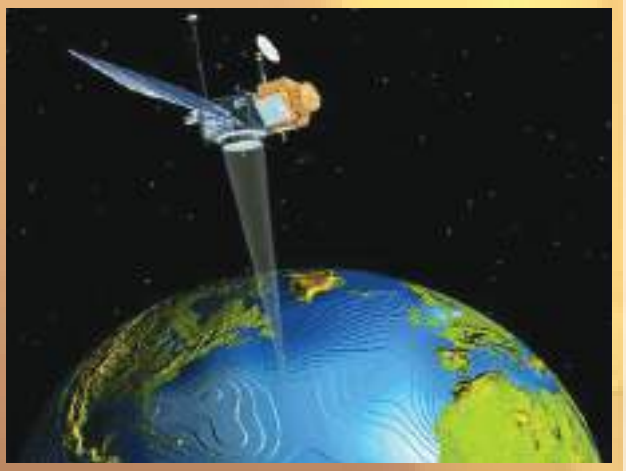
الفصل الرابع 4

الموجات الكهرومغناطيسية
Electromagnetic Waves



4-1 مقدمة

4-2 ماكسويل والنظرية الكهرومغناطيسية

4-3 توليد الموجات الكهرومغناطيسية من الشحنات المعجلة

4-4 مبادئ الارسال والتسلم للموجات الكهرومغناطيسية

4-5 كيفية عمل دائرة الارسال والتسلم

4-6 الكشف عن الموجات الكهرومغناطيسية ذات التردد الراديوي

4-6-1 الكشف عن الموجات الكهرومغناطيسية بوساطة مجالها الكهربائي

4-6-2 الكشف عن الموجات الكهرومغناطيسية بوساطة مجالها المغناطيسي

4-7 التضمين

4-7-1 التضمين السعوي

4-7-2 التضمين الترددي

4-7-3 التضمين الطوري

4-8 مدى الموجات الراديوية

4-9 انتشار الموجات الكهرومغناطيسية

4-9-1 الموجات الارضية

4-9-2 الموجات السماوية

4-9-3 الموجات الفضائية

4-10 بعض تطبيقات الموجات الكهرومغناطيسية

الاهداف السلوكية

بعد دراسة الفصل ينبغي للطالب ان يكون قادرا على ان:

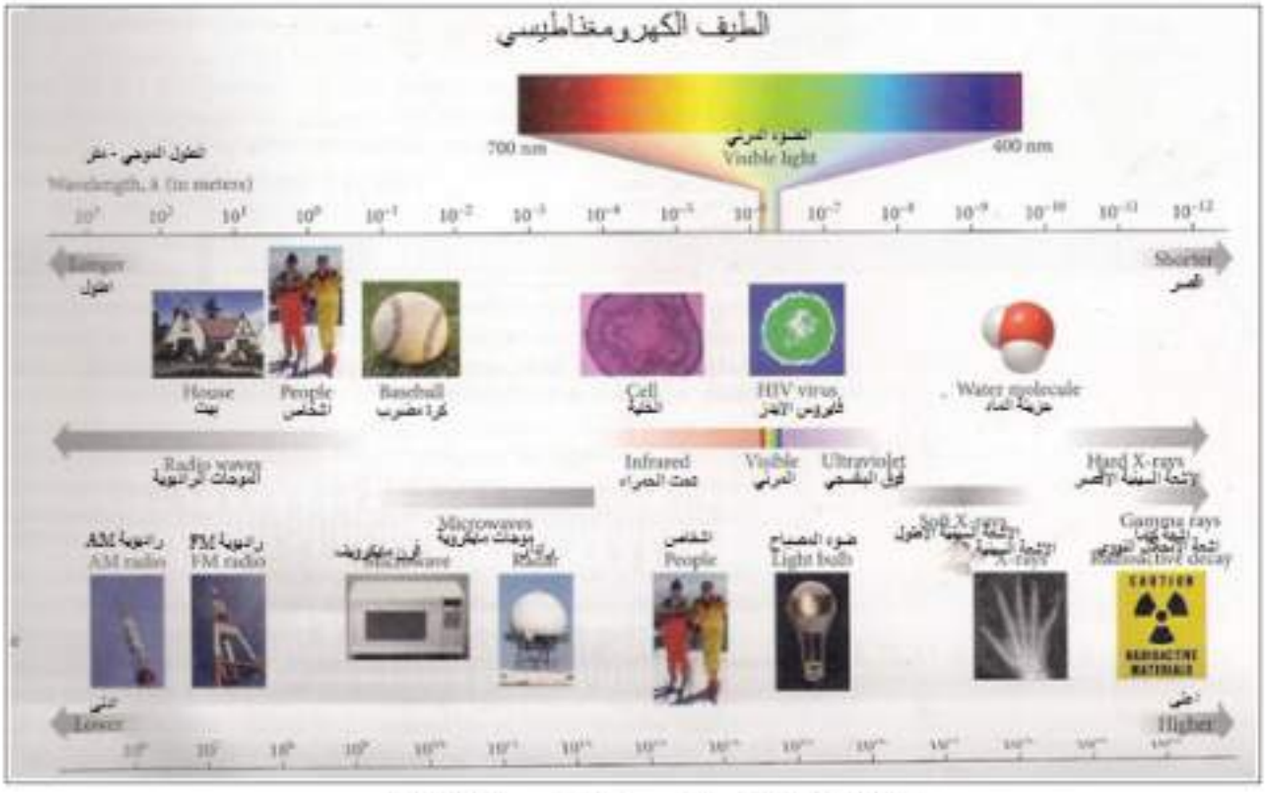
- يذكر الموجات الكهرومغناطيسية وأهم خصائصها.
- يعرف كيفية انتشار الموجات الكهرومغناطيسية.
- يعرف طريقة توليد الموجات الكهرومغناطيسية في الدائرة المهتزة.
- يعرف كيفية ارسال واستقبال الموجات الكهرومغناطيسية.
- يوضح اصل نشوء الموجة الكهرومغناطيسية.
- كيف يعمل هوائي الارسال والاستقبال للموجات الراديوية.
- يتعرف طرائق كشف الموجات الكهرومغناطيسية.
- يدرك عملية تضمين الموجات الكهرومغناطيسية وكيفية نقل المعلومات.
- يتعرف بعض التطبيقات الكهرومغناطيسية مثل (الرادار ، التحسس النائي).

المصطلحات العلمية	
Displacemant current	تيار الازاحة
Oscillator	مولد ذبذبات
Transmitter	مرسل
Receiver	مستقبل
Electric dipole	ثنائي قطب كهربائي
Antenna	هوائي
Oscillation circuit	دائرة مهتزة
Amplifier	مضخم
Modulation	تضمين
Analog Modulation	تضمين تماثلي
Amplitude Modulation	تضمين سعوي
Frequency Modulation	تضمين ترددي
Phase Modulation	تضمين طوري
Ground wave	موجة ارضية
Sky wave	موجة سماوية
Space wave	موجة فضائية
Detection	كشف

1-4 مقدمة

في حياتنا اليومية يمكن أن نلاحظ أنواعاً مختلفة من الظواهر الموجية فهناك موجات تحتاج إلى وجود وسط مادي لانتشارها و هذا الوسط المادي إما أن يكون غازيا أو سائلا أو صلبا ومثال على ذلك انتشار الموجات الصوتية في الأوساط المادية المختلفة التي هي موجات ميكانيكية طولية ناتجة عن اهتزاز جزيئات الوسط الناقل لها.

وهنالك موجات لا يشترط وجود وسط مادي لانتشارها. هذه الموجات هي الموجات الكهرومغناطيسية وقد سبق أن درست الطيف الكهرومغناطيسي الذي يتكون من مدى واسع من الترددات التي تختلف عن بعضها بعضا تبعا لطريقة توليدها ومصدرها وتقنية كشفها واختراقها للأوساط المختلفة والشكل (1) يوضح أنواع من هذه الموجات.



شكل (1) الطيف الكهرومغناطيسي (للاطلاع)

2-4 ماكسويل والنظرية الكهرومغناطيسية

من الانجازات المهمة في الفيزياء في القرن التاسع عشر، هو اكتشاف الموجات الكهرومغناطيسية الناتجة عن الدراسات التي قام بها كثير من العلماء أمثال فراداي وأمبير وكاوس الـتي سبق أن تعرفت عليها في دراستك السابقة، إذ وجد بالتجربة أن المجال المغناطيسي المتغير الذي يخترق موصل يولد قوة دافعة كهربائية محتثة (induced emf) على طرفي ذلك الموصل وهذا ما يسمى بالحث الكهرومغناطيسي، ويتولد مجال كهربائي متغير في الفضاء يولد مجالا مغناطيسيا متغيرا عموديا عليه ومتفقا معه في الطور والعكس صحيح.. لاحظ الشكل (2).

شكل (2) يمثل الحث الكهرومغناطيسي

واستنادا إلى هذه الحقائق تمكن عالم الفيزياء ماكسويل (Maxwell) في عام 1860 من ربط القوانين الخاصة بالمجالات الكهربائية والمغناطيسية الـذي عبر عنها بالحقائق الآتية:

1- الشحنة الكهربائية النقطية الساكنة في الفضاء تولد حولها مجالا كهربائيا تتبع خطوطه من أو إلى موقع تلك الشحنة.

2- لا يتوافر قطب مغناطيسي منفرد (لذا فإن خطوط المجال المغناطيسي تكون مغلقة).

3- المجال الكهربائي المتغير مع الزمن يولد حوله مجالا مغناطيسيا متغيرا مع الزمن وعموديا عليه ومتفقاً معه في الطور.

4- المجال المغناطيسي المتغير مع الزمن يولد حوله مجالا كهربائيا متغيرا مع الزمن وعموديا عليه ومتفقا معه في الطور.

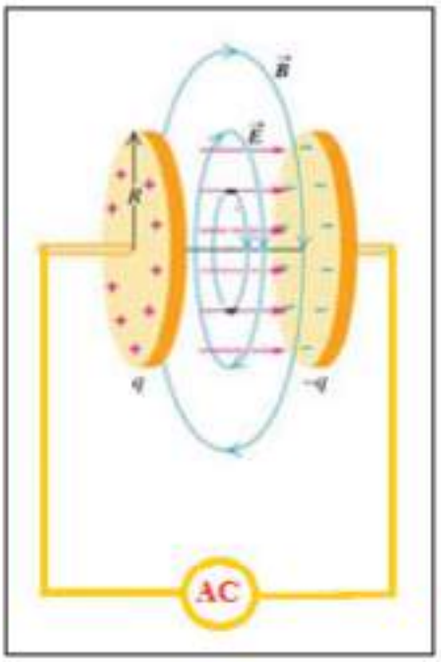
وقد استنتج ماكسويل أن المجالين الكهربائي والمغناطيسي المتغيرين مع الزمن والمتلازمين يمكن أن ينتشران بشكل موجة في الفضاء تسمى بالموجة الكهرومغناطيسية (electromagnetic wave).

إن أصل نشوء الموجة الكهرومغناطيسية هي الشحنات الكهربائية المتذبذبة، إذ ينتج عن هذا التذبذب مجالين كهربائي ومغناطيسي متغيرين مع الزمن ومتلازمين ومتعامدين مع بعضهما وعموديين على خط انتشارهما وتنتشر الموجة الكهرومغناطيسية في الفراغ بسرعة الضوء $(3\times10^8\ m/s)$.

وقد وجد ماكسويل أن المجال المغناطيسي لا ينشأ فقط عن تيار التوصيل الاعتيادي وإنما يمكن أن ينشأ من مجال كهربائي متغير مع الزمن.

فعلى سبيل المثال عند ربط صفيحتي متسعة عبر مصدر ذي فولطية متناوبة فان المجال الكهربائي (E) المتغير مع الزمن بين صفيحتيها يولد تيارا كهربائيا والذي بدوره يولد مجالا مغناطيسيا(B) متغيرا مع الزمن وعموديا عليه لاحظ الشكل (3). وقد سمي هذا التيار بتيار الإزاحة (I_d) (Displacement Current). أي إن: تيار الإزاحة (I_d) يتناسب مع المعدل الزمني للتغير في المجال الكهربائي $(\frac{\Delta E}{\Delta t})$.

ومنها: $I_d \alpha \frac{\Delta E}{\Delta t}$

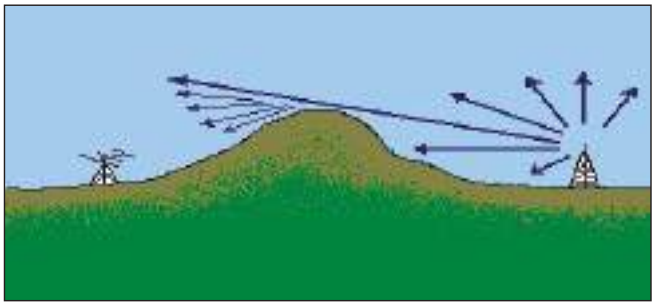


شكل (3)
يوضح كيفية توليد المجال المغناطيسي من مجال كهربائي متغير مع الزمن

ومن الجدير بالذكر أن تيار الإزاحة يرافق الموجة الكهرومغناطيسية المنتشرة في الفضاء بخلاف تيار التوصيل الذي ينتقل خلال الموصل فقط.

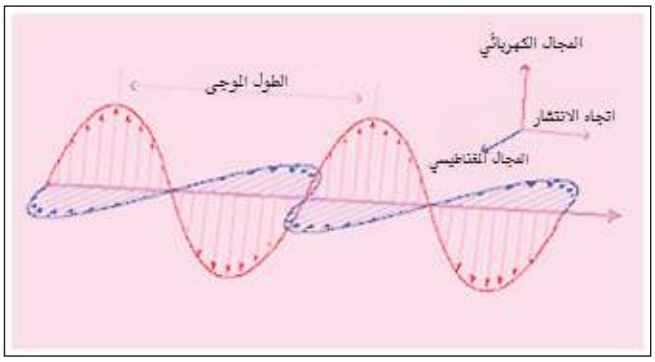
ومن أهم خصائص الموجات الكهرومغناطيسية:

1- تنتشر في الفراغ بخطوط مستقيمة وتنعكس وتنكسر وتتداخل وتستقطب وتحيد عن مسارها لاحظ الشكل (4).



شكل (4) حيود الاشعة الكهرومغناطيسية

2- تتألف من مجالين كهربائي ومغناطيسي متلازمين ومتغيرين مع الزمن وبمستويين متعامدين مع بعضهما وعموديين على خط انتشار الموجة ويتذبذبان بالطور نفسه لاحظ الشكل (5).



شكل (5) يمثل توزيع المجال الكهربائي والمغناطيسي في الموجة الكهرمغناطيسية

3- هي موجات مستعرضة لان المجالين الكهربائي والمغناطيسي يتذبذبان عمودياً على خط انتشار الموجة الكهرومغناطيسية، لاحظ الشكل (5).

4- تنتشر في الفراغ بسرعة الضوء و عند انتقالها في وسط مادي تقل سرعتها تبعاً للخصائص الفيزيائية لذلك الوسط.

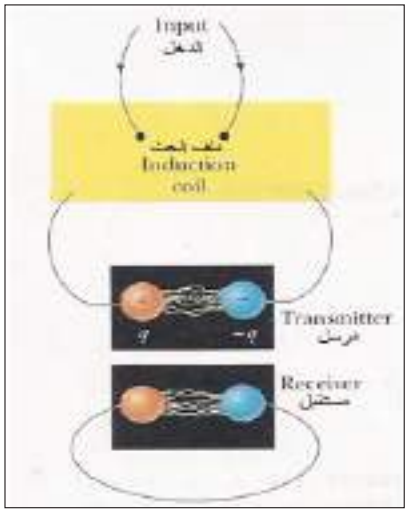
وتتولد نتيجة تذبذب الشحنات الكهربائية ، ويمكن توليد بعضاً منها بوساطة مولد الذبذبات (oscillator).

5- تتوزع طاقة الموجة الكهرومغناطيسية بالتساوي بين المجالين الكهربائي والمغناطيسي عند انتشارها في الفراغ.

3-4 توليد الموجات الكهرومغناطيسية من الشحنات المعجلة

أول من تمكن من توليد الموجات الكهرومغناطيسية العالم الألماني هنرى هرتز Hertz في عام 1887 وذلك بإحداث شراره كهربائية بين قطبي الملف الثانوي لجهاز ملف الحث لاحظ الشكل (6) عند توافر انحدار جهد كاف بينهما وقد نجح في استقبال هذه الموجات في فجوة بين نهايتي حلقة معدنية اذ لاحظ تولد شرارة بينهما عند وضع معين من غير وجود أسلاك توصيل بين المرسل والمستقبل وقد لاحظ هرتز أن الشرارة لا يتم استقبالها إلا إذا كانت الحلقة ذات قطر محدد وموضوعة في وضع يكون فيه الخط الفاصل بين طرفي فتحتها يوازى الخط الواصل بين القطبين الذي يولد الشرارة.

كما علمت من دراستك السابقة أن الشحنة النقطية الساكنة تولد حولها



شكل (6) يمثل اجهزة هيرتز لتوليد الموجات الكهرومغناطيسية

مجالاً كهربائياً فقط بينما تولد الشحنة المتحركة بسرعة ثابتة مجالين كهربائي ومغناطيسي ثابتين.أما الشحنات المعجلة فتولد مجالين كهربائي ومغناطيسي متذبذبين ينتشران في الفضاء.

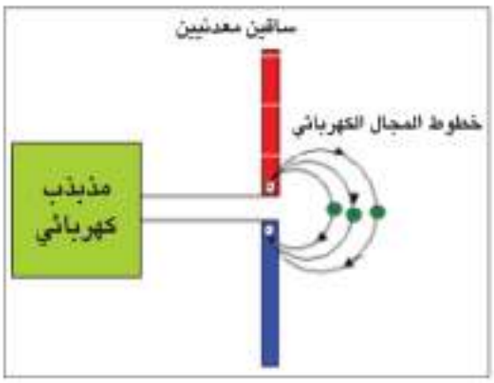
ولتوضيح توليد الموجات الكهرومغناطيسية يربط ساقان معدنيان (ثنائي قطب كهربائي) إلى مصدر فولطية متناوب (مذبذب كهربائي)، وفي ما يلي شرح كيفية توليد الموجات الكهرومغناطيسية.

1- عند ربط قطبي المذبذب إلى طرفي الساقين المتقاربين تبدأ الشحنات الموجبة بالحركة في الساق العلوي نحو الأعلى، والسالبة في الساق السفلي نحو الأسفل لاحظ الشكل (7)، ويكون شكل خطوط القوة الكهربائية حول الساقين متجهاً من الطرف الموجب الشحنة إلى الطرف السالب الشحنة. أما خطوط القوة المغناطيسية فتكون بشكل دوائر بمستويات عمودية على خطوط المجال الكهربائي، كما بينتها علامة الاتجاه (⊕) ذات اللون الأخضر التي تشير إلى دخول الخطوط في مستوى الورقة.

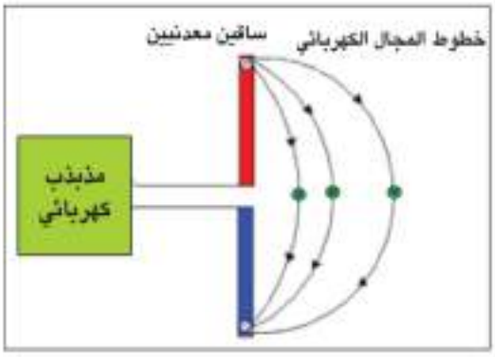
2- وفي اللحظة التي تبلغ فيها القوة الدافعة الكهربائية (emf) المؤثرة مقدارها الأعظم تصل الشحنات إلى طرفي الساقين البعيدتين عندها تصبح سرعتها صفرا، لاحظ الشكل (8).

3- عندما تبدأ القوة الدافعة الكهربائية (emf) المؤثرة بالتناقص ينعكس اتجاه حركة الشحنات إذ تتحرك الشحنات الموجبة والسالبة باتجاه بعضها البعض ونتيجة لذلك تتقارب نهايتا خطوط المجالين (الكهربائي والمغناطيسي) لاحظ الشكل (9) لتكون حلقة مغلقة عند وصول الشحنة الموجبة مع الشحنة السالبة إلى نقطتي بدء حركتهما نلاحظ تلك الحلقات وانتشارهما في الفضاء مبتعدين.

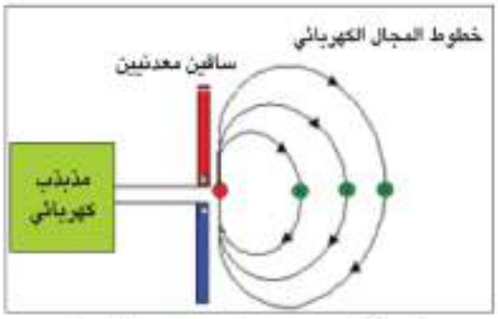
4- عندما تبدأ (emf) المؤثرة بالتنامي من جديد بالاتجاه المعاكس لحظة انقلاب الشحنتين على طرفي ثنائي القطب الكهربائي (انقلاب القطبية)، فإن الشحنة السالبة تكون في الساق العلوي والشحنة الموجبة تكون في الساق السفلي تتحركان متباعدتين باتجاهين متعاكستين، لاحظ الشكل (10) في هذه المرة فإن المجال الكهربائي يصبح باتجاه معاكس لاتجاهه السابق وكذلك المجال المغناطيسي (مؤشر بنقطة حمراء (⊙)).



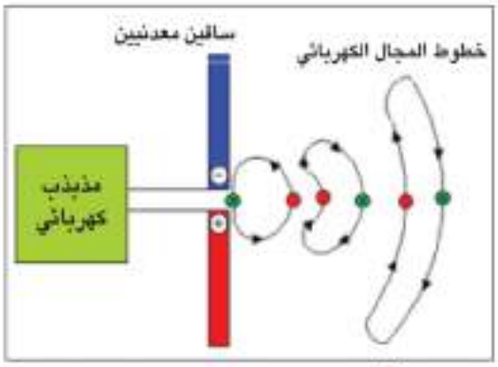
شكل (7) كيفية توليد الموجات الكهرومغناطيسية في هوائي الارسال



شكل (8) يوضح تباعد خطوط المجال الكهربائي عند ازدياد الفولطية على سلك هوائي الارسال

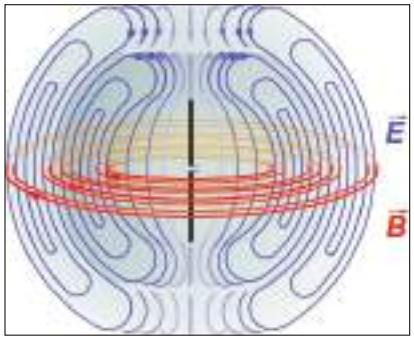


شكل (9) يوضح تقارب خطوط المجال الكهربائي عند تناقص الفولطية



شكل (10) يوضح انفصال خطوط المجال الكهربائي عن الهوائي لحظة انقلاب الفولطية

ومن هذا التتابع في التغيرات التي تطرأ على المجالين الكهربائي والمغناطيسي تتكون حلقات مغلقة لخطوط القوى الكهربائية والمغناطيسية في مستويات متعامدة تنتشر بعيدا عن ثنائي القطب الكهربائي تمثل جبهات لموجات كهرومغناطيسية لاحظ الشكل (11).



شكل (11) يوضح انبعاث الموجات الكهرومغناطيسية من هوائي الارسال بعد ان تنغلق خطوط المجال الكهربائي والمغناطيسي المرافق له

4-4 مبادئ الإرسال و التسلم للموجات الكهرومغناطيسية

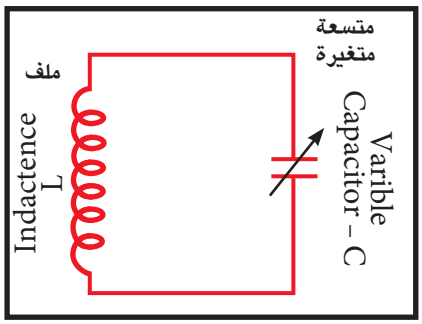
هل تساءلت يوما وأنت تسمع صوت المذياع كيف يمكن لهذا الصوت أن يصل إليك عبر الفضاء ومن مسافات بعيدة جدا ؟

يتم ذلك بوساطة نقل المعلومات من الموجة السمعية (المحمولة) إلى الموجة الراديوية (الحاملة) (كما سنأتي على ذكر ذلك لاحقا) وبعدها تبث هذه الموجات عن طريق محطة الإرسال واستقبالها عن طريق جهاز الاستقبال (المذياع). إن عملية الإرسال والتسلم تعتمد على جهازين أساسيين هما:

1- دائرة الاهتزاز الكهرومغناطيسي 2- الهوائي

1- الدائرة المهتزة (دائرة الرنين):

تتألف الدائرة المهتزة من ملف (L) (مهمل المقاومة الاومية) يتصل مع متسعة متغيرة السعة (C) كما موضح بالشكل (12).



شكل (12) يوضح مخطط الدائرة المهتزة

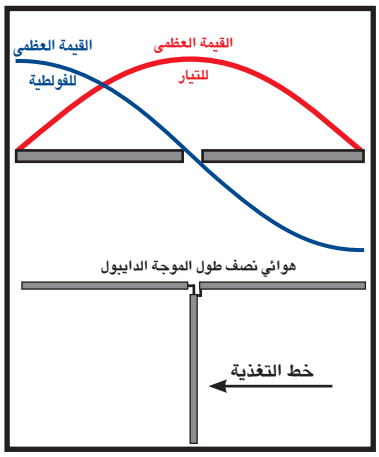
ويمكن لهذه الدائرة أن تولد تردداً رنينياً f_r (Resonance Frequency) من خلال عملية التوليف على وفق العلاقة الآتية:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

2- الهوائي:

يتكون الهوائي من سلكين معدنيين منفصلين يربطان إلى مصدر فولطية متناوبة يشحن السلكان بشحنتين متساويتين بالمقدار ومختلفتين بالنوع، لاحظ الشكل (13) وتتبدد الطاقة المنبعثة من هوائي الإرسال في الفضاء بشكل موجات كهرومغناطيسية وتعتمد قدرة الهوائي في الإرسال أو التسلم إلى:

(1) مقدار الفولطية المجهزة للهوائي.
(2) تردد الإشارة المرسلة أو المستلمة.

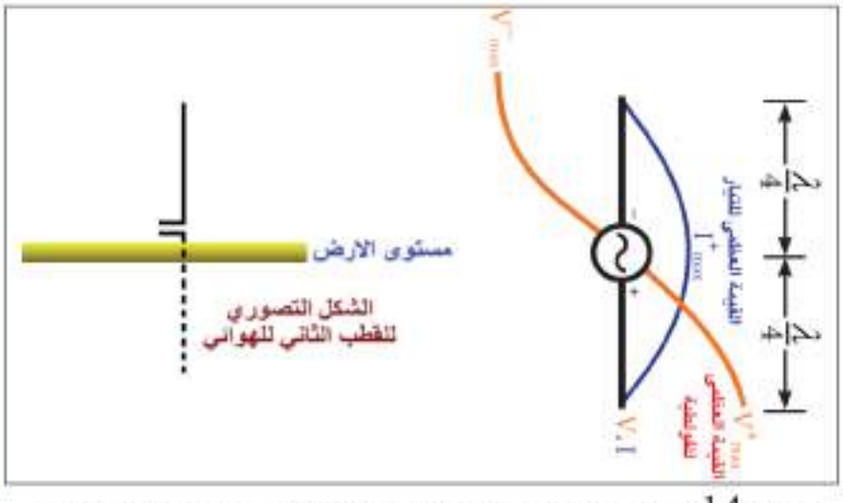


شكل (13) يوضح كيفية توزيع الفولطية والتيار على طول سلكي الهوائي

وقد وجد عمليا أن طول الهوائي عندما يساوي نصف طول الموجة المرسلة أو المستلمة يحقق إرسالاً أو استقبالاً اكبر طاقة للإشارة. وللتوضيح

سنستعين بالشكل (13). فرق الطور بين التيار المتولد والقوة الدافعة الكهربائية يساوي (90^0) كما تلاحظ في الشكل، تكون الفولطية في قيمتها العظمى (V_{max}) عند نهايتي الهوائي ويكون التيار في قيمته العظمى (I_{max}) عند منتصف الهوائي (نقطة تغذية قطبي الهوائي بتيار الإشارة المراد إرسالها)، عندها تكون الممانعة قليلة في هذه النقطة في حين تكون الممانعة عالية عند نهايتي الهوائي لذا يمكن تغذية الهوائي بأعظم قدرة من الدائرة المهتزة مقارنة مع أي طول أخر.

ويمكن تأريض أحد أقطاب الهوائي كما تلاحظ في الشكل (14) ليكون هوائي إرسال أو استقبال بطول ربع موجة، اذ تعمل الأرض على تكوين صورة لجهد القطب بالطول نفسه، وبذلك يتكون قطب أخر في الأرض بطول ربع موجة لتكتمل خواص هوائي نصف الموجة. ويسمى مثل هذا الهوائي بهوائي ربع الموجة.



شكل (14) يوضح الهوائي المؤرض وكيفية توزيع الفولطية والتيار على طول سلك الهوائي والارض

هل تعلم (للاطلاع)

عادة عندما نلمس هوائي الراديو تزداد شدة المستقبل تحسنا، وذلك لأن الهوائي يصبح ربع طول موجة زيادة على ذلك فان سعة المتسعة تقل فيزداد عامل الجودة ويصير الانتقاء حاد وجيد.

مثال (1)

ضبطت دائرة موالفة في جهاز راديو محطة إذاعية إذ كانت قيمة المحاثة في الدائرة $6.4\ \mu H$ وقيمة السعة $1.9\ pF$

(a) ما تردد الموجات التي يلتقطها الجهاز؟ (b) وما طولها الموجي؟

الحل

a- تحسب قيمة التردد من العلاقة التالية:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{6.4\times10^{-6}\times1.9\times10^{-12}}}$$

$$f_r = \frac{1}{2\times3.14\sqrt{12.16\times10^{-18}}}$$

$$f_r = 45.665\times10^{6}\ Hz$$

b- الطول الموجي يحسب من العلاقة التالية:

$$\lambda = \frac{c}{f_r}$$

$$\lambda = \frac{3\times10^{8}}{45.665\times10^{6}} = \frac{300}{45.665} = 6.57m$$

مثال (2)

يراد استعمال هوائي نصف موجة لإرسال إشارات لاسلكية للترددات الآتية:

(20KHz، 200MHz). احسب طول الهوائي لكل من هذين الترددين وبين أي من هذه الهوائيات مناسب للاستعمال العملي.

الحل

حساب طول الهوائي للتردد (20kHz)

نحسب أولا الطول ألموجي (λ) من خلال استعمال العلاقة الآتية:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$\lambda = \frac{3\times10^{8}}{20\times10^{3}}$$

$$\lambda = \frac{3}{20}\times10^{5}\,m = 15km$$

طول هوائي ℓ نصف الموجة ($\frac{\lambda}{2}$) يساوي:

$$\ell = \frac{\lambda}{2} = 7.5\,km$$

هل تعلم (للاطلاع)

أن هوائي الاستقبال لمحطات تسلم القنوات التلفازية الفضائية موجود ضمن وعاء معدني، (LNB) ويكون بشكل سلك معدني صغير مؤرض بهذا الوعاء.

ومن الجدير بالذكر أن طول هذا الهوائي لا يمكن استعماله من الناحية العملية ولغرض إرسال مثل هذا التردد نقوم بتحميله على موجة حاملة عالية التردد بعملية تسمى التضمين (سيأتي شرحها لاحقا).

حساب طول الهوائي للتردد 200MHz

نحسب أولا الطول الموجي

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$\lambda = \frac{3\times10^{8}}{200\times10^{6}} = \frac{3}{2} = 1.5m = 150\,cm$$

طول الهوائي المستعمل لنصف طول موجة يكون مناسباً من الناحية العملية $\ell = \frac{\lambda}{2} = 75cm$

وعند تأريض هذا الهوائي يصبح هوائياً بطول ربع طول الموجة وعندئذ يحسب طوله كالاتي:

$$\ell = \frac{\lambda}{4} = \frac{150}{4} = 37.5cm$$

يكون هذا الطول مناسبا أكثر للاستعمالات العملية.

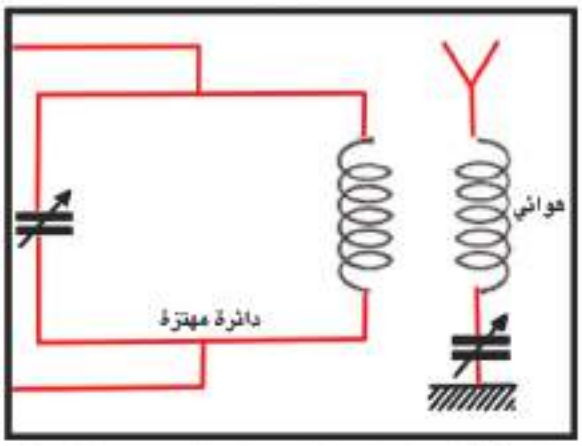
5-4 كيفية عمل دوائر الإرسال والتسلم

4-5-1 دائرة الإرسال:

يبين الشكل (15) الأجزاء الأساسية لجهاز الإرسال والذي يتكون من:

a- دائرة الاهتزاز الكهرومغناطيسي: وتحوي ملفاً ومتسعة متغيرة السعة.

b- هوائي: ويحوي ملفاً يوضع مقابلاً لملف لدائرة الاهتزاز الكهرومغناطيسي ومتسعةً متغيرة السعة متصلاً بسلك معدني حر أو موصلاً بالأرض.



شكل (15) جهاز ارسال الموجات الكهرومغناطيسية

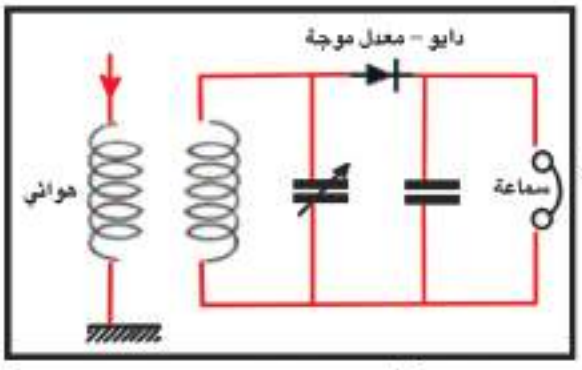
طريقة عملها:

1) عندما تغذى الدائرة المهتزة بالطاقة تبدأ في العمل وتولد موجات الإشارة الكهربائية ويمكن التحكم في ترددها عن طريق تغيير سعة المتسعة في دائرة الاهتزاز الكهرومغناطيسي (أو معامل الحث الذاتي للملف).

2) تتسبب موجات الإشارة الكهربائية التي تبثها دائرة الاهتزاز الكهرومغناطيسي في توليد تيار محتث متناوب في ملف الهوائي اذ يكون تردد هذا التيار مساوياً لتردد موجات الإشارة الكهربائية التي تولدها الدائرة المهتزة.

3) ينتج التيار المحتث المتولد في ملف الهوائي قوة دافعة كهربائية في سلك الهوائي ترددها يساوي تردد التيار المحتث في الملف تولد الموجات الكهرومغناطيسية التي يبثها سلك الهوائي إلى الفضاء.

4-5-2 دائرة التسلم:



شكل (16) مخطط جهاز تسلم الموجات الكهرومغناطيسية

يبين الشكل (16) الأجزاء الأساسية لجهاز التسلم والذي يتكون من:

a) دائرة مهتزة: تتكون من ملف، متسعة متغيرة السعة.

b) هوائي: يحتوي سلك معدني مرتبط بملف.

طريقة عملها:

1- يستقبل الهوائي الموجات الكهرومغناطيسية من الفضاء اذ تولد فيه تياراً متناوباً تردده يساوي تردد تلك الموجات.

2- يولد التيار المحتث المتناوب المار في ملف الهوائي إشارة كهربائية ترددها يساوي تردد التيار المحتث، والتي عمل الهوائي على تسلمها.

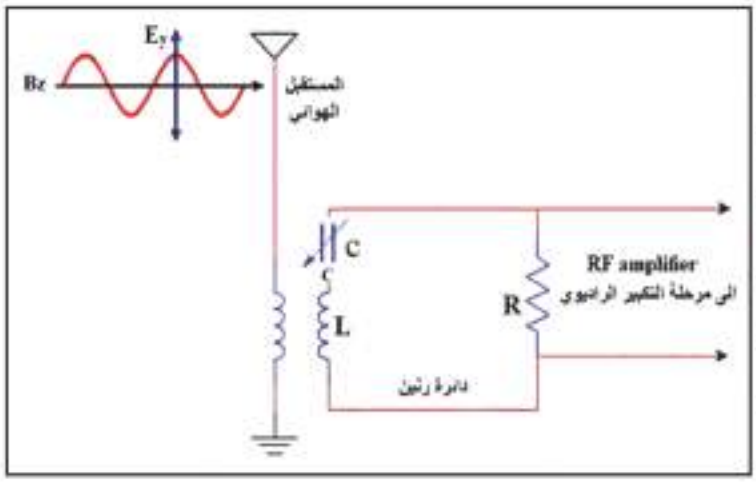
3- نغير سعة المتسعة في دائرة الاهتزاز الكهرومغناطيسي إلى أن تصل إلى حالة الرنين، وعندها يتولد في ملف دائرة الاهتزاز الكهرومغناطيسي تيار محتث متناوب يساوي تردده تردد التيار المار في الهوائي.

يمكن الكشف عن الموجات الكهرومغناطيسية إما بوساطة مجالها الكهربائي أو مجالها المغناطيسي

1-6-4 الكشف عن الموجات الكهرومغناطيسية بوساطة مجالها الكهربائي:

نربط الدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (17).

إذ يعمل المجال الكهربائي للموجة E_y على جعل الشحنات تهتز في الهوائي عندما يكون تذبذب E_y موجبا، فأن قمة الهوائي تكون موجبة ثم تنعكس قطبية الهوائي في اللحظة التالية مباشرة، عندما يتكرر انعكاس متجه المجال الكهربائي في الموجة يجعل الشحنة تتحرك إلى أعلى وإلى أسفل الهوائي بشكل يعتمد على الزمن، وخلال هذه العملية يحث التيار المتغير جهدا مهتزا في الدائرة الرنينية المرتبطة بالهوائي بوساطة الحث المتبادل وعند تغير مقدار السعة للحصول على حالة الرنين بين تردد الموجة و تردد الدائرة الرنينية سنحصل على إشارة الموجة الكهرومغناطيسيةالمستلمة.



شكل (17) مخطط جهاز تسلم الموجات الكهرومغناطيسية بوساطة مجالها الكهربائي

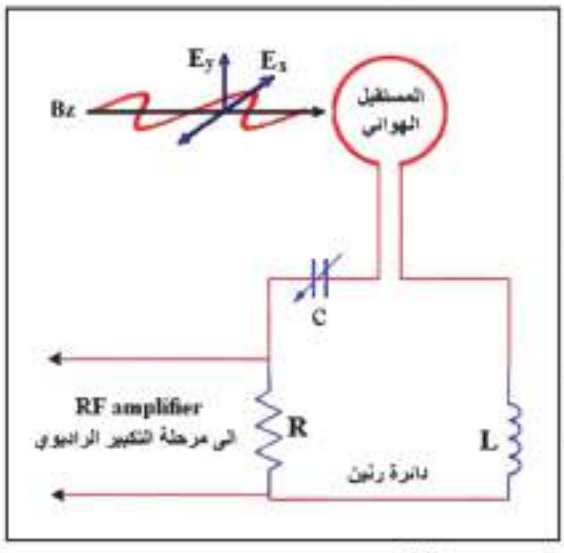
2-6-4 الكشف عن الموجات الكهرومغناطيسية بوساطة مجالها المغناطيسي:

نربط الدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (18).

يتكون الهوائي في هذه الدائرة من سلك موصل بشكل حلقة، ولكون المجال المغناطيسي للموجة الكهرومغناطيسية متغيراً مع الزمن فتتولد قوة دافعة كهربائية محتثة (induced emf) في حلقة الهوائي.

يتطلب ان يكون مستوى حلقة الهوائي بوضع عمودي على اتجاه الفيض المغناطيسي (لهذا السبب نجد أن أجهزة الراديو الصغيرة يختلف استقبالها لمحطات الإذاعة تبعا لاتجاهها).

ويمكن التوليف مع الإشارة المستلمة في الهوائي عن طريق دائرة الرنين بوساطة تغيير سعة المتسعة الموجودة في الدائرة.



شكل (18) مخطط يمثل جهاز تسلم الموجات الكهرومغناطيسية بوساطة مجالها المغناطيسي

عملية التضمين تعني تحميل إشارة المعلومات (صوت أو صورة أو مكالمة هاتفية مثلاً) ذات التردد الواطئ (تسمى موجة محمولة) على موجة عالية التردد (تسمى موجة حاملة).

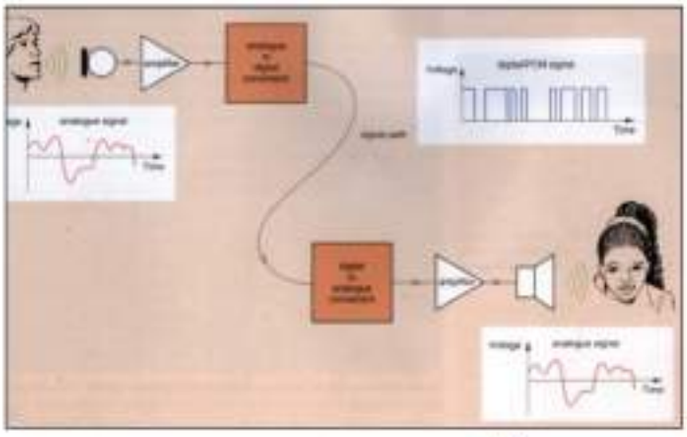
وفي حالة البث الإذاعي مثلا تحَول موجات الصوت المسموع إلى إشارات كهربائية بوساطة اللاقطة الصوتية (تسمى الموجات السمعية) وبالتردد نفسه، ثم ترسل هذه الإشارات الكهربائية إلى الدائرة الرنينية المهتزة لتقوم بعملية تحميلها على الموجات الراديوية (الحاملة) الـتي يكون ترددها أعلى من تردد الإشارة السمعية ومن ثم ترسل إلى هوائي الإرسال ليقوم بعملية تحويلها إلى موجات كهرومغناطيسية لتبث بكفاءة وتقطع مسافات طويلة من غير اضمحلال محسوس.

ان التضمين التماثلي (Analog Modulation) يُعَدُّ تغيير لأحد خواص موجة التيار عالي التردد (سعة التذبذب – تردد التذبذب – طور التذبذب).

لذا توجد ثلاثة أنواع من التضمين التماثلي هي:

1) التضمين السعوي AM
2) التضمين الترددي FM
3) التضمين الطوري PM

وهناك نوع أخر من التضمين من الممكن إجراؤه على الموجة المضمنة وذلك لغرض التقليل من التأثيرات الخارجية عليها زيادة على إمكانية تشفيرها ويطلق على هذا النوع من التضمين بالتضمين الرقمي (Digital modulation)، لاحظ الشكل (19)، الذي يوضح عملية نقل المكالمة الهاتفية بطريقة تحويل التضمين التماثلي إلى تضمين رقمي عند الارسال وعلى العكس من ذلك عند التسلم.



شكل (19) يوضح عملية نقل المكالمات الهاتفية بعد التضمين الرقمي (للاطلاع)

1-7-4 التضمين السعوي (Amplitude Modulation) (AM)

الشكل (20) يوضح كيفية تضمين موجة معلومات منخفضة التردد على موجة حاملة عالية التردد ونحصل على موجة تظهر المعلومات بشكل تغيرات في السعة مع ثبوت ترددها. وعلى هذا الأساس فان التضمين السعوي هو تغيير في سعة الموجة الحاملة كدالة خطية مع سعة الموجة المحمولة على وفق تردد الإشارة المحمولة.

شكل (20) التضمين السعوي

2-7-4 التضمين الترددي (Frequency Modulation) (FM):

الشكل (21) يوضح التضمين الترددي إذ إن السعة للموجة المحمولة تقلل من تردد الموجة الحاملة والعكس من ذلك صحيح. وتلاحظ في الجهة اليمنى عدم تغير سعة الموجة الحاملة فالتضمين الترددي هو تغيير تردد الموجة الحاملة كدالة خطية مع تردد الموجة المحمولة على وفق سعة الموجة المحمولة.

شكل (21) التضمين الترددي

3-7-4 التضمين الطوري (Phase Modulation) (PM):

شكل (22) يوضح تضمين الطور والذي يظهر التغير في سعة موجة المعلومات على شكل تغيرات في طور الموجة الحاملة، فالتضمين الطوري هو تغيير في طور الموجة الحاملة كدالة خطية مع سعة الموجة المحمولة على وفق تردد الإشارة المحمولة.

شكل (22) التضمين الطوري

8-4 مدى الموجات الراديوية

نظرا للتباين الكبير في خصائص الموجات الكهرومغناطيسية الراديوية من ناحية طرائق توليدها وانتشارها فقد قسمت على مناطق عدة منها:

a- منطقة الترددات المنخفضة جدا (VLF) (3kHz - 30kHz) ومجال الترددات المنخفضة LF (30kHz - 300kHz) وتستثمر غالباً في الملاحة البحرية.

b- منطقة الترددات المتوسطة (3MHz-300kHz) (MF) وتستثمر غالبا في البث الإذاعي المعتاد.

c- منطقة الترددات العالية (3MHz- 30MHz) (HF) وتستثمر في بعض الهواتف، والاتصال بين الطائرات والسفن وغير ذلك.

d- منطقة الترددات العالية جدا (30MHz -300 MHz) (VHF) وتستثمر في بعض أجهزة التلفاز والإرسال الإذاعي، وأنظمة التحكم بالحركة الجوية، وأنظمة اتصالات الشرطة، وغيرها.

تنتشر الموجات الكهرومغناطيسية في الأوساط المختلفة بسرعة (V) تحددها مقادير كل من السماحية الكهربائية (ε) permittivity والنفاذية المغناطيسية (μ) permeability للوسط الذي تنتشر خلاله على وفق المعادلة:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$

إذ إن قيم هذه الثوابت في الفراغ تساوي:

$$\epsilon_o = 8.854\times10^{-12}\ \frac{F}{m} \qquad \mu_o = 4\pi\times10^{-7}\ \frac{H}{m}$$

ومن قيم هذه الثوابت يمكن حساب سرعة الضوء في الفراغ(C):

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_o\varepsilon_o}}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{12.5663\times10^{-7}\times8.854\times10^{-12}}} = 2.997964\times10^{8}\ {}^{m}\!/_{s}$$

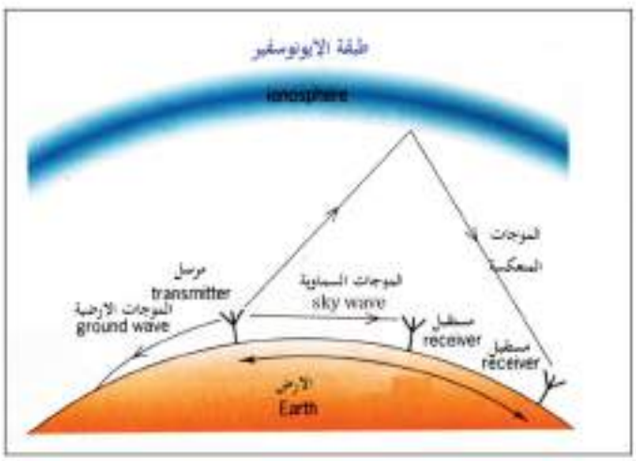
وعادة يقرب هذا الرقم إلى $3\times10^{8}\ \frac{m}{s}$

تنتشر الموجات الراديوية في الجو بطرائق عدة منها:

1-9-4 الموجات الارضية (Ground Waves):

وتشمل الموجات التي مدى ترددها بين (2 MHz - 530 kHz).

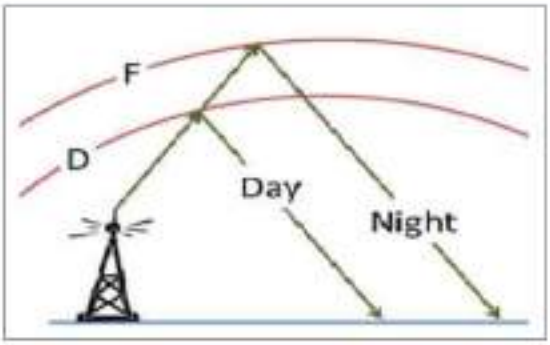
وتنتقل قريبة من سطح الأرض. تتخذ الموجات الأرضية عند انتشارها مسارا قريبا جدا من سطح الأرض وينحني مسار انتشارها مع انحناء سطح الأرض. لاحظ الشكل (23). ولقد استفيد من هذه الظاهرة لبناء أنظمة اتصالات محدودة المسافة وذلك لمحدودية قدرة بث ارسال هذه الموجات.



شكل (23) يبين كيفية انتشار الموجات الارضية والسماوية

2-9-4 الموجات السماوية Sky Waves:

تشمل هذه الموجات جميع الترددات التي تقع بين (2–30) MHz ويعتمد هذا النوع من الاتصالات على وجود طبقات الايونوسفير (Ionosphere layers) وهي طبقات عالية التأين إذ تعكس الموجات السماوية الى الارض، لاحظ الشكل (24).



شكل (24) يوضح طبقتي الايونوسفير (F-layer) في اثناء الليل وطبقة (D-layer) في اثناء النهار

وتكون طبقات الايونوسفير عالية التأين عند منتصف النهار وقليلة التأين في أثناء الليل، إذ تختفي الطبقة المتأينة القريبة من الأرض في أثناء الليل والتي تسمى (D-layer)وتبقى طبقة (F-layer) لاحظ الشكل (24). وتعمل هذه الطبقات على عكس بعض أنواع الموجات الراديوية الموجهة إليها من محطات البث الأرضية إلى الأرض، ولهذا السبب يكون تسلم هذه الموجات في اثناء النهار لمدى أقل مما هو عليه في اثناء الليل نتيجة انعكاس الموجات الراديوية من المنطقة السفلى (D-layer) وفي أثناء الليل يكون الاستلام واضحا لانعكاس الموجات من الطبقة العليا (F-layer).

3-9-4 الموجات الفضائية Space Waves:

وتشمل هذه الموجات جميع الترددات التي تزيد عن (30 MHz) أي نطاق الترددات العالية جدا (VHF Very high frequency) وهي موجات دقيقة (Microwaves) تنتشر في خطوط مستقيمة ولا تنعكس عن طبقة الايونوسفير بل تنفذ من خلالها. ويمكن استثمار هذه الموجات في عملية الاتصال بين القارات وذلك باستعمال أقمار صناعية في مدار متزامن مع دوران الأرض حول محورها (يطلق عليها توابع satellite) لتعمل كمعيدات (repeaters) (محطات لتقوية الإشارة وإعادة إرسالها) والشكل (25) يبين كيفية قيام الأقمار الصناعية بعملية الاتصال إذ تقوم هذه الأقمار باستقبال الإشارات الضعيفة من محطات أرضية ثم تعيد بثها مرة أخرى إلى الأرض لتستلمها محطات أرضية أخرى على بعد آلاف الكيلومترات.

شكل (25) يوضح عمل الاقمار الصناعية في الاتصال

1-10-4 الرادار:

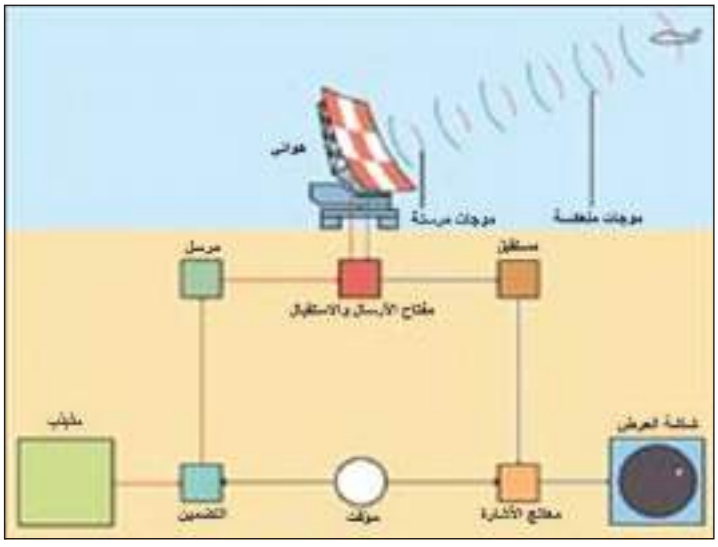
شكل (26)

كلمة رادار (RADAR) هي اختصار للأحرف الأولى للجملة الآتية Radio Detection And Ranging وتعني الكشف وتحديد البعد بوساطة الموجات الراديوية.

الرَّادار نظام إلكتروني يستعمل لكشف أهداف مُتحرِّكة أو ثابتة وتحديد مواقعها. ويعمل جهاز الرادار بوساطة إرسال موجات راديوية باتجاه الهدف، واستقبال الموجات التي تنعكس عنه. ويَدُلُّ الزمن الذي تستغرقه الموجات في ذهابها وإيابها بعد انعكاسها على مَدَى (range) الهدف وكم يبعد، فضلاً عن ان الاتجاه الذي تعود منه الموجات المنعكسة يدل على موقع الهدف.

المكونات الرئيسة للرادار:

وعلى الرغم من اختلاف المجموعات الرَّادارية في الحجم فهي متشابهة في ادائها، والشكل (27) يوضح المكونات الرئيسة للرادار:



شكل (27)

1- المذبذب: جهاز يولد إشارة كهربائية بتردد ثابت وذات قدرة واطئة.

2- المُضمن: يعمل على تحميل الموجات السمعية على الموجات الراديوية.

3- المُرسل: يعمل على تقليل زمن النبضة الواصلة اليه من المضمن فيرسلها بنبضة ذات قدرة عالية الى الهوائي.

4- مفتاح الإرسال والاستقبال: مفتاح يعمل على فتح او اغلاق دائرة الارسال والاستقبال.

5- الهوائي: يقوم بارسال الموجات الرادارية (الموجات الدقيقة او الموجات الراديوية) بشكل حزْم ضيقة موجهة الى الهدف وتسلمها بعد انعكاسها عن الهدف

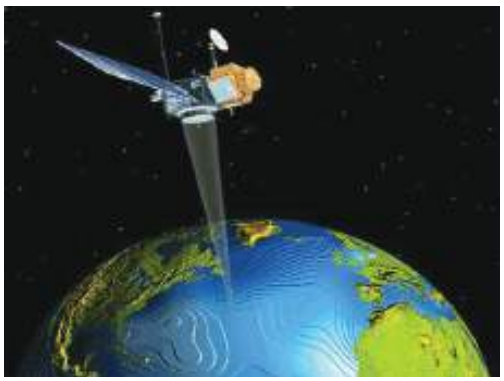
6- المُوقِّت: يتحكم زمنياً بعمل الاجزاء الرئيسة للرادار.

7- المُستقبل: يتسلم الموجات المنعكسة المتجمعة بوساطة الهوائيّ ويقوم بتكبيرها وعرضها على معالج الاشارة.

8- معالج الإشارة: يعمل على انتقاء الاشارات المنعكسة عن الأهداف الصغيرة المتحركة، ويحجب الاشارات المنعكسة عن الاهداف الكبيرة والثابتة.

9- الشاشة: تعمل على اظهار الموجات المنعكسة عن الهدف على هيئة نقاط مضيئة.

2-10-4 التحسس النائي (الاستشعار عن بعد) Remote Sensing:



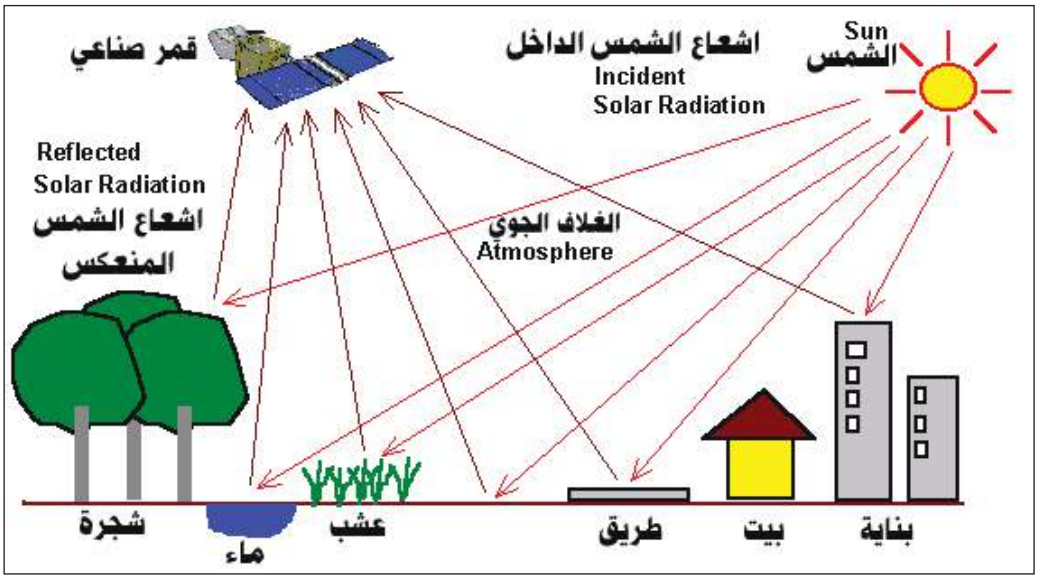
شكل (28)

هو احد مجالات العلوم التي تمدنا بالمعلومات عن سطح الأرض من غير أي احتكاك أو اتصال مباشر بسطحها. كالحصول على صورة من طائرة أو قمر صناعي، و يتم ذلك باستثمار الموجات الكهرومغناطيسية الضوئية إلى نهاية الترددات الراديوية المنعكسة أو المنبعثة من الأجسام الأرضية أو من الجو أو مياه البحار، والتي يمكن لأجهزة الاستشعار عن بعد الموجودة في الأقمار الصناعية أو الطائرات أو البالونات أن تتحسسها لاحظ الشكل (28) وتقوم بعملية تصويرها وتحليل بياناتها لتكون جاهزة للاستعمال في فروع المعرفة مثل الجيولوجيا والهندسة المدنية والأرصاد الجوية و الزراعة وفي التطبيقات العسكرية وغيرها.

هناك نوعان من التحسس النائي:

1- **التحسس النائي بحسب مصدر الطاقة**، إذ يستعمل نوعان من الصور هما:

a- صور نشطة (active images): وهي التي يُعتمد فيها على مصدر طاقة مثبت على القمر نفسه ليقوم بعملية إضاءة الهدف وتسلم الأشعة المنعكسة عنه لاحظ الشكل (29).



شكل (29) يوضح كيفية استلام القمر الصناعي للموجات الكهرومغناطيسية التي تشعها الارض

b- صور غير نشطة (passive images): و هي التي تعتمد على مصدر الإشعاع المنبعث من الهدف نفسه.

2 -**التحسس النائي بحسب الطول الموجي:** يمكن تقسيم صور الهدف المتسلمة طبقاً للطول الموجي على ثلاثة أقسام هي:

a- صور الأشعة المرئية.

b- صور الأشعة تحت الحمراء.

c- صور الأشعة المايكروية.

مجالات استعمال التحسس النائي:

توجد مجالات عدة تستثمر فيها هذه التقنية ومنها:

1- اكتشاف الخامات المعدنية والبترولية.

2- مراقبة حركة الأنهار وجفاف الأراضي والبحيرات والتعامل مع السيول والفيضانات المتوقعة بمقارنة صور مأخوذة على فترات زمنية مختلفة.

3- دراسة المشاريع الإنشائية والتخطيط العمراني للمدن والقرى والمنشآت الكبيرة.

4- دراسة النباتات الطبيعية ودراسة التوزيع النوعي للأراضي والتربة.

5- تستثمر هذه التقنية في التطبيقات العسكرية. فمثلاً بعض الأقمار الصناعية العسكرية مزودة بمتحسسات تعمل بالأشعة تحت الحمراء يمكنها التحسس بالحرارة المنبعثة من الشاحنات والطائرات والصواريخ والسيارات والاشخاص ورصد اية حركة على سطح الأرض، يمكن للمتحسسات ان تعمل في شتى الظروف الجوية.

6- تستثمر في تصوير النجوم والكواكب المطلوب دراستها باستعمال كاميرات رقمية مثبتة على اقمار صناعية خاصة بالبحث العلمي في مجال الفضاء والفلك.

أسئلة الفصل الرابع

س1 اختر العبارة الصحيحة لكل من العبارات الآتية:

1) ان تيار الازاحة (I_d) يتناسب مع:

a- المعدل الزمني للتغير في المجال المغناطيسي b - المعدل الزمني للتغير في المجال الكهربائي.

c- المعدل الزمني للتغير في تيار التوصيل. d - المعدل الزمني للتغير في تيار الاستقطاب.

2) ان تذبذب الالكترونات الحرة في موصل تنتج موجات تسمى:

a- موجات الأشعة السينية. b- موجات أشعة كاما.

c- موجات الأشعة تحت الحمراء. d- الموجات الراديوية.

3) يتحدد مقدار سرعة الموجة الكهرومغناطيسية في الاوساط المختلفة بوساطة:

a- مقدار السماحية الكهربائية لذلك الوسط فقط. b - النفاذية المغناطيسية لذلك الوسط فقط.

c- حاصل جمع سماحية ونفاذية ذلك الوسط.

d- مقلوب الجذر التربيعي لحاصل ضرب مقدار السماحية والنفاذية لذلك الوسط.

4) الموجات الكهرومغناطيسية التي تستعمل في اجهزة الرادار هي:

a- موجات الأشعة فوق البنفسجية. b- موجات أشعة كاما.

c- موجات الأشعة السينية. d- موجات الأشعة الدقيقة (microwave)

5) تتولّد الموجات الراديوية عند:

a- انسياب تيار مستمر في سلك موصل. b- حركة شحنة كهربائية بسرعة ثابتة في سلك موصل.

c- حركة شحنة كهربائية معجلة في سلك موصل. d- وجود شحنات كهربائية ساكنة في سلك موصل.

6) للحصول على كفاءة عالية في عمليتي الارسال والتسلم يستعمل هوائي طوله يبلغ نصف طول الموجة وذلك لأن:

a- مقدار الفولطية اكبر ما يمكن عند نقطة تغذية الهوائي. b- مقدار الفولطية اقل ما يمكن عند نقطة تغذية الهوائي.

c- مقدار الفولطية والتيار اكبر ما يمكن عند نقطة تغذية الهوائي. d- مقدار الفولطية والتيار اقل ما يمكن عند نقطة تغذية الهوائي.

7) يمكن أن تعجل الشحنة الكهربائية في موصل عندما يؤثر فيها:

a- مجال كهربائي ثابت. b- مجال كهربائي متذبذب. c- مجال كهربائي ومجال مغناطيسي ثابتان. d- مجال مغناطيسي ثابت.

8) في عملية التضمين الترددي (FM) نحصل على موجة مضمنة بسعة:

a- ثابتة وتردد ثابت. b- متغيرة وتردد متغير . c- ثابتة وتردد متغير. d- متغيرة وتردد ثابت.

9) تعكس طبقة الايونوسفير في الجو الترددات الراديوية التي تكون:

a- ضمن المدى (2-30) MHz b- ضمن المدى (30-40) MHz

c- اكثر من (40) MHz d- جميع الترددات الراديوية

10) ان عملية الارسال والتسلم للموجات الكهرومغناطيسية تعتمد على:

a- قطر سلك الهوائي. b- كثافة سلك الهوائي.

c- دائرة الاهتزاز الكهرومغناطيسي والهوائي. d- كل الاحتمالات السابقة.

11) في حال البث الاذاعي تقوم اللاقطة الصوتية:

a- بتحويل موجات الصوت المسموع إلى موجات سمعية بالتردد نفسه. b- بعملية التضمين الترددي.

c- بعملية التضمين السعوي. d- بفصل الترددات السمعية عن الترددات الراديوية.

12) صور التحسس النائي التي يعتمد فيها على مصدر الطاقة من القمر نفسه تسمى:

a- صور غير نشطة. b- صور نشطة. c- صور الاشعاع المنبعث من الهدف نفسه.

س2 هل كل الأسلاك الموصلة التي تحمل تياراً تشع موجات كهرومغناطيسية ؟ اشرح ذلك

س3 عندما تنتشر الأشعة الكهرومغناطيسية في الفضاء أو الأوساط المختلفة. ماذا يتذبذب ؟

س4 ما العوامل التي تحدد سرعة انتشار الموجات الكهرومغناطيسية في الاوساط المختلفة ؟

س5 يكون تسلم الموجات الراديوية في اثناء النهار لمدى اقل مما هو عليه في اثناء الليل وضح ذلك ؟

س6 ما الفرق بين الصور النشطة وغير النشطة ؟

س7 ما المقصود بالمصطلحات الآتية : الموجة الحاملة, الموجة المحمولة, الموجة المضمنة ؟

مسائل الفصل الرابع

س1 يستعمل جهاز راديو لالتقاط محطة إذاعية تعمل عند تردد مقدار 840 KHz فإذا كانت دائرة الرنين تحتوي على محث مقداره 0.04 mH ، فما هي سعة المتسعة الواجب توافرها لالتقاط هذه المحطة؟

س2 ما مدى الأطوال الموجية الذي تغطيه محطة إرسال AM إذاعية ترددها في المدى من 540KHz إلى 1600 KHz ؟

س3 ما هو أقل طول لهوائي السيارة اللازم لاستقبال إشارة ترددها 100 MHz ؟

س4 ما الطول الموجي لموجات كهرومغناطيسية يشعها مصدر تردده 50 Hz ؟

س5 ما تردد الموجات الكهرومغناطيسية التي أطوال موجاتها: (a) 1.2m ، (b) 12m و (c) 120m ؟