية الناتجة من مصدر يوزع الطاقة في جميع الاتجاهات بالتساوي



الشكل 1- 5 علاقة كثافة الطاقة بالمسافة

مثال 1- 2

أوجد كثافة الطاقة الناتجة عن هوائي يوزع الطاقة في جميع الاتجاهات بالتساوي عند مسافة 1 و 10 أمتار من هذا الهوائي و ذلك إذا كانت الطاقة الكلية الخارجة من الهوائي تساوي 100 وات.

الحل:

$$P_{d1} = P_t / 4\pi R1^2$$
$$= 100 /(4\pi \times 1^2) \ w/m^2$$
$$P_{d2} = P_t / 4\pi R2^2$$
$$= 100 /(4\pi \times 10^2) \ w/m^2$$

7-1 الاستقطاب

Polarization

يحدد **الاستقطاب** للموجات الكهرومغناطيسية بطبيعة و شكل مركبة المجال الكهربي الموجود في الموجة حيث يحدد الشكل الذي يرسمه المجال الكهربي في الموجة أثناء انتشارها نوعية **الاستقطاب**. لذلك فإنه توجد ثلاثة أنواع رئيسة من **الاستقطاب**:

أ- **الاستقطاب الخطي:**

Linear polarization

و فيها يرسم المجال الكهربي خطا أثناء انتشار الموجة وبناء على اتجاه الخط بالنسبة لاتجاه الانتشار فإن **الإستقطاب الخطي** ينقسم إلى نوعين (شكل 1- 6):

- **الاستقطاب الخطي** الأفقي:

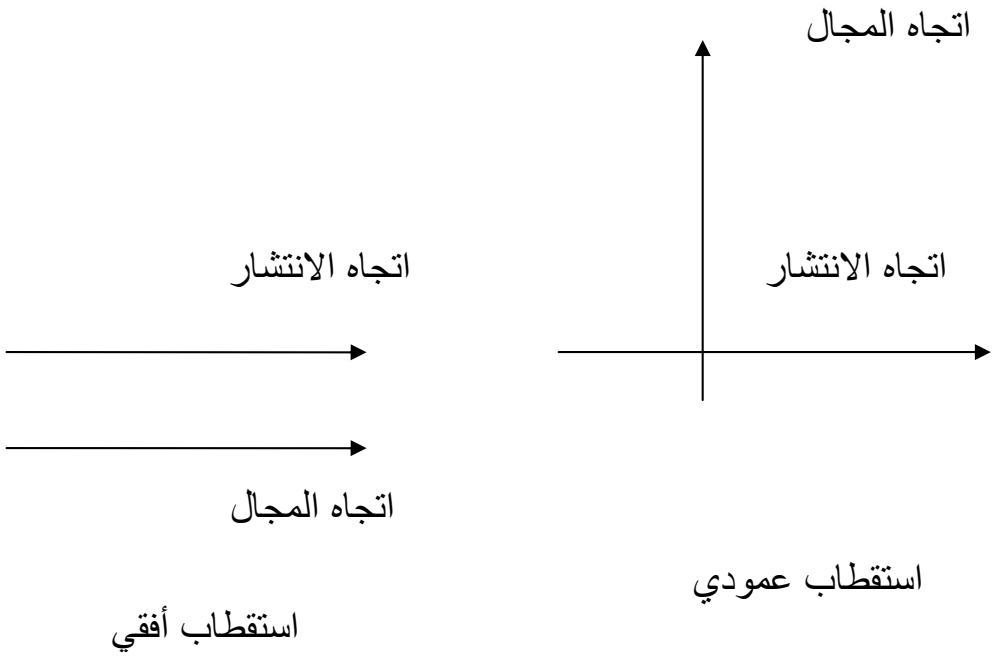
Horizontal polarization

ويكون فيها الخط الذي يرسمه المجال الكهربي موازياً لاتجاه انتشار الموجة

- **الاستقطاب الخطي** الرأسي:

Vertical polarization

ويكون فيها الخط الذي يرسمه المجال الكهربي عمودياً لاتجاه انتشار الموجة



الشكل 1- 6 الاستقطاب الخطي

ب- الاستقطاب **الدائري:**

Circular polarization

و فيها يرسم المجال الكهربي دائرة أثناء انتشار الموجة وبناء على اتجاه رسم الدائرة بالنسبة لاتجاه الانتشار فان الاستقطاب **الدائري** ينقسم إلى نوعين (شكل 1- 7):

- الاستقطاب **الدائري** اليميني:

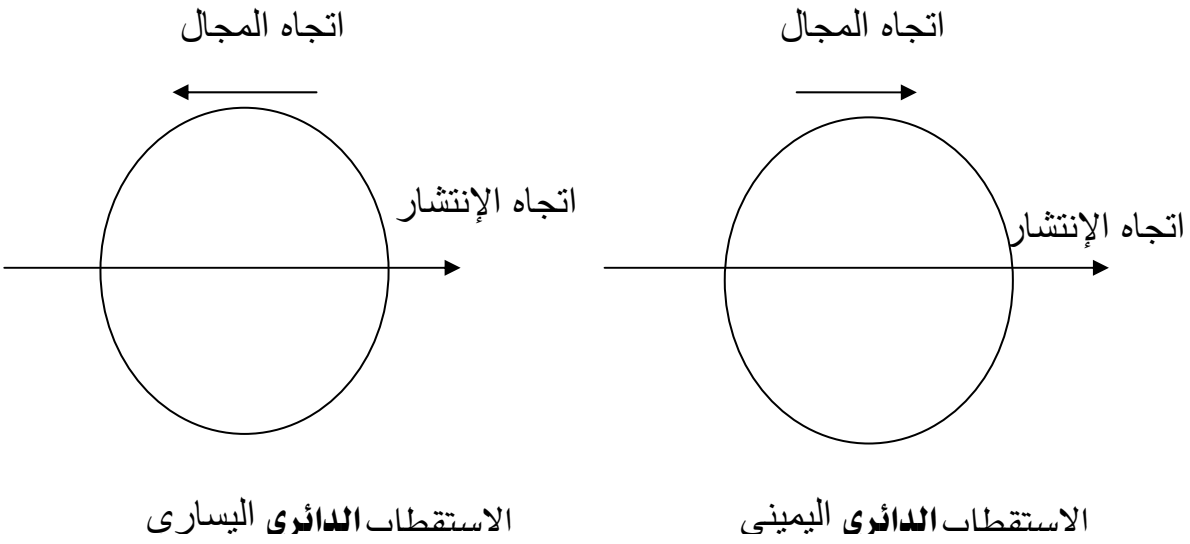
Right Circular polarization

و فيها يدور المجال الكهربي في اتجاه عقارب الساعة ليرسم الدائرة المتعامدة على اتجاه الانتشار

- الاستقطاب **الدائري** اليساري:

Left Circular polarization

و فيها يدور المجال الكهربي في عكس اتجاه عقارب الساعة ليرسم الدائرة المتعامدة على اتجاه الانتشار



الاستقطاب **الدائرى** اليمينى　　الاستقطاب **الدائرى** اليسارى

الشكل 1- 7 الإستقطاب **الدائري**

ت- الاستقطاب **البيضاوي:**

Elliptical polarization

و فيها يرسم المجال الكهربي شكلاً بيضاوياً أثناء انتشار الموجة وبناء على اتجاه رسم الشكل البيضاوي بالنسبة لإتجاه الانتشار فإن الإستقطاب **البيضاوي** ينقسم إلى نوعين (الشكل 1- 8):

- الاستقطاب **البيضاوي** اليميني:

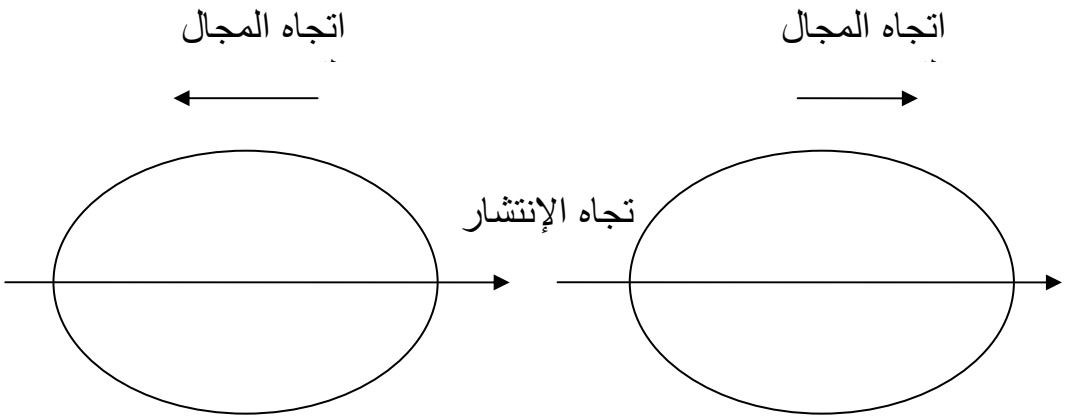
Right Elliptical polarization

و فيها يدور المجال الكهربي في اتجاه عقارب الساعة ليرسم الشكل البيضاوي المتعامد على اتجاه الانتشار

- الاستقطاب **البيضاوي** اليساري:

Left Elliptical polarization

و فيها يدور المجال الكهربي في عكس اتجاه عقارب الساعة ليرسم الشكل البيضاوي المتعامد على اتجاه الانتشار



الإستقطاب **البيضاوى** اليميني　　الإستقطاب **البيضاوى** اليساري

شكل 1- 8 الاستقطاب **البيضاوي**

8-1 **الخصائص الكهربية لوسط الانتشار**

The electrical properties of the transmission medium

توجد خصائص كهربية عديدة لوسط الانتشار سنعرض لأهمها و هى:

أ- السماحية Permittivity (ε)

لكل مادة ثابت معين يحدد قيمة هذه السماحية وهذا الثابت يساوي:

$$\varepsilon = \varepsilon_o \varepsilon_r$$

حيث:

ε_o : السماحية المطلقة و تساوي

$$\varepsilon_o = 8.85 \times 10^{-12}$$
$$= (1/36\pi) \times 10^{-9}$$

ε_r : السماحية النسبية و هي تختلف من وسط إلى وسط وتساوى واحداً للفراغ

ب- النفاذية M Permeability (μ)

لكل مادة ثابت معين يحدد قيمة هذه النفاذية وهذا الثابت يساوي:

$$\mu = \mu_o \mu_r$$

حيث:

μ_o : النفاذية المطلقة و تساوي

$$\mu_o = 4 \pi \times 10^{-7}$$

μ_r : النفاذية النسبية و هي تختلف من وسط إلى وسط وتساوي واحداً للمواد غير المغناطيسية

ت- التوصيلية Conductivity (σ)

هذا الثابت يحدد قدرة الأوساط على توصيل الطاقة الكهربية و توجد جداول تحدد قيمة هذا الثابت للمواد المختلفة

9-1 الخصائص الضوئية للموجات الكهرومغناطيسية

Optical properties of electromagnetic waves

عندما تنتقل و تنتشر الموجات الكهرومغناطيسية في الأوساط المختلفة كهربياً فإنها قد تعاني مما يعاني منه الضوء عند انتقاله في الأوساط المختلفة. فقد يحدث لهذه الموجات:

أ- انكسار Refraction

ب- انعكاس Reflection

ت- تشتت Diffraction

ث- تداخل Interference

أما إذا كانت هذه الأوساط لها نفس الخصائص الكهربية فإن هذه الموجات لن تعاني من الظواهر السابقة.

أ- الانكسار Refraction

الانكسار للموجات الكهرومغناطيسية هو تغير اتجاه الشعاع الساقط مائلاً من وسط على وسط آخر له خصائص كهربية تختلف عن الوسط الأول. في الشكل 1- 9 نرى أنه توجد موجة ساقطة من الوسط الأول الذي له معامل انكسار يختلف عن الوسط الثاني. وترتبط الموجةالساقطة في الوسط الأول بالموجة المنكسره في الوسط الثاني بقانون سنل الثاني:

$$n1 \sin(\theta i) = n2 \sin(\theta t)$$

حيث:

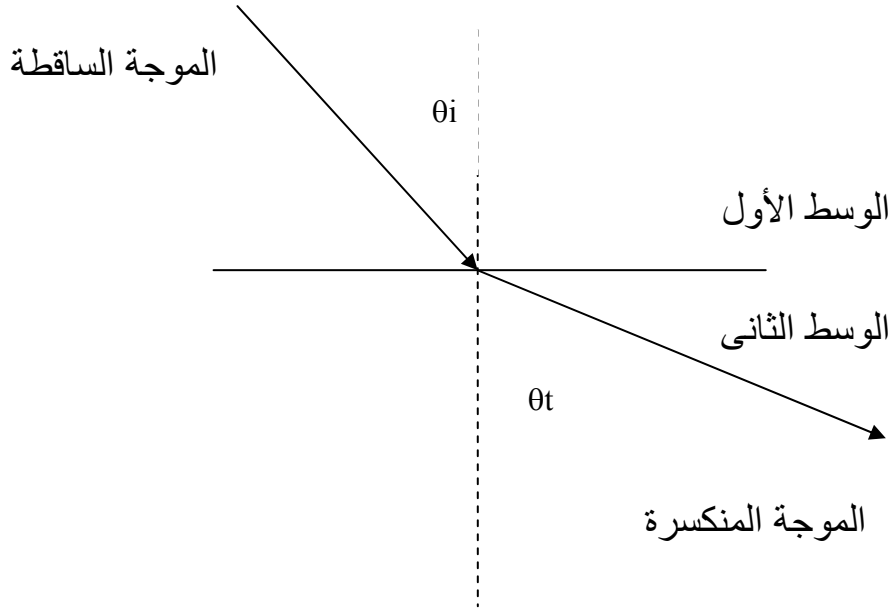
θi : زاوية السقوط

θt : زاوية الانكسار

n1 : معامل انكسار الوسط الأول

n2 : معامل انكسار الوسط الثاني

يبين الشكل 1- 9 أن الموجة الساقطة لها زاوية سقوط θi و كذلك الموجة المنكسرة لها زاوية انكسار θt.



الشكل 1- 9 انكسارالموجة الساقطة على حد فاصل بين وسطين

مثال 1- 3

تسقط موجة كهرمغناطيسية بزاوية 45 درجة على سطح يفصل وسطين. أوجد زاوية الانكسار إذا كان معامل انعكاس الوسط الأول =1 و معامل انعكاس الوسط الثاني =2 .

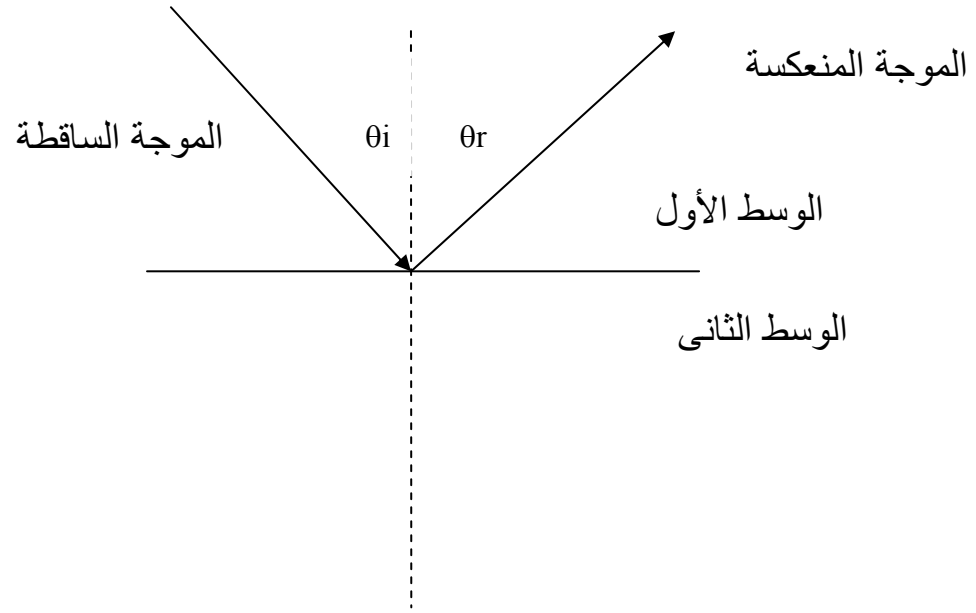
الحل:

$$n1 \sin(\theta i) = n2 \sin(\theta t)$$
$$1 \sin(45) = 2 \sin(\theta t)$$
$$\sin(\theta t) = 0.5 \sin(45) = 0.5\,(0.707) = 0.3535$$
$$\theta t = \sin^{-1}(0.3535) = 20.7^{o}$$

ب- الانعكاس Reflection

الانعكاس هو أن تغير الموجة الكهرومغناطيسية اتجاهها في نفس الوسط نتيجة سقوطها على حد فاصل يفصل هذا الوسط عن وسط آخر يختلف معه في الخصائص الكهربية كما في الشكل 1- 10. وينتج ذلك عن أن جزءاً من الطاقة الساقطة لا ينتقل إلى الوسط الثاني ولكنه يرتد في الوسط الأول. وتربط الزاوية التي تسقط بها الموجة مع تلك التي تنعكس بها بقانون سنل الأول الذي ينص على أن زاوية السقوط تساوي دائما زاوية الانعكاس.

$$\theta i = \theta r$$



الشكل 1- 10 انعكاس الموجة الساقطة على حد فاصل بين وسطين

مثال 1- 4

تسقط موجة كهرومغناطيسية بزاوية 45 درجة على سطح يفصل وسطين. أوجد زاوية الانعكاس إذا كان معامل انعكاس الوسط الأول =1 و معامل انعكاس الوسط الثاني =2 .

الحل:

$$\theta i = \theta r$$
$$\theta r = 45^{o}$$

ت- التشتت Diffraction

التشتت يحدث للموجات الكهرومغناطيسية عندما تسقط هذه الموجات على أجسام لها أبعاد مساوية أو أكبر من طولها الموجي. فمثلا الموجة الكهرومغناطيسية التي لها تردد 1ميجا هرتز يكون الطول الموجي لها:

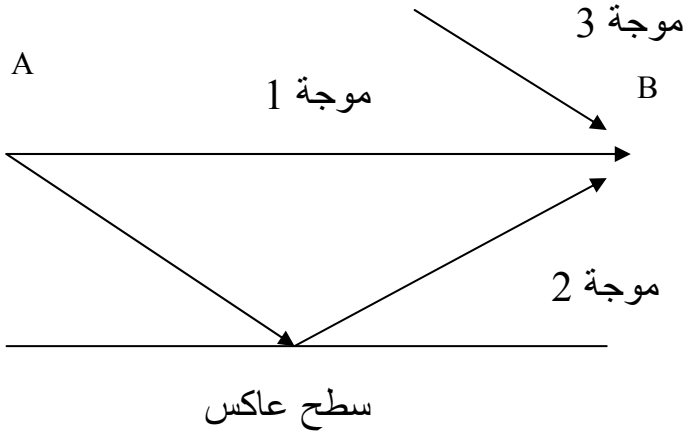
$$\lambda = 3\times10^{8}/1\times10^{6} = 300\ m$$

هذه الموجة تشتت نتيجة وجود أجسام لها أبعاد أكبر من 300 م.

كلما إرتفع التردد فإن الطول الموجي يقل مما يجعل الأجسام التي لها أبعاد أصغر تسبب تشتتا للموجات الكهرومغناطيسية العالية التردد لذلك فإن الموجات البصرية (Optical waves) لا تصلح للاتصالات اللاسلكية لأن الطول الموجي لها يكون مقارب لأبعاد الذرات و حبات المطر التي قد تكون متعلقة بالهواء مما يسبب تشتتا قويا لهذه الموجات.

ث- التداخل Interference

التداخل هو اختلاط موجتين أو أكثر وينتج ذلك موجة كلية كخليط من هذه الموجات ويصعب فصل الموجات المختلطة. و يحدث التداخل بين الموجات الكهومغناطيسية عندما تتواجد موجتان أو أكثر في نفس المكان والزمان و يكون ترددهما متقارباً و لهما نفس الاستقطاب كما في الشكل 1- 11.



الشكل 1- 11 التداخل بين ثلاث موجات عند النقطة B

1-10 طرق انتشار الموجات

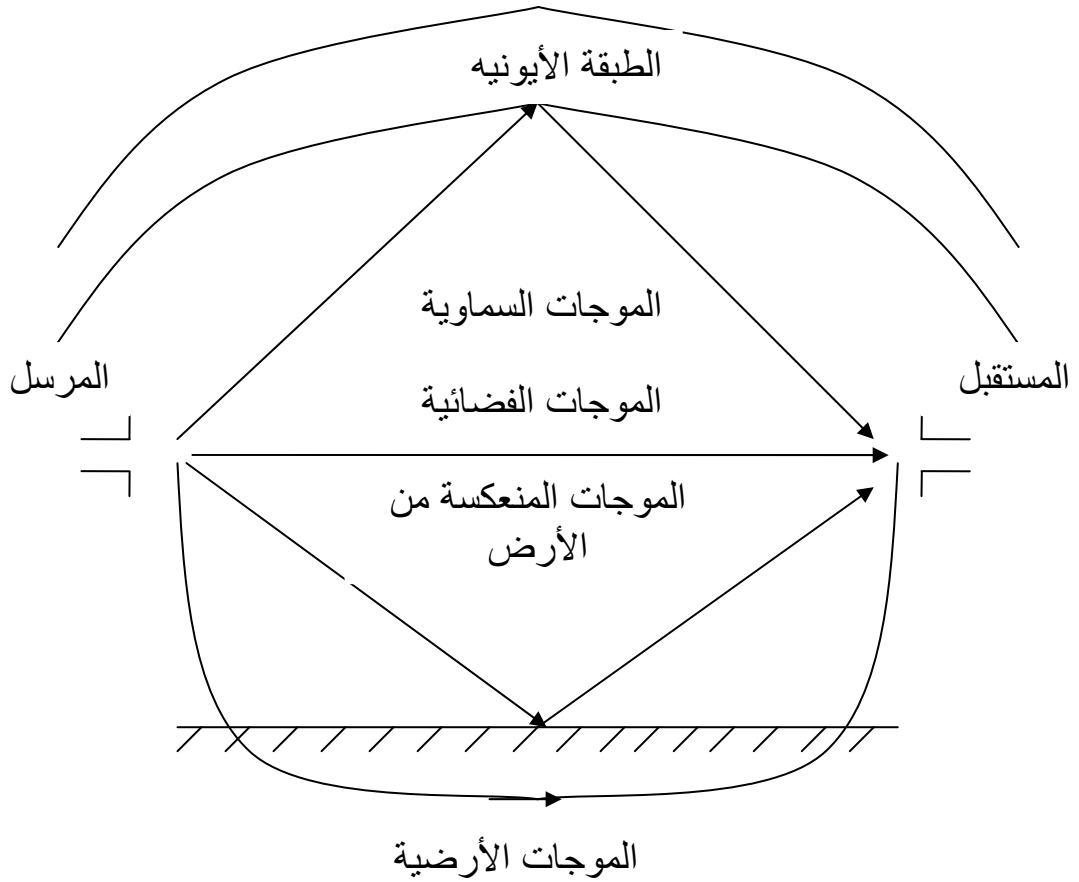
توجد طرق عديدة يمكن أن تنتشر بها الموجات الكهرومغناطيسية ويعتمد ذلك على نظام الاتصالات و طبيعة وسط الانتشار. و بناء على ذلك فإنه يمكن تصنيف الموجات إلى ثلاثة أنواع وهي:

الموجات الأرضية Ground waves

الموجات الفضائية Space waves

الموجات السماوية Sky waves

و الشكل 1- 12 يبين الأنماط الثلاثة السابقة الذكر والتي يمكن أن تنتشر بها الموجات بين محطتي إرسال و استقبال لاسلكية.



الشكل 1- 12 الأنماط المختلفة لطرق انتشار الموجات

الموجات الأرضية تستخدم في نطاق الموجات المنخفضة التردد و المنخفضة جداً (LF,VLF) وذلك لأن الفقدالذي يسببه وسط الانتشار (الأرض) في طاقة الموجات الكهرومغناطيسية حتى هذا التردد يكون مقبولاً. كلما زاد تردد الموجات فإن الفقد الذي تسببه الأرض يزداد مما يجعل الموجات عالية التردد غير مناسبة لاستخدامها كموجات أرضية.

الموجات الفضائية تستخدم في نطاق الموجات العالية جداً للتردد و الأعلى من ذلك (VHF and above).

الموجات السماوية تستخدم في نطاق الموجات عالية التردد (HF)

أ- **الموجات الأرضية** Ground waves

الموجات الأرضية هي الموجات الكهرومغناطيسة التي تستخدم القشرة الأرضية كوسط انتشار لذلك فإنها في بعض الأحيان تسمى الموجات السطحية (Surface waves)

ويجب أن تكون الموجات الأرضية محققة للخصائص التالية:

1- أن يكون لها استقطاب خطي رأسي : و ذلك ليكون الفقد في الموجة أقل ما يمكن لأنه في حالة الاستقطاب الخطي الأفقي يكون المجال الكهربي موازياً لسطح الأرض مما يزيد من الفقد.

2- أن لا يزيد التردد عن المسموح به حتى لايزداد الفقد لذلك فإن هذه الموجات محدودة إلى حد كبير في الموجات ذات التردد المنخفض و المنخفض جداً (LF, VLF)

الموجات الأرضية لها استخدامات عديدة في مجالات الاتصالات البحرية و الاستكشافات الأرضية.

وتتميز هذه الموجات بالآتي:

1- أنها يمكن أن تستخدم للاتصال بين أي نقطتين على سطح الأرض لو توفرت الطاقة الكافية

2- لا تتأثر نسبيا بالتغيرات الجوية

عيوب هذه الموجات:

1- تحتاج طاقة إرسال عالية

2- ترددها منخفض مما يؤدي إلى كبر حجم منظومة الاتصالات

3- معدلات الفقد في الموجة تتغير بتغير نوع التربة

ب- الموجات الفضائية Space waves

تتكون الموجات الفضائية من شقين:

1- الموجات المباشرة (Direct waves)

و هي التي تنطلق من المرسل لتصل إلى المستقبل مباشرة و هي تمثل أكثر من 90٪ من الموجات الفضائية وهذه الموجات تحدها طبيعة انحناء الأرض في المنطقة بين المرسل و المستقبل.

2- الموجات المنعكسة من الأرض (Ground reflected waves)

وهي جزء من الموجات المنتشرة من المرسل والساقطة على الأرض لتنعكس في اتجاه المستقبل، مباشرة و هي تمثل أقل من 10٪ من الموجات الفضائية.

المسافة بين المرسل و المستقبل لهذه الموجات تحددها طبيعة انحناء الأرض(خط النظرDirect path) ولهذا فإن المسافة بينهما تتراوح مابين 36 إلى 40 كم. ويمكن زيادة هذه المسافة بزيادة ارتفاع الأبراج التي يثبت عليها كل من هوائي المرسل و المستقبل أو تثبيت الهوائيات على الأماكن المرتفعة سواء أكانت صناعية أم طبيعية.

وقد وجد أن المسافة بين الأبراج ترتبط بارتفاعها بالعلاقة الآتية:

$$d = 4\,(ht)^{1/2} + 4\,(hr)^{1/2}$$

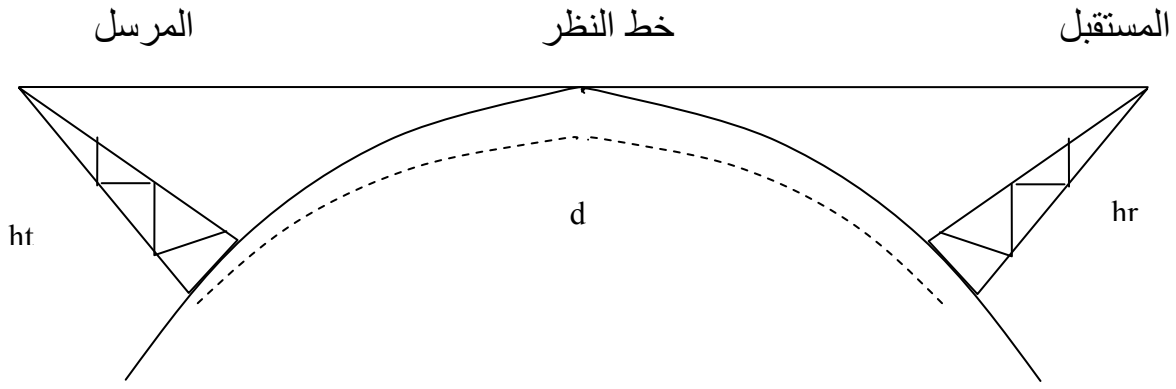
حيث:

d : المسافة بين الأبراج بالكيلومتر

ht: ارتفاع هوائي المرسل بالمتر

hr: ارتفاع هوائي المرسل بالمتر

والشكل 1- 13 يبين هذه العلاقة.



الشكل 1- 13 الموجات الفضائية

مثال 1- 5

أوجد أبعد مسافة ممكنة بين هوائي مرسل و مستقبل ارتفاع كل منهما 100 م.

الحل:

$$d = 4\,(ht)^{1/2} + 4\,(hr)^{1/2}$$
$$= 4\,(100)^{1/2} + 4\,(100)^{1/2}$$
$$= 40 + 40 = 80 \text{ km}$$

هذا المثال يؤكد على أنه كلما زاد ارتفاع الهوائيات فإن المسافة بينهما يمكن أن تزداد.

ت- الموجات السماوية Sky waves

الموجات السماوية هي تلك الموجات التي يكون اتجاه انتشارها (شعاعها) في اتجاه السماء حيث تنعكس أو تنكسر متجهة إلى الخلف في اتجاه الأرض وذلك بواسطة طبقة عاكسة في السماء تسمى الطبقة الأيونية (Ionosphere Layer)،

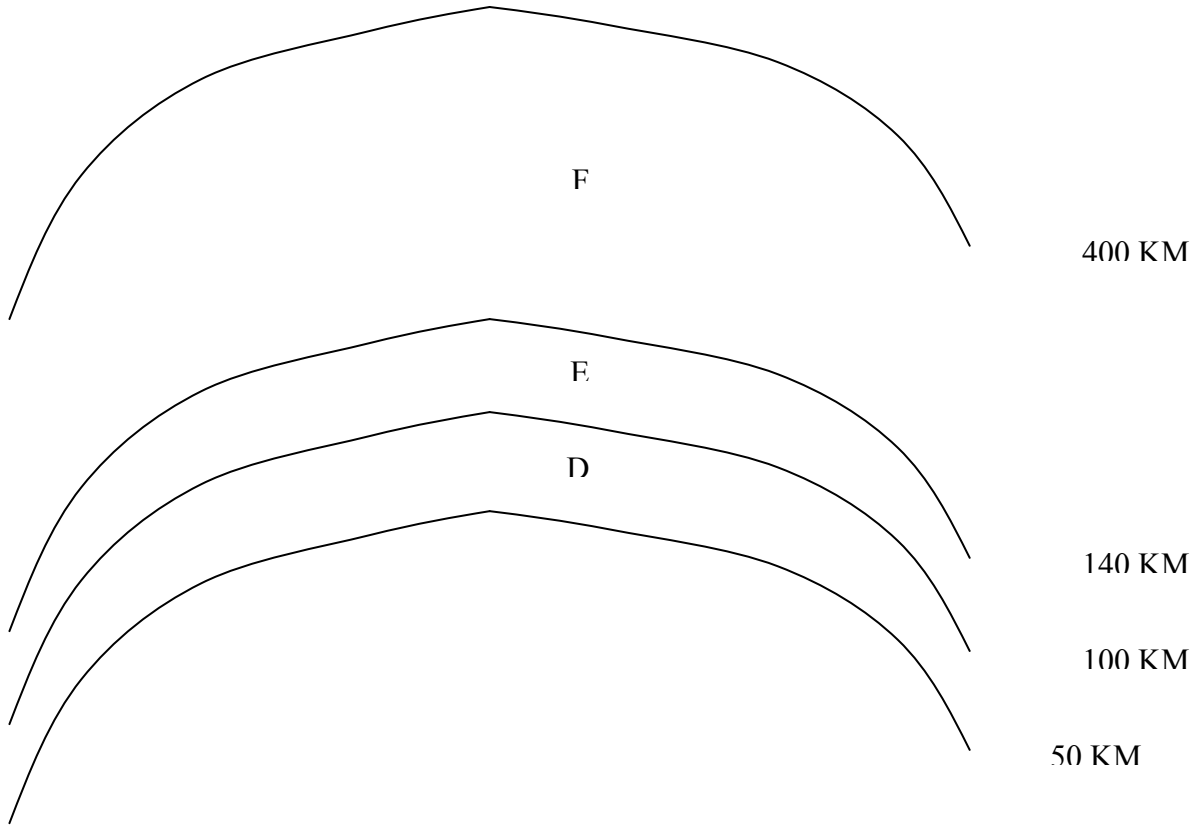
الطبقة الأيونية تتواجد فوق سطح الأرض من ارتفاع 50 كم حتى400 كم أي أن لها سمكاً 350 كم. و تتكون هذه الطبقة نتيجة مرور أشعة الشمس خلالها و فقدان هذه الأشعة لجزء من طاقتها. الطاقة المفقودة تنتقل إلى ذرات هذه الطبقة مما يجعلها تفقد جزءاً من إليكتروناتها وهذه الإليكترونات تصبح إليكترونات حرة. تكون الإليكترونات الحرة سحابة خلال الطبقة الأيونية و تزداد كثافة الإليكترونات كلما ارتفعنا خلال هذه الطبقة. كلما زادت كثافة الإليكترونات زادت قدرة الطبقة على عكس موجات كهرومغناطيسية ذات تردد أعلى.

تنقسم الطبقة الأيونية إلى ثلاث طبقات رئيسة كما هو موضح في الشكل 1- 14:

أ- طبقة D

ب- طبقة E

ت- طبقة F



الشكل 1- 14 الطبقات الأيونية

طبقة D تحتل المنطقة الأولى في الطبقة الأيونية و ذلك من ارتفاع 50 كم إلى 100 كم، و هذه الطبقة تتميز بأن كثافة الإليكترونات فيها أقل ما يمكن و لهذا فإنها تعكس الموجات المنخفضة التردد و المنخفضة جدا (VLF, LF) و الموجات التي لها ترددات أعلى من ذلك فإنها تمر خلال طبقة D و لا تنعكس. أيضا من خصائص هذه الطبقة أنها تختفي تماماً ليلاً.

طبقة E تحتل المنطقة الثانية في الطبقة الأيونية و ذلك من ارتفاع 100 كم إلى 140 كم، و هذه الطبقة تتميز بأن كثافة الإليكترونات فيها متوسطة و لهذا فإنها تعكس الموجات المتوسطة التردد (MF) و الموجات التي لها ترددات أعلى من ذلك فإنها تمر خلال طبقة E و لا تنعكس. أيضا من خصائص هذه الطبقة أنها تختفي تماما ليلاً.

طبقة F تحتل المنطقة الثانية في الطبقة الأيونية و ذلك من ارتفاع 140 كم إلى 400 كم، و هذه الطبقة تتميز بأن كثافة الإليكترونات فيهاعالية و لهذا فإنها تعكس الموجات المتوسطة و المرتفعة التردد (HF, VHF) و الموجات التي لها ترددات أعلى من ذلك فإنها تمر خلال طبقة F و لا تنعكس. أيضاً من خصائص هذه الطبقة أنها تختفي جزئياً ليلاً.

من السابق يتضح أن الموجات السماوية شديدة التأثر بالأحوال الجوية خلال اليوم الواحد من ليل و نهار و أيضاً خلال العام من صيف و شتاء. ومما هو جدير بالذكر أن دراسة هذه الموجات كانت المدخل إلى علم الأقمار الصناعية التي تقوم بإرسال الموجات الكهرومغناطيسية إليها لتعيد هي نشرها ثانية إلى الأرض في الاتجاهات المطلوبة و هذه الأقمار تستخدم موجات لها ترددات في نطاق موجات المايكروويف (Microwaves) التي لا تتأثر بالطبقة الأيونية أثناء مرورها خلالها.

11-1 **التردد الحرج** (Critical Frequency) **و الزاوية الحرجة** (Critical Angle)

لكل طبقة عاكسة تردد حرج و زاوية حرجة.

التردد الحرج لطبقة ما هو أعلى تردد ينعكس من هذه الطبقة و التردد الأعلى منه مباشرة يمر و لا ينعكس مع ثبات زاوية السقوط.

فمثلا :

طبقة D التردد الحرج لها هو أعلى تردد في نطاق LF

طبقة E التردد الحرج لها هو أعلى تردد في نطاق MF

طبقة F التردد الحرج لها هو أعلى تردد في نطاق HF

الزاوية الحرجة لطبقة ما هي أكبر زاوية تنعكس عندها الموجات الكهرومغناطيسية الساقطة على هذه الطبقة و الزاوية الأعلى منها مباشرة تمرر الموجات و لا تعكسها مع ثبات تردد الموجات الساقطة.

أسئلة

1- مم تتكون الموجة الكهرومغناطيسية؟

2- ما السرعة التي تتحرك بها الموجات الكهرومغناطيسية و هل تتأثر بطبيعة وسط الانتشار؟

3- ماالعلاقة بين الطول الموجي و تردد الإشارة؟

4- ما المقصود بالشعاع في الموجات؟

5- ما المقصود بجبهة الموجة؟

6- ما الموجة المستوية؟

7- ما الموجة الكروية؟

8- ما قانون التربيع العكسي؟

9- ما أنواع القطبية؟

10- ماالذي يحدد نوع القطبية؟

11- ما الخصائص الكهربية لوسط الإنتشار؟

12- ماالمشاكل التي قد تعانيها الموجة أثناء انتقالها من وسط إلى وسط آخر يختلف في الخصائص الكهربية؟

13- ما قانون سنل الأول وماذا يربط؟

14- ما قانون سنل الثاني وماذا يربط؟

15- متى يحدث التشتت؟

16- متى يحدث التداخل؟

17- ماالطرق المختلفة التي يمكن أن تنتشر بها الموجات؟

18- فيم تستخدم الموجات الأرضية؟

19- ما خصائص الموجات الأرضية؟

20- ما مميزات الموجات الأرضية؟

21- ما عيوب الموجات الأرضية؟

22- فيم تستخدم الموجات الفضائية؟

23- مم تتكون الموجات الفضائية؟

24- ما مميزات الموجات الأرضية؟

25- كيف يمكن زيادة المسافة بين هوائي المرسل و المستقبل؟

26- ما الموجات السماوية؟

27- ما طبقة D و ما أعلى تردد ينعكس منها؟

28- ما طبقة E و ما أعلى تردد ينعكس منها؟

29- ما طبقة F و ما أعلى تردد ينعكس منها؟

30- ما التردد الحرج؟

31- ما الزاوية الحرجة؟

الهوائيات و انتشار الموجات

انتشار الموجات المستوية المنتظمة

الفصل الثانى

انتشار الموجات المستوية المنتظمة

Propagation of Uniform Plane Waves

اسم الوحدة: انتشار الموجات المستوية المنتظمة

الجدارة: التعرف على الموجات المستوية المنتظمة و كيفية انتشارها و كيف يؤثر وسط الانتشار فيها أثناء انتشارها. أيضاً كيفية حساب الطاقة للموجة عند أي نقطة و ما الذي تعانيه عند انتقالها من وسط إلى وسط آخر يختلف في الخصائص الكهربية.

الأهداف: أن يصل المتدرب إلى إتقان الجدارة بنسبة 90٪

الوقت المتوقع للتدرب على الجدارة: 5 ساعات

الوسائل المساعدة: معمل الهوائيات و انتشار الموجات

متطلبات الجدارة: أن يكون المتدرب قد استوعب الوحدة الأولى جيداً حتى يمكننا أن ندرس الحالة الخاصة و هي انتشار الموجات المستوية

2- 1 مقدمة:

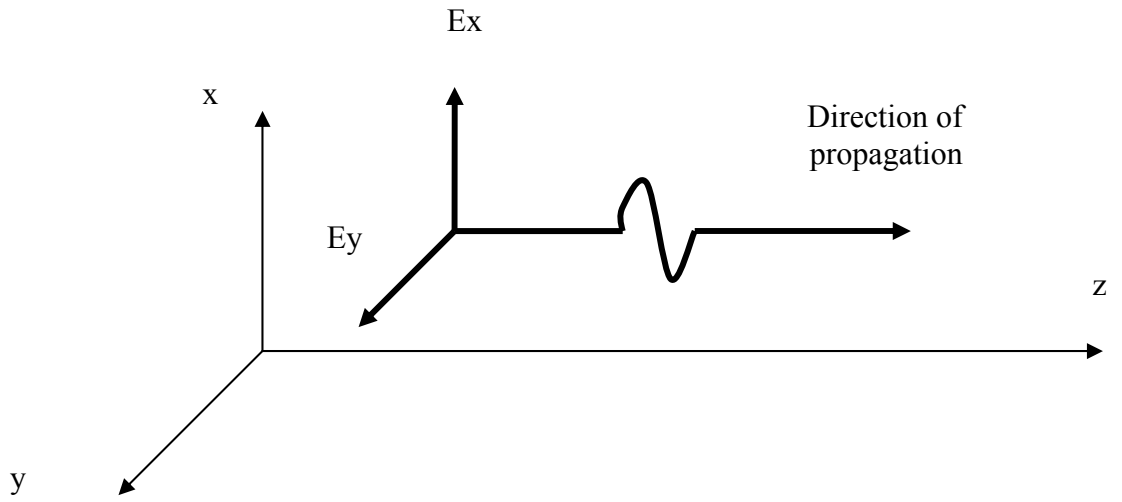
في الوحدة السابقة درسنا بوجه عام انتشارالموجات الكهرومغناطيسية و تعرفنا على بعض من أنواعها و طرق انتشارها. وفي هذه الوحدة سنتعرض بتفصيل أكثر إلى كيفية انتشار هذه الموجات في الأوساط المختلفة و كيف تؤثر هذه الأوساط في الموجات الكهرومغناطيسية و ذلك عن طريق استخدام الموجات المستوية المنتظمة والتى تعتبر من أبسط أنواع الموجات الكهرومغناطيسية. و دراستنا لهذه الموجات لايرجع فقط لكونها من أبسط الأنواع و لكن أيضاً لأنه من الناحية العملية فإن الموجات المنبعثة من هوائيات الراديو(radio antennas) تكون موجات مستوية منتظمة وذلك خاصة على مسافات كافية من هذه الهوائيات.

سندرس في هذه الوحدة تفصيلياً خصائص الموجات المستوية المنتظمة و كيفية انعكاسها و انكسارها و تشتتها و فقدان الطاقة فيها. وكذلك سوف نتعرف على طبيعة أوساط الانتشار و كيفية تأثيرها على الموجات المنتشرة خلالها.

2- 2 معادلة الموجة

The Wave Equation

في هذا الجزء سنتعرف على كيفية انتشار الموجة المستوية في وسط الانتشار (الشكل 2- 1) ومالذي يحكم بعد أو قرب المسافة التي يجب أن يكون عندها المستقبل. ولكي يتم ذلك فإنه يجب التعرف على معادلة رياضية تصف حركة انتشار الموجة في وسط الانتشار. و هذه المعادلة تسمى معادلة الموجة وهي معادلة رياضية تفاضلية ولها أشكال عديدة. يمكن كتابة هذه المعادلة في أبسط صورها كالآتي:



الشكل 2- 1 الموجة المستوية المنتظمة

$$\frac{d^2E_x}{dz^2} - \gamma^2 E_x = 0 \qquad (2-1)$$

حيث إن:

E_x : مركبة المجال الكهربي في اتجاه x

Z : اتجاه الانتشار

γ : ثابت الانتشار (propagation constant)

بحل المعادلة (2- 1) يمكن إيجاد المجال الكهربي كدالة في المسافة و ثابت الانتشار. و بهذا يمكن إيجاد المجال الكهربي عند أي مسافة.

توجد معادلة موجة أخرى للمجال المغناطيسي مثل (2- 1) و التي يمكن حلها لإيجاد المجال المغناطيسي عند أي مسافة.

بإيجاد المجال الكهربي و المجال المغناطيسي عند نقطة معينة فإنه يمكن حساب الطاقة عند هذه النقطة.

2- 2- 1 ثابت الانتشار (γ)

The propagation constant

هذا الثابت على درجة كبيرة من الأهمية لأنه يحدد للموجة المنتشرة الآتي:

أ- معدل الاضمحلال في طاقة الموجة

ب- سرعة الموجة

و يعتمد هذا الثابت على الآتى:

أ- خصائص وسط الانتشار الكهربية

ب- تردد الإشارة المنتشرة

لذلك فإن هذا الثابت يعطى بالعلاقة الآتية:

$$\gamma^2 = -\omega^2 \mu\varepsilon + j\omega\mu\sigma \qquad (2\text{-}2)$$

حيث:

ω : التردد الزاوي للموجة $(2\pi f)$

f : تردد الموجة بالهرتز

ε : النفاذية لوسط الانتشار (permittivity)

μ : السماحية لوسط الانتشار (permeability)

σ :التوصيلية لوسط الانتشار (conductivity)

j : الجذر السالب للرقم واحد

من العلاقة السابقة يتضح لنا أن هذا الثابت يعتمد على تردد الموجة و خصائص الوسط الكهربية ويتضح أيضا أن هذا الثابت عبارة عن كمية مركبة أي أن لها جزء حقيقي و جزء تخيلي لذلك فإنه يمكن التعبير عنه كالآتي:

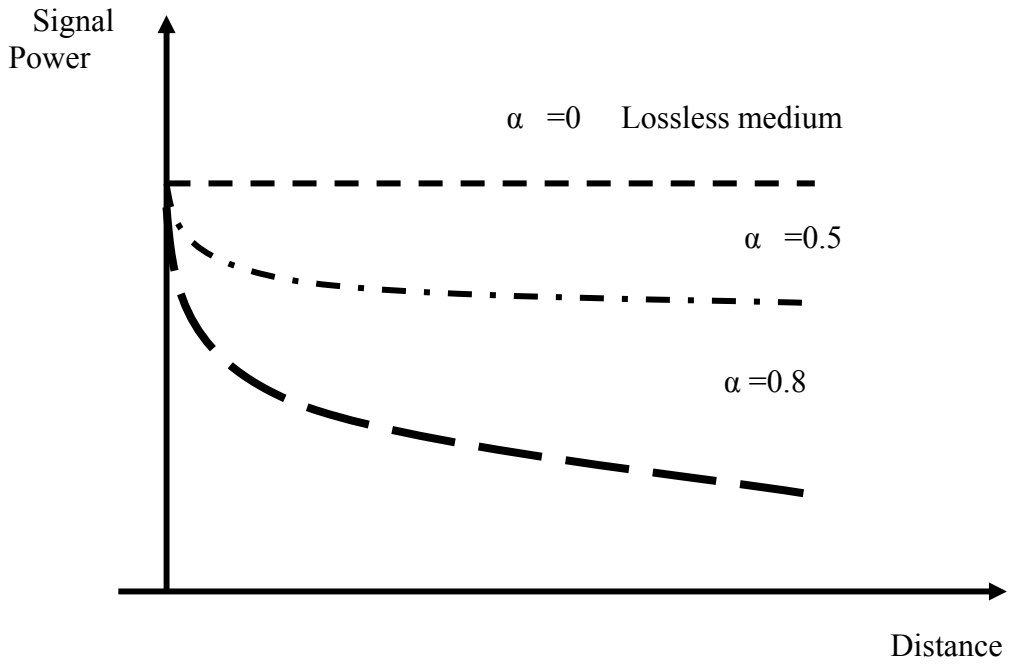
$$\gamma = \alpha + j\beta \qquad (3-2)$$

حيث إن:

α : ثابت الاضمحلال للموجة Attenuation Constant

β : ثابت الطور للموجة Phase Constant

و ثابت الاضمحلال يعطي و يبين معدل فقد الطاقة في الموجة أثناء انتشارها. و الشكل 2- 2 يبين مدى تأثير قيمة هذا الثابت على فقد الطاقة في الإشارة مع المسافة.



الشكل 2- 2 تغير طاقة الموجة مع تغير قيمة ثابت الاضمحلال

من الشكل 2- 2 يتضح أنه كلما زادت قيمة ثابت الاضمحلال فإن معدل فقد الطاقة يزداد أما في حالة أن هذا الثابت يساوي صفراً فإن الإشارة لاتفقد أياً من طاقتها و يسمى وسط الانتشار في هذه الحالة وسط غير مسبب للفقد (Lossless medium) و بهذا فإنه باستخدام ثابت الانتشار يمكن تحديد معدلات تغير الطاقة الموجودة في الموجة.

من ثابت الطور للموجة β يمكن حساب سرعة الموجة وذلك من العلاقات الآتية:

$$v_{ph} = \omega / \beta \qquad (4-2)$$

$$v_g = \partial\omega / \partial\beta \qquad (5\ -2)$$

حيث إن:

v_{ph}: سرعة الطور (phases velocity)

v_g : سرعة المجموعة (الموجة) (group velocity)

سرعة الطور تمثل سرعة الموجة إذا كان الوسط غير مسبب للفقد أما إذا كان مسبباً للفقد فإن سرعة الموجة تعين عن طريق سرعة المجموعة.

2- 3 معاوقة الموجة η

Wave Impedance

يعاوق وسط الانتشار الموجة الكهرومغناطيسية أثناء انتشارها خلاله بمعاوقة تسمى معاوقة الموجة وتحسب بالعلاقة الآتية:

$$\eta = \frac{E_x}{H_y} = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma + j\omega\ \varepsilon}} \qquad (6\ -2)$$

من المعادلة (2- 6) يتضح أن معاوقة الموجة تعتمد على:

أ- خصائص وسط الانتشار الكهربية

ب- تردد الإشارة المنتشرة

مثلها في ذلك مثل ثابت الانتشار

و يلاحظ أيضاً أن معاوقة الموجة مثلها مثل المقاومة التي ترتبط مع الجهد و التيار بقانون أوم. فالمعاوقة ترتبط مع المجال الكهربي و المجال المغناطيسي بقانون مشابه لقانون أوم. و يلاحظ أيضا أن المجال الكهربي و المغناطيسي متعامدان.

2- 4 الانتشار في الأوساط عديمة الفقد ($\sigma = 0$)

The propagation in lossless media ($\sigma = 0$)

تتميز الأوساط عديمة الفقد بأن لها توصيلية تساوي صفراً مما يجعل ثابت الانتشار له القيمة التالية:

$$\gamma^2 = -\omega^2 \mu\varepsilon + j\omega\mu\sigma$$
$$\gamma^2 = -\omega^2 \mu\varepsilon + 0$$
$$\gamma = \sqrt{-\omega^2 \mu\varepsilon}$$
$$\gamma = j\omega\sqrt{\mu\varepsilon} \qquad (7\ -2)$$

But:

$$\gamma = \alpha + j\beta \qquad (8\ -2)$$

بمقارنة المعادلة (2- 7) و المعادلة (2- 8) فإنه يمكن الحصول على:

$$\alpha = 0$$
$$\beta = \omega\sqrt{\mu\varepsilon}$$

و يمكن حساب سرعة الطور من المعادلة (2- 4) كالآتي:

$$v_{ph} = \omega / \beta$$
$$v_{ph} = \omega / \omega\sqrt{\mu\varepsilon}$$
$$v_{ph} = 1/\sqrt{\mu\varepsilon}$$

فإذا كان وسط الانتشار هو الفراغ فإن:

$$\mu = \mu_r \mu_o = \mu_o = 4\pi\ 10^{-7}$$
$$\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_o = \varepsilon_o = (1/36\pi)\ 10^{-9} = 8.85\ 10^{-12}$$

و بهذا فإن سرعة الطور في هذه الحالة تساوي:

$$v_{ph} = 1/\sqrt{\mu\varepsilon} = 1/\sqrt{4\pi 10^{-7}/(1/36\pi)10^{-9}} = 3\times 10^8\, m/s$$

من الملاحظ أن هذه السرعة تساوي سرعة الضوء في الفراغ لذلك فإن سرعة الطور تساوي سرعة الموجة عندما تنتشر في الفراغ و هي مساوية لسرعة الضوء.

ولكي نحسب سرعة المجموعة التي تعطي سرعة الموجة في كل الأوساط فسنجد أنه في حالة انتشار الموجة في وسط عديم الفقد و فراغ فإن سرعة المجموعة تساوي سرعة الطور تساوي سرعة الضوء.

مما سبق يتضح أنه عندما تنتشر الموجة في وسط عديم الفقد فإن معامل الاضمحلال يساوي صفراً و أن سرعة الموجة تساوي سرعة الضوء.

و لحساب معاوقة الموجة لوسط عديم الفقد فإنه يمكن استخدام المعادلة (2- 6) كالآتي:

$$\eta = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma + j\omega\ \varepsilon}}$$

$$= \sqrt{\frac{j\omega\mu}{j\omega\ \varepsilon}}$$

$$= \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}$$

و عندما يكون الوسط فراغاً فإن:

$$\mu = \mu_r \mu_o = \mu_o = 4\pi\ 10^{-7}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_o = \varepsilon_o = (1/36\pi)\ 10^{-9} = 8.85\ 10^{-12}$$

مما يجعل معاوقة الموجة تساوي:

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}$$

$$= \sqrt{\frac{\mu_r \mu_o}{\varepsilon_r \varepsilon_o}}$$

$$= \sqrt{\frac{\mu_o}{\varepsilon_o}}$$

$$= \sqrt{\frac{4\pi \times 10^{-7}}{(1/36\pi) \times 10^{-9}}}$$

$$= 120\pi$$

$$= 377$$

أي أن معاوقة الفراغ عديم الفقد للموجة يكون بمقاومة مساوية 377 أوم.

مثال 2- 1

موجة كهرومغناطيسية مستوية منتظمة تنتشر في وسط عديم الفقد و له معامل نفاذية نسبي يساوي 4 و معامل سماحية نسبي يساوي واحداً. أوجد:

أ- ثابت الاضمحلال

ب- ثابت الطور

ت- سرعة الطور

ث- معاوقة الموجة

الحل:

أ- لحساب ثابت الاضمحلال نستخدم المعادلة الآتية:

$$\gamma^2 = -\omega^2 \mu\varepsilon + j\omega\mu\sigma$$

و لكون الوسط عديم الفقد فإن:

$$\sigma = 0$$

مما يجعل ثابت الانتشار يساوى:

$$\gamma^2 = -\omega^2 \mu\varepsilon$$

$$\gamma = \sqrt{-\omega^2 \mu\varepsilon}$$
$$= j\omega\sqrt{\mu\varepsilon}$$
$$= \alpha + j\beta$$

من العلاقة السابقة يتضح أن:

$$\alpha = 0$$

أي أن ثابت الاضمحلال يساوي صفراً و هذا يعني أن الوسط عديم الفقد.

ب- لحساب ثابت الطور:

من العلاقة السابقة لثابت الانتشار يمكن إيجاد ثابت الطور كالآتي:

$$\beta = \omega\sqrt{\mu\varepsilon}$$

وهذه النتيجة تدل على أن هناك علاقة خطية بين ثابت الانتشار و التردد الزاوي للموجة مما يجعل سرعة الطور تمثل سرعة الموجة في هذه الحالة.

ت- لحساب سرعة الطور:

يمكن حساب سرعة الطور من علاقة ثابت الطور كالآتي:

$$\beta = \omega\sqrt{\mu\varepsilon}$$
$$v_{ph} = \omega/\beta$$
$$= 1/\sqrt{\mu\varepsilon}$$
$$= 1/\sqrt{\mu_r\mu_o\varepsilon_r\varepsilon_o}$$
$$= 1/\sqrt{1\times 4\pi 10^{-7}\times 4\times (1/36\pi)10^{-9}}$$
$$= 3\times 10^8/2$$

أي أن سرعة الموجة في هذا الوسط تساوي نصف سرعة الضوء.

ث- لحساب معاوقة الموجة:

يمكن حساب معاوقة الموجة من المعادلة (2- 6) كالآتي:

$$\eta = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma + j\omega\ \varepsilon}}$$
$$= \sqrt{\frac{j\omega\mu}{j\omega\ \varepsilon}}$$
$$= \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}$$
$$= \sqrt{\frac{\mu_r\mu_o}{\varepsilon_r\varepsilon_o}}$$
$$= \sqrt{\frac{1\times 4\pi 10^{-7}}{4\times (1/36\pi)10^{-9}}}$$
$$= 120\pi/2$$

من هذا يتضح أن معاوقة الوسط للموجة أصبح نصف معاوقة الفراغ عديم الفقد لهذه الموجة.

أيضا يلاحظ أن تردد الموجة لا يؤثر على القيم المستنتجة من حيث الفقد أو السرعة أو المعاوقة.

مما سبق يتضح أن أكبر سرعة يمكن أن تسير بها الموجة هي سرعة الضوء و ذلك عندما تنتشر في الفراغ عديم الفقد أما في الأوساط الأخرى فإن السرعة ستقل عن سرعة الضوء.

5-2 الأوساط الجيدة التوصيل و الأوساط جيدة العزل

Conductors and Dielectric Materials

لكي نحكم على أن وسط الانتشار جيد التوصيل أو جيد العزل يجب أن نتعرف على كيفية التفرقة بين هذين الوسطين و يتم ذلك بقياس الكمية الآتية:

$$\sigma / \omega\varepsilon$$

ففي حالة الأوساط الجيدة العزل تكون هذه الكمية تتبع العلاقة الآتية:

$$\sigma / \omega\varepsilon << 1$$

وفي حالة الأوساط الجيدة التوصيل تكون هذه الكمية تتبع العلاقة الآتية:

$$\sigma / \omega\varepsilon >> 1$$

مما سبق يتضح أن التوصيلية أو العزل للوسط تعتمد على:

أ- خصائص وسط الانتشار الكهربية

ب- تردد الإشارة المنتشرة

وهذا يعني أن وسطاً معيناً قد يكون جيد التوصيل لإشارة ذات تردد معين و عازلاً لإشارة ذات تردد آخر.

2- 5- 1 الأوساط العازلة

Good dielectrics

الأوساط الجيدة العزل تكون لها خصائص كهربية بحيث:

$$\sigma / \omega\varepsilon << 1$$

لذلك فإنه يمكن حساب ثابت الاضمحلال و ثابت الطور و سرعة و معاوقة الموجة لهذه المواد كالآتى:

$$\gamma^2 = -\omega^2 \mu\varepsilon + j\omega\mu\sigma$$

$$\gamma = \sqrt{j\omega\mu(\sigma + j\omega\varepsilon)}$$

$$= j\omega\sqrt{\mu\varepsilon}\sqrt{1 - j\frac{\sigma}{\omega\varepsilon}}$$

$$\cong j\omega\sqrt{\mu\varepsilon}(1 - j\frac{\sigma}{2\omega\varepsilon})$$

$$= \alpha + j\beta$$

من العلاقات السابقة فإنه يمكن تحديد قيمة ثابت الاضمحلال من مساواة الجزء الحقيقي α بالجزء الحقيقي في ثابت الانتشار γ . و كذلك تحديد قيمة ثابت الطور من مساواة الجزء التخيلي β بالجزء التخيلي في ثابت الانتشار γ. من هذا فإن:

$$\alpha \cong \frac{\sigma}{2}\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}$$

$$\beta \cong \omega\sqrt{\mu\varepsilon}$$

من حساب ثابت الطور يمكن حساب سرعة الطور مباشرة كالآتي:

$$v_{ph} \cong \frac{\omega}{\beta} =$$

$$= \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}}$$

سرعة الموجة تساوي سرعة الطور والتى تقل كلما زاد الفقد في وسط الانتشار.

يمكن حساب معاوقة الموجة من المعادلة الآتية:

$$\eta = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma + j\omega\varepsilon}}$$
$$= \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon(1 - j\frac{\sigma}{\omega\varepsilon})}}$$
$$= \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}(1 - j\frac{\sigma}{\omega\varepsilon})^{-0.5}$$
$$= \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}(1 + j\frac{\sigma}{2\omega\varepsilon})$$
$$\cong \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}$$

من ثابت الطور و سرعة الموجة و معاوقة الموجة نجد أن قيم هذه العناصر لم تتغير كثيراً عن الأوساط عديمة الفقد.

2- 5- 2 الأوساط الجيدة التوصيل

Good conductors

الأوساط الجيدة التوصيل تكون لها خصائص كهربية بحيث:

$$\sigma / \omega\varepsilon >> 1$$

لذلك فإنه يمكن حساب ثابت الاضمحلال و ثابت الطور و سرعة و معاوقة الموجة لهذه المواد كالآتي:

$$\gamma^2 = -\omega^2\mu\varepsilon + j\omega\mu\sigma$$

$$\gamma = \sqrt{j\omega\mu(\sigma + j\omega\varepsilon)}$$
$$= \sqrt{j\omega\mu\sigma}\sqrt{1 + j\frac{\omega\varepsilon}{\sigma}}$$
$$\cong \sqrt{j\omega\mu\sigma}$$
$$\cong \sqrt{\omega\mu\sigma} \times \frac{1}{\sqrt{2}}(1 + j)$$
$$= \alpha + j\beta$$

من العلاقات السابقة فإنه يمكن تحديد قيمة ثابت الاضمحلال من مساواة الجزء الحقيقى α بالجزء الحقيقي في ثابت الانتشار γ . و كذلك تحديد قيمة ثابت الطور من مساواة الجزء التخيلي β بالجزء التخيلي في ثابت الانتشار γ. من هذا فإن:

$$\alpha \cong \sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}}$$
$$\beta \cong \sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}}$$

من حساب ثابت الطور يمكن حساب سرعة الطور مباشرة كالآتى:

$$v_{ph} = \frac{\omega}{\beta}$$
$$\cong \sqrt{\frac{2\omega}{\mu\sigma}}$$

يمكن حساب معاوقة الموجة من المعادلة الآتية:

$$\eta = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma + j\omega\ \varepsilon}}$$

$$= \sqrt{\frac{j\omega\mu/\sigma}{1 + j\frac{\omega\varepsilon}{\sigma}}}$$

$$= \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma}}$$

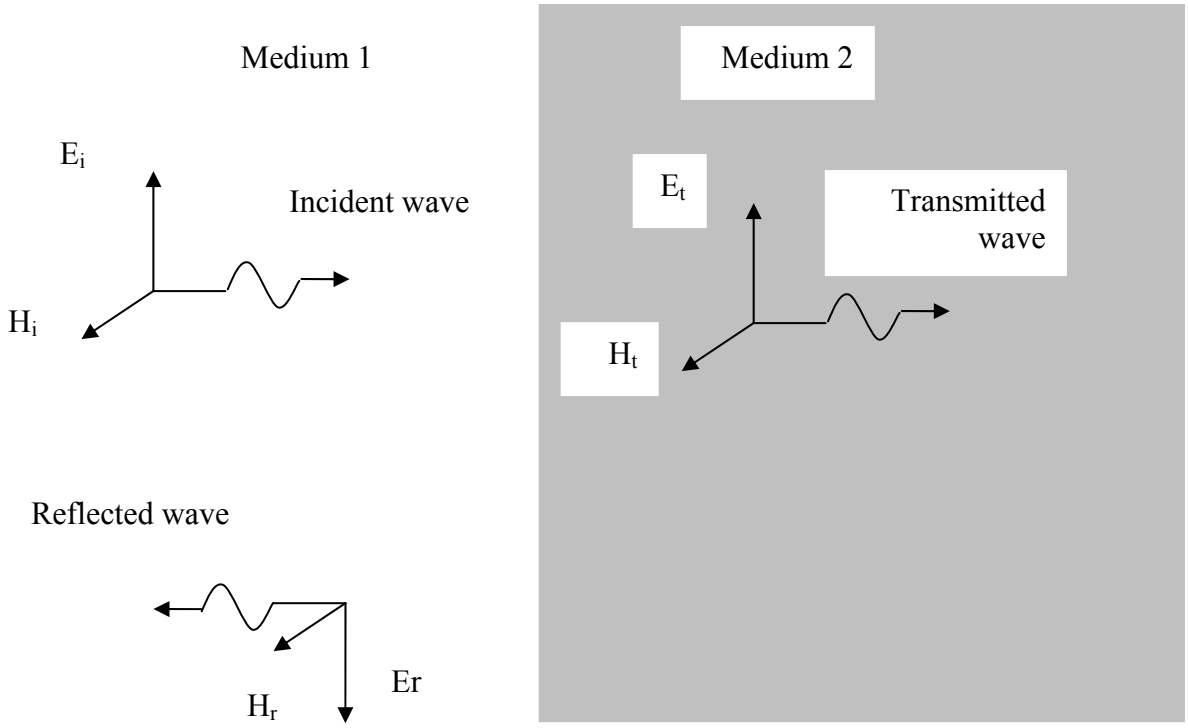
$$\cong \sqrt{\frac{\omega\mu}{\sigma}}\frac{1}{\sqrt{2}}(1 + j)$$

$$\cong \sqrt{\frac{\omega\mu}{2\sigma}}(1 + j)$$

6-2 السقوط المتعامد للموجات المستوية المنتظمة على أسطح مستوية

Normal Incidence of Uniform Plane Waves on Plane Boundaries

فى الوحدة السابقة علمنا أنه عندما تسقط الموجات الكهرومغناطيسية من وسط على وسط آخر يختلف في الخصائص الكهربية فإن هذه الموجات قد تعاني من الإنعكاس أو الإنكسار و التبعثر. و في هذا الجزء من هذه الوحدة سوف نعين و نحدد كيف تنعكس و تنكسر الموجة و ما قيمة الموجات المنعكسة و المنكسرة و ما تأثير الأوساط على قيم هذه الموجات الشكل 2- 3 يبين موجة منتظمة ساقطة على وسط له سطح مستوى.



شكل 2- 3 السقوط المتعامد للموجات المستوية المنتظمة على أسطح مستوية

ولتعيين قيمة الموجات المنكسرة (Refracted waves) و المنعكسة (reflected waves) فإنه يجب أولاً تحديد قيمة الموجات الساقطة (Incident waves) و يتم ذلك بحل معادلة الموجة:

$$\frac{d^2E_x}{dz^2} - \gamma^2 E_x = 0$$

و الحل العام لهذه المعادلة هو:

$$E_x = E_m^+ e^{-\gamma z} + E_m^- e^{+\gamma z}$$

الجزء الأول من المعادلة السابقة يسمى الموجة الأمامية (Forward Wave) و هي التي تنتشر في الاتجاه الموجب لاتجاه Z . أما الجزء الثاني فيسمى الموجة الخلفية (Backward Wave) و هي التي تنتشر في الاتجاه السالب لاتجاه Z. وفي دراستنا لسقوط الموجات سنكتفي بالجزء الأول من المعادلة السابقة.
يمكن التعبير عن الموجات الساقطة كالآتي:

المجال الكهربي الساقط:

$$E_i = E_m^+ e^{-\gamma z} a_x$$
$$= E_m^+ e^{-\alpha z} e^{-\beta z} a_x$$

المجال المغناطيسي الساقط:

$$H_i = H_m^+ e^{-\gamma z} a_y$$
$$= H_m^+ e^{-\alpha z} e^{-\beta z} a_y$$
$$= \frac{E_i}{\eta_1}$$

المجال الكهربي المنعكس:

$$E_r = E_m^+ e^{-\gamma z} a_x$$
$$= E_m^+ e^{-\alpha z} e^{-\beta z} a_x$$

المجال المغناطيسي المنعكس:

$$H_r = H_m^+ e^{-\gamma z} a_y$$
$$= H_m^+ e^{-\alpha z} e^{-\beta z} a_y$$
$$= \frac{E_r}{\eta_1}$$

المجال الكهربي المنكسر:

$$E_t = E_t^+ e^{-\gamma z} a_x$$
$$= E_t^+ e^{-\alpha z} e^{-\beta z} a_x$$

المجال المغناطيسي المنكسر:

$$H_r = H_t^+ e^{-\gamma z} a_y$$
$$= H_t^+ e^{-\alpha z} e^{-\beta z} a_y$$
$$= \frac{E_t}{\eta_2}$$

من هذه العلاقات يمكن استنتاج معامل الانعكاس و معامل الانكسار:

معامل الانعكاس (Reflection coefficient)**:**

يتحدد معامل الانعكاس بالعلاقة بين الموجة المنعكسة و الموجة الساقطة و قيمة هذا الثابت تعطى كالآتي:

$$\Gamma = \frac{E_r}{E_i} = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1} \qquad (9 \text{ -2})$$

حيث إن:

η_1 : معاوقة وسط السقوط

η_2 : معاوقة وسط الانكسار (الانتقال)

من المعادلة (9 -2) يتضح أنه:

1- إذا كان للوسطين لهما نفس المعاوقة فإن معامل الانعكاس يساوي صفراً و هذا يعني أن الموجة لا تعاني أي انعكاس (لأنه "فعلياً" الموجة تسير في نفس الوسط)

2- إذا كان للوسط الثاني له معاوقة تساوي صفراً فإن معامل الانعكاس يساوي - 1 و هذا يدل على أنه حدث انعكاس كلي و لم يحدث أي انكسار في الوسط الثاني.

معامل الانتقال (Transmission coefficient):

يتحدد معامل الانتقال بالعلاقة بين الموجة المنتقلة و الموجة الساقطة و قيمة هذا الثابت تعطى كالآتي:

$$T = \frac{E_t}{E_i} = \frac{2\eta_2}{\eta_2 + \eta_1} \qquad (10 \text{ -2})$$

من المعادلة (2- 10) يتضح أنه:

1- إذا كان للوسطين لهما نفس المعاوقة فإن معامل الانتقال يساوي واحداً و هذا يعني أن الموجة لا تعاني أي انعكاس و سوف تنتقل كلية إلى الوسط الثاني (لأنه "فعلياً" الموجة تسير في نفس الوسط)

2- إذا كان للوسط الثاني له معاوقة تساوي صفراً فإن معامل الانتقال يساوي صفراً و هذا يدل على أنه حدث انعكاس كلي و لم يحدث أي انتقال في الوسط الثاني.

من العلاقات السابقة يتضح أنه عندما يكون معامل الانعكاس يساوي واحداً يكون معامل الانتقال يساوي صفر و العكس صحيح لذلك فإن العلاقة بين القيم المطلقة لهذين المعاملين هي:

$$\Gamma + T = 1 \qquad (11 \text{ -2})$$

مثال 2- 2:

موجة كهرومغناطيسية مستوية منتظمة لها قيمة تساوي 100 فولت/متر تسقط عمودياً من الهواء (الفراغ) على وسط آخر له سطح مستوٍ وله معاوقة تساوي 70 أوم. أوجد:

أ- معامل الانعكاس

ب- معامل الانتقال

ت- قيمة الموجة المنعكسة

ث- قيمة الموجة المنكسرة

ج- الشرط الذي يحدث عنده انعكاس كلي

ح- الشرط الذي يحدث عنده انتقال كلي

الحل:

أ- معامل الانعكاس:

يحسب معامل الانعكاس من العلاقة التالية:

$$\Gamma = \frac{E_r}{E_i} = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1}$$
$$= \frac{70 - 377}{70 + 377}$$
$$= -0.69$$

ب- معامل الانتقال

يحسب معامل الانتقال من العلاقة التالية:

$$T = \frac{E_t}{E_i} = \frac{2\eta_2}{\eta_2 + \eta_1}$$
$$= \frac{2 \times 70}{70 + 377}$$
$$= 0.31$$

ت- قيمة الموجة المنعكسة:

تحسب قيمة الموجة المنعكسة من العلاقة التالية:

$$\Gamma = \frac{E_r}{E_i}$$
$$-0.69 = \frac{E_r}{100}$$
$$E_r = -69 \ \text{V/m}$$

ث- قيمة الموجة المنتقلة:

تحسب قيمة الموجة المنتقلة من العلاقة التالية:

$$T = \frac{E_t}{E_i}$$
$$0.31 = \frac{E_t}{100}$$
$$E_t = 31 \ \text{V/m}$$

من العلاقات السابقة يتضح أن حاصل جمع القيمة المطلقة لمعامل الانعكاس و الانتقال هي:

$$\Gamma + T = 0.69 + 0.31 = 1$$

و كذلك فإن مجموع مقداري الموجة المنعكسة و الموجة المنتقلة يساوي مقدار الموجة الساقطة:

$$E_r + E_t = 69 + 31 = 100 = E_i$$

لذلك فإنه يمكن حساب قيمة الموجة المنتقلة بطريقة أخرى:

$$E_t = E_i - E_r = 100 - 69 = 31\text{V/m}$$

ج- الشرط الذي يحدث عنده انعكاس كلي

الشرط الذي يحدث عنده انعكاس كلي هو أن تكون معاوقة الوسط الثاني مساوية للصفر

ح- الشرط الذي يحدث عنده إنتقال كلي

الشرط الذي يحدث عنده إنتقال كلي هو أن تكون معاوقة الوسط الثاني مساوية لمعاوقة الوسط الأول.

مثال 2- 3:

موجة كهرومغناطيسية مستوية منتظمة لها قيمة تساوي 100 فولت/متر تسقط عمودياً من الهواء (الفراغ) على وسط آخر له سطح مستوٍ وله معاوقة تساوي 300 أوم. أوجد:

أ- معامل الانعكاس

ب- معامل الانتقال

ت- قيمة الموجة المنعكسة

ث- قيمة الموجة المنكسرة

الحل:

أ- معامل الانعكاس:

يحسب معامل الانعكاس من العلاقة التالية:

$$\Gamma = \frac{E_r}{E_i} = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1}$$
$$= \frac{300 - 377}{300 + 377}$$
$$= -0.11$$

ب- معامل الانتقال

يحسب معامل الانتقال من العلاقة التالية:

$$T = \frac{E_t}{E_i} = \frac{2\eta_2}{\eta_2 + \eta_1}$$
$$= \frac{2 \times 300}{300 + 377}$$
$$= 0.89$$

ت- قيمة الموجة المنعكسة:

تحسب قيمة الموجة المنعكسة من العلاقة التالية:

$$\Gamma = \frac{E_r}{E_i}$$
$$-0.11 = \frac{E_r}{100}$$
$$E_r = -11 \ \text{V/m}$$

ث- قيمة الموجة المنتقلة:

تحسب قيمة الموجة المنتقلة من العلاقة التالية:

$$T = \frac{E_t}{E_i}$$
$$0.89 = \frac{E_t}{100}$$
$$E_t = 89 \ \text{V/m}$$

من العلاقات السابقة يتضح أن حاصل جمع القيمة المطلقة لمعامل الانعكاس و الانتقال هي:

$$\Gamma + T = 0.11 + 0.89 = 1$$

و كذلك فإن مجموع مقداري الموجة المنعكسة و الموجة المنتقلة يساوي مقدار الموجة الساقطة:

$$E_r + E_t = 11 + 89 = 100 = E_i$$

لذلك فإنه يمكن حساب قيمة الموجة المنتقلة بطريقة أخرى:

$$E_t = E_i - E_r = 100 - 11 = 89\,\text{V/m}$$

من المثالين السابقين يتضح لنا جلياً أنه كلما قربت قيمة معاوقة الوسط الثاني من قيمة معاوقة الوسط الأول فإن الموجة المنعكسة تصغر قيمتها و تزداد قيمة الموجة المنتقلة و العكس صحيح.

7-2 حساب الطاقة للموجات الكهرومغناطيسية:

Power Considerations

يمكن حساب الطاقة الموجودة في الموجات الكهرومغناطيسية و ذلك بدلالة مركبات المجال الكهربي و المغناطيسي المتعامدة على اتجاه انتشار الموجة. في الموجات المستوية المنتظمة تكون هناك مركبتان لهذه المجالات و المتعامدة على اتجاه انتشار الموجة لذا يمكن حساب كثافة الطاقة الموجودة في الموجات المستوية من العلاقة الآتية:

$$P = E_x H_y$$

ولكن معاوقة الموجة تساوي:

$$\eta = \frac{E_x}{H_y}$$

لذا يمكن حساب كثافة الطاقة من:

$$P = \frac{E_x^2}{\eta}$$

مثال 2- 3:

موجة كهرومغناطيسية مستوية منتظمة لها قيمة تساوي 100 فولت/متر تسقط عمودياً من الهواء (الفراغ) على وسط آخر له سطح مستوٍ و له معاوقة تساوي 300 أوم. أوجد:

أ- كثافة طاقة الموجة الساقطة

ب- كثافة طاقة الموجة المنعكسة

ت- كثافة طاقة الموجة المنتقلة

الحل:

أ- كثافة طاقة الموجة الساقطة

$$P = \frac{E_i^2}{\eta_1} = \frac{100^2}{377} = 26.5\,\text{W}$$

ب- كثافة طاقة الموجة المنعكسة

$$\Gamma = \frac{E_r}{E_i} = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1}$$
$$= \frac{300 - 377}{300 + 377}$$
$$= -0.11$$
$$E_r = \Gamma E_i = -11\ \text{V/m}$$
$$P_r = \frac{E_r^2}{\eta_1} = \frac{11^2}{377} = 0.32\,\text{W}$$

ت- كثافة طاقة الموجة المنتقلة

$$T = \frac{E_t}{E_i} = \frac{2\eta_2}{\eta_2 + \eta_1}$$
$$= \frac{2 \times 300}{300 + 377}$$
$$= 0.89$$
$$E_t = TE_i = 89\ \text{V/m}$$

$$P_t = \frac{E_t^2}{\eta_2} = \frac{89^2}{300} = 26.4 \text{ W}$$

من النتائج السابقة يتضح أن مجموع الطاقة المنعكسة و الطاقة المنتقلة يساوي تقريباً الطاقة الساقطة.

$$P_r + P_t = 0.32 + 26.4 = 26.72$$

أسئلة

1- ما المقصود بمعادلة الموجة؟

2- ما ثابت الانتشار؟

3- اكتب علاقة تبين كيفية حساب ثابت الانتشار؟

4- علام يعتمد ثابت الانتشار؟

5- ماذا يحدد ثابت الانتشار؟

6- ما ثابت الاضمحلال؟

7- ما ثابت الطور؟

8- ما معاوقة الموجة؟

9- كيف تحسب معاوقة الموجة؟

10- علام تعتمد معاوقة الموجة؟

11- ماذا يحدد كون الوسط مسبباً للفقد أو غير مسبب للفقد؟

12- ماالكمية التي على أساسها يمكن تحديد جودة التوصيل للوسط أو جودة عزله؟

13- متى يكون الوسط جيد التوصيل؟

14- متى يكون الوسط جيد العزل؟

15- ما معامل الإنعكاس؟

16- متى يحدث انعكاس كلي؟

17- متى يحدث انتقال كلي؟

18- ما معامل الانتقال؟

الهوائيات وانتشار 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 90٪

الوقت المتوقع للتدرب على الجدارة: 8 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.

3- 1 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.

3- 2 بناء الهوائي Antenna Structure

3- 2- 1 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 3 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 100كم وهذا بالطبع غير عملي.

إذا كان للموجة لها تردد 3 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 100 م.

إذا كان للموجة لها تردد 3 جيجا هرتز فإن الطول الموجي يكون:

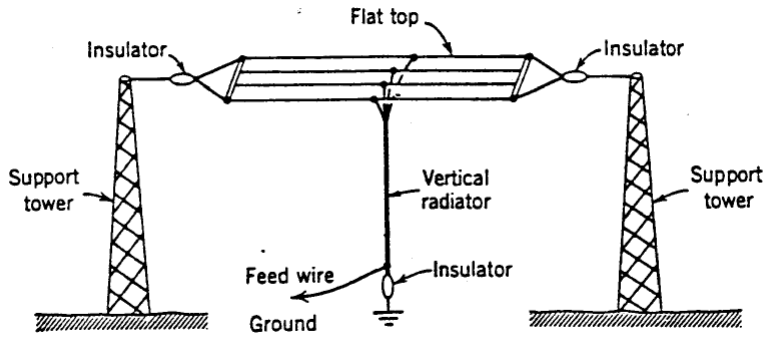
$$\lambda = c / f = 3\times10^{8} / 3\times10^{9} = 0.1 \text{ m} = 10 \text{ cm}$$

فى هذه الحالة يجب أن يكون الهوائي المرسل لهذه الموجات ذا أبعاد في حدود 10 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.

3- 2- 2 **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 3- 1.



الشكل 3- 1 الأبراج كإحدى طرق تثبيت الهوائيات

3- 2- 3 **المعادن** Conductors

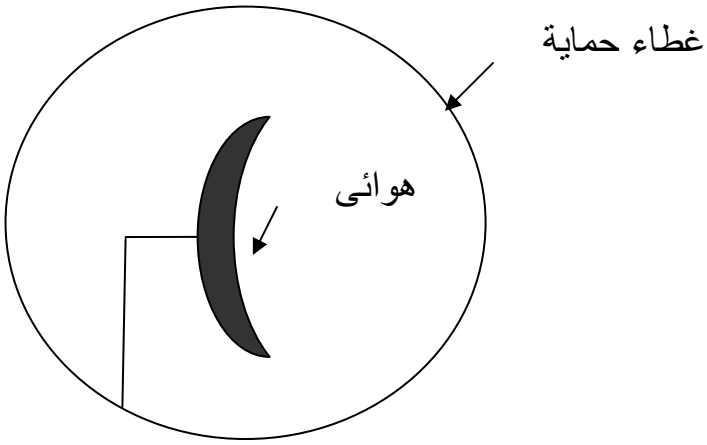
تصنع الهوائيات من المعادن التي لها توصيلية عالية مثل الألمنيوم و النحاس و الحديد و الذهب. و يستخدم الذهب في الهوائيات الصغيرة كالتي تستخدم في الجوال و الأقمار الصناعية و التي تعمل في النطاق الترددي لموجات المايكروويف (Microwave Band)

3- 2- 4 **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.

3- 2- 5 **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 3- 2 .التغير الذي قد يحدث لسطح الطبق يؤدي إلى فقدانه لخصائصه الفنية.



.

شكل 3- 2 الحماية الجوية للهوائيات

3- 2- 6 **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)

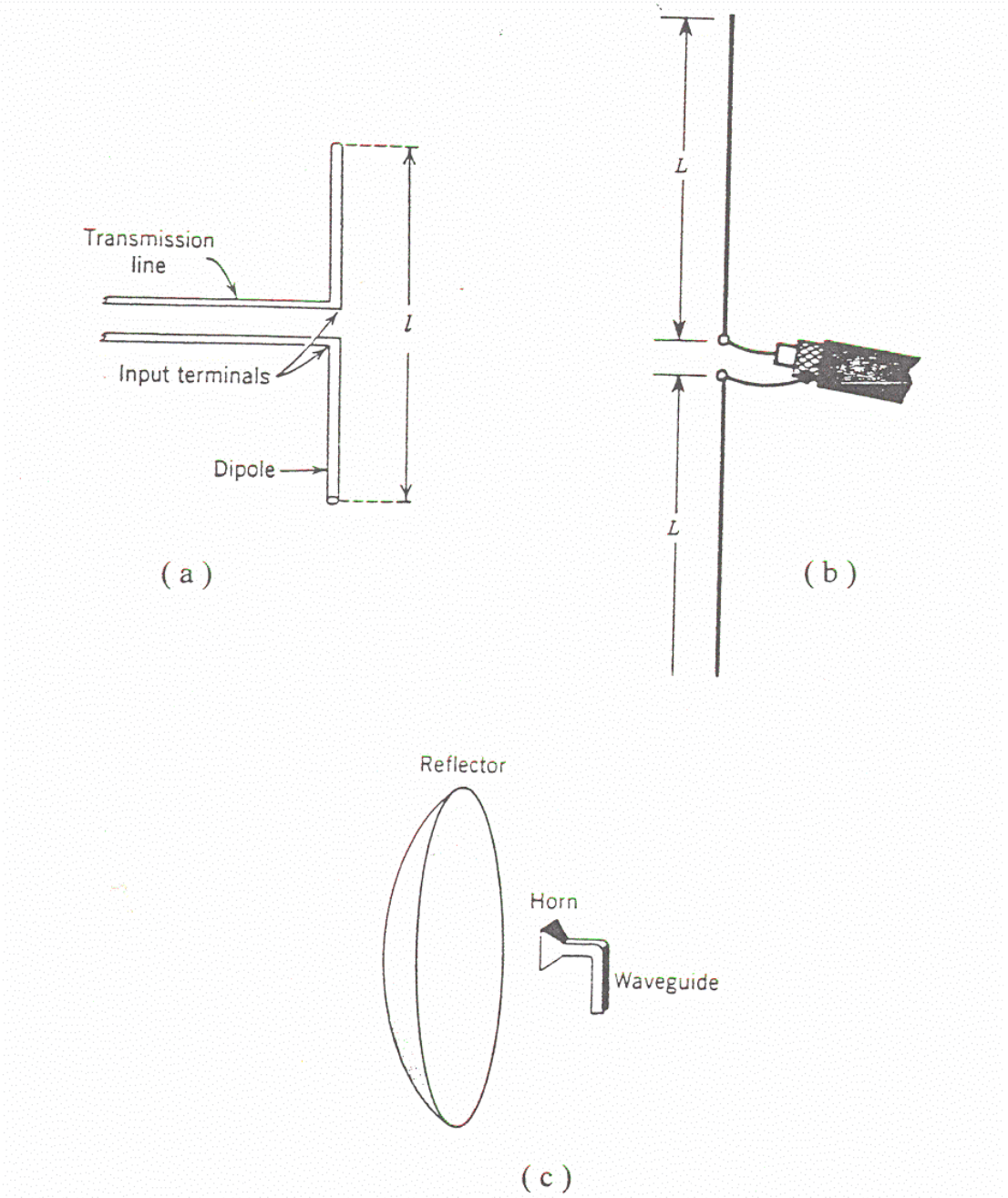
ب- التردد الذي يعمل عنده الهوائي

و توجد ثلاثة خطوط تغذية شهيرة موضحة في الشكل3- 3 و هي:

أ- خط النقل Transmission line : ويعمل حتى تردد 30 ميجا هرتز

ب- الكيبل المحوري Coaxial cable : ويعمل حتى تردد 1000 ميجا هرتز

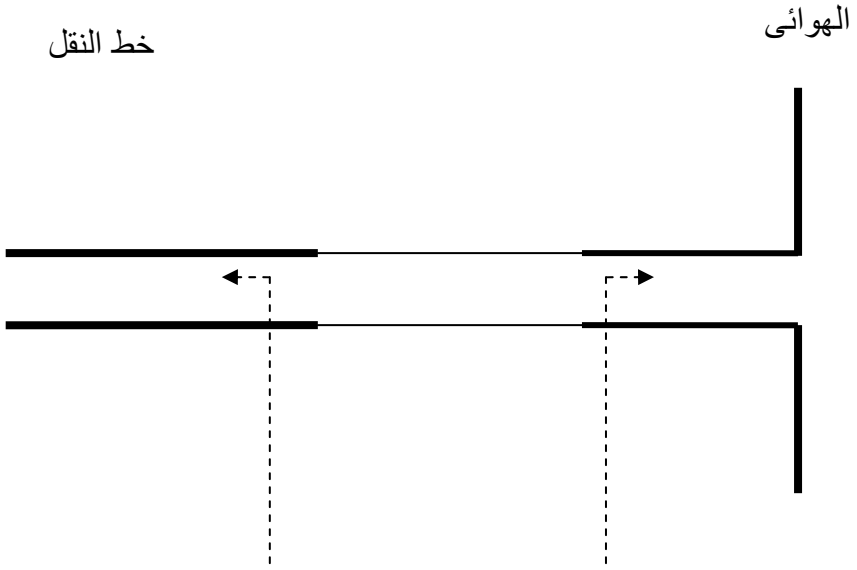
ت- هوائي البوق Horn antenna : ويعمل فوق تردد 1000 ميجا هرتز



الشكل 3- 3 خطوط التغذية

3- 2- 7 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 3- 4.



الشكل 3- 4 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

3- 3 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.

3- 3- 1 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 3- 5 . ولهذا الرسم أهمية قصوى لأنه يحدد:

أ- كيفية تثبيت و توجيه الهوائى

ب- التطبيق الذي يعمل فيه الهوائى

من الشكل 3- 5 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 (360 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 3- 5.

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

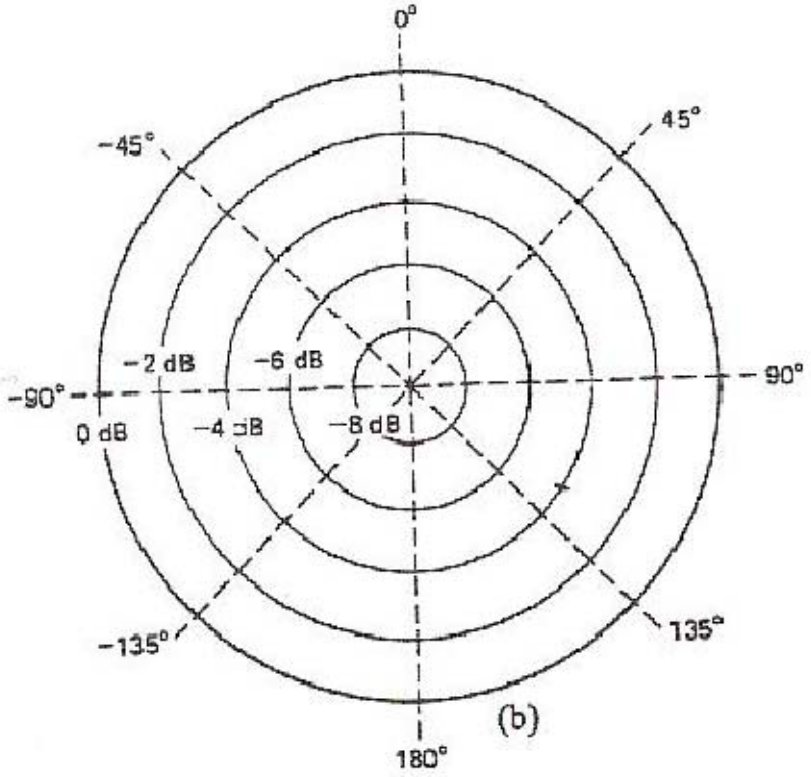
P (dB) : الطاقة المقاسة بالديسيبل

P_{max} : أكبر طاقة مقاسة بالوات

فمن الشكل 3- 5 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 3- 5 الرسم القطبى لمجسم الإشعاع

3- 3- 2 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)

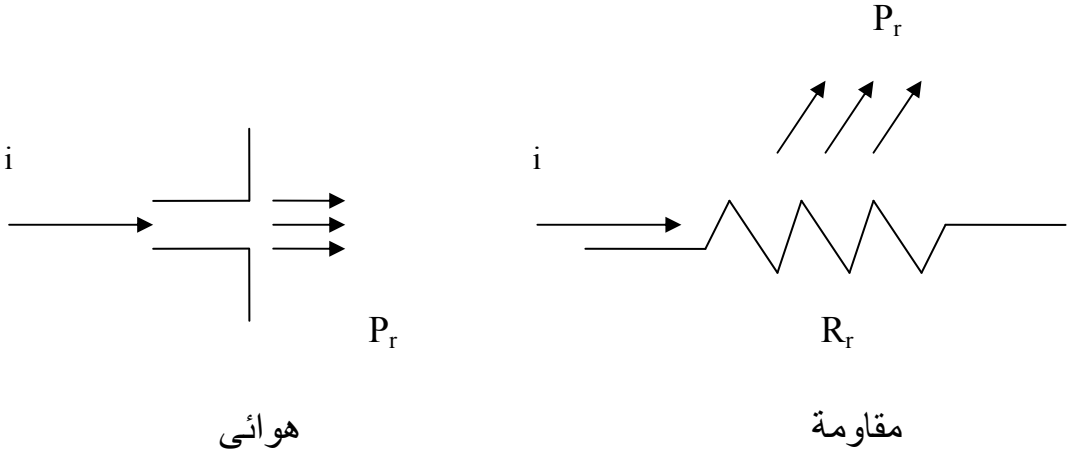
و تعرف مقاومة الإشعاع بأنها تلك المقاومة التي إذا استبدلت بالهوائي فإن كمية الطاقة المفقودة صحيحة بها تكون مساوية للطاقة المنبعثة من الهوائي بشرط أن يكون التيار الداخل لكليهما متساوياً كما في الشكل 3- 6.

مثال 3- 1

أوجد قيمة مقاومة الإشعاع لهوائي كانت له طاقة منبعثة مساوية 1000 وات عندما كان التيار الداخل إليه عند نقطة التغذية مساوياً 10 أمبير.

الحل:

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



شكل 3- 6 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:

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

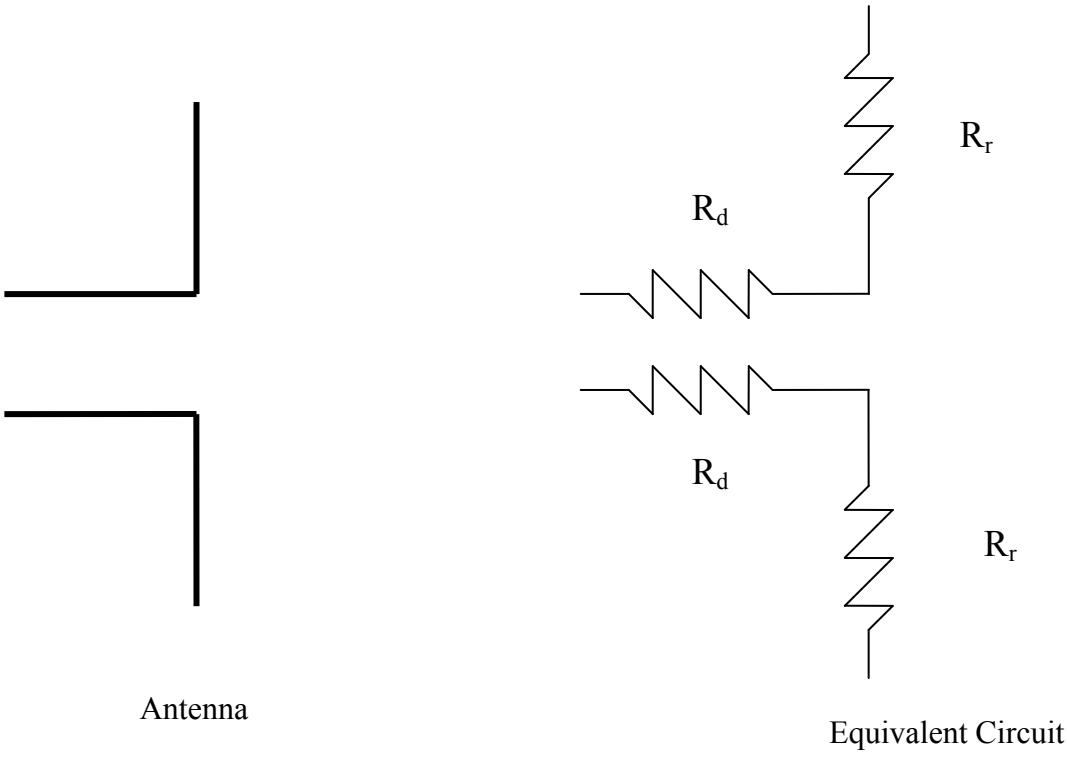
حيث إن:

P_d: الطاقة المفقودة داخل الهوائى (Watt)

باستخدام العلاقة السابقة فإنه يمكن إيجاد الكفاءة من العلاقة الآتية:

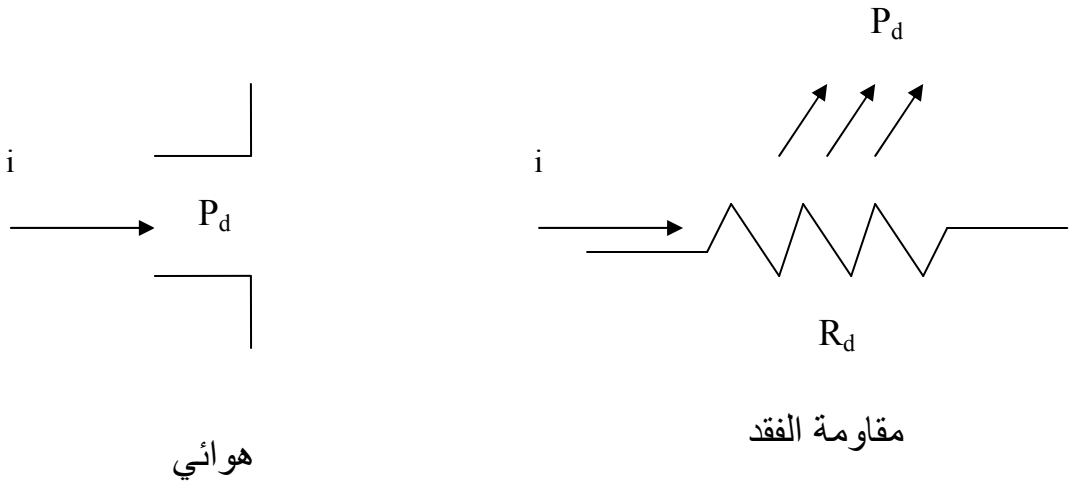
$$\eta = P_r / P_{in}$$
$$= P_r / (P_r + P_d)$$

الشكل 3- 7 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 3- 8



.

شكل 3- 7 دائرة كهربية مكافئة للهوائي



شكل 3- 8 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 3- 2:

أوجد كفاءة الهوائي إذا كانت الطاقة المنبعثة منه 900 وات و الطاقة الداخلة إليه 1000 وات.

الحل:

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

مثال 3- 3:

أوجد كفاءة الهوائي إذا كانت الطاقة المنبعثة منه 900 وات و الطاقة المفقودة داخله تساوى100 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 3- 4:

أوجد كفاءة الهوائي إذا كانت مقاومة الإشعاع له 900 أوم و مقاومة الفقد داخله تساوى100 أوم.

الحل:

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

مثال 3- 4:

هوائي مقاومة الإشعاع له 900 أوم و مقاومة الفقد داخله تساوى100 أوم. أوجد الطاقة المنبعثة و الطاقة المفقودة به إذا كان التيار الداخل إليه 10 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 3- 5:

أوجد مقاومة الفقد لهوائي له مقاومة الإشعاع له 900 أوم وكفاءة 90 ٪

الحل:

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

مثال 3- 6:

أوجد كفاءة الهوائي الذي مقاومة الإشعاع له 900 أوم و طاقه مفقودة 100 وات و ذلك إذا كان التيار الداخل للهوائي يساوي 1 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 3- 7:

أوجد كفاءة الهوائي الذي تدخله طاقة مساوية 1000 وات ومقاومة الإشعاع له 900 أوم و التيار الداخل له يساوي 1 أمبير.

الحل

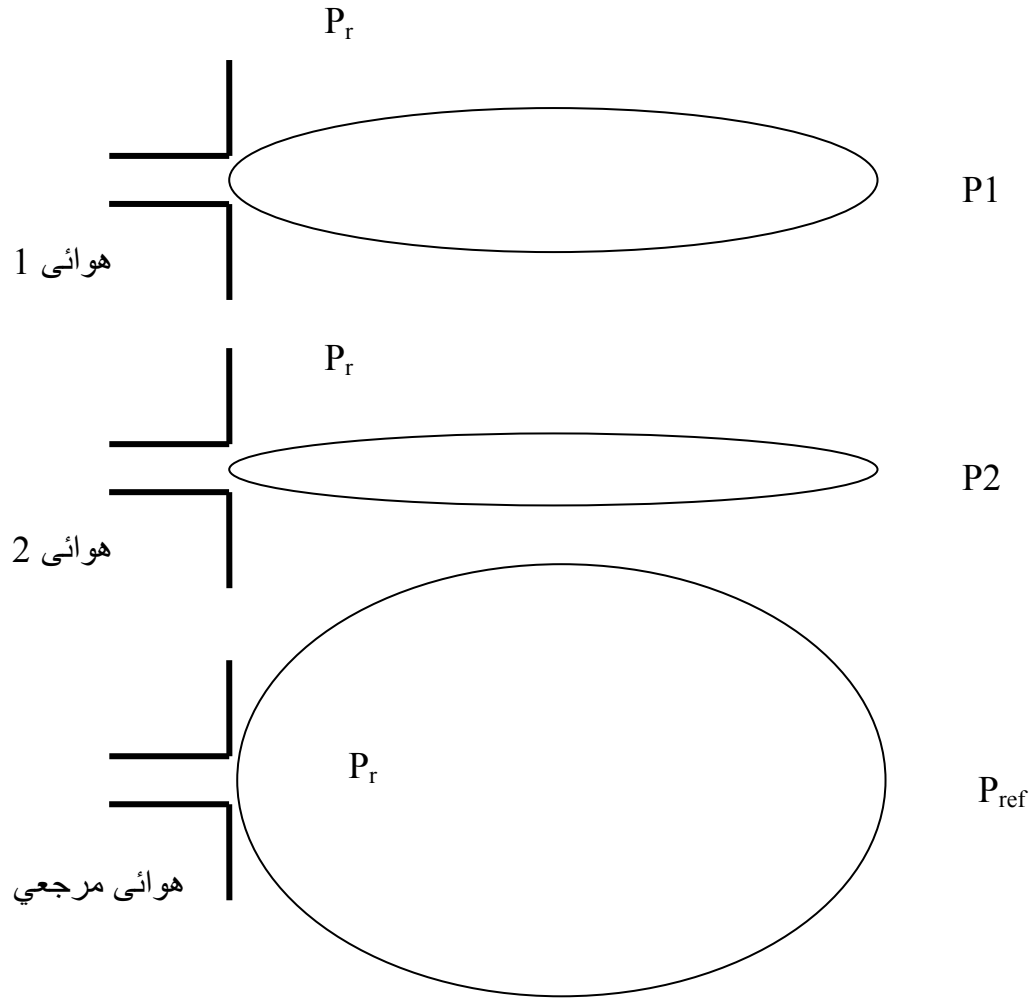
$$R_{in} = R_r + R_d$$
$$R_{in} = P_{in} / i^2$$
$$= 1000 / 1^2$$
$$= 1000\ \Omega$$
$$\eta = R_r / R_{in}$$
$$= 900/1000 = 0.9$$
$$= 0.9 \times 100\ \%$$
$$= 90\%$$

3- 3- 3 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 3- 9.



الشكل 3- 9 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 3- 8:

أوجد الكسب الاتجاهي لكل من الهوائيات التالية إذا كان الهوائي المرجعي له كثافة طاقة عند نقطة معينة تساوي 100 وات / م^2:

أ- هوائي له كثافة طاقة عند نفس النقطة تساوي 500 وات / م^2

ب- هوائي له كثافة طاقة عند نفس النقطة تساوي 1000 وات / م^2

ت- هوائي له كثافة طاقة عند نفس النقطة تساوي 1500 وات / م^2

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 3- 9:

أوجد كسب الطاقة لكل من الهوائيات التالية إذا كان الهوائي المرجعي له كثافة طاقة عند نقطة معينة تساوي 100 وات / م^2:

ث- هوائي له كثافة طاقة عند نفس النقطة تساوي 500 وات / م^2 و كفاءة 80٪

ج- هوائي له كثافة طاقة عند نفس النقطة تساوي 1000 وات / م^2 و كفاءة 90٪

ح- هوائي له كثافة طاقة عند نفس النقطة تساوي 1500 وات / م^2 و كفاءة 100٪

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 .

3- 3- 4 استقطاب الهوائي

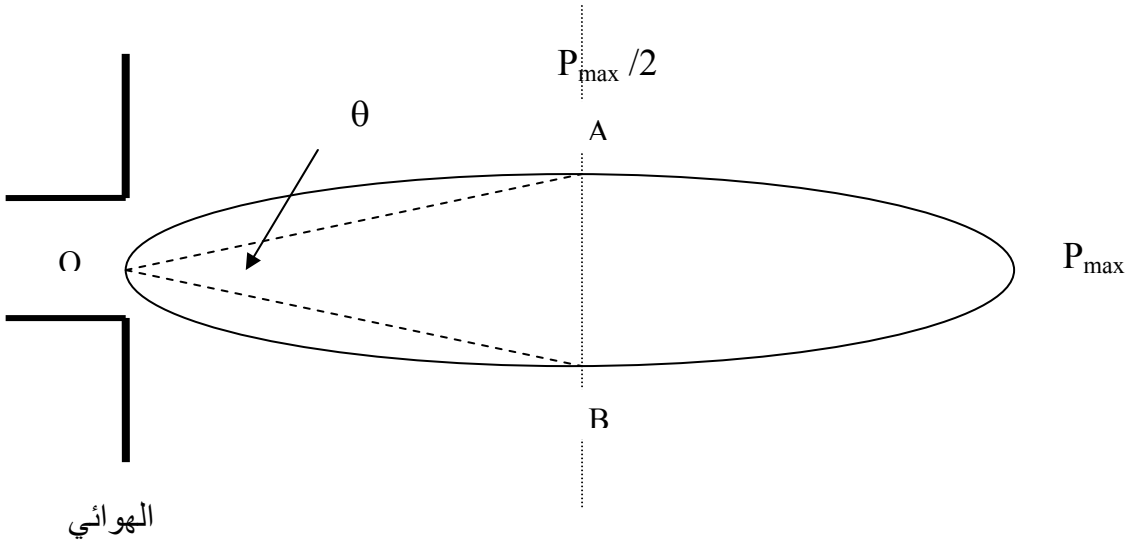
Antenna Polarization

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.

3- 3- 5 زاوية الفص للهوائى

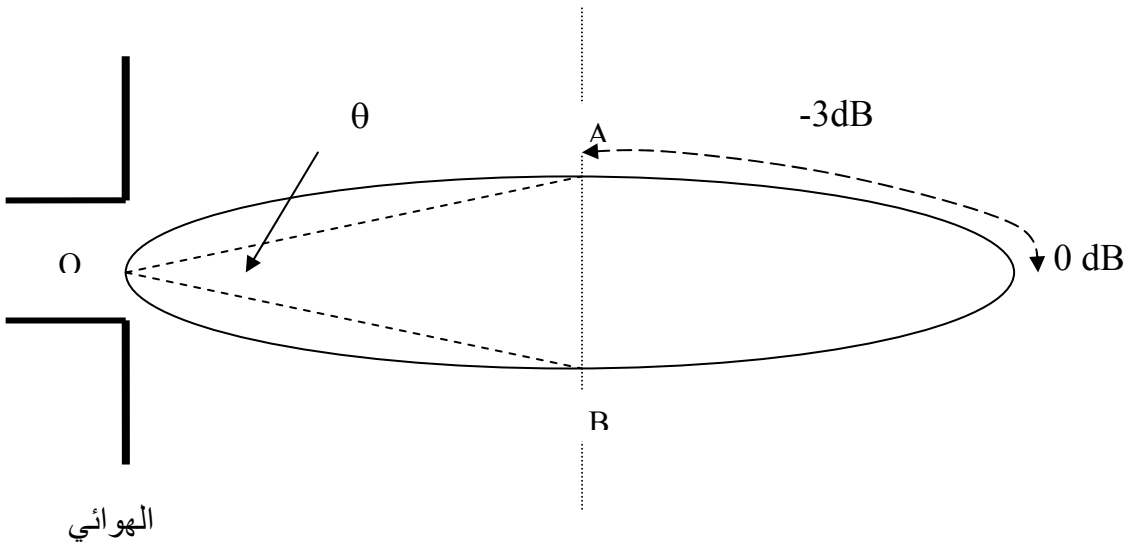
Antenna Beamwidth (θ)

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 3- 10.



الشكل 3- 10 زاوية الفص للهوائي

أما إذا كانت الطاقة ممثلة في رسم الإشعاع بالديسيبل فإننا نحدد نقطة منتصف الطاقة بأن نحدد النقطتين اللتين تقلان 3 ديسيبل عن الصفر لنحدد النقطتين A, B ثم نصل AO, BO لنحصل على زاوية الفص كما في الشكل 3- 11.



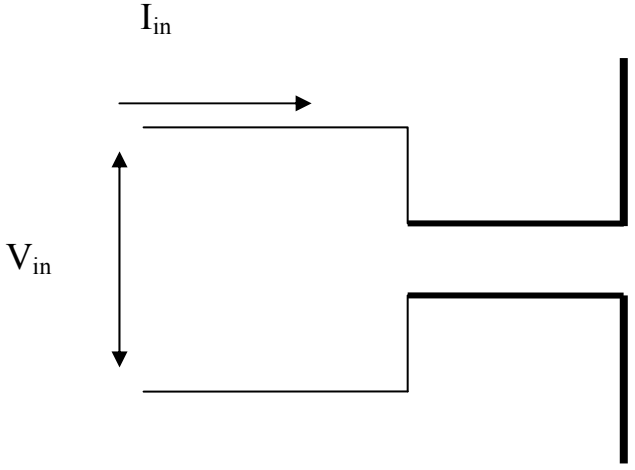
الشكل 3- 11 زاوية الفص للهوائي

من الشكل 3- 10 و الشكل 3- 11 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.

3- 3- 6 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 3- 12.



الهوائي

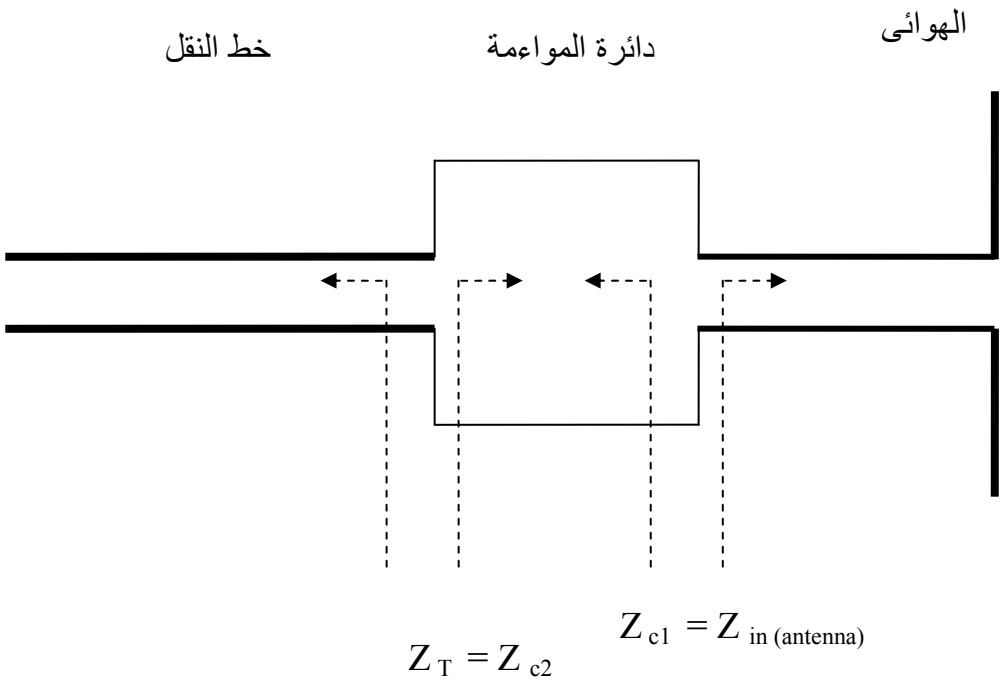
hgشكل 3- 12 **معاوقة** المدخل للهوائي

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 3- 13 . في الرسم 3- 13 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 3- 13 استخدام دائرة المواءمة لربط الهوائي بخط النقل

عندما تكون قيمة المعاوقة حقيقية فإنها تؤول إلى مقاومة.

مثال 3- 10

اختر لكل هوائي من الهوائيات التالية خط التغذية المناسب له:

أ- هوائي له مقاومة مدخل 75 أوم

خطوط النقل المتاحة لها مقاومات (50 – 70 – 75 – 100 – 150 – 300)

ب- هوائي له مقاومة مدخل 150 أوم

خطوط النقل المتاحة لها مقاومات (50 – 70 – 75 – 100 – 150 – 300)

ت- هوائي له مقاومة مدخل 300 أوم

خطوط النقل المتاحة لها مقاومات (50 – 70 – 75 – 100 – 150 – 300)

الحل:

أ- خط النقل الذي له مقاومة 75 أوم

ب- خط النقل الذي له مقاومة 150 أوم

ت- خط النقل الذي له مقاومة 300 أوم

أسئلة

1- كيف تتحدد أبعاد الهوائي؟

2- ماالشروط التي يجب أن تتوفر عند تثبيت الهوائي؟

3- ما المعادن التي تستخدم في صناعة الهوائيات؟

4- لماذا تلزم الحماية الجوية لبعض الهوائيات؟

5- لماذا تختلف طرق التغذية للهوائيات؟

6- حدد ثلاث طرق تستخدم في التغذية؟

7- ما شروط المواءمة؟

8- ماالمقصود بالخصائص الفنية للهوائي؟

9- ما رسم الإشعاع؟

10- ما فائدة رسم الإشعاع؟

11- ما مقاومة الإشعاع للهوائي؟

12- كيف تحدد كفاءة الهوائي؟

13- ماذا يزيد أو يقلل من قيمة كفاءة الهوائي؟

14- ما الكسب الاتجاهي؟

15- كيف يقاس الكسب الاتجاهي؟

16- ماالذي تدل عليه زيادة قيمة الكسب الاتجاهى؟

17- ما زاوية الفص للهوائى؟

18- ماالذى تدل عليه زيادة زاوية الفص للهوائي؟

19- ما فائدة مقاومة المدخل للهوائي؟

الهوائيات و انتشار الموجات

الهوائيات الأساسية و طرق التغذية

الفصل الرابع

الهوائيات الأساسية و طرق التغذية

Basic Antennas and Feeding Methods

اسم الوحدة: الهوائيات الأساسية و طرق التغذية

الجدارة: التعرف على الأنواع الأساسية من الهوائيات من حيث خصائصها و تطبيقاتها حتى يتمكن المتدرب من اختيار الهوائي المناسب لتطبيق معين عن طريق معرفة خصائصة الفنية. و كذلك التعرف على طرق تغذية الهوائيات و مدى ملاءمتها لهوائيات معينة و عدم ملاءمتها لهوائيات أخرى.

الأهداف: أن يصل المتدرب إلى إتقان الجدارة بنسبة 90٪

الوقت المتوقع للتدرب على الجدارة: 8 ساعة

الوسائل المساعدة: معمل الهوائيات و انتشار الموجات

متطلبات الجدارة: أن يكون المتدرب قد استوعب الفصل الثالث جيداً حتى يمكننا أن ندرس الأنواع المختلفة من الهوائيات و المقارنة بينها من حيث الخصائص الشكلية و الفنية.

4- 1 مقدمة:

توجد آلاف الأنواع من الهوائيات و الكثير من طرق التغذية. في هذه الوحدة سندرس أهم أنواع الهوائيات من حيث الاستخدام و الانتشار في الاستخدام و كذلك أهم طرق تغذيتها. ففى أنواع الهوائيات سندرس الهوائي القطبي القصير(Short dipole) و هوائي نصف الموجة القطبىd(Half-wave dipole) و الهوائي الحلقى d(Loop antenna) و الهوائي الحلزوني(Helical antenna) و هوائي البوق (Horn antenna) و هوائي الطبق (Dish antenna) و الهوائيات الشريطية (Microstrip antennas).

فى طرق التغذية سندرس ثلاثة أنواع و هي طريقة التغذية من المنتصف (Center feeding) و طريقة الدلتا للتغذية (Delta-match feed method) و طريقة البوق (Horn method).

4- 2 الهوائيات الأساسية

Basic Radiators

فى هذا الجزء من الوحدة الرابعة سنتعرض لمعرفة الخصائص الفنية لبعض الهوائيات. و الهدف الأساسي من ذلك هو تمكين المتدرب من القدرة على الاختيار بينها و ذلك تبعاً للتطبيق الذي يحتاج الهوائي له.

و الأنواع التي سوف ندرسها هي الهوائي القطبي القصير(Short dipole) و هوائي نصف الموجة القطبى (Half-wave dipole) و الهوائي الحلقي (Loop antenna) و الهوائي الحلزوني (Helical antenna) و هوائي البوق (Horn antenna) و هوائي الطبق (Dish antenna) و الهوائيات الشريطية (Microstrip antennas).

4- 2- 1 الهوائي القطبي القصير

Short dipole antenna

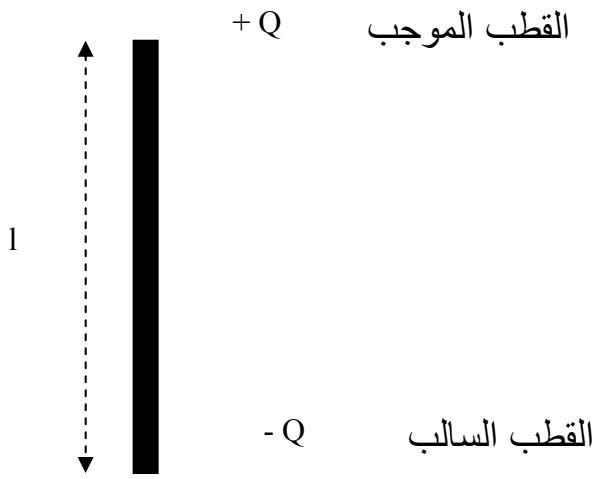
من وجهة نظر نظرية الهوائيات (Antenna theory) فإن الهوائي القطبي القصير الذي يتوزع فيه التيار الكهربي بانتظام على محوره يعد من أهم و أبسط أنواع الهوائيات كما في الشكل 4- 1.

وتأتي أهمية هذا الهوائي من أنه:

1- هوائى بسيط في التحليل
2- يستخدم لتحليل الهوائيات الأخرى الأكثر تعقيداً

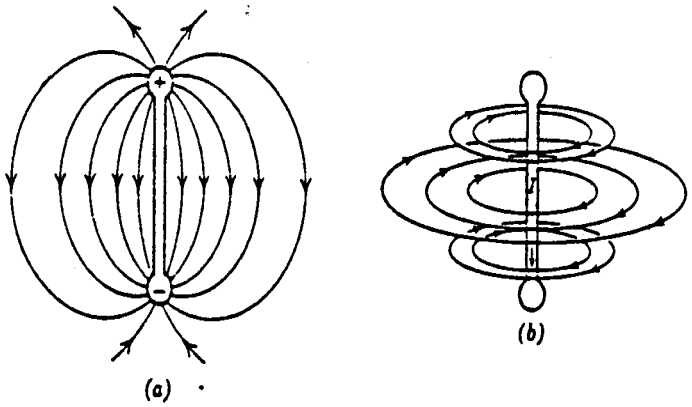
و يسمى هذا الهوائي بهذا الاسم لسببين:

1- قطبى: لأنه توجد على طرفيه شحنتان متساويتان (Q- ,Q+) و مختلفتان في الإشارة
2- قصير: لأن طوله (l) لايزيد عن عشر (10/1) الطول الموجي للإشارة التي يرسلها أو يستقبلها



الشكل 4- 1 الهوائي القطبي القصير

و الشكل 4- 2 يبين كيفية توزيع المجال الكهربي (Electric field) و المجال المغناطيسي (Magnetic field) المتولدان على هذا الهوائي و يرمز للمجال الكهربي بالحرف E و يرمز للمجال المغناطيسي بالحرف H.



شكل 4- 2 المجال الكهربي و المجال المغناطيسي للهوائي القطبي القصير

من الشكل 4- 2 يتضح أن الهوائي القطبي القصير يتولد عنه مجال كهربي تخرج منه خطوط المجال من القطب الموجب لتدخل في القطب السالب. أما المجال المغناطيسي فإنه عبارة عن مجموعة من الحلقات العمودية على محور الهوائي و التي يدور فيها المجال تبعاً لقاعدة اليد اليمنى. الموجة الكهرومغناطيسية المنبعثة من الهوائي تتكون من المجالين السابقين و تنتشر بسرعة تساوي سرعة الضوء إذا كان وسط الانتشار هو الفراغ أما في الأوساط الأخرى فإن هذه السرعة تقل عن سرعة الضوء. وهذه المجالات تقل من حيث القيمة كلما بعدت عن الهوائي متناسبة مع $(1/r^2)$ حيث r هي المسافة التي تبتعد بها المجالات عن الهوائي أما من حيث الطاقة فإنها تقل متناسبة مع $(1/r^3)$. وهذا يعني أنه كلما اقتربتا من الهوائي كلما زادت قيمة و طاقة الموجة الكهرومغناطيسية و العكس صحيح.

4- 2- 1- 1 رسم الإشعاع للهوائي القطبي القصير

The radiation pattern of the short dipole

الشكل 4- 3 يبين رسم الإشعاع للهوائي القطبي القصير. من هذا الشكل يتضح أن المقطع الرأسي لهذا المجسم (E-plane) يتشابه مع توزيع المجال الكهربي في الشكل 4- 2 لهذا فإن المقطع الرأسي يمثل المجال الكهربي في الموجة الكهرومغناطيسية. أما المقطع الأفقي (H-plane) فإنه يمثل المجال المغناطيسي في هذه الموجة. و يرتبط المجال الكهربي بالمجال المغناطيسي في الموجة الكهرومغناطيسية بكمية تسمى معاوقة الموجة (Wave impedance Z) و لكل وسط انتشار قيمة لمعاوقة الموجة تميزه عن الأوساط الأخرى. وتكون العلاقة بين المجال الكهربي و المجال المغناطيسي كالآتي:

$$Z = E / H$$

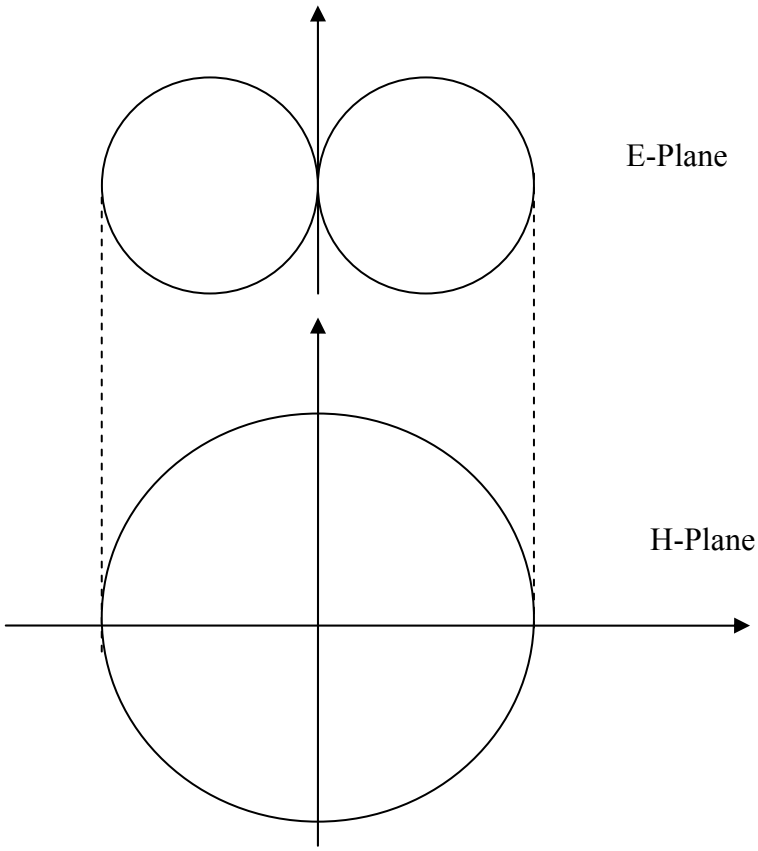
حيث إن:

Z : معاوقة الموجة

E: المجال الكهربي

H : المجال المغناطيسي

معاوقة الموجة تساوي 377 أوم ($120\ \pi$) إذا كان وسط الانتشار هو الفراغ.



الشكل 4- 3 رسم الإشعاع للهوائي القطبي القصير

4- 2- 1- 2 مقاومة الإشعاع للهوائي القطبي القصير

The radiation resistance of the short dipole

مقاومة الإشعاع لأي هوائي يمكن أن تحسب من العلاقة بين الطاقة المنبعثة من الهوائي و التيار المار به كالآتي:

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

و للهوائي القطبي القصير تم حساب و إيجاد قيمة هذه المقاومة كالآتي:

$$R_r = 80\pi^2 (l/\lambda)^2$$

حيث إن:

R_r : مقاومة الإشعاع بالأوم

l : طول الهوائي بالمتر

λ : الطول الموجي بالمتر

ومن هذه العلاقة فإنه يمكن إيجاد قيمة هذه المقاومة عندما يصبح طول الهوائي مساوياً لعشر قيمة الطول الموجي و قد وجد أن مقاومة الدخل في هذه الحالة مساوية 7.9 أوم و هذه القيمة صغيرة جداً مما يؤدي بالتبعية إلى صغر قيمة الطاقة المنبعثة من الهوائي ولهذا فإن صغر هذه المقاومة يمثل عيباً أساسياً لهذا الهوائي.

4- 2- 1- 3 الاتجاهية للهوائي القطبي القصير

Directivity (D)

تم حساب الاتجاهية للهوائي القطبي القصير بالطرق الرياضية و قد وجد أنها تساوي:

$$D = 1.5$$

وهذه القيمة صغيرة مما يدل على أن الطاقة المنبعثة من الهوائي تتوزع حوله باتجاهية منخفضة. كلما زادت قيمة الاتجاهية زادت قدرة الهوائي على بث الطاقة في اتجاه معين.

4- 2- 1- 4 زاوية الفص للهوائي القطبي القصير

Beamwidth (θ)

زاوية الفص للهوائي القطبي القصير يمكن حسابها معملياً و رياضياً و قد وجد أنها تساوي:

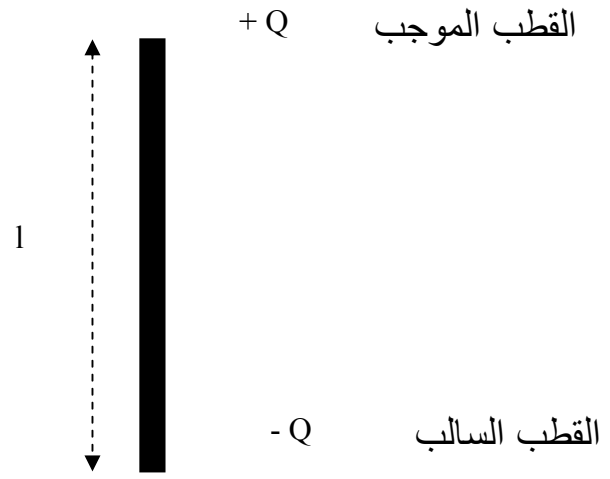
$$\theta = 90^o$$

وهذه القيمة كبيرة مما يدل على أن الطاقة المنبعثة من الهوائي تتوزع حوله باتجاهية منخفضة. كلما زادت قيمة زاوية الفص قلت قيمة الاتجاهية و بالتبعية قلت قدرة الهوائي على بث الطاقة في اتجاه معين.

4- 2- 2 هوائي نصف الموجة القطبي

Half-Wave Dipole

كما هو واضح من الشكل 4- 4 فإن هوائي نصف الموجة القطبي يماثل الهوائي القطبي القصير من حيث الشكل إلا أنه له طول يساوي نصف طول الموجة التي يرسلها أو يستقبلها.

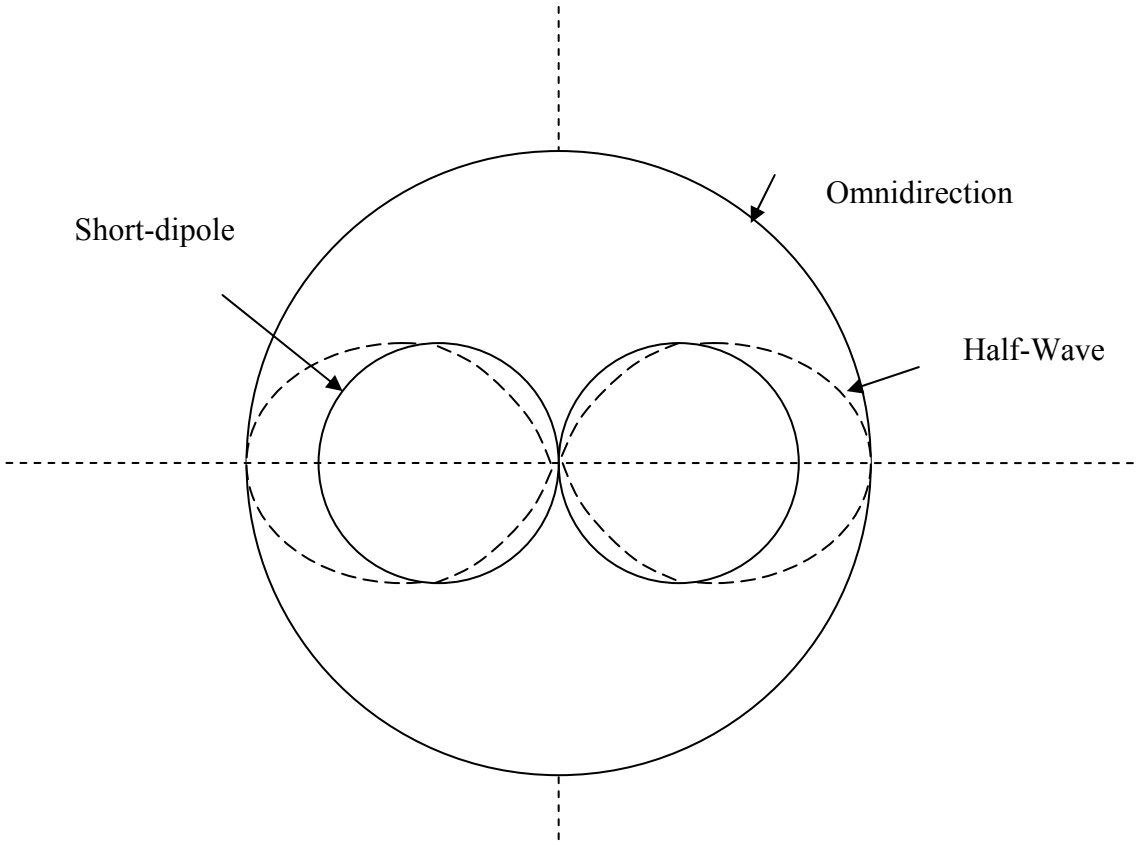


شكل 4- 4 هوائي نصف الموجة القطبي

4- 2- 2- 1 رسم الإشعاع لهوائي نصف الموجة القطبي

The radiation pattern of the half-wave dipole

الشكل4- 5 يبين رسم الإشعاع لهوائي نصف الموجة القطبي و للهوائي القطبي القصير و للهوائي النظري الذي يبث الطاقة في جميع الاتجاهات بالتساوي (Isotropic Pattern) أو (Omnidirectional pattern). و من هذا الشكل يتضح أن هوائي نصف الموجة له قدرة أكبر على بث الطاقة في اتجاه معين و كذلك فإن له زاوية فص (θ) أقل من الهوائي القطبي القصير.



شكل 4- 5 رسم الإشعاع لهوائي نصف الموجة و للهوائي القطبي القصير و الهوائي المتماثل الإشعاع

4- 2- 2- 2 مقاومة الإشعاع لهوائي نصف الموجة القطبي

The radiation resistance of the half-wave dipole

لهوائي نصف الموجة القطبي وجد أن مقاومة الإشعاع له تساوي 73.1 أوم و هي أكبر من نظيرتها للهوائي القطبي القصير مما يدل على أن لهذا الهوائي قدرة أكبر على بث الطاقة من تلك التي للهوائي القصير.

كلما زادت قيمة مقاومة الإشعاع زادت قدرة الهوائي على بث طاقة أكبر.

4- 2- 2- 3 الاتجاهية لهوائي نصف الموجة القطبي

Directivity (D)

لهذا الهوائي تم حساب الاتجاهية بالطرق الرياضية و قد وجد أنها تساوي:

$$D = 1.63$$

وهذه القيمة أكبر من تلك التي للهوائي القطبي القصير. مما يدل على أن لهذا الهوائي قدرة أكبر على بث الطاقة في اتجاه معين من تلك المتوفرة للهوائي القطبي القصير.

4- 2- 2- 4 زاوية الفص لهوائي نصف الموجة القطبي

Beamwidth (θ)

لقد تم حساب و قياس زاوية الفص لهوائي نصف الموجة القطبي و قد وجد أنها تساوي:

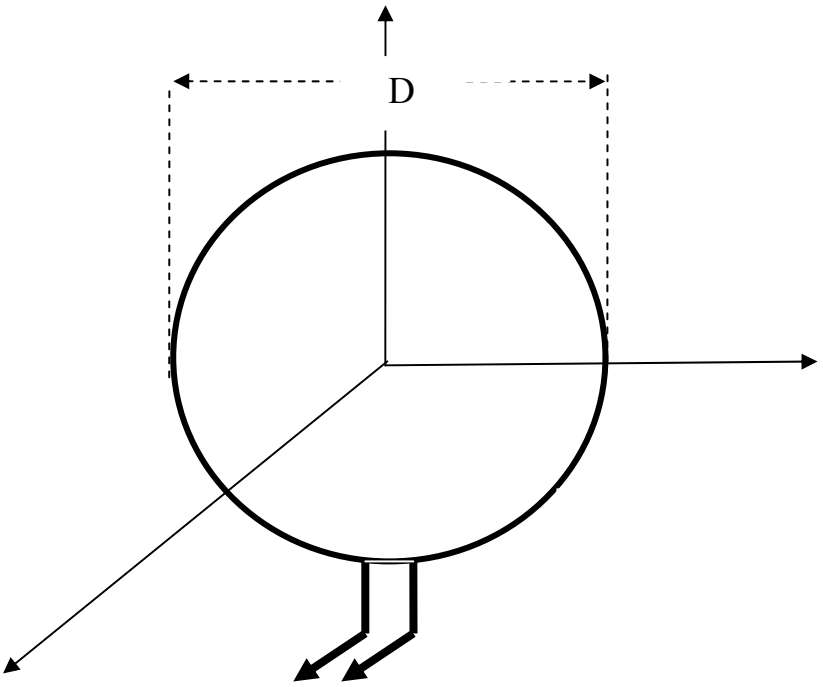
$$\theta = 78^o$$

وهذه القيمة أصغر من تلك التي للهوائي القطبي القصير مما يدل على أن الطاقة المنبعثة من هوائي نصف الموجة تتوزع حوله باتجاهية أعلى من تلك المنبعثة من الهوائي القطبي القصير. كلما قلت قيمة زاوية الفص زادت قيمة الاتجاهية و بالتبعية زادت قدرة الهوائي على بث الطاقة في اتجاه معين.

4- 2- 3 الهوائي الحلقي

Loop Antenna

يعتبر الهوائي الحلقي من الهوائيات الأساسية و الشكل 4- 6 يبين الهوائي الحلقي المتكون من حلقة واحدة .



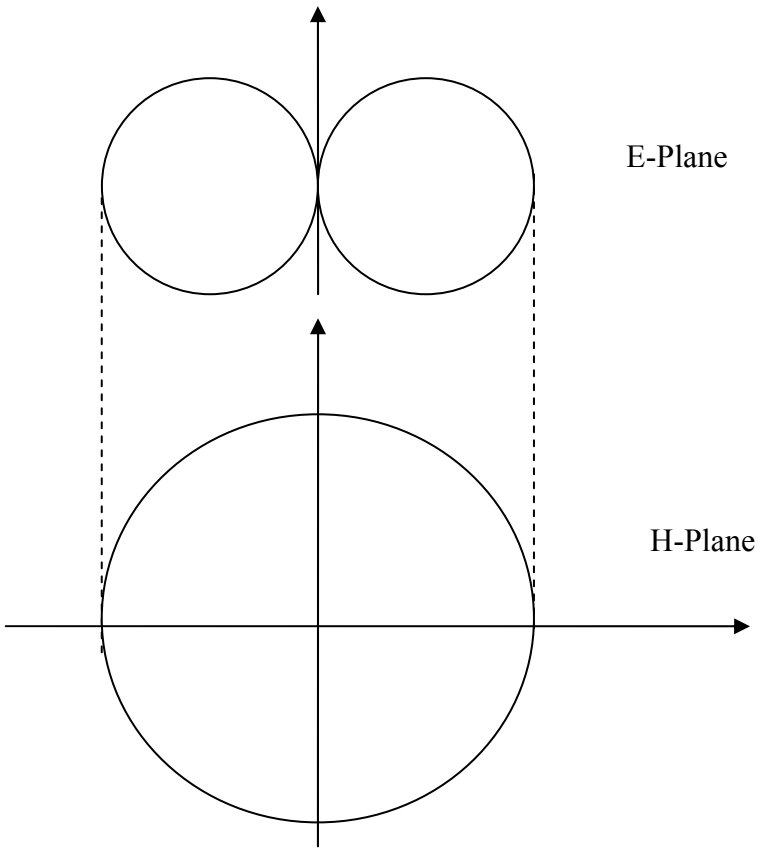
الشكل 4- 6 الهوائي الحلقي

و تختلف خصائص الهوائي الحلقي بناء على قيمة قطرالحلقة بالنسبة إلى الطول الموجي للموجة المرسلة أو المستقبلة بواسطة الهوائي. لذلك فإنه يوجد نوعان من الهوائيات الحلقية و هي الهوائيات الحلقية الصغيرة و الهوائيات الحلقية الكبيرة ففي الحلقيات الصغيرة يكون قطر الحلقة أصغر بكثير من الطول الموجي أما في الكبيرة فإن القطر يكون مقارباً للطول الموجي . و سنخص بالدراسة خلال هذا العرض الهوائيات الحلقية الصغيرة.

4- 2- 3- 1 رسم الإشعاع للهوائي الحلقي الصغير

The radiation pattern of the small loop antenna

الشكل4- 7 يبين رسم الإشعاع للهوائي الحلقي الصغير و هو يماثل تماما رسم الإشعاع للهوائي القطبي القصير.



شكل 4- 7 مجسم الإشعاع للهوائي الحلقي الصغير

4- 2- 3- 2 مقاومة الإشعاع للهوائي الحلقي

The radiation resistance of the small loop antenna

للهوائي الحلقي وجد أن مقاومة الإشعاع له تعطى بالعلاقة الرياضية:

$$R_r = 31200\ A^2/\lambda^2$$

حيث إن:

A: مساحة الحلقة (πa^2) و a هو نصف قطر الحلقة

λ: الطول الموجي

من العلاقة السابقة يتضح أنه كلما صغر القطر للحلقة فإن مقاومة الإشعاع تصغر. لذلك فإن مقاومة الإشعاع للهوائي الحلقي القصير تساوي 2 أوم و هذه مقاومة صغيرة جداً مما يعني أن قدرة هذا الهوائي على بث طاقة كبيرة تكون محدودة. إلا أنه يمكن زيادة قيمة هذه المقاومة لهذا الهوائي و ذلك بزيادة عدد الحلقات بدلاً من حلقة واحدة . و في هذه الحالة فإن العلاقة بين مقاومة الإشعاع لهوائي من حلقة واحدة و هوائي من عدد N من الحلقات هى:

$$R_N = N^2\ R_1$$

حيث إن:

R_N: مقاومة الإشعاع لهوائي حلقي له عدد N من الحلقات

R_1: مقاومة الإشعاع لهوائي حلقي له عدد 1 من الحلقات

مثال 4- 1

أوجد قيمة مقاومة الإشعاع لمجموعة من الهوائيات الحلقية التي لها عدد من الحلقات 5 و 10 و 100.

الحل:

$$R_N = N^2\ R_1$$
$$R_5 = 5^2\ (2) = 50\ \Omega$$
$$R_{10} = 10^2\ (2) = 200\ \Omega$$
$$R_{100} = 100^2\ (2) = 20{,}000\ \Omega = 20\ K\Omega$$

من هذا المثال يتضح أنه يمكن لنا زيادة مقاومة الإشعاع للهوائي بزيادة عدد الحلقات و هذه الميزة لا تتوفر للهوائي القطبي القصير.

4- 2- 3- 3 الاتجاهية للهوائي الحلقي

Directivity (D)

لهذا الهوائي تم حساب الاتجاهية بالطرق الرياضية و هي متماثلة تماماً لتلك التي للهوائي القطبي القصير و قد وجد أنها تساوي:

$$D = 1.5$$

لذا فإن خصائص توزيع الطاقة لهذا الهوائي متماثلة تماماً مع تلك التي للهوائي القطبي القصير.

4- 2- 3- 4 زاوية الفص للهوائي الحلقي الصغير

Beamwidth (θ)

لهذا الهوائي تم حساب زاوية الفص بالطرق الرياضية و المعملية و هي متماثلة تماماً لتلك التي للهوائي القطبي القصير و قد وجد أنها تساوي: $\theta = 90^o$

لذا فإن خصائص توزيع الطاقة لهذا الهوائي متماثلة تماماً مع تلك التي للهوائي القطبي القصير. و لكن يجب أن نتذكر أن لهذا الهوائي قدرة أكبر على بث طاقة أكبر.

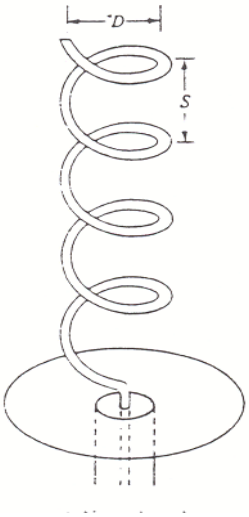
4- 2- 4 الهوائي الحلزوني

Helical Antenna

الشكل 4- 8 يبين الهوائي الحلزوني . من هذا الشكل يتضح أن الخصائص الهندسية لهذا الهوائي تعتمد على :

- عدد الحلقات N
- المسافة بين الحلقات S
- قطر الحلقة D

يعتمد نمط التشغيل لهذا الهوائي على النسبة بين أبعاد الهوائي و الطول الموجي فإذا كانت الأبعاد صغيرة جداً بالنسبة للطول الموجي فإن الهوائي يعمل في النمط العمودي (Normal Mode) أما إذا كانت الأبعاد مقاربة للطول الموجي فإن النمط الذي يعمل به هذا الهوائي هو النمط المحوري (Axial Mode). و هذه الهوائيات لها تطبيقات عديدة في إرسال و استقبال الموجات من الترددات التي تستخدم في الإذاعة (MHz) حتى موجات المايكروويف (Microwaves)



الشكل 4- 8 الهوائي الحلزونى

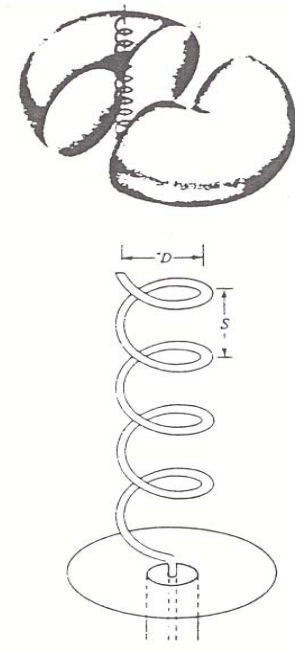
4- 2- 4- 1 رسم الإشعاع للهوائي الحلزوني

The radiation pattern of the helical antenna

يختلف رسم الإشعاع تبعاً لاختلاف نمط التشغيل للهوائي:

أ- النمط العمودي Normal Mode

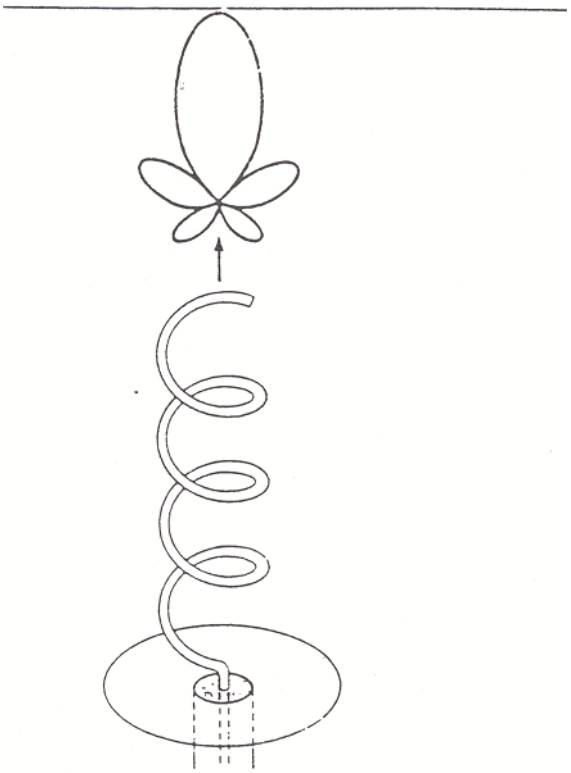
يكون في هذه الحالة الفص الأساسي في مجسم الإشعاع في اتجاه متعامد على اتجاه محور الهوائي كما في الشكل 4- 9.



الشكل 4- 9 رسم الإشعاع للنمط العمودي

ب- النمط المحوري Axial Mode

يكون في هذه الحالة الفص الأساسي في مجسم الإشعاع في نفس اتجاه محور الهوائي كما في الشكل 4- 10.



شكل 4- 10 رسم الإشعاع للنمط المحوري

4- 2- 4- 2 الاتجاهية للهوائي الحلزوني

Directivity (D)

لهذا الهوائي تم حساب الاتجاهية بالطرق الرياضية و قد وجد أنها تعطى بالعلاقة

$$D_{max} = 15\ NS(\pi D)^2 / \lambda^2$$

و هذه العلاقة تبين أن الاتجاهية للهوائي الحلزوني تعتمد على عدد الحلقات و قطر الحلقة و المسافة بين الحلقات و الطول الموجي للموجة المستخدمة. فكلما زاد عدد الحلقات أو زادت

المسافة بين الحلقات أو زاد قطر الحلقة أو قل الطول الموجي فإن الاتجاهية للهوائي الحلزوني **تزيد** و العكس صحيح.

4- 2- 4- 3 زاوية الفص للهوائي الحلزوني

Beamwidth (θ)

لهذا الهوائي تم حساب زاوية الفص بالطرق الرياضية و قد وجد أنها تعطى بالعلاقة

$$\theta_{3dB} = 52 (\lambda^{3/2}) / NS \pi D$$

و هذه العلاقة تبين أن زاوية الفص للهوائي الحلزوني تعتمد على عدد الحلقات و قطر الحلقة و المسافة بين الحلقات و الطول الموجي للموجة المستخدمة و ذلك مثلها مثل الاتجاهية لهذا الهوائي. فكلما زاد عدد الحلقات أو زادت المسافة بين الحلقات أو زاد قطر الحلقة أو قل الطول الموجي فإن الاتجاهية للهوائي الحلزوني تقل و العكس صحيح.

ومن هذا يتضح أن هناك تناسباً عكسياً بين الاتجاهية و زاوية الفص.

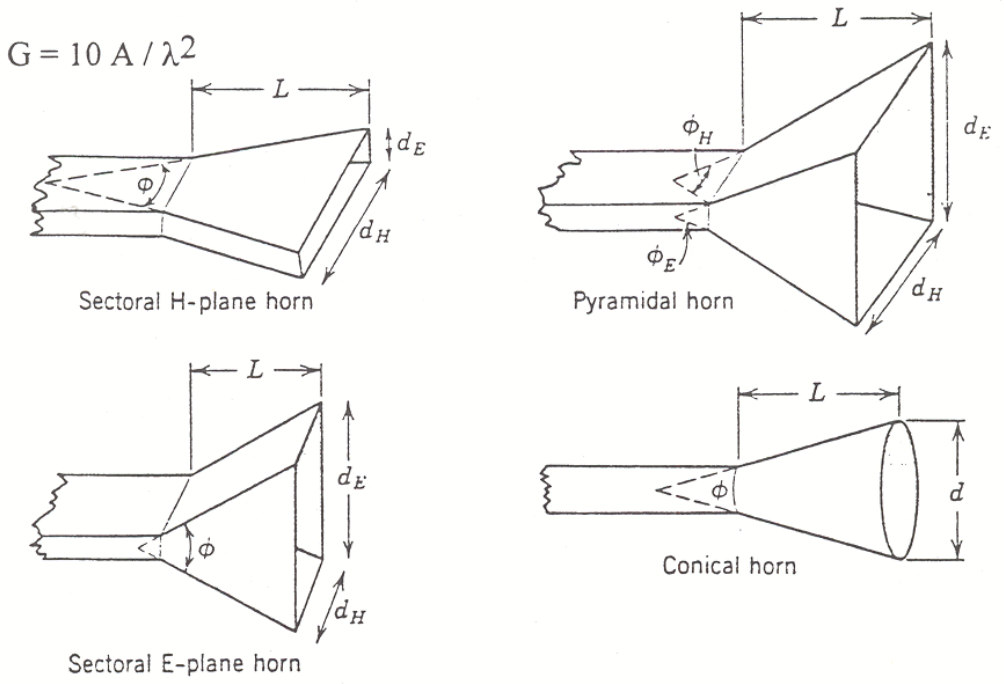
4- 2- 5 هوائي البوق

Horn Antenna

هوائى البوق من الهوائيات الواسعة الانتشار و الاستخدام في نطاق موجات الميكروويف (Microwave Band). و لهذا الهوائي ميزات عديدة:

- الكسب العالي
- نطاق عمله ترددى كبير
- وزنه الخفيف
- سهولة تركيبه

و الشكل 4- 11 يبين الأنواع الأساسية لهوائي البوق. وهذه الهوائيات تتم تغذيتها بواسطة المرشدات الموجية (Waveguides).



الشكل 4- 11 هوائيات البوق

ولقد وجد أن كسب هوائي البوق يعتمد أساساً على:

- مساحة مقطع فوهة البوق
- تردد الإشارة التي يستخدمها

و يعطى الكسب بالعلاقة الآتية:

$$G = 10\ A / \lambda^2$$

حيث إن:

A: مساحة مقطع الفوهة بالمتر المربع

λ: الطول الموجي للإشارة المستخدمة

من العلاقة السابقة يتضح أن الكسب يتناسب طردياً مع مساحة مقطع فوهة البوق و عكسياً مع مربع الطول الموجي و هذا يعني أنه كلما زادت مساحة الفوهة فإن كسب الهوائي يزيد.

مثال 4- 2

احسب الكسب لهوائي البوق الذي له مقطع فوهة على شكل مستطيل بعداه 20 و 50 سم و ذلك عندما يعمل عند الترددات الآتية:

أ- 3 GHz

ب- 30 GHz

الحل:

أ- عند 3GHz

$$G = 10\ A / \lambda^2$$
$$A = 20 \times 50 = 1000\ cm^2 = 0.1\ m$$
$$\lambda = c / f = 3 \times 10^8 / 3 \times 10^9 = 0.1\ m$$
$$G = 10\ A / \lambda^2$$
$$= 10 \times 0.1 / 0.1^2 = 100$$

ب- عند 30 GHz

$$G = 10\ A / \lambda^2$$
$$A = 20 \times 50 = 1000\ cm^2 = 0.1\ m$$
$$\lambda = c / f = 3 \times 10^8 / 30 \times 10^9 = 0.01\ m$$
$$G = 10\ A / \lambda^2$$
$$= 10 \times 0.1 / 0.01^2 = 10{,}000$$

و لقد وجد أن الاتجاهية لهوائي البوق تعتمد أيضاً على مساحة فوهته والطول الموجي مثل الكسب لهذا الهوائى ، تحسب الاتجاهية بالعلاقة الآتية:

$$D = 7.5\ A / \lambda^2$$

مثال 4- 3

احسب قيمة الاتجاهية لهوائي البوق الذي له مقطع فوهة على شكل مستطيل بعداه 20 و 50 سم و ذلك عندما يعمل عند الترددات الآتية:

أ- 3 GHz

ب- 30 GHz

الحل:

أ- عند 3GHz

$$D = 7.5\ A / \lambda^2$$
$$A = 20 \times 50 = 1000\ cm^2 = 0.1\ m$$
$$\lambda = c / f = 3 \times 10^8 / 3 \times 10^9 = 0.1\ m$$
$$D = 7.5\ A / \lambda^2$$
$$= 7.5 \times 0.1 / 0.1^2 = 75$$

ب- عند 30 GHz

$$D = 7.5\ A / \lambda^2$$
$$A = 20 \times 50 = 1000\ cm^2 = 0.1\ m$$
$$\lambda = c / f = 3 \times 10^8 / 30 \times 10^9 = 0.01\ m$$
$$D = 7.5\ A / \lambda^2$$
$$= 7.5 \times 0.1 / 0.01^2 = 7500$$

و زاوية الفص لهوائي البوق تختلف قيمتها باختلاف شكل فوهة المقطع و لذلك فإن قيمة الزاوية لهوائي البوق المستطيل المقطع يحسب بالعلاقة الآتية:

$$\phi_E = 56\ \lambda\ / dE \quad \text{degree}$$
$$\phi_H = 67\ \lambda\ / dH \quad \text{degree}$$

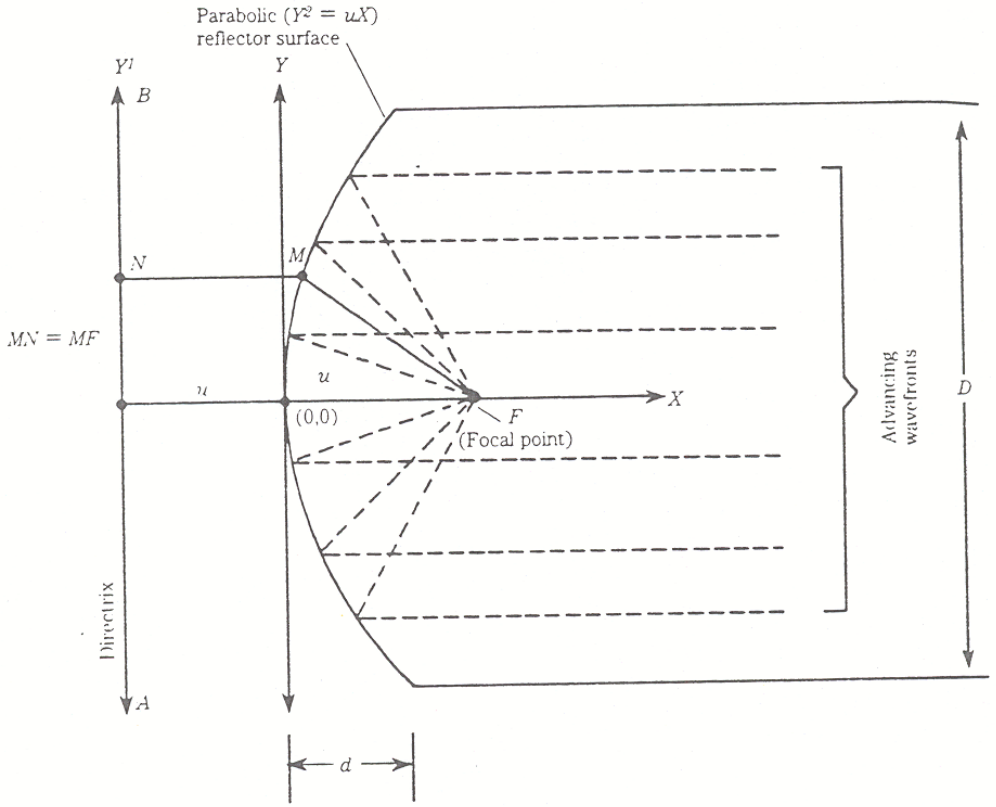
حيث dE و dH هي أبعاد المستطيل الموضحة في الشكل 4- 11. وهذه العلاقات التي تعطي زاوية الفص توضح و تؤكد على أن زاوية الفص و الاتجاهية تتناسبان تناسباً عكسياً.

4- 2- 6 هوائي الطبق

Dish " Parabolic" Antenna

يعتبر هوائي الطبق أكثر أنواع الهوائيات استخداما في نطاق موجات الميكروويف (Microwave Band). و الشكل 4- 12 يبين أن هذا الهوائي عبارة عن سطح عاكس يعمل كعدسة مجمعة لها بؤرة معينة فعندما تسقط الموجات المتوازية على هذا السطح فإنها تنعكس

لتتجمع عند البؤرة و ذلك إذا كان الهوائي يعمل كمستقبل أما إذا كان يعمل كمرسل فإن الموجات تخرج من المغذي لتسقط على سطح الطبق التي يعكسها بدوره لتنتشر في وسط الانتشار كأشعة متوازية.



الشكل 4- 12 هوائيات الطبق

و لهذا الهوائي ميزات عديدة:

- كسبه العالي
- نطاق عمله ترددي كبير
- سهولة تركيبه

و يتحدد قطر هوائي الطبق بالتردد الذي يعمل عنده الهوائي فكلما زاد التردد فإن قطر الهوائي يقل و العكس صحيح.

و يعتمد كسب هوائي الطبق على:

- قطر الطبق :

فكلما زاد قطر الطبق زاد كسب الهوائي

- دقة سطح الطبق:

يجب أن لا تزيد قيمة التعاريج في سطح الطبق عن 8/1 (ثمن) قيمة الطول الموجى المستخدم، لهذا فإنه يلزم أن تتم حماية سطح الطبق حتى لا تحدث به خدوش نتيجة العوامل الجوية المختلفة فلا تتجاوز قيمتها 8/1 من الطول الموجى. لأن زيادة قيمة هذه الخدوش تؤدي إلى تقليل قيمة الكسب.

- تغذية الطبق

يجب أن تتوزع الموجات الساقطة على سطح الطبق بانتظام. لأن عدم انتظامية توزيع الموجات يؤدي إلى تقليل كسب الهوائى.

اعتماداً على العوامل السابقة فإن الكسب لهوائي الطبق يمكن استنتاجه رياضياً و معملياً لنحصل على العلاقة التالية:

$$G = k(\pi D)^2 / \lambda^2$$

حيث إن:

D: قطر الطبق

λ: الطول الموجي الذي يعمل عنده الطبق

k: كفاءة الانعكاس و هذه الكمية تعطى في ورقة البيانات الخاصة بالطبق و تتراوح قيمتها من 0.4 إلى 0.7 .

مثال 4- 4

احسب الكسب لهوائي الطبق الذي له قطر يساوي 1 م و كفاءة انعكاس تساوي 0.5 و ذلك عندما يعمل عند الترددات الآتية:

ت- 3 GHz

ث- 30 GHz

الحل:

ت- عند 3GHz

$$G = k(\pi D)^2 / \lambda^2$$
$$\lambda = c / f = 3 \times 10^8 / 3 \times 10^9 = 0.1 \text{ m}$$
$$G = k(\pi D)^2 / \lambda^2$$
$$= 0.5 \times (\pi 1)^2 / 0.1^2 = 493.5$$

ث- عند 30 GHz

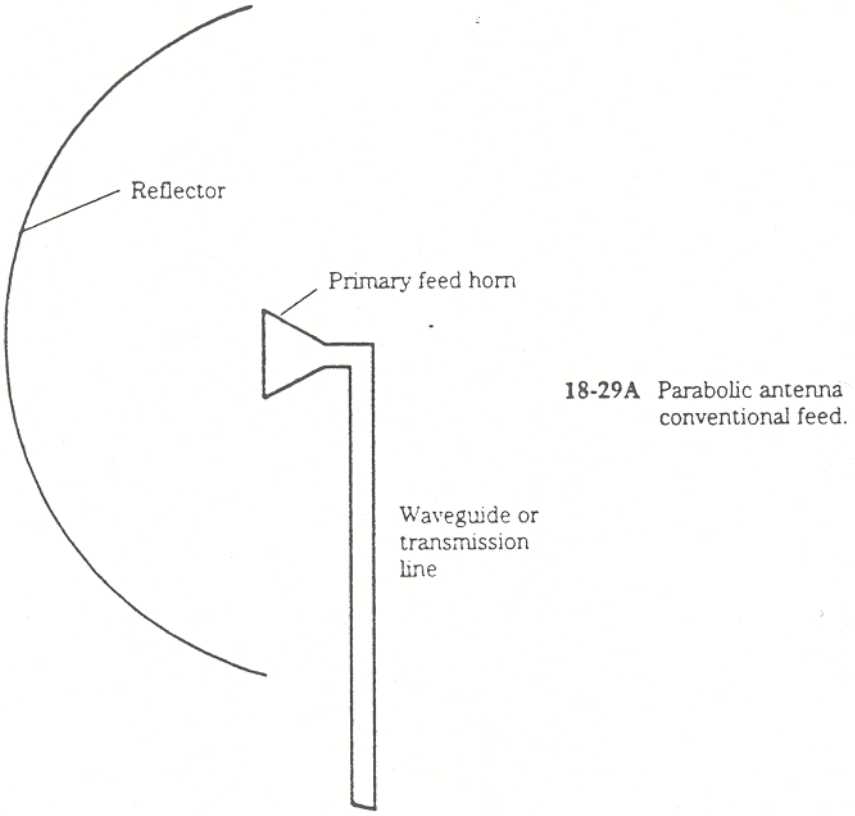
$$G = k(\pi D)^2 / \lambda^2$$
$$\lambda = c / f = 3 \times 10^8 / 30 \times 10^9 = 0.01 \text{ m}$$
$$G = k(\pi D)^2 / \lambda^2$$
$$= 0.5 \times (\pi 1)^2 / 0.01^2$$

مثال 4- 5

لهوائى الطبق الذي له قطر يساوي 1 م و كفاءة انعكاس تساوي 0.5 . احسب التردد الذي يكون الكسب عنده يساوي 493.5.

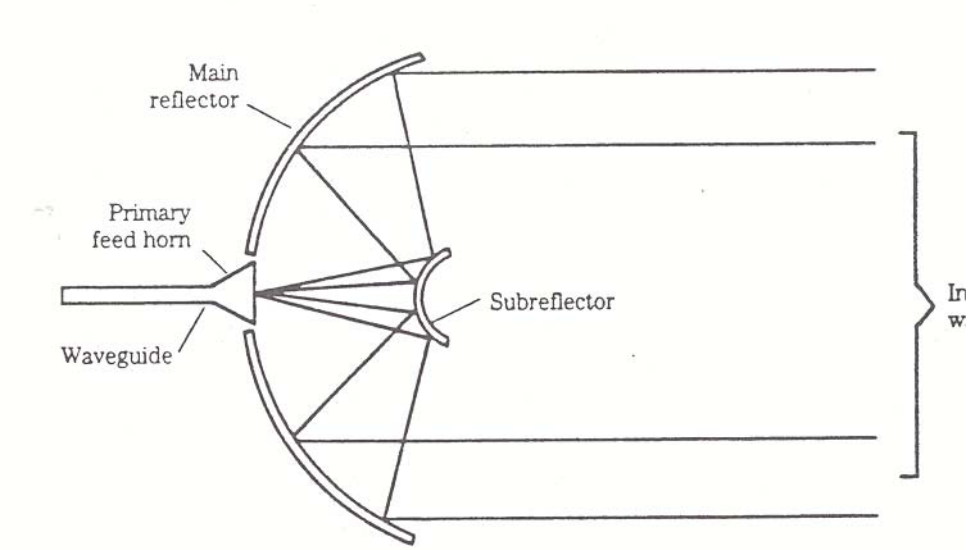
$$G = k(\pi D)^2 / \lambda^2$$
$$493.5 = 0.5 \times (\pi 1)^2 / \lambda^2$$
$$\lambda^2 = 0.009999$$
$$\lambda = 0.1$$
$$f = c / \lambda = 3 \times 10^8 / 0.1 = 3 \times 10^9 = 3\text{GHz}$$

و لهوائي الطبق طريقتان للتغذية وهما الطريقة المعتادة (Conventional feeding) شكل 4- 13و الطريقة غير المعتادة (Cassegrain feeding) كما في الشكل 4- 14. ففي الطريقة المعتادة يوضع هوائي البوق في بؤرة الطبق ليغذي الطبق كما في الشكل 4- 13 و هذه الطريقة تصلح في التطبيقات البسيطة كالأطباق المستخدمة في المنازل أما في الطريقة غير المعتادة فإن هوائي البوق يوضع في منتصف الطبق و يوضع عاكس فرعي (Subreflector) عند بؤرة الطبق. و تستخدم هذه الطريقة لتقليل الفصوص الجانبية (Side Lobes) في مجسم الإشعاع مما يزيد الطاقة في الفص الأمامي (Front Lobe).



18-29A Parabolic antenna conventional feed.

الشكل 4- 13 التغذية المعتادة



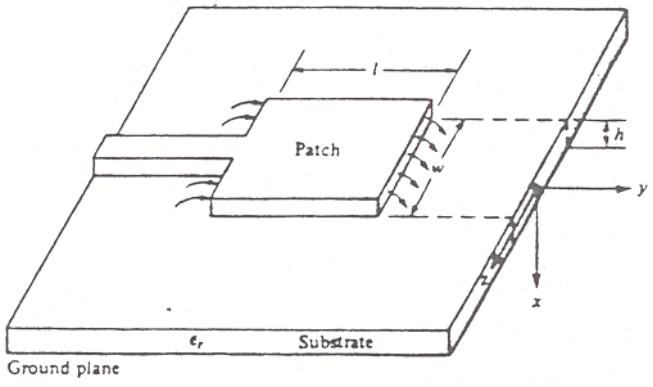
الشكل 4- 14 التغذية غير المعتادة

4- 2- 7 الهوائيات الشريطية

Microstrip Antennas

فى تطبيقات الطيران و المركبات الفضائية و الجوال يكون حجم و وزن الهوائيات المستخدمة على درجة كبيرة من الأهمية. لذلك فإن الهوائيات الشريطية التي تتوفر لها الميزات السابقة بالإضافة إلى ميزات أخرى تستخدم على نطاق واسع في التطبيقات التي تحتاج إلى وزن و حجم صغيرين. و يبين الشكل 4- 15 أحد الهوائيات الشريطية و الذي يتكون أساسا من:

- قاعدة من العازل Dielectric Substrate
- رقعة معدنية Metalic Patch
- مغذٍ Feeder



الشكل 4- 15 الهوائيات الشريطية

وهذه الهوائيات تتغير خصائصها بتغير:

- نوع مادة القاعدة
- سمك القاعدة
- شكل الرقعة
- أبعاد الرقعة

لذلك فإن الرقعة تأخذ أشكالاً عديدة لنحصل على خصائص معينة كما في الشكل 4- 16.

الشكل 4- 16 بعض أشكال الرقعة للهوائيات الشريطية

تتميز هذه الهوائيات بالآتي:

- خفة الوزن
- صغر الحجم
- قلة التكلفة
- سهولة التركيب

وعيوب هذه الهوائيات هى:

- صغر عمل الحيز الترددي
- ضعف كفاءتها نسبياً
- صغر الطاقة التي تبثها أو تستقبلها

إلا أن هذه العيوب يمكن تلافيها بناء على طبيعة التطبيق الذي سوف تستخدم فيه.

و تستخدم هذه الهوائيات فى:

- الطيران
- الفضاء
- الاتصالات المتنقلة

وكل هذه التطبيقات تكون في نطاق موجات المايكروويف Microwave band

4- 3 طرق التغذية

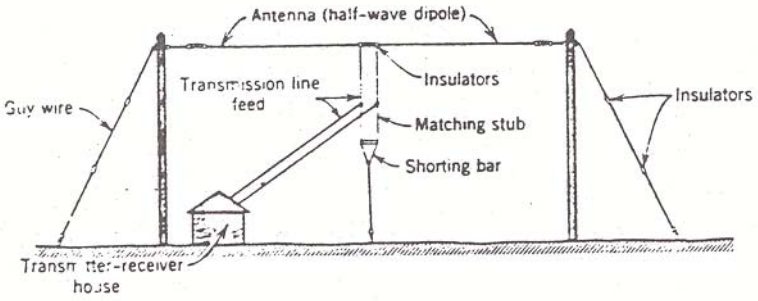
Feeding methods

فى طرق التغذية سندرس ثلاثة أنواع و هي طريقة التغذية من المنتصف (Center feeding) و طريقة الدلتا للتغذية (Delta-match feed method) و طريقة البوق (Horn method). الشرط الأساسي الذي يجب أن يتوفر عند توصيل المغذي بالهوائي هو أن الطاقة التي يستقبلها الهوائي يجب أن تنتقل كلية إلى المغذي أو العكس. ولكى يتم ذلك يجب أن تتوفر شروط المواءمة Matching Conditions .

4- 3- 1 طريقة التغذية من المنتصف

Center Feeding

يوضح شكل 4- 17 طريقة التغذية من المنتصف. و في هذه الحالة يتم الاتصال بين خط النقل و الهوائي عن طريق و صلة مواءمة (Matching Stub) وهذه الوصلة يتم تغيير طولها حتى تتحقق شروط المواءمة.

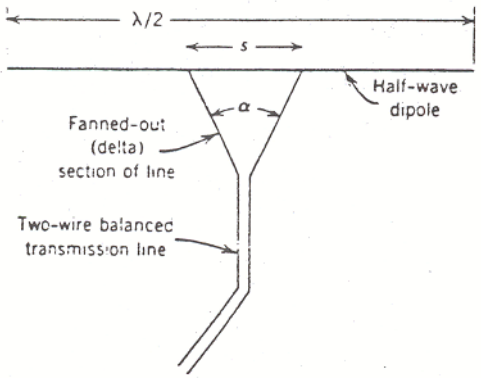


الشكل 4- 17 التغذية من المنتصف

4- 3- 2 طريقة الدلتا للتغذية

Delta-match Feed Method

يوضح الشكل 4- 18 طريقة الدلتا للتغذية. و في هذه الحالة يتم تغيير اتصال خط النقل و الهوائي عن طريق و صلة الدلتا (Delta) وهذه الدلتا يتم تغيير زاويتها الدلتا حتى تتحقق شروط المواءمة.

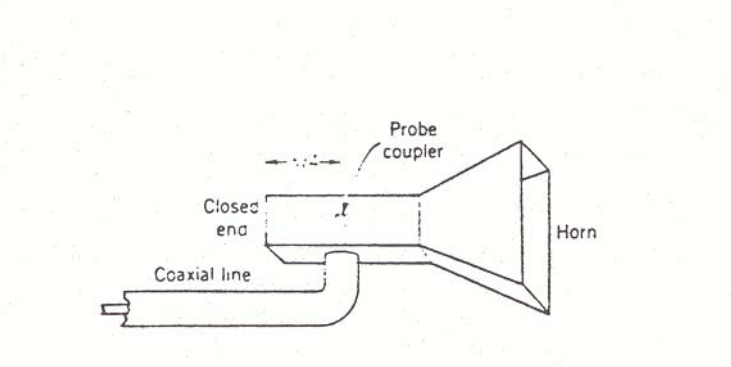


الشكل 4- 18 طريقة الدلتا للتغذية

4- 3- 3 طريقة البوق

Horn Method

يوضح الشكل 4- 19 طريقة البوق. و في هذه الحالة يتم الاتصال بين خط النقل و الهوائي عن طريق مجس (Probe) وهذا المجس هو الذي يحقق شروط المواءمة.



الشكل 4- 19 طريقة البوق

أسئلة

1.ما طول الهوائي القطبي القصير؟

2.ما اتجاه الطاقة العظمى للهوائي القطبي القصير؟

3.ماقيمة مقاومة الإشعاع للهوائي القطبي القصير؟

4.ماقيمة الاتجاهية للهوائي القطبي القصير؟

5.ماقيمة زاوية الفص للهوائي القطبي القصير؟

6.ماقيمة مقاومة الإشعاع لهوائي نصف الموجة القطبي ؟

7.ماقيمة الاتجاهية لهوائي نصف الموجة القطبى؟

8.ماقيمة زاوية الفص لهوائي نصف الموجة القطبي؟

9.فيم يستخدم الهوائي الحلقي؟

10. كيف يمكن زيادة مقاومة الإشعاع للهوائي الحلقي؟

11. كيف نتحكم في خصائص الهوائي الحلزوني؟

12. ماهي أنماط عمل الهوائي الحلزونى؟

13. فى أي نطاق ترددي يستخدم هوائي البوق؟

14. ما مميزات هوائي البوق؟

15. ماالذي يتحكم في كسب هوائي البوق؟

16. ماالذي يحدد كسب هوائي الطبق؟

17. ما التطبيقات التي يعمل فيها هوائي الطبق؟

18. ما ميزة تغذية هوائي الطبق بالطريقة غير المعتادة؟

19. ماالذي يتحكم في خصائص الهوائيات الشريطية؟

20. فيم تستخدم الهوائيات الشريطية؟

الهوائيات وانتشار الموجات

مصفوفات الهوائيات

الفصل الخامس

مصفوفات الهوائيات

Antenna arrays

اسم الوحدة: مصفوفات الهوائيات

الجدارة: التعرف على مصفوفات الهوائيات من حيث الحاجة إليها و الخصائص التي تضيفها على خصائص عناصرها و كذلك التعرف على بعض أنواعها.

الأهداف: أن يصل المتدرب إلى إتقان الجدارة بنسبة 90٪

الوقت المتوقع للتدرب على الجدارة: 5 ساعات

الوسائل المساعدة: معمل الهوائيات و انتشار الموجات

متطلبات الجدارة: أن يكون المتدرب قد استوعب الوحدة الرابعة جيداً حتى يمكننا أن ندرس ماالذي تضيفه المصفوفة على خصائص العناصر.

5- 1 مقدمة:

تتكون مصفوفة الهوائيات عندما يتحد هوائيان أو أكثر ليكوِّنا هوائياً واحداً. وكل من الهوائيات المكونة للمصفوفة تسمى عنصراً من عناصر المصفوفة (Array element). و قد يكون هذا العنصر أي نوع من أنواع الهوائيات التي درسناها في الوحدة السابقة مثل الهوائيات القطبية أو الهوائيات الشريطية أو غيرهما. والهدف من صناعة المصفوفة هو الحصول على خصائص فنية لا يمكن الحصول عليها من عنصر واحد مثل زيادة الاتجاهية أو تركيز الطاقة المنبعثة من المصفوفة في مساحة جغرافية صغيرة. لذلك فإن العناصر ترص بطريقة معينة حتى تتفاعل (تتجمع) المجالات المنبعثة من كل منها لنحصل على مجال كلي لها يحقق الخصائص الفنية المطلوبة من المصفوفة والتى نؤكد على أنها لم تكن لتوجد من عنصر واحد من عناصر المصفوفة.

المجال الكلي للمصفوفة يتكون نتيجة الجمع الاتجاهي لمجالات العناصر لذلك فإن طريقة رص العناصر تؤثر تأثيراً كبيراً على شكل و طبيعة المجال الكلي للمصفوفة و بالتبعية على الخصائص الفنية لها.

5- 2 أنواع عناصر المصفوفة

تنقسم عناصر المصفوفة إلى قسمين أساسيين:

أ- عناصر متحكمة Driven elements

هذه العناصر هي تلك العناصر من المصفوفة التي تتصل مباشرة بخط النقل (transmission line) الذي ينقل الطاقة من المرسل أو المستقبل مباشرة إلى هذه العناصر.

ب- عناصر غير متحكمة (طفيلية) Nondriven (Parasitic) elements

هذه العناصر من المصفوفة في هي التي لا تتصل مباشرة بخط النقل (transmission line) ولكن الطاقة تنتقل إليها عن طريق الحث التبادلي (Mutual induction).

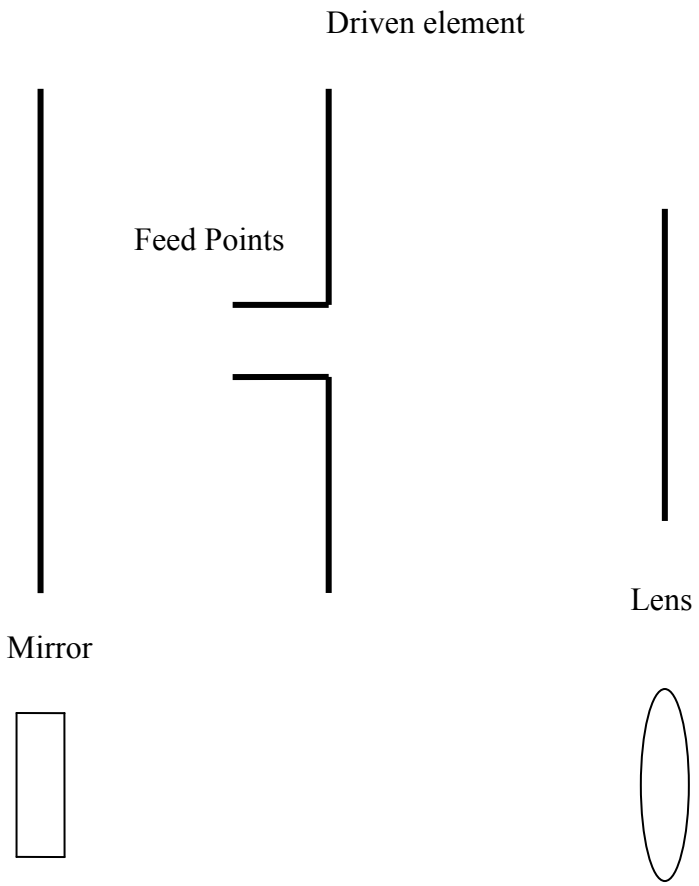
و تنقسم العناصر الطفيلية إلى نوعين:

أولا: العواكس Reflectors

العواكس هي العناصر التي لها أبعاد أكبر من أبعاد العناصر المتحكمة وهي تعمل على عكس الموجات الكهرومغناطيسية التي لم تستقبلها العناصر المتحكمة لترجع ثانية في اتجاهها. أي أن العواكس تعمل نفس عمل المرآة بالنسبة للضوء و يوضح ذلك الشكل 5- 1.

ثانيا: الموجهات Directors

الموجهات هي العناصر التي تكون لها أبعاد أصغر من أبعاد العناصر المتحكمة وهي تعمل على تجميع الموجات الكهرومغناطيسية لتسقط على العناصر المتحكمة. أي أن الموجهات تعمل نفس عمل العدسة المجمعة بالنسبة للضوء و يوضح ذلك الشكل 5- 1



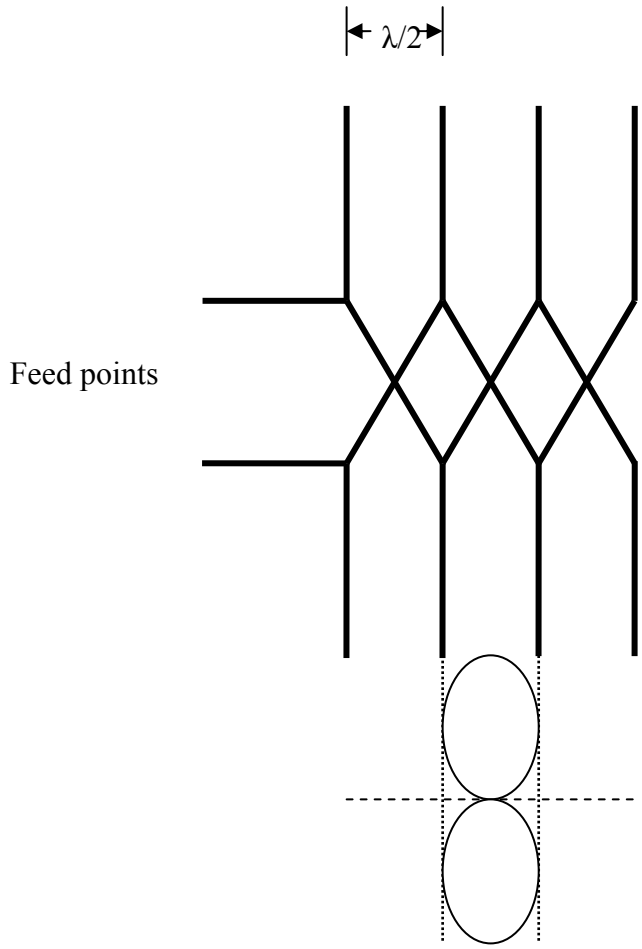
الشكل 5- 1 عناصر المصفوفة

فى الأجزاء التالية من هذه الوحدة سنعرض لبعض من أنواع المصفوفات لنوضح كيف تتغير خصائص المصفوفة تبعاً لتغير وضع العناصر

5- 3 المصفوفة التي تبث جانبيا

Broadside Array

يبين الشكل 5- 2 المصفوفة التي تبث جانبياً و هي تتكون من مجموعة من العناصر التي كل منها عبارة عن هوائي نصف الموجة القطبي و ترص هذه الهوائيات على مسافات متساوية و تساوي نصف الطول الموجي كما هو موضح في الشكل. و هذه المصفوفة تعد من أبسط أنواع المصفوفات. تغذى عناصر المصفوفة من نفس المصدر. تبث الطاقة من هذه المصفوفة في اتجاه متعامد على محورها كما في الشكل 5- 2. باستخدام هذه المصفوفة فإن الاتجاهية يمكن زيادتها عن تلك الاتجاهية الخاصة بالعناصر. وكلما زاد عدد العناصر في المصفوفة كلما زادت الاتجاهية.



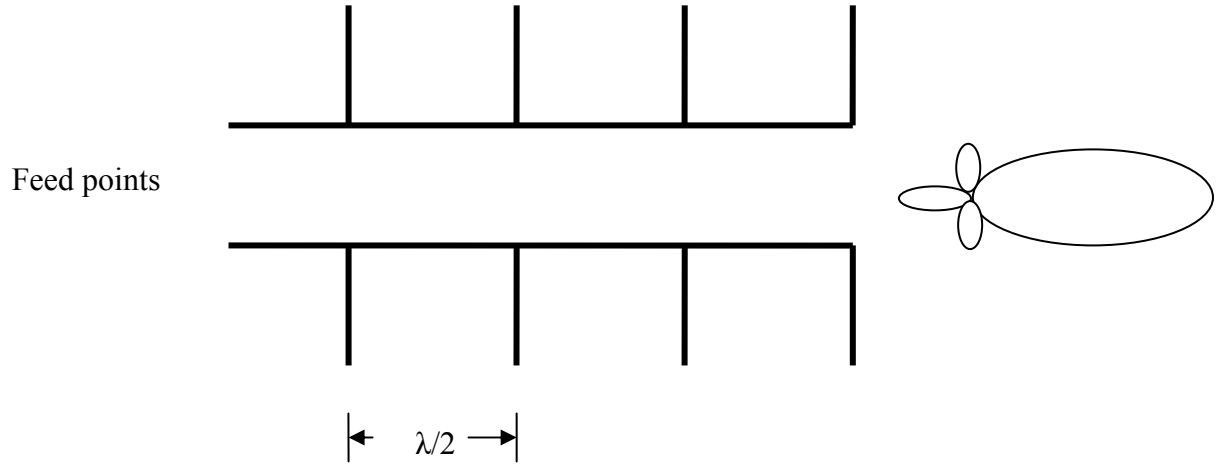
الشكل 5- 2 المصفوفة التي تبث جانبيا

5- 4 المصفوفة التي تبث في اتجاه المحور

End-fire Array

يبين الشكل 5- 3 المصفوفة التي تبث في اتجاه المحور و هي تتكون من مجموعة متماثلة مع العناصر التي استخدمت لتكوين المصفوفة التي تبث جانبياً والتى هي عبارة عن هوائي نصف الموجة القطبي و ترص أيضاً هذه الهوائيات على مسافات متساوية و تساوي نصف الطول الموجي

كما هو موضح في الشكل. تتغذى عناصر المصفوفة من نفس المصدر. إذ تبث الطاقة من هذه المصفوفة في نفس اتجاه محورها كما في الشكل 5- 3.



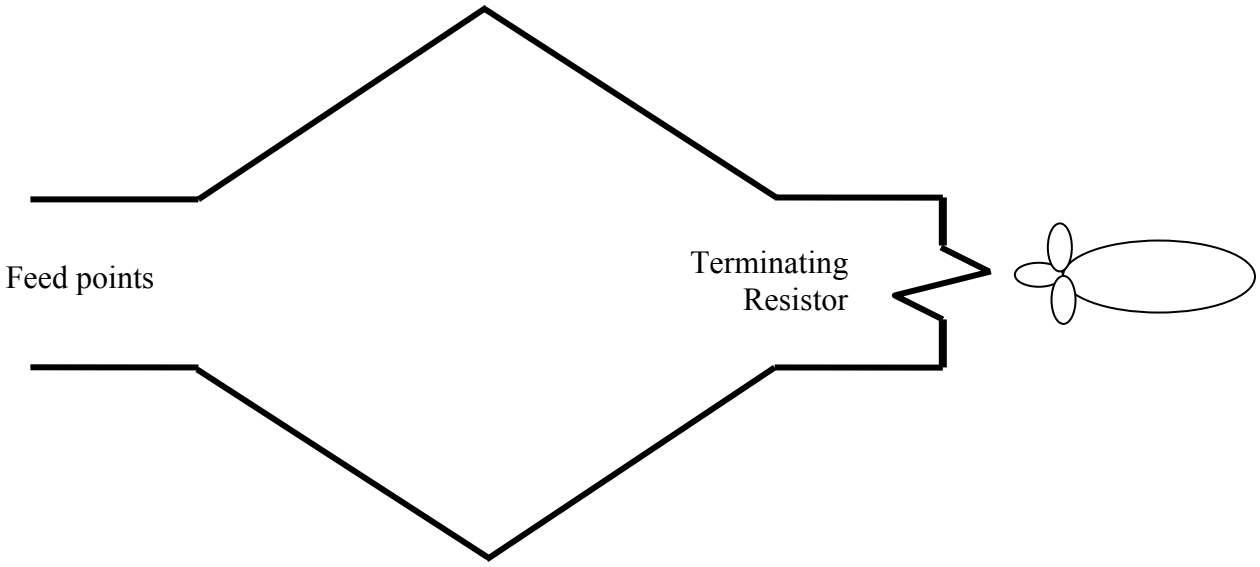
الشكل 5- 3 المصفوفة التي تبث في اتجاه المحور

5- 5 المصفوفة اللارنينية

Non-Resonant Array

يبين الشكل 5- 4 المصفوفة اللارنينية وهي تتكون من أربعة عناصرمتماثلة مع العناصر التي استخدمت لتكوين المصفوفة التي تبث جانبياً والتي هي عبارة عن هوائي نصف الموجة القطبي و ترص هذه العناصر كما هو موضح بالشكل 5- 4. تغذى عناصر المصفوفة من نفس المصدر. تبث الطاقة من هذه المصفوفة في الاتجاه المبين بالشكل 5- 4. تنتهي المصفوفة بمقاومة حمل تستهلك تقريبا ثلث الطاقة الداخلة للمصفوفة مما يؤدي إلى جعل كفاءة المصفوفة لاتزيد عن 67٪.

تستخدم هذه المصفوفة في إرسال و استقبال الموجات الكهرومغناطيسية في نطاق من 3 ميجاهرتز إلى 30 ميجاهرتز.



الشكل 5- 4 المصفوفة اللارنينية

أسئلة

1- لماذا نصنع المصفوفة؟

2- مم تتكون المصفوفة؟

3- ما أنواع عناصر المصفوفة؟

4- ما أنواع العناصر غير المتحكمة؟

5- ماالذى تصنعه العواكس؟

6- ماالذى تصنعه الموجهات؟

7- مم تتكون المصفوفة التي تبث جانبيا؟

8- في أي اتجاه تبث المصفوفة السابقة الطاقة؟

الهوائيات وانتشار الموجات

نظم الهوائيات العملية

الفصل السادس

نظم الهوائيات العملية

Practical antenna systems

اسم الوحدة: نظم الهوائيات العملية

الجدارة: التعرف على **نظم الهوائيات العملية** من حيث الحاجة إليها و أنواعها و كيفية استخدامها.

الأهداف: أن يصل المتدرب إلى إتقان الجدارة بنسبة 90٪

الوقت المتوقع للتدرب على الجدارة: 5 ساعة

الوسائل المساعدة: معمل الهوائيات و انتشار الموجات

متطلبات الجدارة: أن يكون المتدرب قد استوعب الوحدة الخامسة و الرابعة جيداً حتى يمكنه أن يتفهم كيف يمكن استخدام الهوائيات و المصفوفات فى بعض التطبيقات العملية اليومية.

6- 1 مقدمة:

في هذه الوحدة يتم التعرف على بعض الهوائيات التي نستخدمها في الحياة اليومية مثل هوائيات الجوالات و هوائي الياجي و هوائيات السيارات. لكل تطبيق من هذه التطبيقات متطلبات يجب أن يوفرها الهوائي لكي يتم استخدامه للغرض المطلوب بكفاءة عالية.

6- 2 هوائيات الجوال

يجب أن تكون لهذه الهوائيات الخصائص التالية:

- صغر الحجم
- خفة الوزن
- بث الطاقة الكهرومغناطيسية فى جميع الاتجاهات بالتساوى تقريباً
- قلة التكلفة

توجد أنواع كثيرة من الهوائيات توفر الخصائص السابقة نذكر منها بعض الهوائيات التى تم دراستها فى الوحدة الرابعة:

- الهوائيات الشريطية
- هوائي نصف الموجة ثنائي القطبية
- الهوائي القطبى القصير

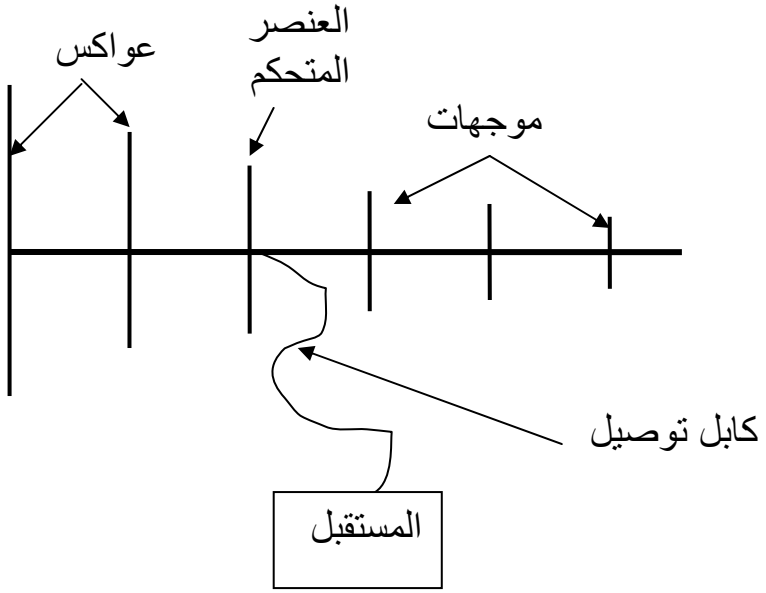
كذلك توجد أنواع أخرى لم تتم دراستها مثل:

- الهوائي الحبلي Wire antenna
- هوائي حرف L المقلوب Inverted L-antenna

و يتم تثبيت هذه الهوائيات على جسم الجوال أو داخله

6- 3 هوائى الياجي

هذا الهوائي يستخدم على نطاق واسع في استقبال الإرسال التليفزيوني الأرضي و هو عبارة عن مصفوفة من الهوائيات القطبية كما فى الشكل 6- 1. و في هذه المصفوفة يكون العنصر المتحكم عبارة عن هوائي قطبي مع عنصرين أو أكثر من نفس هذه الهوائيات القطبية و التي تعمل كعناصر غير متحكمة. والعناصر غير المتحكمة منها ما يعمل كموجهات و منها ما يعمل كعواكس.



الشكل 6- 1 هوائى الياجى

العنصر المتحكم يكون هوائي نصف الموجة القطبى و تكون العواكس أكبر منه طولاً بنسبة 6٪ تقريباً على التوالي كما في الشكل 6- 1 و تكون المسافات بينهما خمس الطول الموجي. بينما الموجهات تكون أصغر من العنصر المتحكم بنسبة 6٪ و على نفس الأبعاد كما مع العواكس.

هوائي الياجي من الهوائيات الموجهة للطاقة الكهرومغناطيسية

6- 4هوائيات السيارات

تستخدم هوائيات السيارت على نطاق واسع في استقبال برامج موجات الإذاعة. وتصميم هذه الهوائيات يعاني من بعض المشاكل مثل:

1- عدم ملاءمتها استقبال محطات الإذاعة المختلفة التردد
2- عدم تفادي تأثير التشويش المتولد من محرك السيارة

و لتفادي المشكلة الأولى فإن الهوائي يصمم بطول أصغر من الطول الموجي و كذلك يمكن التحكم في طوله بالنسبة للطول الموجي الذي يستقبلة الهوائي. وصغر أبعاد الهوائى يجعل الطاقة التي يستقبلها صغيرة مما يلزم استخدام مكبر بعد مرحلة الهوائي مباشرة لتكبير الإشارة المستقبلة ذات الطاقة الصغيرة قبل دخولها إلي مرحلة فصل إشارة المعلومات من الإشارة الحاملة.

ويمكن تفادى تأثير التشويش الذي يسببه المحرك بتثبيت الهوائي في مكان مناسب على جسم السيارة بحيث يكون عنده التشويش أقل ما يمكن كذلك يمكن استخدام المرشحات لتقليل هذا التشويش.

أسئلة

1- ما خصائص هوائي الجوال؟

2- اذكر بعض أنواع الهوائيات التي يمكن استخدامها في الجوال.

3- فيم يستخدم هوائي الياجي؟

4- مم يتكون هوائي الياجي؟

5- كيف يمكن لهوائي السيارة استقبال إشارات ذات ترددات منخفضة و طاقة صغيرة؟

6- كيف يمكن تقليل تأثير تشويش محرك السيارة على استقبال الهوائي؟

الوحدة الأولى

الموجات الكهرومغناطيسية

The Electromagnetic waves

الأسئلة

1- مم تتكون الموجة الكهرومغناطيسية؟

2- ما السرعة التي تتحرك بها الموجات الكهرومغناطيسية و هل تتأثر بطبيعة وسط الانتشار؟

3- مالعلاقة بين الطول الموجي و تردد الإشارة؟

4- ما المقصود بالشعاع في الموجات؟

5- ما المقصود بجبهة الموجة؟

6- ما الموجة المستوية؟

7- ما الموجة الكروية؟

8- ما قانون التربيع العكسى؟

9- ما أنواع القطبية؟

10- ماالذي يحدد نوع القطبية؟

11- ما الخصائص الكهربية لوسط الانتشار؟

12- ماالمشاكل التي قد تعانيها الموجة أثناء انتقالها من وسط إلى وسط آخر يختلف في الخصائص الكهربية؟

13- ما قانونٌ سنلً الأول وماذا يربط؟

14- ما قانونٌ سنلً الثاني وماذا يربط؟

15- n1 متى يحدث التشتت؟

16- متى يحدث التداخل؟

17- ماالطرق المختلفة التي يمكن أن تنتشر بها الموجات؟

18- فيم تستخدم الموجات الأرضية؟

19- ما خصائص الموجات الأرضية؟

20- ما مميزات الموجات الأرضية؟

21- ما عيوب الموجات الأرضية؟

22- فيم تستخدم الموجات الفضائية؟

23- مم تتكون الموجات الفضائية؟

24- كيف يمكن زياد المسافة بين هوائي المرسل و المستقبل؟

25- ما الموجات السماوية؟

26- ما طبقة D و ماهو أعلى تردد ينعكس منها؟

27- ما طبقة E؟ و ماهو أعلى تردد ينعكس منها؟

28- ما طبقة F ؟ و ماهو أعلى تردد ينعكس منها؟

29- ما التردد الحرج؟

30- ما الزاوية الحرجة؟

الوحدة الثانية

انتشار الموجات المستوية المنتظمة

Propagation of Uniform Plane Waves

الأسئلة

1- ماالمقصود بمعادلة الموجة؟

2- ما ثابت الإنتشار؟

3- اكتب علاقة تبين كيفية حساب ثابت الانتشار؟

4- علام يعتمد ثابت الانتشار؟

5- ماذا يحدد ثابت الانتشار؟

6- ما ثابت الاضمحلال؟

7- ما ثابت الطور؟

8- ما معاوقة الموجة؟

9- كيف تحسب معاوقة الموجة؟

10- علام تعتمد معاوقة الموجة؟

11- ماالذي يحدد كون الوسط مسبباً للفقد أو غير مسبب للفقد؟

12- ماالكمية التي على أساسها يمكن تحديد جودة التوصيل للوسط أو جودة عزله الكمية؟

13- متى يكون الوسط جيد التوصيل؟

14- متى يكون الوسط جيد العزل؟

15- ما هو معامل الانعكاس؟

16- متى يحدث انعكاس كلي؟

17- متى يحدث انتقال كلي؟

18- ما معامل الانتقال؟

الوحدة الثالثة

أساسيات الهوائيات

Fundamentals of Antennas

الأسئلة

1- كيف تتحدد أبعاد الهوائي؟

2- ماالشروط التي يجب أن تتوفر عند تثبيت الهوائي؟

3- ما المعادن التي تستخدم في صناعة الهوائيات؟

4- لماذا تلزم الحماية الجوية لبعض الهوائيات؟

5- لماذا تختلف طرق التغذية للهوائيات؟

6- حدد ثلاث طرق تستخدم في التغذية؟

7- ما شروط المواءمة؟

8- ما المقصود بالخصائص الفنية للهوائي؟

9- ما رسم الإشعاع؟

10- ما فائدة رسم الإشعاع؟

11- ما مقاومة الإشعاع للهوائي؟

12- كيف تحدد كفاءة الهوائي؟

13- ماالذي يزيد أو يقلل من قيمة كفاءة الهوائي؟

14- ما الكسب الاتجاهي؟

15- كيف يقاس الكسب الاتجاهي؟

16- ماالذي تدل عليه زيادة قيمة الكسب الاتجاهي؟

17- ما زاوية الفص للهوائي؟

18- ماالذي تدل عليه زيادة زاوية الفص للهوائي؟

19- ما فائدة مقاومة المدخل للهوائي؟

.

الوحدة الرابعة

الهوائيات الأساسية و طرق التغذية

Basic Antennas and Feeding Methods

الأسئلة

1. ما طول الهوائي القطبي القصير؟
2. ما اتجاه الطاقة العظمى للهوائي القطبي القصير؟
3. ماقيمة مقاومة الإشعاع للهوائي القطبي القصير؟
4. ماقيمة الاتجاهية للهوائي القطبي القصير؟
5. ماقيمة زاوية الفص للهوائي القطبي القصير؟
6. ماقيمة مقاومة الإشعاع لهوائي نصف الموجة القطبي ؟
7. ماقيمة الاتجاهية لهوائي نصف الموجة القطبي؟
8. ماقيمة زاوية الفص لهوائي نصف الموجة القطبي؟
9. فيم يستخدم الهوائي الحلقي؟
10. كيف يمكن زيادة مقاومة الإشعاع للهوائي الحلقي؟
11. كيف نتحكم في خصائص الهوائي الحلزوني؟
12. ما أنماط عمل الهوائي الحلزوني؟
13. فى أي نطاق ترددى يستخدم هوائي البوق؟

14. ما مميزات هوائي البوق؟

15. مالذى يتحكم في كسب هوائي البوق؟

16. ماالذي يحدد كسب هوائي الطبق؟

17. ما التطبيقات التي يعمل فيها هوائي الطبق؟

18. ما ميزة تغذية هوائي الطبق بالطريقة غير المعتادة؟

19. ماالذي يتحكم في خصائص الهوائيات الشريطية؟

20. فيم تستخدم الهوائيات الشريطية؟

الوحدة الخامسة

مصفوفات الهوائيات

Antenna arrays

الأسئلة

1- لماذا نصنع المصفوفة؟

2- مم تتكون المصفوفة؟

3- ما أنواع عناصر المصفوفة؟

4- ما أنواع العناصر غير المتحكمة؟

5- ماالذي تصنعه العواكس؟

6- ماالذي تصنعه الموجهات؟

7- مم تتكون المصفوفة التي تبث جانبياً ؟

8- في أي اتجاه تبث المصفوفة السابقة الطاقة؟

الفصل السادس

نظم الهوائيات العملية

Practical antenna systems

أسئلة

1- ما خصائص هوائى الجوال؟

2- اذكر بعض أنواع الهوائيات التى يمكن إستخدامها مع الجوال.

3- فيم يستخدم هوائى الياجي؟

4- مم يتكون هوائى الياجي؟

5- كيف يمكن لهوائي السيارة استقبال إشارات ذات ترددات منخفضة و طاقة صغيرة؟

6- كيف يمكن تقليل تأثير تشويش محرك السيارة على استقبال الهوائي؟

المراجع

[1] W. Tomasi , Electronic Communications Systems; Fundamentals through advanced, Prentice-Hall, Inc., 1998.

[2] C. Balanis, Antenna Theory; Analysis and Design, John wiley & Sons, Inc., 1997.

[3] S. Ramo, J. Whinnery, and T, Duzer, Fields and Waves In Communication Electronics, John wiley & Sons, Inc., 1994.

[4] R. C. Collin, Antennas and Radiowave Propagation, McGraw-Hill, Inc, 1985.

المحتويات

الوحدة الأولى: الموجات الكهرومغناطيسية

1-1	مقدمة	2
2-1	خصائص الموجات الكهرومغناطيسية	2
3-1	سرعة الموجة	3
4-1	التردد و الطول الموجي	3
5-1	الأشعة و جبهة الموجة	4
6-1	الموجات الكروية و قانون التربيع العكسي	5
7-1	الاستقطاب	7
8-1	الخصائص الكهربية لوسط الانتشار	10
9-1	الخصائص الضوئية للموجات الكهرومغناطيسية	11
10-1	طرق انتشار الموجات	14
11-1	1لتردد الحرج و الزاوية الحرجة	19
	أسئلة	20

الوحدة الثانية: : انتشار **الموجات المستوية المنتظمة**

1-2	مقدمة	30
2-2	معادلة الموجة	30
3-2	معاوقة الموجة	33
4-2	الانتشار في الأوساط عديمة الفقد	34
5-2	الأوساط جيدة التوصيل و الأوساط جيدة العزل	38
6-2	السقوط المتعامد للموجات المستوية المنتظمة على أسطح مستوية	41
7-2	حساب الطاقة للموجات الكهرومغناطيسية	48
	أسئلة	50

الوحدة الثالثة: أساسيات الهوائيات

3-1	مقدمة	58
3-2	بناء الهوائي	58
3-2-1	الأبعاد	58
3-2-2	الدعامات	58
3-2-3	المعادن	59
3-2-4	العوازل	59
3-2-5	الحماية الجوية	59
3-2-6	خطوط التغذية	60
3-2-7	شروط المواءمة	62
3-3	الخصائص الفنية	62
3-3-1	رسم الإشعاع	62
3-3-2	مقاومة الإشعاع و كفاءة الهوائي	66
3-3-3	الكسب الاتجاهي و كسب الطاقة للهوائي	72
3-3-4	استقطاب الهوائي	74
3-3-5	زاوية الفص للهوائي	75
3-3-6	معاوقة المدخل للهوائي	76
	أسئلة	79

الوحدة الرابعة: الهوائيات الأساسية و طرق التغذية

4-1	مقدمة	85
4-2	الهوائيات الأساسية	85
4-2-1	الهوائي القطبي القصير	87
4-2-2	هوائي نصف الموجة القطبي	90
4-2-3	الهوائي الحلقي	94

4-2-4	الهوائي الحلزوني	96
5-2-4	هوائي البوق	99
6-2-4	هوائي الطبق	102
7-2-4	الهوائيات الشريطية	106
3-4	طرق التغذية	107
أسئلة		110
1-5	مقدمة	115
2-5	أنواع عناصر المصفوفة	115
3-5	المصفوفة التي تبث جانبياً	116
4-5	المصفوفة التي تبث في اتجاه المحور	117
5-5	المصفوفة اللارنينية	118
أسئلة		120

الوحدة السادسة: نظم الهوائيات العملية

6- 1 مقدمة	123
6- 2 هوائيات الجوال	123
6- 3 هوائي الياجي	123
6- 4 هوائيات السيارات	124
أسئلة	126
أسئلة	127

قائمة المراجع