بسم الله الرحمن الرحيم

كلية الشيخ عبد الله البدري التقنية

قسم التقنية الكهربائية

مقرر : مبادئ هندسة الراديو

Radio Engineering Basic

الفصل الدراسي الثالث الكترونات

استاذ المادة: سراقه محمد أبراهيم

المقدمة : Introduction

وتشتمل على :

- ماهية الراديو.
- النظرية الكهرومغناطيسية.
- بدايات وتاريخ الراديو.
- كاشف الكريستال.
- الموجات وأنواعها.

النظرية الكهرومغناطيسية:

- بينت تجارب الفيزيائيين من أمثال أروستد وفاراداي في بداية القرن التاسع عشر أن الظواهر الكهربائية والمغناطيسية مرتبطة بعضها ببعض .
- ولذلك كان لابد من وصفها بنظرية واحدة هذه النظرية تعرف بالنظرية الكهرومغناطيسية.
- بدأ العالم الفيزيائي جيمس كلارك ماكسويل بالتنبؤ في عام بانتشار موجات كهرومغناطيسية .١٨٨٥
- حدد سرعتها رياضيا فوجدها تساوي سرعة الضوء وتنتقل خلال الهواء أو الفراغ بدون أي موصلات.
- في عام ١٨٨٧ اكتشف العالم الألماني هنري هيرتز الموجات الكهرومغناطيسية .
- التي سميت وحدة قياس التردد بعد ذلك باسمه تكريما لمكتشفها (هيرتز) .

النظرية الكهرومغناطيسية

- في عام ١٨٨٨ قام هيرتز بتوليد الموجات الكهرومغناطيسية التي سميت بالموجات اللاسلكية .

- وكان ذلك باحداث شرارة كهربية اهتزازية بين قطبي الملف الثانوي لملف رومكورف عندما يصل فرق الجهد الكهربي بينهما الي قدر كاف للتغلب على مقاومة الهواء في الفجوة بين القطبين.
- واندفاع الالكترونات مجيئا وذهابا بين القطبين أثناء هذا التفريغ الكهربي .
- وقد نجح في استقبال هذه الموجات في فجوة بين نهايتي حلقة معدنية حيث لاحظ توليد شرارة بينهما وهي في وضع معين بدون وجود أسلاك بين المرسل والمستقبل.
- وقد لاحظ هيرتز أن الشرارة لا يتم استقبالها الا اذا كانت الحلقة ذات قطر معين.
- وموضوعة في وضع يكون فيه الخط الفاصل بين طرفي فتحتها يوازي الخط الواصل بين قطبي الملف الثانوي الذي يولد الشرارة.
- اعتقد هيرتز أن أكتشافه هذه الموجات غير مهم ولكنه على الأقل اكتشف وجود هذه الموجات وعرف أنها لا ترى بالعين المجردة.
- بعد ذلك قام بنشر هذا الاكتشاف في جريدة الكهرباء وشرح طريقة المذبذب الذي يولد الموجات الكهرومغناطيسية .
- في ذلك الوقت بدأ تاريخ الراديو فقام علماء من جميع أنحاء العالم بتجاربهم على موجات الراديو .
- وأخيرا قام ماركوني من ايطاليا الذي قرأ بحث هيرتز وتولدت عند ماركوني فكرة لماذا لا يستفاد من موجات هيرتز في ارسال رسالة باشارة مورس بدلا من التلغراف السلكي لمسافات بعيدة بدون وجود أي أسلاك .
- وقام بتجاربه في بداية عام ١٨٩٥ بتجميع بعض العناصر:
- مثل الملف الذي صممه فاراداي مرسل موجات هيرتز.
- وكاشف الموجات الذي صممه برانلي .
- وأخيرا مفتاح مورس التلغرافي.

مصمما بذلك أول تلغراف ومرسل لاسلكي وأستطاع أن يرسل لمسافة واحد كيلومتر.

في عام ١٩٠٠ قام ماركوني هو والعالم أمبرس فلمنج باكتشاف التوليف وانه من الممكن أن يتم الارسال على ترددات كثيرة منعا لحدوث تداخل بين محطات اللاسلكي.

في عام ١٩٠٦ اخترع العالم Reginald Fessenden مرسل صوت على الموجات المستمرة بنظام تعديل الاتساع (AM) .

- استخدم فيه مذبذب التردد العالي الذي قام Alexanderson باختراعه ومرسل فتحة الشرارة الدوار.
- قام أولا بارسال رسالة النداء العام بنظام مورس لجذب الانتباه اليه من السفن القريبة .
- ثم بعد ذلك تحدث في الميكروفون ففوجئ مستقبلو اللاسلكي بسماع صوت بشري بدلا من اشارات مورس .
- وصنع أول اذاعة في شمال الأطلسي تم الاستماع اليها بواسطة مستقبلات الكريستال اليدوية الصنع على الموجة ٧٠٠٠ متر و ٤٢ هيرتز.

الموجات :Waves

- ✓ أي نمط يتكرر مع الوقت يسمى بالموجة فمثلا أمواج البحر تتكرر بنمط معين أيضا الموجات الصوتية وموجات الجهد.
- ✓ الشكل الموجي :Wave Form هو الرسم البياني الذي يمثل الموجة.
- ✓ ازاحة الطور Phase Shift : يمثل الفرق في التوقيت بين موجتين متشابهتين مثلا الازاحة الطولية بين موجة الجهد وموجة التيار هي ٩٠ درجة .

طول الموجة :wave Length

- هو طول الموجة الكاملة للاشارة ويمثل ذلك المسافة بين نهايتين عظميين متتاليتين موجبتين أو سالبتين.

- أو كتعريف عام: طول الموجة هو المسافة بين أي نقطتين متتاليتين على الموجة ولهما نفس الطور.
- التردد:Frequency
- هو عدد الذبذبات الكهربية الكاملة للتيار المتردد في الثانية الواحدة.
-

أنواع الموجات:Waves Type

- تنقسم الى نوعين رئيسيين:

١.موجات ميكانيكية (موجات مادية).

٢.موجات كهرومغناطيسية .

موجات ميكانيكية (موجات مادية):

وهي التي تتطلب وسط مادي تنتشر خلاله ولا يمكنها الانتشار في الفراغ.

- ومن أنواعها:
- موجات طولية مثل موجات الصوت.
- موجات مستعرضة مثل اهتزاز الوتر والموجات المائية.

موجات كهرومغناطيسية:

وهي التي لا تتطلب وجود وسط مادي تنتشر خلاله ويمكنها الانتشار في الفراغ.

- ومن أمثلتها :
- موجات مستعرضة: مثل موجات الضوء – موجات اللاسلكي – الأشعة السينية (X-ray) -أشعة قاما – الاشعة تحت الحمراء – موجات الميكروويف.

الموجات الكهرومغناطيسية:The Electromagnetic Waves

- **الموجات الكهرومغناطيسية** :هي الأساس في الاتصالات اللاسلكية والتي فيها يتم الاتصال بين نقطتين أو أكثر (مرسل ومستقبل) بينهما مسافات شاسعة ولا يوجد بينهما خطوط نقل مباشرة.
- عند المرسل تقوم الهوائيات بتحويل الطاقة الكهربائية القادمة اليها الي موجات لاسلكية والتي تنتشر من الهوائي في الوسط المحيط به .

الموجات الكهرومغناطيسية:

- ❑ وعند المستقبل يقوم هوائي المستقبل باستقبال الموجات اللاسلكية وتحويلها بعد عدد من العمليات الى تيار وجهد .
- ❑ مثل تلك العمليات التي كانت عند المرسل قبل ارتفاع قيمة تردد الاشارة الكهربية.
- ❑ عند ارتفاع التردد فان الجهد والتيار يتحولان الي مجال كهربي ومجال مغناطيسي على التوالي .

مكونات الموجة الكهرومغناطيسية :

- تتكون الموجة الكهرومغناطيسية من مجال كهربي E ومجال مغناطيسي H متعامدين مع بعضهما وعلى اتجاه انتشارهما.

- الموجات الكهرومغناطيسية مثل موجات الضوء والوجات فوق الحمراء والموجات فوق البنفسجية وموجات المايكروويف وغيرها.

خصائص الموجات الكهرومغناطيسية:

Electromagnetic Waves Characteristics

١) سرعة الموجة : Wave Velocity

- تتحرك الموجة الكهرومغناطيسية بسرعة مميزة تعتمد قيمتها على طبيعة ونوع الوسط المادي الذي تنتشر فيه الموجة .
- حيث تتغير هذه القيمة تبعا للخصائص الكهربية الكهربية للوسط.
- وأعلى سرعة لهذه الموجات هي سرعة الضوء ١٠^٨ * ٣ متر في الثانية وذلك عندما تنتشر هذه الموجات في الفراغ.

أما في الأوساط الاخري:

فان هذه السرعة تقل عن سرعة الضوء.

التردد والطول الموجي:

يرتبطان بالعلاقة التالية:

- ✓ الطول الموجي = سرعة الموجة \ التردد
- ✓ ƛ = v / f

حيث :

- ✓ ƛ = الطول الموجي
- ✓ V = سرعة الموجة وهي تساوي سرعة الضوء في الفراغ
- ✓ f =التردد

Example

- أحسب قيمة الطول الموجي لموجة تنتشر في الفراغ ولها الترددات التالية:

١. ١ KHZ
٢. ١ MHZ
٣. ١GHZ

تمتد ترددات الموجات الكهرومغناطيسية على نطاق واسع فيما يعرف بالطيف الكهرومغناطيسي (The Electromagnetic Spectrum)

خصائص الموجة الكهرومغناطيسية:

- عند انتقال الموجات الكهرومغناطيسية وانتشارها عبر عدد من الأوساط المختلفة فانها قد تتعرض الى الانكسار أو الانعكاس أو الحيود .وقد تعاني ايضا من التداخل أو الخفوت والتي يمكن تعريفها كالآتي:

١.الانكسار : Refraction

يقصد به تغير اتجاه شعاع الموجة الكهرومغناطيسية عند انتقاله من وسط الي وسط آخر له خصائص كهربية مختلفة.

٢. الانعكاس :Reflection

هو تغيير الموجة الكهرومغناطيسية لاتجاهها في نفس الوسط نتيجة لسقوطها على حاجز يفصل هذا الوسط عن وسط آخر يختلف معه في الخصائص الكهربية.

٣. الحيود : Diffraction

هو مقدرة الموجة الكهرومغناطيسية على الانحراف عند الزوايا الحادة والانحناء عن العوائق التي تواجهها.

٤. التداخل : Interference

هو اختلاط موجتين أو أكثر عند تواجدهما في نفس المكان والزمان وعندما تكون ترددات هذه الموجات متقاربة.

٥. **الخفوت : Fading**

- هو تغير في شدة الموجة الكهرومغناطيسية بحيث تضعف عند انتقالها في الفضاء من المرسل الى المستقبل .

- ويحدث ذلك نتيجة لعوامل متعددة كالانعكاس عن سطح الارض أو النكسار في طبقات الجو العليا وبفعل تأثير العوامل الجوية أيضا.

Example:

موجة الكهرومغناطيسية ذات طول موجي ١٠٠ mm احسب ترددها ؟

تصنيف الموجات الكهرومغناطيسية :

- تصنف الأمواج اللاسلكية بطريقتين :

a) من حيث المجال والتردد.

a) من حيث طريقة الانتشار.

تصنيف الأمواج اللاسلكية من حيث المجال والتردد :

- حسب تصنيف اللجنة العالمية للاتصالات اللاسلكية يقسم جزء الأمواج الراديوية الى تسعة مجالات من (٤) حتى (١٢) يحدد كل مجال كما بالجدول.
- تستخدم في الوقت الحاضر التسميات القديمة للمجالات:

التسميات القديمة للمجالات :

- أمواج زائدة الطول (VLW) وهذه الامواج هي أمواج المجال الرابع.
- أمواج طويلة (LW) وهي أمواج المجال الخامس .
- أمواج متوسطة (MW) وهي أمواج المجال السادس.
- أمواج قصيرة (SW) وهي أمواج المجال السابع.
- أمواج قصيرة جدا (VSW) وهي أمواج المجال الثامن والتاسع.
- أمواج فوق القصيرة جدا والأمواج المايكروية وهي أمواج المجالات العاشر والحادي عشر والثاني عشر

تصنيف الموجات اللاسلكية من حيث طريقة الانتشار :

- حسب طريقة الانتشار تصنف الى :

١) الموجات المستقيمة المسار:

تسمى الامواج اللاسلكية المنتشرة في وسط متجانس أو قريب من التجانس بمسار مستقيم أو شبه مستقيم بالامواج المستقيمة المسار أو الأمواج الحرة الانتشار.

٢. الموجات الأرضية :Ground waves

- وقد سميت بهذا الاسم لأنها تنحني وتتبع سطح الأرض عند انتشارها .
- ويتراوح مجال الترددات المستخدم عند الاتصال بين نقطتين باستخدام الموجات الأرضية بين ١٥٠ KHZ الى ٥٠٠ KHZ

هناك مزايا لاستخدام هذا النوع من الموجات في عملية الاتصال تتمثل في :

- الوصول الي مسافات بعيدة تصل الى ٤٠٠٠ KM لذا فهي تستخدم في الاتصالات البحرية.
- الموثوقية العالية ،اذ يمتاز انتشار هذه الموجات بعدم تأثره بتعاقب الليل والنهار أو فصول السنة أو الأحوال الجوية .

أما أهم العيوب فهي :

- محطات ارسال ذات قدرة كهربائية عالية مما يجعلها غير اقتصادية.
- محدودية النطاق الترددي المتاح للاستخدام حوالي (٣٥٠ KHZ)
- الهوائي المستخدم للاشعاع للموجات الارضية ذو أبعاد كبيرة نظرا لانخفاض التردد.

٣. الموجات السماوية : Sky Waves (الأيونوسفيرية)

- ✓ وهي التي يتم بثها نحو السماء لتعود ثانية الى الارض بفعل انعكاسها داخل طبقة الأيونوسفير .
- ✓ وتعتمد المسافة التي تقطعها هذه الموجات داخل طبقة الأيونوسفير على ترددها حيث تزداد بازدياد التردد.
- ✓ اما اذا زاد ترددها عن قيمة معينة (حوالي ٣٠ MHZ) فستنطلق الى الفضاء الخارجي ولا تنعكس الى الأرض.

- ✓ وهي تنتشر الى مسافات بعيدة والى الوجه الثاني من سطح الكرة الأرضية نتيجة للانعكاس الواحد أو الانعكاسات المتعددة على طبقة الأيونوسفير .
- ✓ **طولها حوالي m ١٠**
- ✓ تستخدم الموجات السماوية بكثرة في عمليات البث الازاعي حيث يمكن تحقيق انتشار يصل الى Km ٤٠٠٠ في الظروف الجيدة .

أهم مزايا استخدام الموجات السماوية في الاتصال:

- ❑ لا تحتاج محطة الارسال الى قدرة كهربائية عالية .
- ❑ لا تتأثر بسطح الأرض ،وقادرة على توفير اتصال ضمن نطاق الترددات العالية (MHZ ٣٠ – ٣)لعدد كبير من المحطات الاذاعية .
- ❑ يمكن تحقيق الاتصال لمسافات بعيدة.

أما العيوب فتتمثل في:

- ❑ عدم استقرار نظام الارسال لاعتماده على طبقة الأيونوسفير ، والتي تتغير باستمرار خلال اليوم وخلال فصول السنة وظروف الجو.
- ❑ لا يمكن استخدام هذا النمط من الارسال في أنظمة الاتصال التي تتطلب عرض نطاق ترددي كبير.

٤. الموجات الفضائية : Space Waves (التروبوسفيرية)

- o تسمى الموجات التي تنتشر الي مسافات بعيدة تقريبا حتى ١٠٠٠ Kmبالموجات الفضائية .
- o تردد هذه الموجات عادة يكون أعلى من MHZ ٣٠ لذا فهي تميل للانتشار بخطوط مستقيمة لتحقيق الاتصال بين أنظمة الرؤية على سطح الأرض .
- o أو في الاتصالات الفضائية عبر الأقمار الاصطناعية.

تنقسم الموجات الفضائية الي قسمين :

I. الموجات المباشرة :

وهي التي تصل مباشرة من هوائي الارسال الى هوائي الاستقبال وتشكل غالبية الموجات الفضائية المرسلة.

II. الموجات المنعكسة من الأرض :

- وهي التي تصل الي هوائي الاستقبال بعد انعكاسها عن سطح الأرض ، وتشكل نسبة قليلة من الموجات الفضائية المرسلة .

ومن الجدير بالذكر أنه لاستخدام الموجات الفضائية في عمليات الاتصال فانه يشترط وجود خط رؤية (Line – of – Sight)بين هوائي الارسال وهوائي الاستقبال .

ويمكن حساب أكبر مسافة ممكنة لتحقيق خط الرؤية من العلاقة التالية:

$$R\,(Km) = ٤\,(\,ht(m)^{\wedge}½ \;+\; hr(m)^{\wedge}½\,)$$

حيث :

- ✓ R = المسافة بين هوائي الارسال والاستقبال بالكيلومتر.
- ✓ ht = ارتفاع هوائي الارسال عن سطح الارض بالمتر.
- ✓ Hr = ارتفاع هوائي الاستقبال عن سطح الارض بالمتر.

Example:

أحسب أكبر مسافة ممكنة بين هوائيي ارسال واستقبال مع المحافظة على وجود خط رؤية بينهما اذا علمت ان ارتفاع كل منهما يساوي ٣٦ مترا .

يكثر استخدام الموجات الفضائية في:

i. اتصالات الميكروويف .

ii. البث التلفازي .

iii. الاتصالات عبر الاقمار الصناعية.

مزايا استخدام هذه الموجات في عمليات الاتصال هي:

١. درجة الوثوقية العالية .

١. النطاق الترددي المتاح لنقل المعلومات كبير.

أما العيوب فهي:

١. كثرة استخدام محطات التقوية عند الارسال لمسافات بعيدة مما يزيد من التكلفة الاقتصادية.

٢.تتأثر المباشرة أكثر من غيرها بالعوامل الجوية كالمطر والثلج وغيرها حيث تعمل على اضعافها وتشتيتها.

طبقات الغلاف الجوي المحيطة بالأرض

- الغلاف الجوي الأرضي هو عبارة عن طبقة رقيقة مركبة من الغازات كغاز الأوكسجين والهيدروجين والنيتروجين والهيليوم وبعض الغازات الأخرى وبنسب متفاوتة .
- يحيط الغلاف الجوي بالأرض ويحميها ويعد وجوده عاملا أساسيا ومهما جدا في نشأة الحياة على الارض.
- ان الغلاف الجوي هو الوسط الذي تتحرك من خلاله الموجات الكهرومغناطيسية عند انتقالها من هوائي الارسال الى هوائي الاستقبال .

ولفهم كيفية انتقال هذه الموجات والتأثيرات التي تتعرض لها خلال انتقالها من مكان لآخر لابد من تقديم شرح مبسط للغلاف الجوي المحيط بالأرض.

يقسم الغلاف الجوي الى ثلاثة طبقات رئيسية هي :

١.طبقة التروبوسفير (الطبقة المناخية).

٢.طبقة الستراتوسفير.

٣.طبقة الأيونوسفير.

١. طبقة التروبوسفير:Troposphere

- هي الطبقة السفلى من الغلاف الجوي وتمتد من مستوى سطح البحر حتى ارتفاع ١٦ Km تقريبا.
- وتعد الطبقة الفعالة في تغيرات المناخ ويطلق عليها الطبقة المناخية .
- وتحدث بها جميع الظواهر الجوية كالضباب والغيوم والأمطار والعواصف الرعدية والرملية وحرارة ورطوبة وضغط .

- جميع العوامل السابقة يمكن أن تؤثر في كفاءة انتشار الموجات الكهرومغناطيسية وانتقالها .
- وان التشويش الناتج عن الظواهر الجوية في هذه الطبقة يؤدي للتشويش على معظم أنظمة الاتصال.

٢. **طبقة الستراتوسفير: Stratosphere**

- تقع فوق طبقة التروبوسفير وتمتد الي ارتفاع Km ٥٠ تقريبا من سطح الأرض.
- وتتميز بالاستقرار التام لثبات درجة الحرارة والضغط الجوي فيها كما ينعدم بخار الماء .
- لهذه الأسباب تعد هذه الطبقة ذات تأثير ضعيف على الأمواج الكهرومغناطيسية.

٣. **طبقة الأيونوسفير: Ionosphere**

- تمتد هذه الطبقة من ارتفاع Km ٥٠ وحتى Km ٤٠٠ تقريبا .
- وقد سميت بهذا الاسم لأنها المنطقة التي يحدث فيها التأين للغازات المحيطة بالأرض بسبب امتصاص هذه الغازات لكميات كبيرة من الطاقة التي تستمدها من الأشعة فوق البنفسجية.

تتألف المنطقة المتأينة من أربعة طبقات رئيسية هي:

i. طبقة D
ii. طبقة E
iii. طبقة F١
iv. طبقة F٢

وسنتناول كل من هذه الطبقات بشئ من التفصيل:

أ. طبقة D :

- ❖ على ارتفاع Km (٩٠ – ٥٠) تقريبا من سطح الأرض .
- ❖ لا تظهر هذه الطبقة الا في النهار حيث تبدأ بالتلاشي والزوال مع ابتداء ظلمة الليل .

من أهم خصائصها :

١. تعكس الموجات ذات التردد المنخفض جدا (VLF)
٢. تمتص موجات التردد المنخفض (LF) والمتوسط (MF) .
٣. تعكس الموجات التي يقل ترددها عن ٣MHZ
٤. تؤثر على الموجات التي يزيد ترددها عن ٣MHZ ويقل التأثير بازدياد التردد.

ب. طبقة E:

- ❑ تنشأ من تأين جزيئات الاوكسجين وتقع على ارتفاع Km ١٠٠ من سطح الأرض بسمك Km ٢٥ تقريبا تختفي خلال الليل.

من أهم خصائصها :

١. تعكس الموجات حتى MHZ ٢٠ وبالتالي تسمح باتصالات المدى المتوسط حتى Km ١٩٠٠
٢. تؤثر على الموجات التي يزيد ترددها عن MHZ ٢٠ ويقل التأثير بازدياد التردد.

ج. **طبقة F١ :**

تنشأ من تأين جزيئات النيتروجين وتقع على ارتفاع Km ٢٠٠ تقريبا بسمك ٢٠ Km تقريبا.

ومن أهم خصائصها :

تعمل على امتصاص بعض موجات التردد العالي HF وتوهين بعضها الآخر.

وعادة فان الترددات التي تخترق الطبقة E تمر أيضا من الطبقة F١ ويتم عكسها بواسطة الطبقة F٢

د. **طبقة F٢ :**

- تنشأ من تأين العديد من ذرات الغازات كالاوكسجين والهيليوم والهيدروجين .
- وتقع الطبقة F٢ على ارتفاع ٤٠٠ Km تقريبا من سطح الأرض وهي الطبقة الأكثر كثافة بالأيونات.
- لذلك فهي الأكثر فعالية لذا فهي الطبقة الأكثر أهمية في الاتصالات بعيدة المدى .
- خاصة في مجال التردد العالي HF حتى ٣٠ MHZ
- ومما يجدر ذكره أن طبقتي F١ &F٢ تندمجان ليلا لتشكلا طبقة واحدة تدعى F وبالتالي يكون انعكاس الموجات واستقبالها ليلا أفضل منه نهارا ويتم بصورة أفضل أيضا.

تأثير زاوية الاشعاع :Radiation Angle

- ✓ تعرف زاوية الاشعاع بأنها تلك الزاوية المحصورة بين خط الأفق وهوائي الارسال.
- ✓ وتكون العلاقة بين زاوية الاشعاع ومسافة القفزة للموجة المرسلة علاقة عكسية.
- ✓ فبازدياد هذه الزاوية تقل مسافة القفزة للموجة وتقترب من محطة الارسال الى أن تصل الى الزاوية الحرجة.

الزاوية الحرجة :Critical Angle

- ❑ هي أكبر زاوية ترتد عندها الموجات الساقطة على الطبقة المتأينة.
- ❑ وبزيادة زاوية الاشعاع عن قيمة الزاوية الحرجة لا تنعكس الموجات من الطبقة المتأينة بل تمر الى الفضاء الخارجي .

تأثير التردد :Frequency Effect

- ➢ يؤثر تردد الاشارة المرسلة على انعكاس الاشارة وعمق اختراقها لطبقات الأيونوسفير .
- ➢ وبالتالي في المسافة التي يمكن أن يصلها البث وتزداد هذه المسافة بازدياد التردد عند زاوية اشعاع معينة.
- ➢ ويعرف هذا التردد بالتردد الحرج.

التردد الحرج :Critical Frequency

- o هو التردد الذي ان زاد تردد الاشارة المرسلة عنه فانها لا تعود الى الأرض وانما تخترق طبقات الأيونوسفير الى الفضاء الخارجي.
- o لذا فالاتصالات عبر الأقمار الاصطناعية تستخدم ترددات أعلى من التردد الحرج للارسال.

مسافة القفزة ومنطقة التفويت : Skip Distance and Skip Zone

مسافة القفزة : Skip Distance

هي المسافة من المرسل الى أول نقطة تعود اليها الموجة السماوية المرتدة الى الأرض .

منطقة التفويت: Skip Zone

هى المنطقة التي لا يشملها استقبال البث وتبدأ من النقطة التي يضعف عندها استقبال الموجات الارضية الى النقطة التي تعود اليها الموجة السماوية المرتدة الى الارض.

- الجدول يوضح الحزم الثماني لطيف الترددات الراديوية مع توضيح لأنماط انتشارها بالاضافة الى أهم التطبيقات العملية.

الإتصالات الإلكترونية The Electronic Communication

هي عبارة عن عملية إرسال وإستقبال ومعالجة الإشارة بين محطتين أو أكثر وذلك بإستعمال الدوائر الإلكترونية.

- إن اشارة المعلومات يمكن أن تأخذ إحدى الصيغتين إما إشارة تماثلية (مستمرة) أو إشارة رقمية (متقطعة).

ويمكن تصنيف أنظمة الإتصالات الإلكترونية الى نوعين:

١) نظام الإتصالات التماثلية :Analog Communication system

هو عبارة عن نظام إلكتروني حيث ترسل الطاقة وتستقبل على شكل مستمر.

٢) نظام الإتصالات الرقمية : Digital Communication system

هو عبارة عن نظام إلكتروني حيث الطاقة ترسل وتستقبل على شكل مستويات متقطعة.

مهما كان نظام الإتصالات فإنه يتشكل من العناصر التالية:

- منبع لإشارة المعلومات .
- قسم الإرسال (Transmitter).
- الوسط الناقل (ينقسم الى قسمين سلكي ولاسلكي).
- قسم الإستقبال (المستقبل Receiver)

تتكون منظومة الإتصال من بعض الدوائر المهمة :

١.دوائر أجهزة الإرسال.

٢.دوائر أجهزة الإستقبال.

أولا دوائر أجهزة الإرسال:

١. المذبذب Oscillator

٢. المعدل Modulator

٣.مكبرات العزل Buffer Amplifier

٤.مكبرات الإشارة الصوتية الخارجة من المايكروفون (mic amplifier)

٥.مكبر قدرة إشارة التردد العالي (RF Amplifier)

٦.مرشحات إشارة التردد العالي (RF filter)

٧.الهوائي (antenna)

نبدأ بأهم جزء في أي جهاز إرسال :

١. المذبذب : Oscillator :

- هو دائرة كهربية يستخدم فيها الترانزستور أو الدوائر المتكاملة لتوليد تردد معين أو سعة ذاتية بدون إشارة دخل.
- ويستخدم هذا الذبذب في أجهزة الإرسال أو الإستقبال .
- ✓ ويمكن أن يتكون المذبذب من ملف ومكثف أو من بلورة كريستالية لضبط الإهتزاز مع وجود دائرة تكبير.
- ✓ دائرة المذبذب وطريقة عملها .

شروط الحصول على تذبذب :

١. وجود دائرة تذبذب :(مكونة من مقاومة ومكثف وذلك في مجال التردد الصوتي – أو تتكون من ملف ومكثف أو بلورة كريستال (كوارتز)).

٢. وجود مكبر يقوم بتكبير إشارة الذبذبة.

٣. وجود جزء للتغذية الخلفية الموجبة حتى تستمر عملية التذبذب.

كيفية حساب ذبذبة الرنين :

- لحساب ذبذبة الرنين هناك معادلة يمكن عن طريقها معرفة تردد الرنين لأي دائرة رنين مكونة من ملف ومكثف :

$$f = ١ / [٢\pi(LC)^{\wedge}½]$$

- ✓ **حيث :**
- ✓ f = التردد بالهيرتز
- ✓ L = حث الملف بالهنري
- ✓ C = سعة المكثف بالفاراد

٢. المعدل : The Modulator

المذبذب يقوم بإنتاج الموجة التي سوف يتم إرسالها ويمكن إستخدامه كجهاز إرسال بعد تركيب هوائي في خرجه .

- ❑ ولكنه سوف يرسل موجة حاملة فقط بدون تعديل أي بدون أصوات أو معلومات مرسلة ويسمى في هذه الحالة بجهاز إرسال CW أو موجة حاملة فقط.
- ❑ ولكي يرسل المذبذب أصوات أو المعلومات المراد نقلها عبر الترددات الراديوية لابد من وجود المعدل .
- ❑ المعدل هو دائرة كهربية تقوم بطبع وتحميل سواء الأصوات أو المعلومات أو الإشارة المرئية على موجة عالية التردد المنتجة بواسطة المذبذب .
- ❑ وذلك لإرسالها إلى مسافات بعيدة بواسطة الترددات الراديوية عن طريق هوائيات الإرسال.

- ويتم إستقبالها بواسطة أجهزة الإستقبال وفصل الموجة الحاملة عن إشارة المعلومات.

توجد عدة طرق للتعديل أهمها :

i. تعديل الإتساع Amplitude Modulation (AM)

i. تعديل التردد Frequency Modulation (FM)

i. تعديل الحزمة الجانبية الوحيدة Single Side Band (SSB)

i. تعديل زاوية الوجه Phase Modulation (PM)

تعديل الإتساع :Amplitude Modulation (AM)

هو عبارة عن تغير سعة أو إتساع الموجة الحاملة بواسطة إشارة التضمين بمقدار يتناسب مع إشارة التعديل .

أما الموجة الناتجة فتسمى موجة تضمين السعة (تعديل السعة) Amplitude Modulating Wave

تعديل التردد Frequency Modulation

- ✓ هو عبارة عن تغير تردد الموجة الحاملة بواسطة إشارة التضمين بمقدار يتناسب مع التغير الذي يطرأ على إشارة التضمين .

- ✓ أما الموجة الناتجة تدعى موجة تضمين التردد (تعديل التردد) Frequency modulated Wave

تعديل الطور Phase Modulation (PM)

- هو عبارة عن تغير في طور الموجة الحاملة بواسطة إشارة التضمين بمقدار يتناسب مع التغير الحاصل في إشارة التضمين نفسها.
- أما الموجة الناتجة فتدعى موجة تضمين الطور phase modulated wave

كشف التضمين (التعديل): Demodulation

عملية كشف التضمين أو ما يسمى كذلك بإزالة التضمين هي عبارة عن عمليات إستخلاص إشارة المعلومات من الموجة الحاملة.

عرض النطاق : Band Width

يعتبر عرض النطاق أحد العناصر الأساسية بجانب الضوضاء الذي يقلل من كفاءة نظم الإتصالات .

- هنا يجب التمييز بين نوعين من عرض النطاق :

١. عرض نطاق إشارة المعلومات Information Band Width "BW inf"
٢. عرض نطاق قناة الإرسال أو ما يسمى كذلك عرض قناة النقل Channel Band Width "BW ch"

عرض نطاق إشارة المعلومات: "BW inf" :

هو عبارة عن الفرق بين التردد الأعلى والتردد الأدنى المحتويين ضمن إشارة المعلومات.

أما عرض نطاق القناة "BW ch" :

هو عبارة عن الفرق بين التردد الأعلى والتردد الأدنى الذين تسمح لهما القناة بالمرور.

وبالتالي نخلص إلى العلاقة التالية :

- حتى تنتقل إشارة المعلومات عبر أي قناة لابد أن يكون عرض نطاق إشارة المعلومات أقل أو يساوي عرض نطاق القناة .

أي $\mathbf{Bw\ inf \leq BW\ ch}$

BW inf = عرض نطاق إشارة المعلومات .

BW ch = عرض نطاق القناة.

Example:

إذا كان نظام الإرسال التلفزيوني الذي يستخدم الكوابل للنقل له عرض نطاق من ٥٠٠ KHZ إلي ٥٠٠٠ KHZ أوجد :

١) عرض نطاق القناة.

٢) هل هذه القناة تسمح بمرور الإشارات الصوتية.

٣) هل تتمكن الإشارات ذات الترددات العالية من العبور خلالها.

أنماط الإرسال : Transmission Modes

إن الإرسال في نظام الإتصالات الإلكترونية لابد أن يصمم حسب الإحتياجات التالية :

١. الإرسال في إتجاه واحد ويدعى "Simplex "SX وكمثال علي ذلك المذياع والتلفاز.

٢. الإرسال المتناوب وهو يتم في إتجاهين لكن ليس في نفس الوقت وهو يدعى "Half Duplex "HDX وكمثال على ذلك نظام المذياع ذو الإتجاهين (أضغط لكي تتكلم).

٣. الإرسال في إتجاهين :

هنا يتم الإرسال في إتجاهين وفي نفس الوقت ويطلق عليه "Full Duplex "FDX وكمثال على ذلك نظام الهاتف الجوال.

٤. الإرسال متعدد الإتجاهات :

٥. في هذا النوع من الإرسال يمكن إرسال وإستقبال إلى ومن عدة محطات وفي آن واحد ويطلق عليه "Full/Full Duplex "F/FDX وكمثال على ذلك خدمات البريد.

تضمين السعة : Amplitude Modulation "AM"

هو تغيير إتساع الموجة الجيبية الحاملة ذات التردد العالي حيث يتناسب طرديا مع إشارة المعلومات الأساسية m(t) .

❑ المضمن السعوي : AM Modulator

هو عبارة عن جهاز غير خطي ذو مدخلين أحدهما مخصص لإشارة المعلومات والآخر مخصص للموجة الحاملة وخرج نحصل عن طريقه على الموجة المعدلة Modulated Wave .

توليد إشارة تعديل السعة : Generation of AM Signal

- ✓ على الرغم من وجود عدة أنواع من إشارات تضمين السعة فإن النطاق الجانبي المزدوج ذا الموجة الحاملة الكاملة هو الأكثر إستعمالا.
- ✓ **Amplitude Modulation Double Side Band Full Carrier**
- ✓ **"AMDSBFC"**

وفي بعض الأحيان تستخدم بدلا عنها AM للتبسيط.

خصائص الموجة المعدلة (المضمنة) :

Modulating Wave Characteristic

- تتميز الموجة الناتجة عن طريق عملية التضمين بما يلي:

١) الموجة المضمنة لها نفس تردد الموجة الحاملة"fc"

٢) التغير الذي يطرأ على سعة الموجة المضمنة أثناء عملية التعديل يساوي التغير الذي يحدث لسعة إشارة التعديل .

٣) تردد الغلاف الخارجي (الكاشف) يساوي تردد إشارة التعديل .

٤)سعة الغلاف الخارجي (الكاشف) تساوي سعة إشارة التعديل .

الطيف الترددي وعرض النطاق :

AM Frequency Spectrum and Band Width

- ➢ كما ذكرنا سابقا أنه من الصعوبة بمكان إرسال الإشارات ذات الترددات المنخفضة لأن هذا يتطلب هوائي يبلغ من الضخامة حدا غير معقول.

- ➢ لأن طول هوائي الإرسال يجب أن يكون في حدود ١٠٪من طول موجة الإشارة المرسلة .

- لهذا السبب فإن إزاحة طيف الإشارة إلي مدى ترددي مرتفع بواسطة التعديل يعتبر شيئا مرغوبا .
- فمن هنا يمكن أن نقول أن تأثير عملية التعديل هو إزاحة تردد إشارة المعلومات في المجال الطيفي حيث ينعكس بالتساوي حول محور تردد الموجة الحاملة fc.
- المخطط والمعادلات.

تعديل التردد :Frequency Modulation

- هو عبارة عن تحميل موجة كهربائية منخفضة التردد تسمى بالموجة المحمولة على موجة ذات تردد عالي ثابتة تسمى الموجة الحاملة.
- بحيث يتم الحصول على موجة معدلة بحيث يتغير تردد الموجة الحاملة تبعا لسعة الموجة المحمولة بحيث يظل إتساع الموجة الحاملة ثابت.
- تتسبب الأنصاف الموجية الموجبة في زيادة ترددها بينما السالبة في نقصان ترددها.
- وينتج عن ذلك عدد لانهائي من النطاقات الجانبية العلوية والسفلية ويكون ترددها أكبر أو أقل من الموجة الحاملة بتردد المعلومات أو مضاعفاتها بخلاف تعديل الإتساع.
- رسم يوضح أشارة المعلومات والموجة الحاملة قبل وبعد التعديل.
- في التعديل السعوي AM كان التردد والطور ثابتين أما في التعديل الترددي FM فقط إتساع الموجة الحاملة يبقى ثابتا أما الطور فيتغير بتغير التردد.

وبالتالي يمكن تعريف التعديل الطوري: Phase Modulation (PM)

بأنه التغير في طور الموجة الحاملة ذات التردد العالي تبعا للقيمة اللحظية للموجة المحمولة ذات التردد المنخفض مع بقاء الإتساع للموجة الحاملة ثابت.

- بالتالي تعديل كل من التردد والطور يؤثر كل منهما على الآخر .
- فلا نستطيع الحصول على أحدهما دون الآخر فكلاهما يقودان الى التعديل الزاوي .

التعديل الزاوي : Angle Modulation

وهو التغير في زاوية الموجة الحاملة ذات التردد العالي تبعا للتغير في القيمة اللحظية للإشارة المحمولة ذات التردد المنخفض مع بقاء إتساع الموجة الحاملة ثابت.

دائرة تعديل التردد:

- حيث يتم التحكم بتردد الموجة من الذبذب بواسطة دائرة التحكم المرافقة .
- دائرة التحكم تتكون كما هو موضح في الشكل من ملف ومكثف متغير السعة
- وسعة هذا المكثف تتغير بتغير إتساع الإشارة الصوتية المتولدة من الميكروفون .

في هذه الدائرة لدينا ثلاثة حالات :

أ. الحالة الأولى:

في حالة عدم وجود صوت واصل للميكروفون فإن لوحي المكثف يبقيان ثابتين ولا تتغير ترددات المذبذب .

- ❖ وبالتالي يكون تردد الموجة المتولدة مساوي لتردد الموجة الحاملة fc .

ب. **الحالة الثانية :**

- ❖ في حالة شدة الصوت تكون أعلى من القيمة المرجعية فإن لوحي المكثف تهتز لشدة الصوت فتنتج تغير في قيمة سعة المكثف .
- ❖ وبالتالي زيادة في تردد الموجة المولدة من المهتز فيكون أعلى من تردد الموجة الحاملة.
- ■ وزيادة قيمة التردد نسبة لزيادة شدة الصوت فيصبح :

$$(f_c+\Delta f)$$

حيث:

Δf = التغير في تردد الموجة المعدلة الناتجة.

ج. **الحالة الثالثة :**

- في حالة شدة الصوت أقل من القيمة المرجعية بالتالي يهتز لوحي المكثف مسببة تغير معاكس للحالة السابقة .
- وبالتالي نقصان التردد للموجة المولدة من المذبذب لقيمة أقل من تردد الموجة الحاملة.
- **ويكون التردد يساوي :**

$$(fc - \Delta f)$$

- لذا يمكننا القول أن معدل التغير في السعة يساوي الموجة الصوتية الداخلة.
- ومقدار التغير في السعة يتناسب طرديا مع إتساع هذه الموجة.

٣. مكبرات العزل : Buffer Amplifier

- تقوم هذه الدوائر بدور الوسيط بين مرحلة دخل ومرحلة خرج لمنع حدوث تأثير مرحلة على مرحلة أخري.
- وهي تقوم أيضا ليس بالعزل فقط ولكن تقوم أيضا في بعض الأجهزة بتكبير الإشارة الداخلة إليها قبل تسليمها لمرحلة الخرج.

٤. مكبرات الإشارة الصوتية الخارجة من الميكروفون : mic amplifier

تقوم هذه الدائرة بتكبير الإشارة الصوتية القادمة إليها من الميكروفون إلى مستوى معين لكي تدخل على دائرة المعدل للحصول على التعديل اللازم للإشارة الحاملة.

٥. مكبر قدرة إشارة التردد العالي : RF Amplifier

- بعد خروج الإشارة المعدلة من المعدل يمكن أن يركب الهوائي عند هذه المرحلة وترسل الإشارة.
- ولكن قدرة الخرج تكون ضئيلة جدا إذن فلا بد من وجود دائرة لتكبير الخرج.

- تقوم هذه الدائرة بتكبير إشارة التردد العالي المعدلة بعد خروجها من المعدل إلى المستوى اللازم المطلوب في جهاز الإرسال .
- وتقاس قدرة هذا المكبر بوحدة الواط Watt

٦. مرشحات إشارة التردد العالي : RF Filter

i. وتتكون من مجموعة من المكثفات والملفات ووظيفته هي ترشيح التردد المرسل من التوافقيات.

ii. التوافقيات تنشأ من أي مولد تردد أو أي مذبذب أو مرسل .وهي تتكون من مضاعفات التردد الذي يتم الإرسال عليه .

- ولذلك يجب وضع مرشح قبل توصيل الإشارة الخارجة للهوائي ويصمم حسب التردد المطلوب.

يوجد ثلاثة أنواع أساسية للمرشحات هى:

١. مرشح التردد المنخفض Low Pass Filter

٢. مرشح التردد العالي High Pass Filter

٣. مرشح الحزمة الترددية Band Pass Filter

١. مرشح التردد المنخفض Low Pass Filter

وهو يقوم بتمرير كل الترددات تحت مستوى معين من التردد المصمم عليه وأي تردد أعلى من هذا التردد لا **يمر.**

٢. مرشح التردد العالي High Pass Filter

- وهو مرشح مصمم لإمرار ترددات فوق التردد المصمم عليه وأي تردد أقل منه لا يمر عبر المرشح.

٣. مرشح الحزمة الترددية Band Pass Filter

- هو مرشح لإمرار حزمة ترددية معينة تقع بين ترددين ،الترددات التي أعلى من التردد العلوي لا تمر والترددات التي أقل من التردد السفلي لا تمر .
- وأي تردد يقع داخل هذين الترددين يمر من خلال المرشح.
- هذا المرشح عبارة عن مرشحين :
- مرشح لإمرار الترددات المنخفضة ومرشح لإمرار الترددات العالية مربوطة ببعضها .
- والنتيجة أن هذا المرشح يسمح بمرور نطاق من الترددات ولكن أي تردد خارج هذا النطاق لا يسمح له بالمرور.
- وتستخدم هذه الدائرة في تمرير إشارات ترددها بين تردد القطع المنخفض (الأول) fc١ وتردد القطع العالي (التالي) fc٢ ويمكن إيجاد قيمة fc من العلاقة الرياضية:

$$f_{c١} = ١ / ٢\pi R_١ C_١$$

$$f_{c٢} = ١ / ٢\pi R_٢ C_٢$$

Example:

مرشح إمرار ترددات منخفضة مكون من مقاومة بقيمة Ω ١٦٠ ومكثف بسعة ٠.١ μH فما هو تردد القطع ؟

بناء الهوائي :Antenna Structure

الهوائي antenna :

هو عبارة عن عنصر معدني يستخدم في أنظمة الإتصالات لتحويل الإشارات الكهربائية إلى موجات كهرومغناطيسية في المرسل ويقوم بالعملية العكسية عند المستقبل.

وقبل بناء أي هوائي لابد من معرفة المصطلحات الآتية:

١. أبعاد الهوائي : Size

- تعتمد أبعاد الهوائي على الطول الموجي للموجات التي يرسلها ويستقبلها .
- حيث تكون هذه الأبعاد في حدود الطول الموجي لهذه الموجات.
- فالهوائيات التي ترسل الموجات المنخفضة التردد تكون ذات أبعاد كبيرة والعكس صحيح.
- حيث أنه كلما إزداد التردد قل الطول الموجي وبالتبعية تقل أبعاد الهوائي .

٢. الدعامات : Supports

- لكي يعمل الهوائي بطريقة جيدة فيجب أن يثبت بعيدا عن أي أجسام معدنية أو أي مواد ماصة للموجات الكهرومغناطيسية.
- ولذلك توجد بعض الدعامات التي تستخدم لتبعد الهوائي عن هذه المواد وهذه الدعامات مثل الأبراج .
- ويجب عند تثبيت الهوائيات على الأبراج أن تكون معزولة عنها.

٣. المعادن : Conductors

- تصنع الهوائيات من المعادن التي لها موصلية عالية مثل الألومنيوم والنحاس والحديد والذهب .
- ويستخدم الذهب في الهوائيات الصغيرة كالتي تستخدم في الجوال والأقمار الإصطناعية .
- وكذلك الهوائيات التي تعمل في النطاق الترددي لموجات المايكروويف (Microwave Band) .

٤. العوازل : Insulators

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

٥. الحماية الجوية : Weather Protection

- تثبت الهوائيات غالبا خارج الأبنية مما يجعلها عرضة للعوامل الجوية المختلفة من مطر ورياح وأتربة وغيرها .
- هذا يجعل من الضروري حماية هذه الهوائيات وخاصة لأن الأعمار الإفتراضية لها تصل إلى عشرات السنين.
- لذا فإن الكثير من الهوائيات يغطى داخل أغلفة من القماش أو الورق المقوي حتى لا يتأثر سطح الهوائي نتيجة الرياح الحاملة للرمال.

٦. **خطوط التغذية : Feed Lines**

- هي تلك الوصلات التي تصل بين الهوائي والمرسل أو الهوائي والمستقبل .
- وتوجد أنواع مختلفة من خطوط التغذية .

- **ويعتمد إختيار خط تغذية لهوائي معين على :**

i. نوع الهوائي .
ii. التردد الذي يعمل عنده الهوائي.

وتوجد ثلاثة خطوط تغذية شهيرة:

١.خط النقل (Transmission Line) ويعمل حتى تردد ٣٠ MHZ

٢.الكيبل المحوري (Coaxial Cable) ويعمل حتى تردد ١٠٠٠ MHZ

٣.هوائي البوق (Horn Antenna) ويعمل فوق تردد ١٠٠٠ MHZ

٧. **شروط المواءمة : Matching Conditions**

- عند توصيل خطوط التغذية بالهوائيات يجب أن تتوفر شروط المواءمة عند نقاط التوصيل .
- هذه الشروط تنص على إنه يجب أن تكون المقاومة على جانبي نقاط التوصيل متساوية.
- توفر شروط المواءمة ضمان أن الطاقة التي يستقبلها الهوائي تنتقل كلية إلى خط التغذية ومنه إلى المستقبل أو العكس.
- هذه الشروط يجب أن تتوفر عند نقاط الإتصال بين أي دائرتين كهربيتين.

- أي أنه يجب أن تتساوى مقاومة الهوائي وخط التغذية من ناحية وبين خط التغذية والمرسل من الناحية الأخرى

الخصائص الفنية : Antenna Parameters

للتعرف على الخصائص الفنية فإنه يجب تعريف الهوائي المثالي والذي بناءا عليه يمكن دراسة ومقارنة الهوائيات الأخرى به.

الهوائي المثالي :

- ❖ هو ذلك الهوائي الذي يبث كل الطاقة القادمة إليه من المرسل في الإتجاه أو الإتجاهات المطلوبة وبالقطبية المرغوبة.
- ❖ الهوائي المثالي هو هوائي نظري لا يوجد إلا في كتب الهوائيات.
- ❖ أما الهوائيات العملية فأنها لا تحقق تماما المواصفات الخاصة بالهوائي المثالي ولكنها تقترب وتبتعد عن هذه المواصفات تبعا لتصميمها وطبيعة عملها.

مقاومة الإشعاع :

١) هي مقاومة مترددة للهوائي وتساوي نسبة الطاقة المنبعثة (Radiated Power) من الهوائي إلى مربع التيار الداخل للهوائي عند نقطة التغذية.

٢)وهذه المقاومة يمكن إعتبارها تخيلية من حيث الوجود لأنها تحسب ولا تقاس.

وتحسب مقاومة الإشعاع بالعلاقة:

$$R_r = P_r / I^2$$

حيث:

- ✓ R_r = **مقاومة الإشعاع ووحدتها الأوم.**
- ✓ P_r = **الطاقة المنبعثة من الهوائي بالواط.**

- ✓ **I = القيمة الفعلية للتيار عند نقطة التغذية للهوائي بالأمبير.**

كفاءة الهوائي :

- تساوي نسبة الطاقة المنبعثة من الهوائي إلي الطاقة الداخلة للهوائي عند نقطة التغذية .
- هذه الطاقة الداخلة (Input power)للهوائي تساوي مجموع الطاقة المنبعثة من الهوائي والطاقة المفقودة بداخله Pd (Dissipated Power).

كفاءة الهوائي تحسب بالعلاقة التالية :

$$\eta = Pr / Pin$$

حيث :

- ✓ **η = كفاءة الهوائي .**
- ✓ **Pr = الطاقة المنبعثة من الهوائي بالواط.**
- ✓ **Pin = الطاقة الداخلة للهوائي بالواط.**

وسنتطرق لبعض العناصر التي بها يمكن أن نتعرف علي خصائص الهوائي الفنية والتي يمكن من خلالها معرفة مدى قرب أو بعد الهوائي عن كونه مثاليا :

١. رسم الإشعاع : Radiation Pattern

- ❑ هو رسم يبين كيفية توزيع الطاقة المنتشرة من الهوائي في الفراغ أو الوسط المحيط به .
- ❑ ولهذا الرسم أهمية كبرى لأنه يحدد:

i. كيفية تثبيت وتوجيه الهوائي .

ii. التطبيق الذي يعمل فيه الهوائي.

الطاقة المنبعثة من الهوائي يمكن أن تتوزع بعدة طرق :

A. متساوية في جميع الإتجاهات (Omni directional Pattern) :

الهوائي الذي له هذه الخاصية يسمى هوائي غير موجه للطاقة Omni directional antenna .

B. مركزة في إتجاه معين عن بقية الإتجاهات الأخرى (Directive Pattern) :

الهوائي الذي له هذه الخاصية يسمى هوائي موجه للطاقة (Directive antenna) .

ولقياس الطاقة المنبعثة من الهوائي توجد طريقتان:

١. الواط (Watt) :وغالبا ما تستخدم عندما تكون الطاقة المقاسة كبيرة.

٢.الديسيبل (Decibel) dB : وغالبا ما تستخدم هذه الوحدة عندما تكون الطاقة المقاسة صغيرة جدا.

مقاومة الإشعاع وكفاءة الهوائي :

Radiation Resistance and Antenna Efficiency

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

- **P_d = الطاقة المفقودة داخل الهوائي بالواط.**

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

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

$$= R_r / (R_r + R_d)$$

$$\eta = R_r / R_{in}$$

حيث $Rr + R_d = R_{in}$

✓ **يمكن التعبير عن الكفاءة كنسبة أو كنسبة مؤية :**

$$\eta = (R_r / R_{in}) * ١٠٠٪$$

٣. الكسب الإتجاهي وكسب الطاقة للهوائي :

Directive Gain and Power Gain

- **الكسب الإتجاهي : Directive Gain**

يعرف الكسب الإتجاهي لهوائي معين بأنه نسبة كثافة الطاقة المنبعثة منه في إتجاه معين إلى كثافة الطاقة المنبعثة من هوائي مرجعي (Reference antenna)عند نفس النقطة.

❖ **وغالبا ما يكون الهوائي المرجعي يبث الطاقة تقريبا في جميع الإتجاهات بالتساوي (Isotropic Antenna) .**

❖ **ويحسب الكسب الإتجاهي بالعلاقة التالية:**

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

حيث :

✓ D = الكسب الإتجاهي للهوائي.

✓ P_{ref} = كثافة الطاقة المنبعثة من الهوائي المرجعي.

- كلما زادت قيمة الكسب الإتجاهي فإن الهوائي تصبح له قدرة أكبر على بث الطاقة في إتجاه معين.

- **كسب الطاقة : Power Gain**

هو النسبة بين كثافة الطاقة المنبعثة من الهوائي في إتجاه معين إلى كثافة الطاقة المنبعثة من هوائي مرجعي عند نفس النقطة مع فرض أن الطاقة الداخلية لكليهما متساوية.

$$A_p = D\eta$$

حيث:

- ✓ A_p **= كسب الطاقة للهوائي.**

٤. قطبية الهوائي : Antenna Polarization

- يحددها المجال الكهربي الموجود في الموجة الكهرومغناطيسية المنبعثة من الهوائي.
- وبناءا على ذلك توجد ثلاثة أنواع من القطبية وهي الخطية والدائرية والبيضاوية.
- وعند إستخدام الهوائي في الإستقبال فإنه يجب أن يضبط لكي يكون له نفس القطبية الموجودة لدى الموجات المستقبلة.

٥. زاوية الفحص للهوائي:(Θ) Antenna Beam width

- هي تلك الزاوية المقاسة بين نقطتي نصف الطاقة في الحلقة الأمامية لرسم الإشعاع .
- فإذا كانت الطاقة ممثلة في رسم الإشعاع بالواط فإننا نحدد نقطة منتصف الطاقة بقسمة الطاقة العظمى على (٢) لنحدد النقطتين A&Bثم نصل A٠ و B٠ لنحصل على زاوية الحلقة.
- كلما قلت قيمة زاوية الحلقة الأمامية للهوائي فإن إتجاهيته تزداد والعكس صحيح.

٦. مقاومة المدخل للهوائي : Antenna Input Impedance "Zin'

- هي المقاومة بين أطراف الدخل للهوائي ،وهي النقاط التي يتصل عندها خط النقل بالهوائي (تسمي أطراف المدخل للهوائي) .
- وأحيانا تسمى نقاط التغذية للهوائي والمقاومة بين هذه الأطراف تعطي مقاومة المدخل للهوائي.

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

- وتأتي أهمية معرفة مقاومة المدخل للهوائي لأنها تحدد نوع خط النقل الذي يصلح لأن يكون خط تغذية للهوائي .
- حيث أن هذا الخط يجب أن يكون له مقاومة مساوية لمقاومة مدخل الهوائي طبقا لشروط المواءمة .
- وإذا لم يتوفر خط نقل له نفس قيمة مقاومة المدخل للهوائي فإنه يستلزم إستخدام دائرة مواءمة بين خط النقل والهوائي.
- مقاومة دائرة المواءمة من جهة الهوائي تكون مساوية لمقاومةمدخل الهوائي أما من الجهة الأخرى فتكون مساوية لمقاومة خط النقل .
- إذا توفرت شروط المواءمة فإن الطاقة التي يستقبلها الهوائي تنتقل كلية إلي خط النقل ومنه إلي المستقبل .

٧. مرحلة الهوائي Antenna :

- هو آخر مرحلة من مراحل جهاز الإرسال وفيه يشع الهوائي طاقة الإرسال في الهواء ليستقبلها جهاز الإستقبال.
- ترسل الموجات اللاسلكية بإستقطاب أفقي أو إستقطاب رأسي حسب وضعية هوائي الإرسال.
- ولابد أن يكون هوائي الإستقبال في نفس وضعية الإستقطاب لهوائي الإرسال لإستقبال أكبر إشارة ممكنة.

توجد ثلاثة أنواع رئيسية للهوائيات في الإرسال الإذاعي :

١. هوائي هيرتز .

٢.هوائي ماركوني .

٣.الهوائيات المركبة.

١. هوائي هيرتز :

- سمي هذا النوع بإسم العالم هيرتز الذي كان أول من إستعمله ،ويتكون من سلك واحد ينصب على إرتفاع عن سطح الأرض ،طوله نصف طول الموجة
- ولا تقوم الأرض الأرض بدور رئيسي في عسملية الإشعاع.

الهوائي القطبي القصير:

ويسمى بالهوائي القطبي القصير الذي فيه التيار الكهربي يتوزع بإنتظام على محوره .

- يعد من أهم وأبسط أنواع الهوائيات .

وتأتي أهميته لأنه :

- هوائي بسيط في التحليل .
- يستخدم لتحليل الهوائيات الأخرى الأكثر تعقيدا .

وسمي بهذا الإسم لسببين :

- **قطبي** : لأنه توجد على طرفيه شحنتان متساويتان (+Q & -Q) ومختلفتان في الإشارة.

- **قصير** : لأن طوله لا يزيد عن (١/١٠) من الطول الموجي للإشارة التي يرسلها أو يستقبلها.

الإشعاع للهوائي القطبي القصير:

- يرتبط المجال الكهربي بالمجال المغناطيسي في الموجه الكهرومغناطيسية بكمية تسمى معاوقة الموجة (Wave Impedance Z)
- ولكل وسط إنتشار قيمة لمعاوقة الموجة تميزه عن الأوساط الأخرى .

وتكون العلاقة بين المجال الكهربي والمجال المغناطيسي كاللآتي :

$$Z = E / H$$

حيث:

- ✓ Z = معاوقة الموجة.
- ✓ E = المجال الكهربي.
- ✓ H = المجال المغناطيسي.

§ **معاوقة الموجة تساوي Ω ٣٧٧ أو π١٢٠ إذا كان وسط الإنتشار هو الفراغ.**

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 والتيار المار به . كالآتي :

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

وللهوائي القطبي القصير تم حساب وإيجاد قيمة هذه المقاومة كالآتي:

$$R_r = ٨٠\pi^2(L / h)^2$$

حيث:

- ✓ R_r = مقاومة الإشعاع بالأوم.
- ✓ L = طول الهائي بالمتر.
- ✓ h = الطول الموجي بالمتر.

الإتجاهية للهوائي القطبي القصير: Directivity (D)

تم حساب الإتجاهية للهوائي القطبي القصير بالطرق الرياضية وقد وجد أنها تساوي : (واحد ونص)

- ✓ $D = ١.٥$
- ❑ وهذه القيمة صغيرة مما يدل على أن الطاقة المنبعثة من الهوائي تتوزع حوله بإتجاهية منخفضة .
- ❑ كلما زادت قيمة الإتجاهية زادت قدرة الهوائي على بث الطاقة في إتجاه معين.

زاوية الفحص للهوائي القطبي القصير:(Θ) Beam Width

زاوية الفحص للهوائي القطبي القصير يمكن حسابها معمليا ورياضيا وقد وجد أنها تساوي :

- ✓ $\Theta = ٩٠^\circ$
- ➢ وهذه الكمية كبيرة مما يدل على أن الطاقة المنبعثة من الهوائي تتوزع حوله بإتجاهية منخفضة.
- ➢ كلما زادت قيمة زاوية الفحص قلت قيمة الإتجاهية وبالتبعية قلت قدرة الهوائي على بث الطاقة في إتجاه معين .

هوائي نصف الموجة القطبي:Half Wave Dipole

هو يماثل الهوائي القطبي القصير من حيث الشكل إلا أن له طول يساوي نصف طول الموجة التي يرسلها أو يستقبلها.

- ومخطط الإشعاع له هو نفس مخطط الإشعاع للهوائي القطبي القصير أي يبث الطاقة في جميع الإتجاهات بالتساوي (Isotropic pattern) أو (Omni directional pattern) .
- ومن هذا الشكل يتضح أن هوائي نصف الموجة له قدرة أكبر على بث الطاقة في إتجاه معين .
- وكذلك فإن له زاوية فحص (Θ) أقل من الهوائي القطبي القصير.

مقاومة الإشعاع لهوائي نصف الموجة القطبي:

- ❑ لهوائي نصف الموجة القطبي وجد أن مقاومة الإشعاع له تساوي ٧٣.١Ω
- ❑ وهي 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.

الإتجاهية لهوائي نصف الموجة القطبي: 'Directivity "D

- لهذا الهوائي تم حسابها بالطرق الرياضية وقد وجد أنها تساوي :
- $D = ١.٦٣$
  - وهذه القيمة أكبر من تلك التي للهوائي القطبي القصير .
  - مما يدل على أن لهذا الهوائي قدرة أكبر على بث الطاقة في إتجاه معين من تلك المتوفرة للهوائي القطبي القصير.

زاوية الفحص لهوائي نصف الموجة القطبي :(Θ) Beam Width

- لقد تم حساب وقياس زاوية الفحص لهوائي نصف الموجة القطبي وقد وجد أنها تساوي :
- ✓ $\Theta = ٧٨^{o}$
- وهذه القيمة أصغر من تلك التي للهوائي القطبي القصير .
- مما يدل على أن الطاقة المنبعثة من هوائي نصف الموجة تتوزع حوله بإتجاهية أعلى من تلك المنبعثة من الهوائي القطبي القصير.
- كلما قلت زاوية الفحص زادت قيمة الإتجاهية وبالتبعية زادت قدرة الهوائي على بث في إتجاه معين.

٢. هوائي ماركوني :

- يتكون من سلك رأسي واحد أو سلكين أحدهما رأسي والآخر أفقي .
- ويوصل هوائي ماركوني بالأرض خلال أداة ربط وتنغيم .
- وطوله ربع طول الموجة التي يرسلها أو يستقبلها.

٣. الهوائيات المركبة :

- عبارة عن مجموعة من العناصر الأفقية أو الرأسية تبتعد عن بعضها البعض بمسافات مناسبة حسب التردد وتتصل بنفس المصدر وتوضع عواكس لمجموعة العنصر على مسافة (٤ / ٣) طول الموجة من عضو الهوائي وتعمل العواكس على تركيز الإشعاع في الإتجاه المطلوب.

مميزات الهوائيات المركبة:

- توفر بعض طاقة الإشعاع التي تفقد فى حالة الهوائيات التي تشع في جميع الإتجاهات.
- يعطي شدة مجال أكبر في الإتجاه المطلوب والذي يتم توجيه الهوائي إليه.

أنواع أجهزة الإرسال :

- **جهاز إرسال موجة حاملة CW Transmitter.**
- **جهاز إرسال بنظام تعديل الإتساع AM Transmitter .**
- **جهاز إرسال بنظام تعديل التردد FM Transmitter.**
- **جهاز إرسال بنظام تعديل الحزمة الجانبية المفردة SSB Transmitter**

ثانيا دوائر أجهزة الإستقبال الإذاعي:

١.الهوائي Antenna

٢.دائرة التوليف Tuned Circuit

٣.مكبرات التردد العالي الأولي RF Preamplifier

٤.المذبذب المحلي Local Oscillator

٥.المازج Mixer

٦.مكبرات التردد الوسيط IF amplifier

٧.الكاشف Detector

٨.مكبر التردد الصوتي AF amplifier

٩.السماعة Speaker

وسنتطرق لكل مرحلة بشئ من التفصيل :

١. الهوائي Antenna

- هو أول مرحلة في أي جهاز إستقبال ،وهوائي الإرسال المضبوط على تردد معين هو أحسن هوائي لإستقبال نفس التردد.
- لأنه يكون منغم على هذا التردد لإستقبال إشارة عظمى على هذا التردد.

٢. دائرة التوليف Tuned Circuit

- الغرض منها بعد دخول الإشارة من الهوائي هي إختيار وإنتخاب التردد المطلوب ورفض باقي الترددات .
- وهي تتكون من ملف ومكثف ويمكن أن تكون دائرة التوليف مزدوجة (Double Tuned Circuit) لزيادة الإختيارية والتوليف على شدة إشارة عظمى على التردد المطلوب.

٣. مكبرات التردد العالي الأولي RF Preamplifier

- وهذه الدائرة تأخذ الإشارة الضعيفة القادمة إليها من دائرة التوليف وتقوم بتكبيرها إلى المستوى المناسب لتدخل المراحل التالية.

٤. المذبذب المحلي Local Oscillator

يستخدم لتوليد ذبذبة أعلى من تردد الإشارة المستقبلة بمقدار التردد الوسيط لتدخل إلي المازج لتحويلها إلى تردد وسيط.

٥. المازج Mixer

هو لمزج التردد المستقبل المكبر المحتوي على المعلومات مع تردد المذبذب المحلي لتوليد إشارة التردد المتوسط IF Signal

٦. مكبرات التردد الوسيط IF amplifier

هي عبارة عن مجموعة من المكبرات المولفة على تردد ثابت تأخذ الإشارة القادمة إليها من المازج وتقوم بتكبيرها.

٧. الكاشف Detector

- هو يقوم بكشف الإشارة المستقبلة وفصلها عن إشارة التردد الحامل .
- ويصمم حسب نظام الإشارة المستقبلة سواء كانت معدلة الإتساع AM أو معدلة التردد FM .

٨. مكبر التردد الصوتي AF amplifier

وهو مكبر يعمل في مجال التردد الصوتي .

يقوم بإستلام الإشارة الإشارة الصوتية الضعيفة ويقوم بتكبيرها قبل إرسالها إلى السماعة .

٩. **السماعة Speaker**

وهي لتحويل الموجات أوالإشارات الكهربائية الداخلة إليها من المكبر السمعي إلى موجات صوتية تخرج في الهواء لتسمعها الأذن البشرية.

الشروط الواجب توفرها في جهاز الإستقبال:

١. الإختيارية العالية .
٢. أمانة نقل عالية.
٣. حساسية عالية.
٤. أن يكون الصوت الصادر نقي وواضح بدون أي شوشرة.
٥. الحصول على تكبير كافي لكل المحطات.
٦. أن يكون الصوت الصادر ثابت الشدة.

مراحل تطور أجهزة الإستقبال :

a) جهاز الإستقبال البسيط (راديو الكريستال).

B)جهاز إستقبال مباشر.

c)جهاز أستقبال سوبر هترودين.

جهاز الإستقبال البسيطCrystal Receiver

كما موضح بالرسم يتكون من :

١. الهوائي والأرضي :

- وهما لإستقبال الإشارات الكهرومغناطيسية وتحويلها إلى إشارات كهربائية.
- والهوائي يكون على إرتفاع كبير ويكون الأرضي مربوط في أي جسم موجود بالأرض كمواسير المياه المعدنية المدفونة بالأرض أو لوح من الزنك وهو أفضل.

٢. دائرة التوليف :

- وهي عبارة عن دائرة مكونة من ملف ومكثف متغير فقط .
- وعندما يتساوى تردد المحطة المستقبلة مع تردد الرنين فإننا نحصل على خرج دائرة الرنين على أعلى جهد ممكن.

٣. الكاشف :

- والكاشف هنا بسيط جدا وهو يتكون من موحد جرمانيوم كاشف يقوم بكشف الإشارة الصوتية وفصلها عن التردد الحامل.

٤. السماعة :

تدخل الإشارة الصوتية القادمة من الكاشف الى سماعة الأذن فتصدر صوت مسموع.

التشويش Noise

- يعتبر التشويش أحد العوائق الرئيسية لأنظمة الإتصالات وكما يقال لولا التشويش لأستطعنا أن نرسل المعلومة إلي أبعد ما يمكن.
- ويعرف على إنه طاقة غير مرغوب فيها تنشأ ضمن مختلف عناصر أنظمة الإتصالات لتشارك الإشارة الأصلية بالمرور عبر هذه العناصر.

ينقسم التشويش إلي نوعين رئيسيين هما :

١. التشويش غير المرتبط بالإشارة: Uncorrelated Noise

٢.التشويش المرتبط بالإشارة :Correlated Noise

التشويش غير المرتبط بالإشارة: Uncorrelated Noise

وهو عبارة عن التشويش الذي ليس له علاقة بالإشارة الأصلية المطلوب نقلها عبر أنظمة الإتصالات .

وهو ينقسم إلى نوعين :

A. التشويش الخارجي : External Noise

B. التشويش الداخلي : Internal Noise

أ. **التشويش الخارجي : External Noise**

وهو عبارة عن التشويش الذي يتولد من طرف مصادر خارجية أي ليس له علاقة بالدوائر الإلكترونية المستخدمة في أنظمة الإتصالات لكن يؤثر فيها.

وكمثال على ذلك :

ضوضاء الغلاف الجوي ، ضوضاء أشعة الشمس ،ضوضاء الأشعة الكونية ، والضوضاء الناتجة من صنع الإنسان.

ب. **التشويش الداخلي : Internal Noise**

- ويقصد به التأثيرات الغير مرغوب فيها الناتجة عن مكونات الدوائر الإلكترونية مثل المقاومات وغيرها.
- والتي تؤثر على الموجة الأصلية المطلوب نقلها أثناء عبورها عبر هذه الدوائر .
- وللتشويش الداخلي عدة أشكال تنتج عن أسباب مختلفة وكمثال على ذلك :
- تشويش جونسون Johnson noiseوينشأ بسبب إرتفاع درجة الحرارة في مكونات الدوائر الكهربائية.
- فإرتفاع درجة الحرارة يزيد الحركة العشوائية للذرات والإلكترونات في المادة .
- ويؤدي ذلك إلى إشعاع طاقة كهرومغناطيسية تظهر على هيئة جهد تشويش غير مرغوب فيه .
- ويقع جهد التشويش هذا ضمن ما يسمى بالضجيج الأبيض White Noise أي الذي يشمل جميع الترددات.
- ويزداد هذا التشويش كلما إزداد عرض نطاق ترددات نظام اللإتصالات .

- وكذلك التشويش الناتج عن الحقول المغناطيسية لمحولات الربط في المضخمات.

التشويش المرتبط بالإشارة :Correlated Noise

- هو عبارة عن التشويش المرتبط بالإشارة الأصلية التي تعبر الدوائر الإلكترونية التي تدخل في تكوين نظام الإتصالات.
- هذا النوع من التشويش لا يمكن أن يتواجد في الدائرة بدون تواجد الإشارة ولهذا يقال لا إشارة لا تشويش.
- وأن التشويش المرتبط بالإشارة ينتج عن طريق التضخيم اللاخطي.
- ويشمل كل من التشويش الناتج عن المركبات التموجية والتشويش الناتج عن التشوه الذي يحدث أثناء عملية التضمين.
- التشويش الناتج عن الغلاف الجوي والصادر عن العواصف الرعدية Thunderstormsتؤثر تأثيرا مباشرا على البث الإذاعي الذي يستخدم تعديل السعة AM
- والسبب في ذلك يعود على أن الموجات الناتجة من العواصف الرعدية تتناسب عكسيا مع التردد الواقع في المجال أقل من ١٠٠ MHZ
- أي كلما قل التردد زاد التشويش ، ولكنه أقل تأثيرا على البث الإذاعي والتلفزيوني الذي يستخدم تعديل التردد FM
- حيث مجال ترددات [٨٨ MHZ – ١٠٨ MHZ]

تشويش جونسون Johnson noise

إستطاع الباحث جونسون أن يبرهن على أن طاقة التشويش الحراري تتناسب طرديا مع عرض النطاق ودرجة الحرارة .

ويمكن التعبير عليه بالعلاقة الرياضية التالية :

$$N = KTB$$

حيث:

- ✓ **N = طاقة التشويش بالواط.**
- ✓ **B = عرض النطاق بالهيرتز.**
- ✓ **T = درجة الحرارة بالكلفن.**

K يمثل ثابت بولتزمان وهو يساوي :

١.٣٨ * ١٠^-٢٣ J/K

أما إذا أردنا ان نعبر عن الطاقة بوحدات الديسيبل :

$$NdB = ١٠ \log (KTB) \quad (dB)$$

حيث :

- ✓ **NdB = طاقة التشويش بالديسيبل**

Example:

أذا كان جهاز إلكتروني يعمل عند درجة حرارة ١٧°Cوعرض نطاق ١٠كيلوهيرتز .

أحسب مايلي :

a) طاقة التشويش بالواط.

b) طاقة التشويش بالديسيبل.

نسبة الإشارة إلى التشويش :Signal to Noise Ration

- إن معامل نسبة الإشارة الى الضوضاء كثيرا ما يستعمل في تباين أداء أنظمة الإتصالات .
- فكلما إزدادت هذه النسبة إزدادت كفاءة نظام الإتصالات .
- تعرض هذه النسبة كحاصل قسمة قدرة الإشارة إلى قدرة الضوضاء .

ويعبر رياضيا عنها بالعلاقة التالية :

$$S / N = P_s / P_n$$

ويمكن التعبير عنها برموز الديسيبل كالآتي :

$$(S/N)dB = ١٠ \text{ Log } (P_s/P_n)$$

حيث :

- ✓ **(S/N) = نسبة قدرة الإشارة إلى قدرة التشويش بالديسيبل**
- ✓ **P_s = قدرة الإشارة بالواط.**
- ✓ **P_n = قدرة التشويش بالواط.**

Example:

إذا كانت طاقة إشارة خرج مكبر تساوي W ١٠وطاقة تشويش إشارة الخرج تساوي W ٠.٠١ أوجد:

١) **نسبة طاقة الإشارة إلى طاقة التشويش.**

٢) **نسبة طاقة الإشارة إلى طاقة التشويش مقدرة بالديسيبل.**