جمهورية العراق
وزارة التربية
المديرية العامة للتعليم المهني

الاتصالات

(النظري)

فرع الحاسوب وتقنية المعلومات

اختصاص شبكات الحاسوب

الصف الثالث

تأليف

الدكتور المهندس
عمانوئيل سليم حنا

الدكتور المهندس
محمد نجم عبد الله

المهندس
عدنان محمد حسين

المهندسة
سميرة ماجد مناتي

المهندس
صالح كربول ساير

الطبعة الرابعة
2025م-1447هـ

المقدمة

بناءً على التوجيهات البناءة المتواصلة والدعم الكامل الملموس من المسؤولين في المديرية العامة للتعليم المهني بغية اعداد ملاكات فنية مدربة على استيعاب وسائل التقنية الحديثة في اعداد مناهج نظرية وعملية متوافقة مع مواصفات التخصصات الفنية المختلفة واخراج الكتاب المهني بما يتفق ومستوى الطالب في المدارس المهنية فقد بات لزاماً علينا ان نضع نصب اعيننا عند تأليف هذا الكتاب الاستيعاب الذهني للطالب في هذه المرحلة وبأسلوب مبسط خال من التعقيد دون الاخلال بالمستوى العلمي . تناولت محتويات هذا الكتاب (المبادىء الاساسية في الاتصالات) في فصوله الخمسة , الاشارات اللاسلكية المستخدمة في الاتصالات واسلوب التضمين التماثلي والرقمي والشبكات الهاتفية التماثلية والرقمية والاتصالات المتقدمة لنقل المكالمات الهاتفية والمعلومات من خلال الاقمار الصناعية ومن خلال الهاتف المحمول وتطبيقاتها .

ولا يسعنا الا ان نتقدم ببالغ شكرنا وتقديرنا للخبراء العلميين الاستاذ(سعد ابراهيم عبد الرحيم) والاستاذ (خالد عبد الله علي) والخبير اللغوي الاستاذ(صباح دريب ابراهيم) لجهودهم في أخراج الكتاب بالشكل المثالي.

اننا اذ نضع كتابنا هذا بين ايدي الجميع نتمنى ان يجد الاستحسان ونسال الله التوفيق والسداد .

المؤلفون

المحتويات

الموضوع	الصفحة
الفصل الأول: الإشارات وأنظمة الأتصالات	8
1.1المقدمة	8
2.1 مفهوم الاتصال	9
3.1 نظم الاتصالات	9
4.1عناصر منظومة الاتصالات	9
5.1 انواع نظم الاتصالات	11
6.1 تمثيل وتصنيف الإشارات	11
7.1 الأشكال الموجية	13
8.1 الفرق بين الإشارة التماثلية والإشارة الرقمية	23
9.1 البيانات (المعلومات) Data	24
10.1 وسائط نقل البيانات	26
11.1 الاخطاء التي تحدث في الاشارة	27
12.1 الموجات الكهرومغناطيسية	29
13.1 النطاق الزمني والنطاق الترددي	32
14.1 الطرق الرياضية والأدوات المستعملة في تحليل الإشارات	34
15.1 عرض الحزمة	36
16.1 متسلسلة فوريير	38
17.1 المرشحات	39
18.1 مولد الإشارات الدورية	47
أسئلة الفصل الأول	49
الفصل الثاني: الأتصالات التماثلية	51
1.2 المقدمة	52

2.2 مفهوم التضمين	53
3.2 أنواع التضمين	54
4.2 أسباب اللجوء إلى التضمين	55
5.2 تضمين السعة	56
6.2 التضمين الزاوي	77
7.2 مقارنة بين أنظمة التضمين التماثلي	88
أسئلة الفصل الثاني	89
الفصل الثالث: الأتصالات الرقمية	91
1.3 المقدمة	92
2.3 التضمين فى الاتصالات الرقمية	93
3.3 نظرية أخذ العينات	93
4.3 التضمين النبضي	97
5.3 التضمين الرقمي	107
اسئلة الفصل الثالث	119
الفصل الرابع: الشبكات الهاتفية	121
1.4 المقدمة	122
2.4 شبكة الهاتف القديمة	123
3.4 كيف تعمل شبكة الهاتف الحالية	126
4.4 مكونات الشبكة الهاتفية	127
5.4 شبكة الهواتف الارضية (السلكية) PSTN	141
6.4 تطبيقات شبكة الهاتف	145
7.4 منظومة التراسل	150
8.4 ربط اتصالات الميكروويف	152
9.4 منظومة الإرسال المايكروي	155
اسئلة الفصل الرابع	157

الفصل الخامس: الاتصالات الرقمية المتقدمة	158
1.5 استخدام التقنيات الرقمية في الاتصالات	158
2.5 الاتصالات عبرالاقمار الصناعية	158
3.5 شبكات الهاتف المحمول (النقال)	172
اسئلة الفصل الخامس	196
المصادر	198

الفصل الاول

الاشارات ونظم الاتصالات

الاهداف الخاصة

أن يكون الطالب قادرا على أن :

1. **يتعرف على مفهوم وعناصر منظومة الاتصال .**
2. **يتعرف على أنواع الاشارات ومصادرها .**
3. **يتعرف على قنوات الاتصالات الرقمية وانماط الاتصال .**
4. **يتعرف على الموجات الكهرومغناطيسية .**
5. **يتعرف على طرق تحليل الاشارات .**
6. **يتعرف على المرشحات وأنواعها .**
7. **يتعرف على طرق توليد الاشارات .**

الفصل الاول

الاشارات ونظم الاتصالات

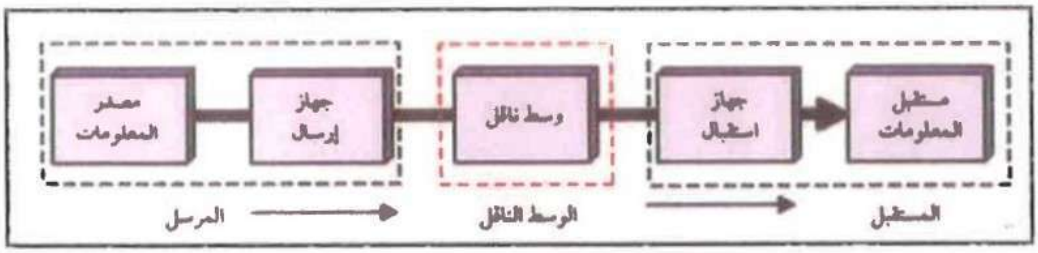
1.1 المقدمة

أن كلمة اتصالات Communication تعنى اتصال طرفين معا احدهما مرسل Transmitter والاخر مستقبل Receiver وبينهما الوسط الناقل للاتصالات . لقد بدأت نظم الاتصالات فى القرن الثامن عشر بداية بالتلغراف وبعد ذلك بعدة سنوات استخدم الهاتف فى بدايات القرن التاسع عشر وكنتيجة للحرب العالمية الثانية ولحاجة الجيوش للاتصالات فيما بينهم واهتمام الدول بالابحاث ظهر تطور كبير فى وسائل الاتصالات وكان لاكتشاف الانابيب المفرغة (الصمامات) واستخدامها فى تكبير الاشارات الصوتية الفضل فى امكانية نقل الاشارات التلفونية عبر الاسلاك الى مسافات بعيدة كما ظهرت الاتصالات الاسلكية (اتصالات الراديو) وعند ظهور اشباه الموصلات واختراع الترانزستور والدوائر المتكاملة integrated (IC- circuit) وظهور الاقمار الصناعية Satellites واستخدامها فى الاتصالات . ومع ظهور الالياف الضوئية Fiber optics وظهور الحاسب الالى وشبكة الانترنيت ادى كل ذلك الى اعطاء دفعة كبيرة جدا لنظم الاتصالات مما ادى الى ان اصبح العالم كله كقرية واحدة تنتقل بها الاحداث بالصوت والصورة .

وتقوم نظم الاتصالات الحديثة بالعديد من الوظائف تشمل تصنيف ومعالجة البيانات والمعلومات وموائمتها مع نظم الارسال لاتمام عملية الارسال .

2.1 مفهوم الاتصال

المكونات الأساسية لنظام الاتصال هي : (مرسل - وسط ناقل - مستقبل) ، الشكل (1-1) يوضح مخططا للمكونات الأساسية لأي نظام اتصالات.



الشكل (1-1) مخطط عام لنظام الاتصالات

الاتصال هو العملية التي يتم فيها نقل أو تحويل معلومات من موقع يسمى المصدر (Source) إلى موقع آخر يسمى المقصد (Destination).

وتوجد أنواع عدة من طرق الاتصال مثل :

1. الاتصال بين الفرد و الآخر كما هو الحال في حالة المخاطبة المباشرة أو عبر الهاتف.
2. الاتصال بين الفرد و الآلة مثل التحكم والتشغيل للآلات بوساطة الصوت أو في حالات التخاطب مع الإنسان الآلي (الروبوت Robot).
3. الاتصال بين الآلة والأخرى مثل الاتصال بين أجهزة الحاسوب.

3.1 نظم الاتصالات Communication Systems

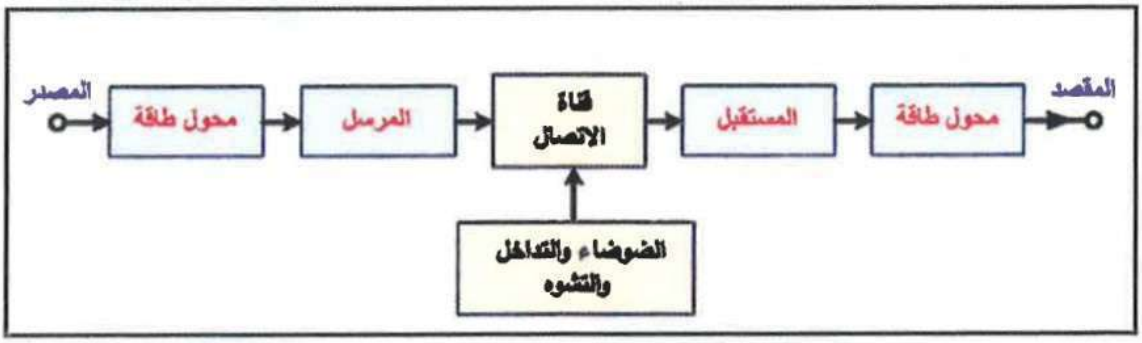
قبل الحديث عن نظم الاتصالات يجب التعرف على المصطلحات الفنية المختلفة المستخدمة في انظمة الاتصالات مثل الاشارات وقنوات الاتصال والضوضاء والتشويه الحاصل بالاشارات وكيفية التغلب عليها .

ان منظومات الاتصال هي الأساليب التي تسهل عملية نقل المعلومات أو البيانات من المصدر إلى المستقبل (المقصد) , ومنظومات الاتصالات الإلكترونية هي التي تحقق هذه الغاية باستخدام الأجهزة والمكونات الكهربائية والإلكترونية والغاية من هذه المنظومات الحصول على معلومات عند المستقبل بصورة مقبولة ومطابقة للمعلومات الصادرة من المصدر. والشكل (1-2) يوضح مخطط عام لمنظومة الاتصال.

الشكل (1-2) منظومة الاتصال

4.1 عناصر منظومة الاتصالات

الشكل (1-3) يوضح مخططا صندوقيا للعناصر الأساسية لمنظومة الاتصال .



الشكل (1-3) مخطط صندوقي لمنظومة اتصال

أ- المعلومات information:

اي نظام اتصالات يجب ان يحقق نقل الرسالة من المرسل الى المستقبل وتاتى الرسالة من مصدر المعلومات قد تكون معلومات صوت او صورة او بيانات يتم تحويلها الى تغيرات كهربائية بصورة تماثلية او رقمية ويمكن ارسالها عبر اسلاك مباشرة في حالة ارسال اشارة واحدة على خط الاتصال ولكن فى حالة ارسال اكثرمن رسالة او محادثة على الخط الواحد او اتمام نظام الاتصال لاسلكيا فانه يجب اجراء عملية تعديل (تضمين) modulation فى المرسل , والتي هى عملية تحميل اشارة المعلومات على موجة حاملة carrier ذات تردد عالى والتى سيتم التطرق اليها فى الفصل الثاني .

ب- المصدر Source :

هو مصدر المعلومات أو البيانات المراد إرسالها و قد يكون فردا او آلة و يمكن لهذه المعلومات أن تكون على هيئة عدة أشكال مثل :

- الضغط السمعي الناتج من الكلام أوالموسيقى.
- التغير في الحرارة والضغط والرطوبة في الجو الخارجي.
- شدة الإضاءة والوان الصور والمناظر.
- الرموز أو الحروف المتتابعة كما في حالة الكلمات المكتوبة المراد إرسالها.

ت- محول طاقة Transducer:

هو جهاز الكتروني يقوم بتحويل الطاقة من شكل إلى آخر، إذ يقوم بتحويل مختلف أشكال الإشارات غير الكهربائية إلى إشارات كهربائية ليتم معالجتها ونقلها من قبل الأجهزة الإلكترونية وكذلك تحويل الإشارات الكهربائية المعالجة إلى شكلها الأصلي غير الكهربائي. يستخدم محول الطاقة عند دخل منظومة الاتصال كما موضح في الشكل (1- 3) ليقوم بتحويل المعلومات المراد إرسالها إلى إشارات كهربائية على هيئة فولتية أو تيار. لأن المعلومات الصادرة من المصدر ليست في شكل إشارات كهربائية لذا يتم تحويل شكلها إلى إشارة كهربائية يمكن إرسالها عبر منظومة الإرسال الإلكترونية. من أمثلة هذه المحولات المايكروفونات والسماعات المستخدمة في أنظمة الاتصالات وفي الحواسيب تستخدم لوحات المفاتيح والفأرات والماسحات الضوئية والطابعات والشاشات كمحولات دخل وخرج لمختلف إشارات المعلومات.

ح- المرسل Transmitter:

يتكون المرسل من المذبذب والمضمن و المضخمات والمرشحات والهوائي . وظيفته الرئيسة تجهيز الإشارات الكهربائية الصادرة من محول الطاقة لتكون مناسبة للإرسال عبر قناة الاتصال المستخدمة

ويقوم بعدة عمليات لتجهيز الإشارات مثل التضمين و التضخيم (التكبير) amplification والخلط (المزج) mixer والترشيح filter .

ج- قناة الاتصال Communication Channel :

تعد قناة الاتصال وسيلة الربط بين المرسل والمستقبل و يمكن أن تكون سلكية أو لاسلكية.

د- المستقبل Receiver :

وظيفته استخلاص إشارة المعلومات الواردة من المرسل وتسليمها إلى محول الطاقة بخرج المنظومة الذي يحول هذه الإشارات إلى الصورة الأصلية التي كانت عليها المعلومات عند الإرسال , والمكونات الأساسية للمستقبل هي أجهزة الاستقبال ودوائر التنغيم tuning والمرشحات والمضخمات.

5.1 المؤثرات

الإشارات المرسلة عبر قناة الاتصال تتعرض لعدة مؤثرات وهي التوهين ، التشوه , التداخل ، والضجيج أو الضوضاء , وفيما يأتي وصف موجز لهذه المؤثرات:

أ - التوهين Attenuation:

هوعملية تناقص قوة الإشارة المرسلة ويزداد بازدياد طول قناة الإرسال وبازدياد تردد الإرسال المستخدم وتستخدم المضخمات للتغلب على عملية التوهين وإرجاع قدرة الإشارة إلى مستواها المقبول.

ب-التشوه Distortion:

هو عملية تغيير لشكل الإشارة المرسلة بسبب عدم الاستجابة الصحيحة للمنظومة للإشارة الداخلة لها ويتلاشى التشوه بمجرد اختفاء الإشارة الداخلة للمنظومة.

ت- التداخل Interference:

هو عملية تأثير خارجي ناتج من إشارات خارجية من صنع الإنسان شكلها مشابه للإشارة المرسلة وهذه الإشارات الخارجية تتداخل مع الإشارة المرسلة بما يؤثر على جودة ووضوح الاستقبال , هذه المشكلة شائعة في البث الإذاعي إذ يحدث أحيانا استقبال إشارتين أو أكثر في الوقت نفسه عند المستقبل.

ح- الضجيج أو الضوضاء Noise :

هو إشارات كهربائية عشوائية ناتجة من الإنسان أو من مسببات طبيعية بداخل وخارج المنظومة, الضجيج الكهربائي لا يمكن التخلص منه بشكل نهائي لذا لابد من تصميم منظومة الاتصالات بحيث تحقق جودة الاستقبال المطلوبة بما يضمن التغلب على تأثير الضجيج على هذه المنظومة.

6.1 تمثيل وتصنيف الإشارات

الإشارة (Signal) هي أي مؤثر ينتشر في وسط مرن (Elastic Medium) يسبب تغيرا مؤقتا في حالة هذا الوسط. مثل الإشارة الصوتية التي تنتشر في الهواء عن طريق تسببها بسلسلة من الانضغاطات

والتخلخلات في الهواء تؤدي إلى نقل الصوت. مثال آخر عن الإشارات هو الإشارات الكهرومغناطيسية (Electromagnetic Signals) وهي عبارة عن مجال كهربائي متعامد على مجال مغناطيسي.

وفيما يأتي توضيح لبعض المصطلحات ذات العلاقة بالإشارات تشمل :

أ- الإشارة:

الإشارة يمكن أن تأخذ معان عدة حسب مجال الاستخدام ، وفي الاتصالات المقصود بها الإشارة الكهربائية . وهي كمية متغيرة مع الزمن وتمثل فولتية أو تيار أو كلاهما ويمكنها حمل البيانات ونقل المعلومات.

ب- الشكل الموجي:

الرسم البياني للدالة الذي يمثل الموجة الذي يعبر عن كمية متغيرة مع الزمن و تمثل فولتية أو تيار أو كلاهما .

ت- إشارة محددة :

هي الإشارة المحددة الحدوث والتي يمكن معرفة كميتها عند أي زمن أثناء قياسها أو إجراء حسابات عليها.

ث- إشارة عشوائية :

هي الإشارة الغير محددة الحدوث إذ أن كميتها غير معروفة عند أي زمن أثناء قياسها أو إجراء حسابات عليها وبدلا من ذلك نستخدم الكميات الاحتمالية.

ج- إشارة مضمنة :

هي إشارة تجمع بين إشارتين في إحدى صور التضمين مثل تضمين الأتساع أو تضمين التردد (الذي سيتم شرحه في الفصول القادمة).

ح- إشارة معلوماتية:

عبارة عن إشارة بشكل موجي محدد تمثل مصدر معلومات.

خ- إشارة دورية:

هي الإشارة التي يكون لها الكمية نفسها بعد دورة زمنية أو عدد صحيح من الدورات.

د- الدورة والتردد:

الدورة هي الزمن الذي يمضي عند قياس إشارة بين نقطة ما وتكرارها بعد زمن دورة كاملة , ويعرف التردد على أنه مقلوب الدورة.

ذ- السعة والطور:

هي مقدار كمية الإشارة سواء كانت تيارا أو فولتية , ويعرف الطور على أنه أتجاه كمية الإشارة السعة

بأعتبار أن الإشارة متجه , وهي الزاوية التي تصنعها الكمية مع الزاوية صفر وبأتجاه عكس عقارب الساعة.

ر- القدرة والطاقة Power and Energy :

القدرة الكهربائية تقاس بوحدات الواط وهي حاصل ضرب التيار والفولتية (I x V), وتكون الطاقة عبارة عن المساحة تحت منحنى القدرة بالنسبة الزمن و أن الطاقة الكهربائية تقاس (واط . ثانية).

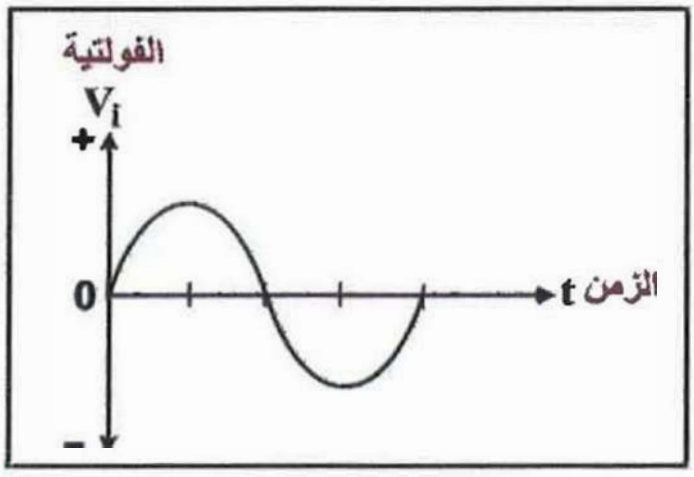
7.1 الأشكال الموجية Waveforms

الدوائر الإلكترونية التي تستخدم لتوليد الإشارات تسمى مولدات الإشارة أو المذبذبات وظيفتها الأساسية توليد إشارات في شكل الجيب ذات تردد ثابت ومحدد دون وجود إشارة على مداخلها ويتم ذلك باستخدام مبدأ التغذية الراجعة الموجبة . و أحيانا نحتاج إلى أنواع مختلفة من الأشكال الموجية للإشارات مثل المربعة والمستطيلة والمثلثة وأسنان المنشار . هذه الأنواع يمكن استخدامها كإشارات توقيت Timing وإشارات ساعة Clock أو نبضات إشعال Trigger .

قبل أن نبدأ في كيفية توليد الأنواع المختلفة من الأشكال الموجية نحتاج في البداية إلى التعرف على الخواص الأساسية للأشكال الموجية الكهربائية التي تعد تمثيلا مرئيا للتغيير في الفولتية أو التيار مع مرور الزمن.

1.7.1 الشكل الموجي للإشارة

الشكل الموجي (Waveform) هو شكل وهيئة الإشارة التي تنتشر بشكل موجة ، فمثلاً الشكل الموجي للفولتية يرينا الزمن على المحور الأفقي والفولتية على المحور العمودي. كما موضح في الشكل (1- 4) .



الشكل (1- 4) الشكل الموجي للفولتية

يمكن تقسيم الأنواع المختلفة من الأشكال الموجية إلى مجموعتين كما يأتي :

أ- الأشكال الموجية أحادية الاتجاه:

هذه الأشكال تكون أما موجبة أو سالبة وتمر في اتجاه أمامي فقط. مثل الموجة المربعة.

ب- الأشكال الموجية ثنائية الاتجاه Bi-directional Waveforms:

تسمى أيضا الأشكال الموجية المترددة لأنها تتردد من الاتجاه الموجب إلى الاتجاه السالب. مثل الموجة الجيبية.

2.7.1 خصائص الاشكال الموجية

لأشكال الموجية الكهربائية لها الخواص المشتركة الآتية:

أ- الفترة (الزمن الدوري T) Time period:

الفترة هي الزمن الذي يستغرقه الشكل الموجى لتكرار نفسه من البداية إلى النهاية ويقاس بالثواني وتسمى أيضا بالزمن الدوري (T) (Periodic Time) للموجة الجيبية , وعرض النبضة (pulse width) للموجة المربعة.

ب- التردد (F) Frequency :

التردد هو قياس عدد مرات تكرار الشكل الموجى لنفسه خلال فترة زمنية قدرها واحد ثانية . التردد معكوس الزمن الدوري ($f = 1/T$) ويقاس بوحدة الهيرتز (Hz) (Hertz).

العلاقة بين التردد والزمن الدوري هي :

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{and} \quad T = \frac{1}{f}$$

ت- السعة (A) Amplitude:

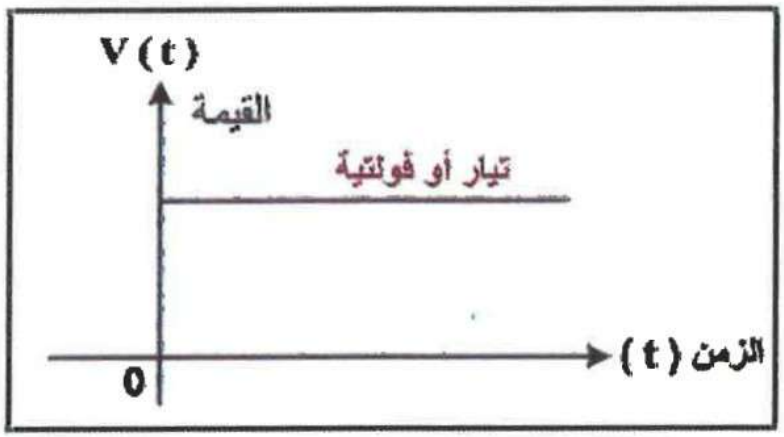
وهي مقدار أو شدة إشارة الشكل الموجى وتقاس بالفولت أو الأمبير.

3.7.1 أنواع الإشارات

عندما يتم إرسال البيانات أو الإشارات عبر قنوات الاتصال فإنها ترسل على هيئة إشارات كهربائية تأخذ أشكالا موجية مختلفة. وأكثر أنواع الإشارات في مجال الاتصالات هي:

أ- إشارة التيار المستمر DC signal :

هي إشارة (تيار أو فولتية) بقيمة ثابتة تستمر بالقيمة نفسها بمرور الزمن، تردد هذه الإشارة يساوي صفر، يمكن الحصول عليها من خلال بطارية أو مولد تيار مستمر. الشكل (1- 5) يوضح هذا النوع من الإشارة .



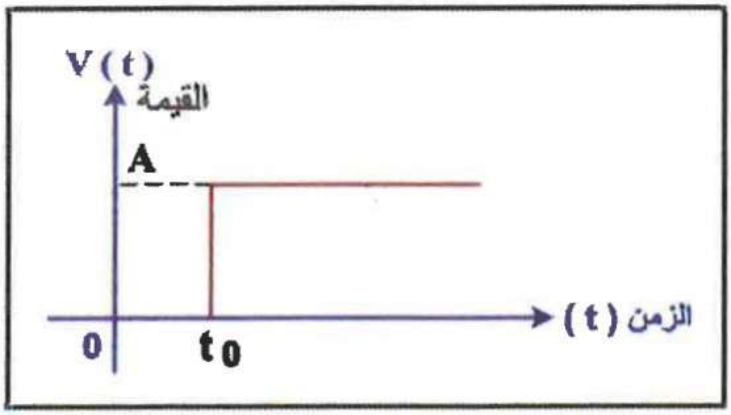
الشكل (1- 5) إشارة التيار أو الفولتية

ويمكن التعبير عنها رياضيا بالمعادلة الآتية:

$$V(t) = V \quad \text{or} \quad I(t) = I$$

ب-إشارة دالة الخطوة Step Function :

وهي إشارة تتغير قيمتها من صفر إلى قيمة معينة عند زمن محدد مثل (t_0) وتستمر هذه القيمة بعدها ثابتة ويمكن أن يأخذ هذا الزمن المحدد (t_0) أي قيمة . سميت إشارة الخطوة (الدرجة) بهذا الاسم لأن شكلها مشابه للدرجة (وهوخطوة) كما موضح في الشكل (1- 6).



الشكل (1- 6) إشارة دالة الخطوة

يمكن الحصول على إشارة دالة الخطوة بتوصيل بطارية إلى مقاومة عن طريق مفتاح يحدد زمن الإشارة (بدء الخطوة) ، دالة الخطوة تتولد عندما يتم الانتقال من حالة إلى حالة أخرى والزمن الذي يحدث فيه الانتقال (t_0) هو زمن بدء الخطوة.

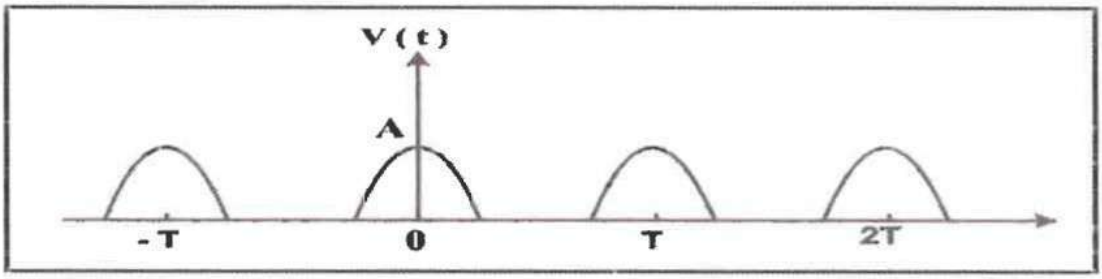
ت- الإشارة الدورية Periodic Signal :

الإشارة الجيبية أكثر أنواع الإشارات استخداما وهي إشارة دورية. الشكل (1-7) يوضح شكل الإشارة الدورية الشكل الموجي للتيار المتناوب (AC) مثلا هو موجة جيبية Sine Wave تتناوب باستمرار بين قيمة الحد الأعلى وقيمة الحد الأدنى مع مرور الزمن. الزمن الذي يستغرقه الشكل الموجى لتكرار نفسه يسمى فترة (Period) تعتمد على تردد الشكل الموجى كما ذكرنا. يمكن تمثيل الإشارة الدورية رياضيا كما ياتي :

$$V(t) = V(t + T)$$

إذ أن : V(t) دالة الإشارة .

T زمن الدورة الواحدة .



الشكل (1-7) الإشارة الدورية

ث- الإشارة الجيبية Sinusoidal signal :

وحدات الزمن الدوري (T) تتضمن : الثانية (s) والملي ثانية (ms) والمايكرو ثانية (μs) للشكل الموجى لموجة الجيب فقط . يمكننا التعبير عن الزمن الدوري أما بالدرجات أو بالدرجات الدائرية , علما أن الدورة الكاملة تساوى 360^o .

($T = 360^o$) أو بالدائري ($T = 2\pi$) عندئذ يمكننا القول 2π radians $= 360^o$.عرفنا أن الزمن الذي يستغرقه الشكل الموجى ليكرر نفسه يعرف بالزمن الدوري أو الفترة والتي تمثل كمية ثابتة من الزمن . إذا أخذنا معكوس الزمن الدوري (1 / T) نحصل على القيمة التي تمثل عدد الدورات لكل ثانية , وهو ما يسمى بالتردد.

الشكل (1- 8) يوضح نموذجا لإشارة جيبية ، هذه الإشارة تمثل بالمعادلة الآتية :

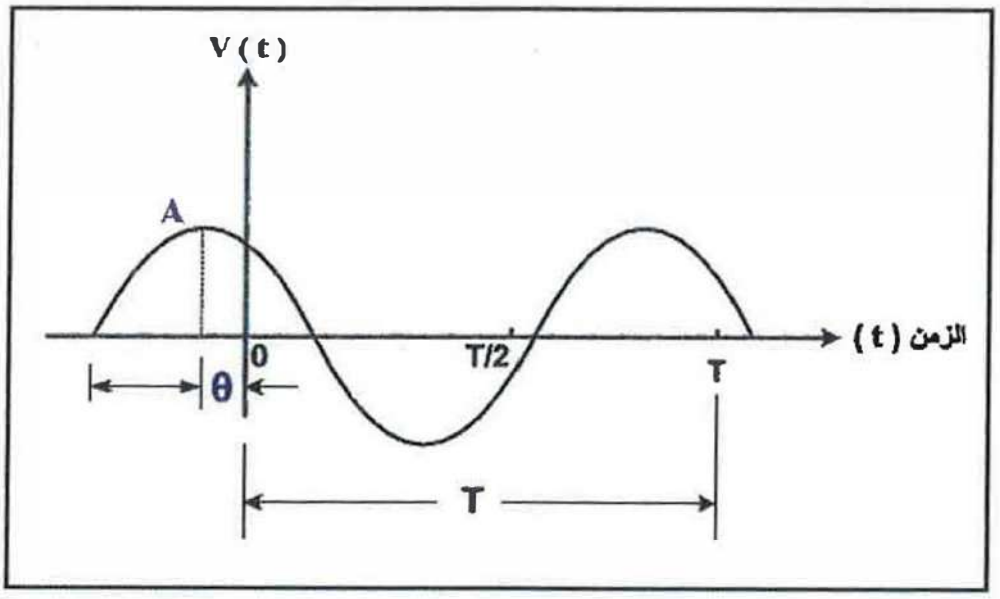
$$V(t) = A \sin(\omega t + \theta)$$

حيث أن :

A : القيمة العظمى.

ω : التردد الزاوي.

θ : زاوية الطور.

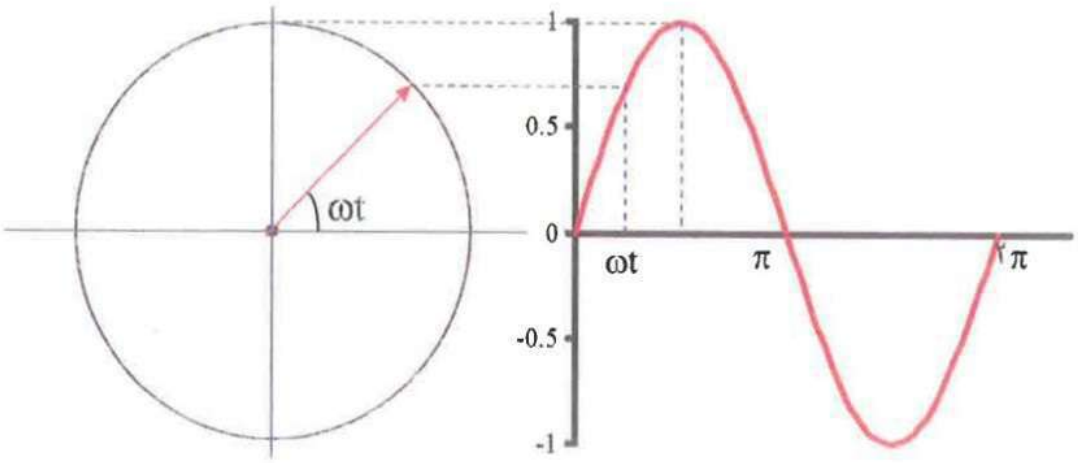


الشكل (1- 8) إشارة جيبية

يعرف التردد الزاوي ω , بمقدار الزاوية المقطوعة في الثانية الواحدة , يحسب التردد الزاوي من العلاقة التالية:

$$\omega = 2 \pi f$$

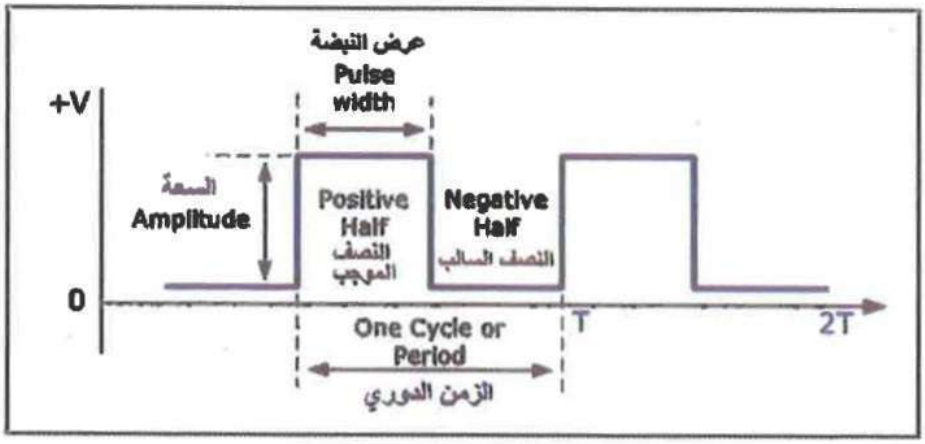
يقاس التردد الزاوي بوحدة rad/s زاوية نصف قطرية لكل ثانية واحدة. يمكن تحويل قيمة الزاوية من الدرجة الى rad / s وذلك بضرب الزاوية بمقدار $\frac{\pi}{180}$ اما اذا اريد العكس فانها تضرب بمقدار $\frac{180}{\pi}$. كما موضح بالشكل (1-9) . فلو نظرنا إلى الموجة الجيبية لوجدنا انها تناظر حركة دائرية. طبعاً هناك 360 درجة في الدائرة. إذا ان دورة واحدة من الموجة الجيبية تحتوي على 360 درجة كما هـو موضح بالشكل (1-9) .



الشكل (1-9) التمثيل الاتجاهي للموجة الجيبية

ج- الإشارة المربعة Square Signal :

هي إشارة متماثلة في الشكل لأن كل نصف دورة متماثل بفترات ثابتة وبشكل مربع ،الزمن الذي يكون فيه عرض النبضة موجب يكون مساوي للزمن الذي يكون فيه عرض النبضة سالب أو صفر. وتكون حادة والجانبين رأسيين تقريبا صعودا ونزولا مع قمة وقاع مسطحة لتكون الشكل الموجي المربع، كما هو موضح في الشكل (1-10) .



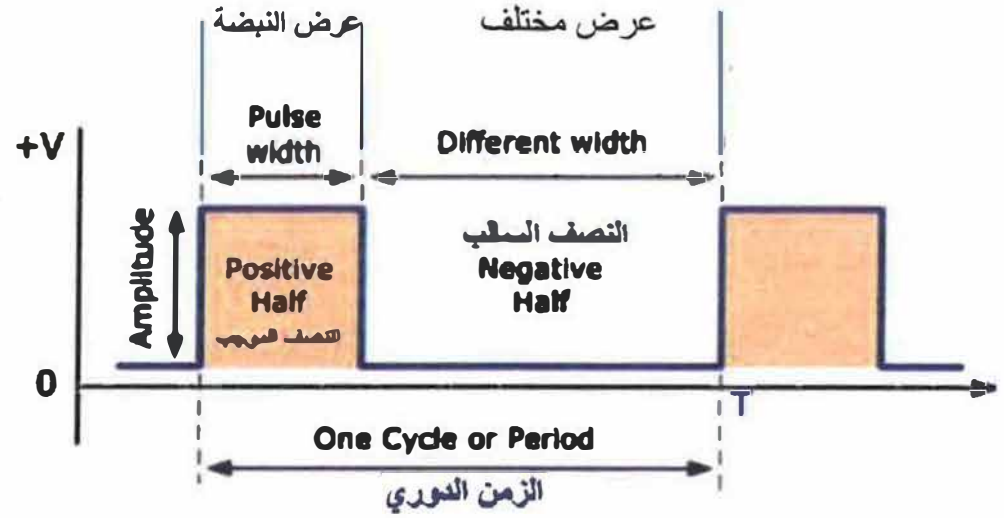
الشكل (1- 10) الإشارة المربعة

تستخدم الإشارة المربعة بكثرة في الدوائر الإلكترونية المستخدمة في الراديو والتلفاز والحاسوب كإشارات توقيت.

ح- الإشارة المستطيلة Rectangular Signal:

هي إشارة دورية ذات نبضات بشكل مستطيل يتم التحكم في شكل الموجة بوساطة سعة النبضة (A) ومدتها زمن الدورة (T) . الإشارة المستطيلة تشبه الإشارة المربعة , الفرق بينهما هو عرضي النبضة للإشارة يكون غير متساوي في الفترة الزمنية . كما هو موضح في الشكل (1-11).

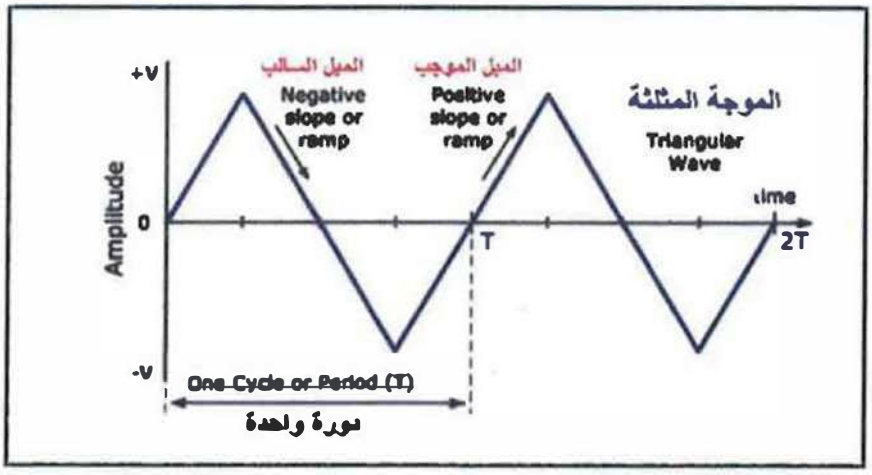
الشكل (1-11) يبين أن عرض النبضة الموجب أقصر في الزمن من عرض النبضة السالب ويمكن أن يكون عرض النبضة السالب أقصر من عرض النبضة الموجب وكلاهما إشارة مستطيلة.



الشكل (1-11) إشارة مستطيلة

خ- الإشارة المثلثة Triangular Signal :

الإشارة المثلثة تكون ثنائية الاتجاه غير جيبية تتذبذب بين قمة موجبة وقمة سالبة . وهي عبارة عن شكل موجي متماثل منحدر خطيا (linear ramp) بطيء الصعود والهبوط عند تردد ثابت . المعدل الذي تتغير فيه الفولتية بين كل اتجاه انحدار متساوي خلال كل من نصفي الدورة كما موضح في الشكل (1-12)

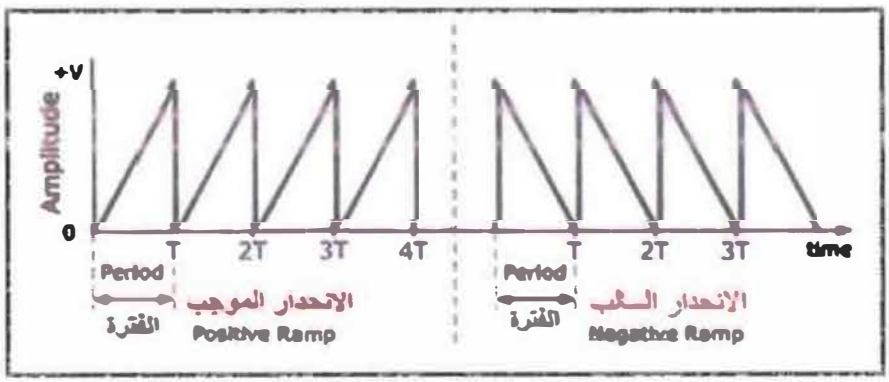


الشكل (1- 12) الإشارة المثلثة

في الإشارات المثلثة يكون الانحدار (الميل) الموجب (الصاعد) للإشارة المثلثة له الفترة الزمنية نفسها للانحدار السالب (الهبوط) ليعطى شكل موجي مثلثي.

د- إشارة أسنان المنشار Sawtooth Signal :

إشارة أسنان المنشار هي شكل آخر للإشارة المثلثية ، الشكل الموجي لإشارة سن المنشار يكون صورة مرآة (عاكسة) لنفسها عن طريق اما ارتفاع بطيء وهبوط حاد , أو ارتفاع حاد وهبوط بطيء، كماهوموضح في الشكل (1- 13) . يستخدم هذا النوع الإشارات لأغراض التحكم.

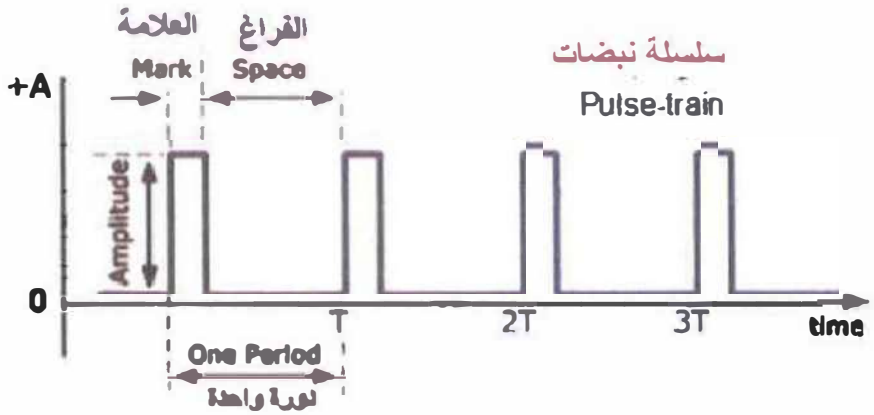


الشكل (1- 13) إشارة أسنان المنشار

ذ- نبضات التشغيل (القدح) Pulses Triggers :

نبضات القدح والنبضات عبارة عن اشكال موجية منفصلة ، نبضة القدح تكون إما موجبة أو سالبة في الاتجاه في حين أن النبضة تكون موجبة الاتجاه فقط.

الإشارة النبضية أو (سلسلة النبضات) تشبه الإشارة المستطيلة الذي تناولناها سابقا وهي نوع من الإشارات الغير جيبية ، الفرق بينهما بان شكل النبضة يتم تحديده عن طريق النسبة بين العلامة والفراغ للفترة. نبضة القدح تكون جزء العلامة للإشارة قصير مع ارتفاع وانخفاض سريع كما موضح في الشكل (1-14).

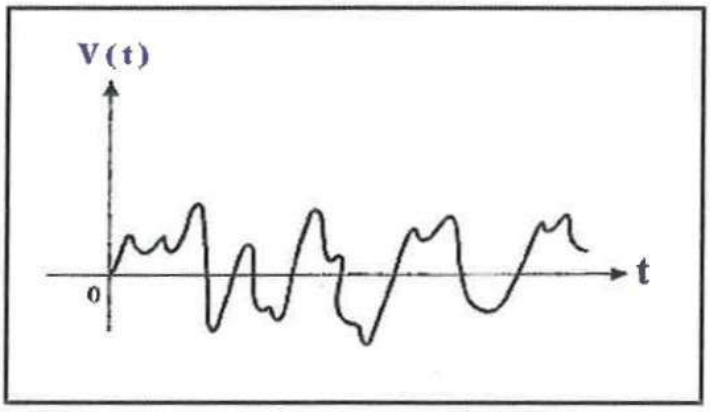


الشكل (1- 14) سلسلة نبضات

إشارة النبضة (pulse) لها نسبة علامة للفراغ مختلفة مقارنة بإشارة الموجة المربعة ذات التردد المرتفع أو الشكل المستطيل . الغرض من النبضة ونبضة الإشعال هو الحصول على إشارة قصيرة للتحكم في زمن حدوث شيء ما على سبيل المثال لبدء عمل المؤقت (Timer) أو العداد (Counter) أو المذبذب المتعدد أحادى الاستقرار monostable multivibrator .

ر-الإشارة العشوائية Random Signal :

الإشارة العشوائية لها شكل موجي عشوائي من مصدر الإشارة ، الشكل (1-15) يوضح شكل الإشارة العشوائية. مثال الإشارة العشوائية هو (إشارة جاوس) , اثناء معالجة الاشارة يكون الضجيج الابيض (white noise) وهوعبارة عن اشارة عشوائية بشكل مستوى وكثافة قدرة الطيف ثابتة وبمعنى اخر فأن الاشارة التى تحتوى على قدرة متساوية مع اى حزمة تردد وبعرض ثابت . هذه الاشارات تستخدم في الاتصالات, الفيزياء , هندسة الصوت وتنبأ النشرة الجوية .



الشكل (1- 15) إشارة عشوائية

4.7.1 تصنيف الإشارات

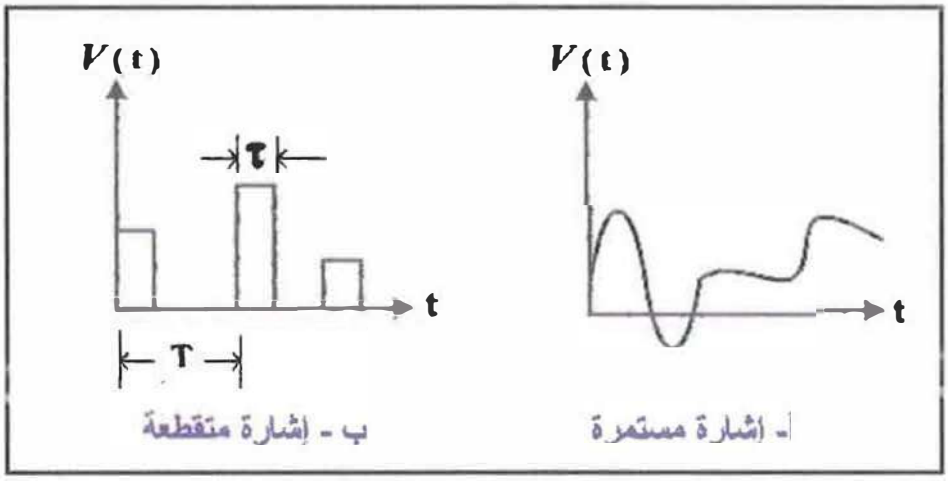
الطرق الأساسية لتمثيل وتصنيف الإشارات تعتمد على نوع الإشارة المستخدمة ونوعية الاستخدام وفيما يأتي بعض التصنيفات الأساسية الأكثر استخداما في مجال الاتصالات:

أ- الإشارات المستمرة والإشارات المتقطعة Continuous and Discrete signals :

الإشارة المستمرة أو إشارة الزمن المستمر تحدث في فترة زمنية مستمرة ولها قيم مستمرة خلال هذه الفترة أي هناك قيمة للإشارة في أي لحظة من الزمن. مثل إشارة الموجة الجيبية .

أما الإشارة المتقطعة Discrete signal فهي إشارة تحدث في فترات زمنية متباعدة وتأخذ قيما ثابتة أو متغيرة مثل إشارة النبضات الدورية. على عكس الإشارة المستمرة تكون الإشارة المتقطعة غير مرتبطة بالزمن وتكون عبارة عن كميات متقطعة وكل كمية منفصلة لها قيمة معينة. وتستخدم هذه الإشارة في

الأجهزة الالكترونية من اجل تفادى التشويش الذي يحدث بسبب الإشارة المستمرة. والشكل (1- 16) يوضح أمثلة للإشارات المستمرة والمتقطعة.



الشكل (1 - 16) اشارة مستمرة واشارة متقطعة

ب- إشارات دورية و إشارات غير دورية :

الإشارة الدورية كما سبق تعريفها هي التي تعيد نفسها بعد كل فترة زمنية ثابتة مثل الموجات المربعة والمثلثة, فالإشارة V(t) هي دورية إذا وجد عدد بقيمة T من الزمن يحقق المعادلة الآتية :

$$V(t+T) = V(t) \quad \text{لكل قيم } (t)$$

واصغر عدد موجب (T) الذي يحقق المعادلة يسمى الدورة التي تحدد مدة واحدة للإشارة V(t). والإشارات التي لا يمكن إيجاد قيمة للعدد (T) الذي يحقق المعادلة أعلاه تسمى إشارات غير دورية.

ت- اشارات محددة و اشارات عشوائية:

الإشارة المحددة كما سبق تعريفها هي الإشارة التي لا يوجد غموض في قيمتها ويمكن التعبير عن هذه الإشارات رياضيا.

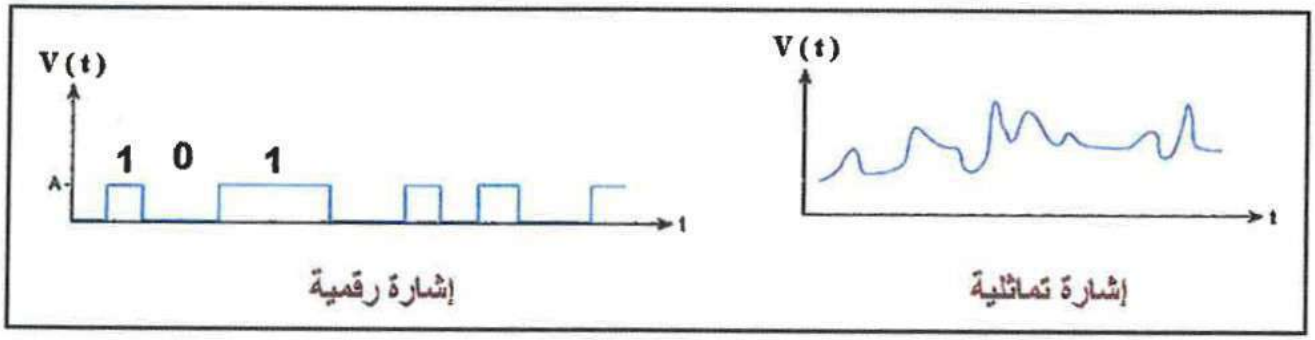
والإشارات العشوائية هي الإشارة التي يوجد غموض من شكلها قبل حدوثها ، هذا النوع من الإشارة تابع لعدد من الإشارات المختلفة ويتم توليد إشارة من هذه الإشارات عشوائيا و لا يمكن معرفة نوع الإشارة قبل حدوثها ويمكن أن تكون إحدى هذه الإشارات معرفة ومحددة مثل إشارة جيبية بتردد ثابت ولكن بطور غير معروف وعند اختيار إشارة أخرى من هذه الإشارات لا يمكن التأكد من قيمة طور هذه الإشارة .أي أن القيمة أو السعة المستقبلية للإشارة العشوائية لا يمكن معرفتها حتى وان تم معرفة القيم السابقة لها.

ث- إشارات طاقة أو إشارات قدرة:

إشارة طاقة هي إشارة تشبه النبضة من حيث أنها تحدث لفترة زمنية محدودة والجزء الأكبر من طاقتها يتركز في فترة زمنية محدودة.

ح- إشارات تماثلية وإشارات رقمية :

الإشارة التماثلية أو التناظرية (Analog signal) هي إشارة مستمرة في قيمتها خلال فترة زمنية محددة أو فترة زمنية مستمرة أي تمتلك قيما مختلفة مع الزمن كما موضح في الشكل (1-17) مثل الإشارة الجيبية وإشارة النبضة ويمكن استخدام الإشارة التماثلية لنقل أية نوع من المعلومات.الاتصالات عبر الأنظمة التماثلية اقل جودة من الاتصالات الرقمية.وبالنسبة للإشارات الرقمية فهي الإشارات التي يمكن أن تأخذ سعتها خلال فترة زمنية معينة قيمة واحدة من مجموعة القيم المحددة لها وكل من هذه القيم يمكن التعبير عنها رقميا بأعداد ثنائية ، مثلا الإشارة الرقمية الثنائية خلال فترة زمنية معينة تعبرعن قيمتين هما (0 أو1) .



الشكل (1-17) إشارة تماثلية وإشارة رقمية

8.1 الفرق بين الإشارة التماثلية والإشارة الرقمية

1- الفرق الأساسي بين الإشارتين هو مدى تأثر كل منهما بالتشويش Noise إذ أن التشويش يؤثر أكثر على الإشارة التماثلية بسبب طبيعتها الموجية كما يصعب فصله عن الإشارة كونه يندمج بها مما يؤدى إلى حدوث تشوه للإشارة.

2- الإشارة الرقمية بسبب طبيعتها لا تتأثر بالتشويش إلا بدرجة قليلة جدا .

3- الإشارة التماثلية تستهلك الحيز المتاح إذ يتم إرسالها بدون أي ضغط أما الإشارة الرقمية فيمكن ضغطها.

4- الإشارة التماثلية من الصعب حمايتها أما الإشارة الرقمية فمن السهل حمايتها .

تمتاز أنظمة الاتصالات الرقمية عن التماثلية بما يأتي:

1- الجودة والكفاءة العالية لنوعية المعلومات في المستقبل الرقمي.

2- تمتاز بفاعلية واستقرارية ووثوقية بالعمل أكثر منها في الأنظمة التماثلية.

3- يكون تأثير التشويش في الأنظمة الرقمية أقل منه في الأنظمة التماثلية وذلك لوجود أنظمة تصحيح للأخطاء.

4- إمكانية دمج عدة إشارات على قناة البث الواحدة في الأنظمة الرقمية، وذلك باستخدام تقنيات الإرسال الرقمي المتعدد.

5- تعتمد الأنظمة الرقمية على تشفير البيانات وهذا يعطيها صفة الأمن والحماية، وذلك على عكس الأنظمة التماثلية.

6- تعد الأنظمة الرقمية اقتصادية مقارنة بالتماثلية.

7- أجهزة الحاسوب هي أجهزة رقمية تعتمد المعلومات التي تعالجها على الأرقام الثنائية (1) و (0) لذلك تعد الإشارات الرقمية الأفضل لإرسال بيانات الحاسوب وتستخدم معظم الشبكات الإشارات الرقمية لهذا السبب.

وأما سلبيات الأنظمة الرقمية في أنظمة الاتصالات:

1- الأنظمة الرقمية أكثر تعقيدا من الأنظمة التماثلية.

2- تحتاج الأنظمة الرقمية لعرض نطاق كبير أكثر منها في الأنظمة التماثلية.

9.1 البيانات (المعلومات) Data

البيانات: هي الكيان (Entity) أو أشياء تحمل معنى أو معلومات .

أ- أنواع البيانات (Data):

مثلما يوجد نوعين من الإشارات يوجد أيضا نوعين من البيانات (Data) ، أما بيانات رقمية Digital Data أي (1 و0) أو بيانات تماثلية Analog Data ، مثال عن البيانات الرقمية عالم الحاسوب بأكمله , أما البيانات التماثلية فهو الصوت البشري .

ب- الفرق بين مصطلحي الإشارة Signal والبيانات Data:

يجب التفريق بين البيانات أو المعلومات (Data) وبين الإشارة التي تحمل هذه المعلومات وتنقلها.

مثال : لديك جهاز هاتف الصوت الذي تتكلم به يعد بيانات وعند إرسال الصوت عبر الأسلاك فيعد هنا إشارة. كذلك ما يوجد في جهاز الحاسوب هو بيانات وعند إرسالها عبر الإنترنت أو عبر الشبكة يعد إشارة. والإشارة أو البيانات قد يكونان ذاتا قيم تماثلية أو رقمية وقد يتواجدان في نظام الاتصالات نفسه ولكل منهم تقنياته وطرق إرساله. البيانات هي التي تتواجد في الجهاز أما الإشارة فهي التي تنتشر أو تسيرفي الوسط الناقل سواء كان سلكيا أو لاسلكيا.

ت- كيفية تحويل البيانات إلى إشارات Data Conversion:

قد تكون البيانات رقمية أو تماثلية و قد تكون الإشارة رقمية أو تماثلية بهذا يصبح لدينا أربعة أنواع لتحويل البيانات ، يتم تحويل البيانات إلى إشارات كهربائية بوساطة محولات الطاقة (كما ذكرنا سابقا)، كما موضح في الشكل (1- 18) وكالآتي:

1- بيانات تماثلية - إشارة تماثلية (Analog data –Analog signal):

يمكن تحويل البيانات التماثلية مثل المكالمات الهاتفية إلى إشارة كهربائية عن طريق المايكروفون الموجود بجهاز الهاتف.

2- بيانات رقمية- إشارة تماثلية (Digital data –Analog signal):

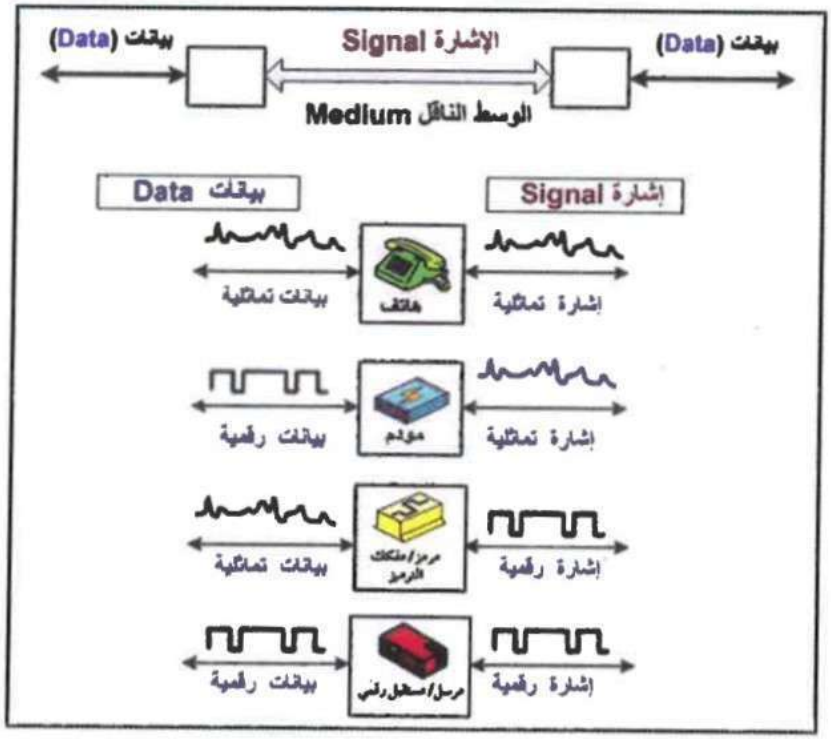
يتم تحميل البيانات الرقمية مثل الأرقام والحروف بعد تحويلها إلى إشارة كهربائية تماثلية عن طريق عمليات التعديل المختلفة باستخدام جهاز المودم.

3- بيانات تماثلية- إشارة رقمية (Analog data –Digital signal):

مثل برامج المحادثة الصوتية عبر الانترنت .

4- بيانات رقمية- إشارة رقمية (Digital data –Digital signal):

عند الضغط على لوحة المفاتيح في الحاسوب أو الآلة الحاسبة تتحول البيانات الرقمية إلى إشارة كهربائية رقمية وتستخدم في الشبكات الحاسوبية السلكية إذ يتم إرسال القيم الكهربائية التي تمثل (0) و(1) عبر القابلو الذي يربط بين الحاسوبين .



الشكل (1- 18) تحويل البيانات إلى إشارات

10.1 وسائط نقل البيانات

تنقسم وسائط نقل البيانات إلى قسمين رئيسين هما:

أ- وسائط سلكية: تكون إما أسلاك معدنية أو ألياف و توصل الكهرباء والضوء على التوالي .

ب- وسائط لاسلكية: يستخدم الغلاف الجوي كوسط إرسال لنقل الإشارة .

تستخدم الوسائط السلكية عادة في الشبكات المحلية الصغيرة أما في الشبكات الواسعة فتستخدم مجموعة من الوسائط السلكية واللاسلكية، ويمكن استخدام الوسائط اللاسلكية لتحقيق الاتصال بين أجهزة الحاسوب المحمولة والشبكات المحلية .

وأهم الوسائط المستخدمة في نقل البيانات هي:

- ❖ الأسلاك المجدولة Twisted wires .
- ❖ الكابلات المحورية Coaxial Cable .
- ❖ الموجات المتناهية الصغر Microwave .
- ❖ الأقمار الصناعية Satellite.
- ❖ الألياف الضوئية fiber optic

1- الأسلاك المجدولة Twisted wires:

تستخدم في توصيل أجهزة الهاتف من المقسم الرئيس فهي تستخدم بكثرة في المنازل والمكاتب لسهولة التركيب وهي منخفضة السعر ولكنها بطيئة في نقل البيانات يتسبب في انقطاع إرسال البيانات. لاحظ الشكل (1-19).

2- الكابلات المحورية Coaxial Cable:

تتألف من سلك نحاسي صلب محاط بغلاف خارجي من صغائر النحاس ملفوفة بطريقة خاصة تؤدي إلى سرعة نقل البيانات. لها القدرة على نقل كميات من البيانات أكبر من الأسلاك المجدولة.

3- الموجات المتناهية الصغر Micro wave :

هي موجات ذات تردد عالي جداً تستخدم لنقل المعلومات الصوتية أو الرقمية خلال شبكات خاصة للمعلومات.

4- الأقمار الصناعية Satellite :

تستخدم لنقل الصوت والصورة ونقل كميات كبيرة جداً من البيانات بشكل سريع ولمسافات متباعدة .

5- الألياف الضوئية Fiber Optic :

تستخدم في نقل البيانات لمسافات طويلة وتمتاز بصغر حجمها وقلة وزنها. ونقلها لكميات كبيرة من البيانات وبسرعة عالية .

الشكل (1-19) نماذج من وسائط نقل البيانات

11.1 الاخطاء التي تحدث في الاشارة

أ- التشويه Distortion:

يختلف التشويه عن التشويش ، فالتشويش يمثل إشارة خارجية تضاف إلى إشارة المعلومات بشكل لا إرادي مسببة تغيرا في اتساعها (بمعنى آخر: عرقلة عملية الإرسال والاستقبال) .

أما التشويه فهو تغيير غير مرغوب يحدث لإشارة المعلومات نفسها يسبب اختلافا في الاتساع أو التردد أو الطور أو يكون مركب من أكثر من عنصر منهم , و يحدث التشويه نتيجة مرور الإشارة بقناة الإرسال أو أي دائرة أخرى خلال عملية الاتصال إذ تسبب تلك الدائرة التشويه غير المرغوب عند أدائها لعملها .

ويقسم التشويه بشكل عام إلى قسمين , هما:

1- تشويه خطي (Linear Distortion):

ينتج من دائرة ذات علاقة خطية (تربط بين الإشارة الخارجة منها و الداخلة إليها) تسبب تغيرا في الاتساع أو الطور أو كلاهما ولكن لا تسبب تغيرا في التردد . وينقسم إلى قسمين:

أ- تشويه ترددي (Frequency Distortion) :

هو التغير في الاتساعات لمكونات الطيف الترددي للإشارة المرسلة (وليس في قيمة التردد نفسه) .

ب- تشويه تأخيري (Delay):

ينتج عن التغير في وقت التراسل أو التأخير للمكونات المختلفة لطيف التردد (أي تغير في الطور).

2- تشويه غير خطي Non – Linear Distortion :

ينشأ هذا التشويه بسبب دوائر ذات خصائص انتقالية (أو منحنى استجابة) غير خطية , أي أن علاقة الإشارة الخارجة من الدائرة لا تتناسب مع الإشارة الداخلة , فقد تحتوي الإشارة الخارجة على ترددات مختلفة عن الترددات الموجودة في الإشارة الداخلة , ومن الأمثلة على ذلك المازج المستخدم في عملية التضمين.

ب- الخفوت (التوهين) Attenuation:

الخفوت هو انخفاض في مستوى الإشارة نتيجة سبب أو أكثر من الأسباب الآتية :

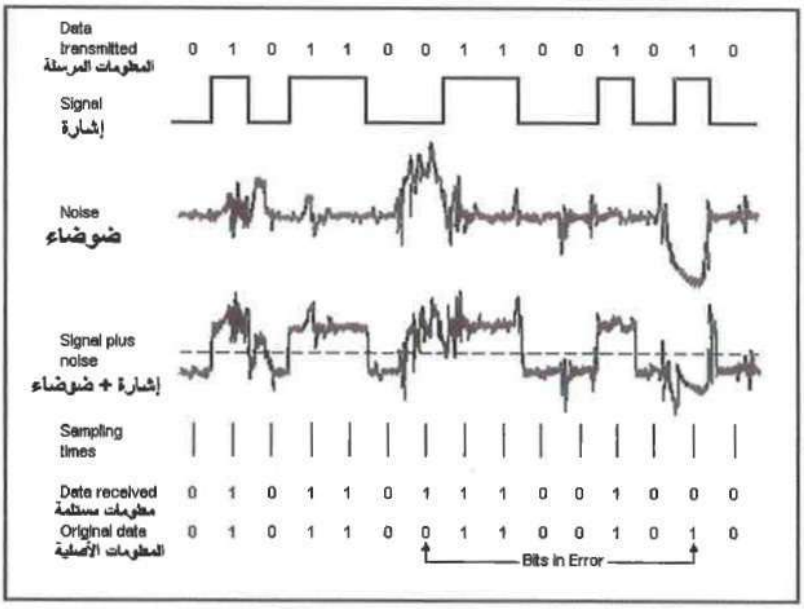
1- خفوت التداخل: الإشارة المرسلة تسلك عدة مسارات تولد عدد من الإشارات ذات أطوار مختلفة وبتداخل هذه الإشارات يحدث إضعاف لمستوى الإشارة المستلمة عند المستقبل، وقد تحدث عدة انعكاسات للإشارة المرسلة تنتج إشارة بخسارة متغيرة (خفوت في الإشارة) .

2- خفوت القدرة Power Fading: يحدث في ظروف جوية غير اعتيادية وتكون شدة الخفوت أقل.

3- الامتصاص الجوي Atmospheric Absorption: يحدث نتيجة المطر ويكون تأثيره كبير في الترددات المايكروية العالية ويكون الخفوت في الإشارة عند التردد GHZ (7) قليلة نسبيا , ويزداد بأزدياد التردد حتى يصبح حاد عند تردد GHZ (12) .

ت- الضوضاء (Noise):

يمكن أن تركب إشارات على بعضها إذا أردنا الحصول على شكل معين للإشارة إذ نقوم بتركيب إشارتين مع بعضهما وقد يكون ذلك غير متعمد إذا كنا نبث في منطقة ما وهناك من يبث أيضا, قد يؤدي هذا إلى أن تركب الإشارة التي نبثها على الإشارة التي تبث وتصبحان إشارة واحدة غير مفيدة يمكن ملاحظة ذلك أحيانا في الهاتف عندما يحدث تداخل بين مكالمتين أو على الراديو حين يحدث تداخل بين محطتين أذاعيتين يبثان على ترددين متقاربين. الشكل (1-20) يوضح كيف أن المعلومات الرقمية وهي سلسلة من (0 و1) تم تحميلها على إشارة رقمية وقمنا ببثها و اختلطت فيها إشارة ضجيج مما أنتج لنا الإشارة في القسم الثالث من الشكل والتي تختلف عن الإشارة الأصلية إذ أن هناك صفر قد أصبح واحد وواحد قد أصبح صفرا إي لو كانت هذه الاصفار والواحدات تمثل مقطعا صوتيا مثلا فلن نسمع المقطع كاملا وسيكون هناك كلمات غير واضحة لان هناك قيم وصلت بشكل مخالف لما أرسلت عليه .

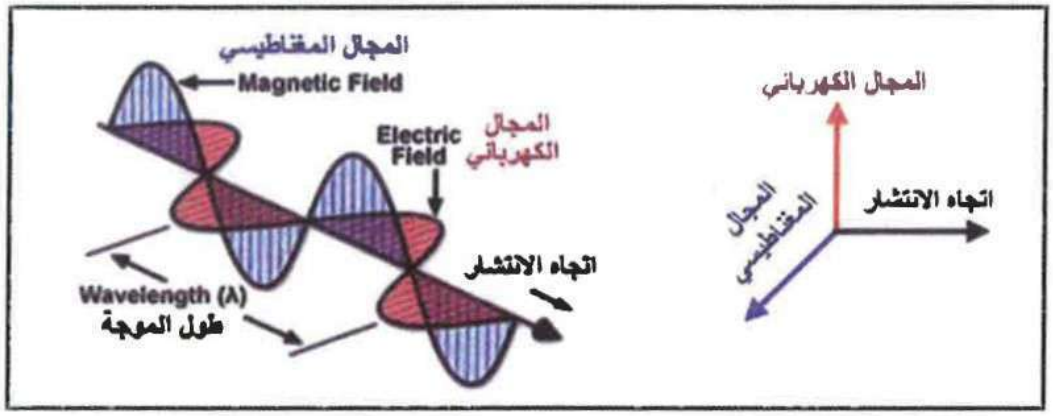


الشكل (1-20)

12.1 الموجات الكهرومغناطيسية

هي موجات تنتشر في الفراغ أو المادة وتتكون من مجالين، هما المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي يتذبذبان بشكل عمودي على بعضهما البعض ويتعامدان على اتجاه انتشار الموجه. والشكل (1-21) يوضح شكل الإشارة الكهرومغناطيسية.

الموجات الكهرومغناطيسية هي الأساس في الاتصالات اللاسلكية وفيها يتم الاتصال بين نقطتين أو أكثر (مرسل ومستقبل) بينهما مسافات شاسعة ولا يوجد بينهما خطوط نقل مباشرة.



الشكل (1-21) الإشارة الكهرومغناطيسية

تستطيع أجهزة الحاسوب استخدام الأنواع الآتية من الإشارات للاتصال فيما بينها :

1- النبضات الكهربائية Electrical Pulses.

2- موجات الراديو Radio Waves.

3- موجات المايكروويف Microwaves.

4- الأشعة تحت الحمراء Infrared Light .

الخاصية التي تجمع هذه الإشارات هي أنها كلها تعد موجات كهرومغناطيسية ويتم استخدام هذه الموجات لنقل البيانات لأنها تتمتع بالميزات الآتية :

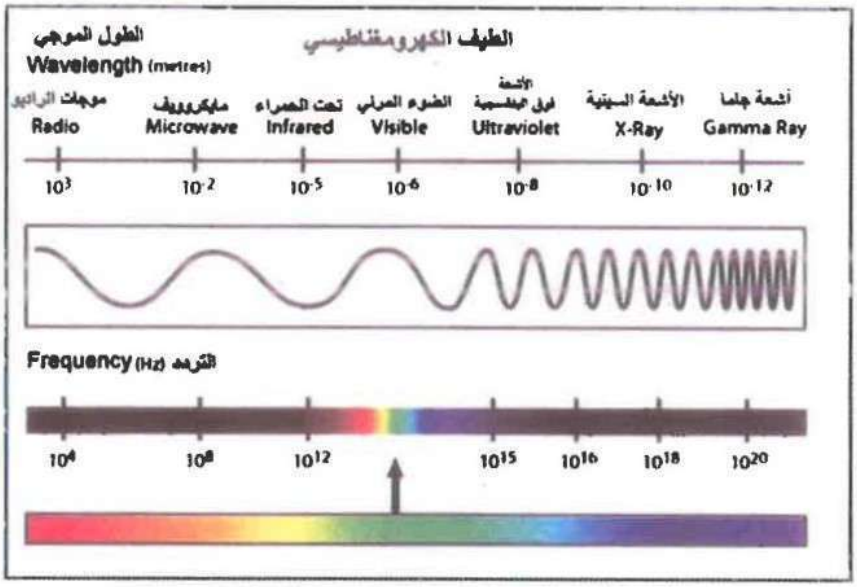
1- يمكن تضمينها والتحكم بها باستخدام أشباه الموصلات.

2- تمثل جميع الإشارات التماثلية Analog والرقمية Digital .

أ - الطيف الكهرومغناطيسي Electromagnetic spectrum:

الطيف الكهرومغناطيسي أو الإشارة الكهرومغناطيسية أو الأمواج الكهرومغناطيسية كلها تحمل المعنى الفيزيائي نفسه. جزء محدود فقط من هذا الطيف يستخدم لنقل البيانات.

والطيف الكهرومغناطيسي ،كما موضح في الشكل (1- 22) يبدأ من أمواج الراديو ذات الطول الموجي الطويل والتردد المنخفض ثم منطقة أشعة المايكروويف ومنطقة الأشعة تحت الحمراء ثم منطقة الأشعة المرئية ثم منطقة الأشعة فوق البنفسجية ثم منطقة الأشعة السينية وأخيرا منطقة أشعة جاما.



الشكل (1-22) الطيف الكهرومغناطيسي

وإذا تكلمنا عن الضوء المرئي ، أو المايكروويف، أو الأشعة السينية ، أو أشعة جاما، أو موجات التلفاز والراديو فهي كلها عبارة عن إشارة تعرف باسم الإشارة الكهرومغناطيسية. لها الخصائص نفسها ولكنها تختلف في الطول الموجي (λ) Wavelength و التردد (f) Frequency والطاقة (Energy). يتم تحديد موقع الإشارة الكهرومغناطيسية على الطيف بمعرفة طولها الموجي وترددها وطاقتها.

التردد وطول الموجة يرتبطان بالعلاقة الآتية :

طول الموجة = سرعة الموجة \ التردد

$$\lambda = C / f$$

إذ أن:

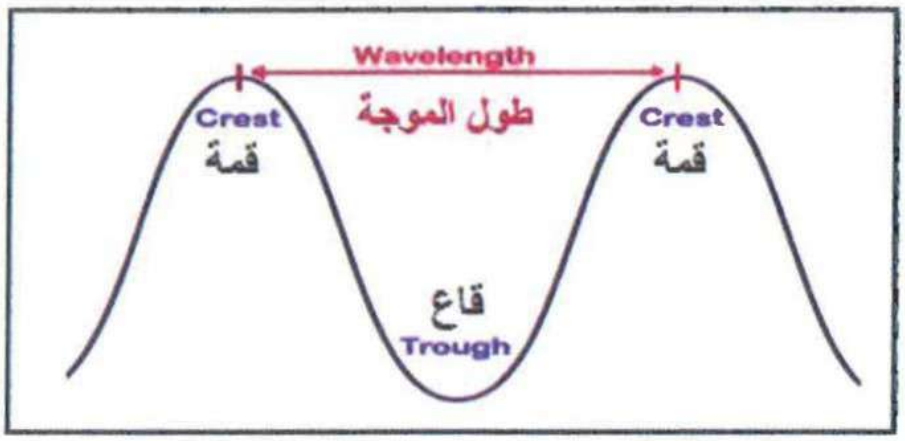
λ : تمثل طول الموجة بالمتر.

C : سرعة الموجة وهي تساوي سرعة الضوء (3×10^{8}) متر/ثانية.

f : تردد الموجة بالهيرتز.

يتناسب التردد وطول الموجة تناسبا عكسيا فكلما زاد التردد قل طول الموجة وبالعكس. بينما تتناسب الطاقة مع التردد تناسبا طرديا فكلما زاد أحدهما زاد الآخر .

تحدد طاقة و تردد و طول الموجة الخصائص الفيزيائية للموجة، و هذه الخصائص بدورها تحدد قدرة الموجة على حمل البيانات .تنتشر الإشارة الكهرومغناطيسية على شكل حركة موجية تدفع الإشارة نحو الأعلى والأسفل مثل الموجة التي لها قمة وقاع. وطول الموجة الكهرومغناطيسية عبارة عن المسافة بين قمتين متتاليتين للموجة كما موضح في الشكل (1-23).



الشكل (1- 23)

ب- خصائص الإشارات الكهرومغناطيسية :

1- تنتشر في الفراغ بسرعة تعادل سرعة الضوء وقدرها ($3x10^8$) متر/ثانية.

2- لا تتأثر بالمجالات الكهربائية أو المغناطيسية.

3- تنتشر في خطوط مستقيمة وتخضع للخصائص الموجية من حيث الحيود والتداخل.

4- موجات مستعرضة قابلة للاستقطاب. والاستقطاب هو حصر الموجات فى مستوى واحد وقد يكون هذا المستوى عموديا او افقيا .

5- عند انتقال الإشارات الكهرومغناطيسية وانتشارها عبرعدد من الأوساط المختلفة فإنها تتعرض إلى الانكسار أو الانعكاس أو الحيود (وهو خاصية من الخصائص العامة للموجات وتحدث للموجات عندما تمر بحافة عائق ومن تداخل الموجات) والتداخل أو الخفوت والتي يمكن تعريفها كالآتي:

أ- الانكسار Refraction:

هو تغير اتجاه شعاع الإشارة الكهرومغناطيسية عند انتقاله من وسط إلى وسط آخر له خصائص كهربائية مختلفة.

ب- الانعكاس Reflection :

هو تغيير لاتجاه الإشارة الكهرومغناطيسية في الوسط نفسه نتيجة لسقوطها على حاجز يفصل هذا الوسط عن وسط آخر يختلف معه في الخصائص الكهربائية.

ت- الحيود Diffraction :

هومقدرة الإشارة الكهرومغناطيسية على الانحراف عند الزوايا الحادة والانحناء عن العوائق التي تواجهها.

ث- التداخل Interference :

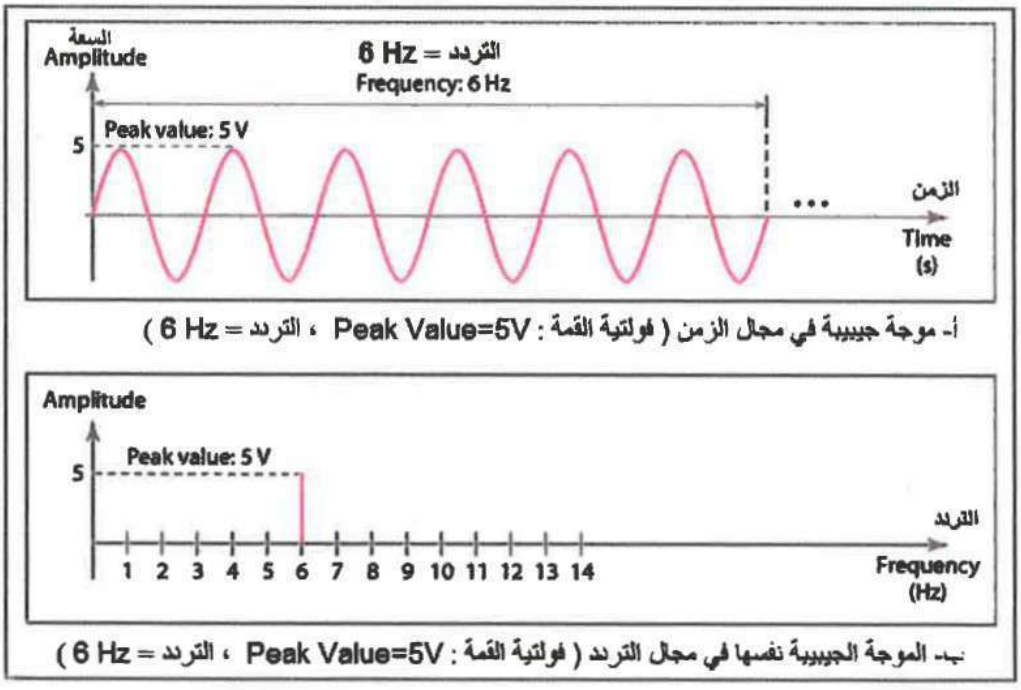
هو اختلاط إشارتين أو أكثر عند تواجدهما في المكان والزمان نفسه وعندما تكون ترددات هذه الإشارات متقاربة.

ج- الخفوت Fading :

هو تغير في شدة الإشارة الكهرومغناطيسية بحيث تضعف عند انتقالها في الفضاء من المرسل إلى المستقبل . ويحدث ذلك نتيجة لعوامل متعددة كالانعكاس عن سطح الأرض أو الانكسار في طبقات الجو العليا وبفعل تأثير العوامل الجوية أيضا.

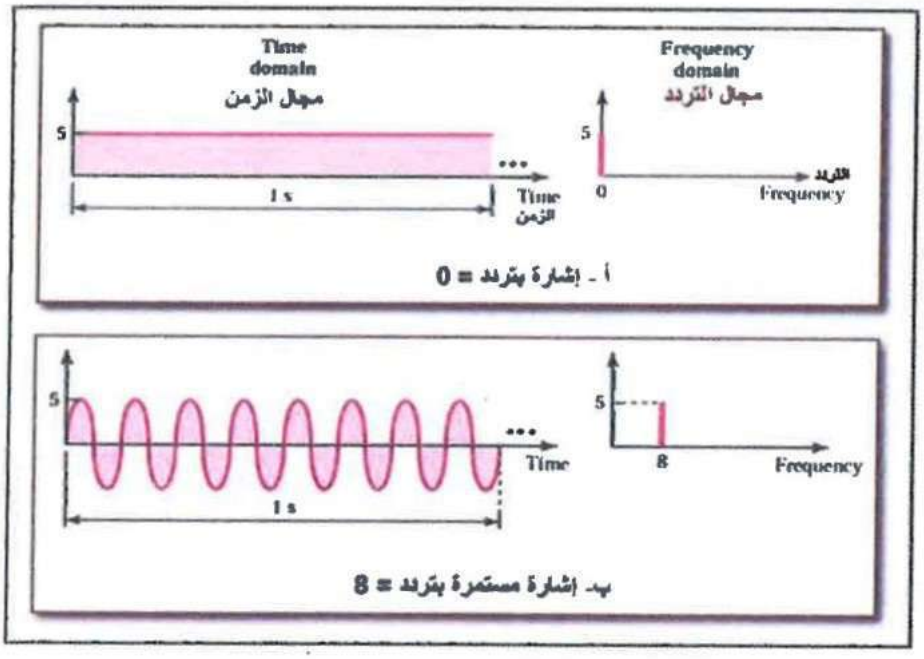
13.1 النطاق الزمني Time Domain والنطاق الترددي Frequency Domain

كثيراً ما تدرس الإشارات كتوابع للزمن (t) ويسمى هذا بدراسة الإشارة في النطاق الزمني إذ يعبر التابع عن قيمة طويلة للإشارة في كل لحظة من لحظات الزمن. ويمكن أيضاً التعبير عن الإشارة كتابع للتردد وهذا ما يسمى بدراسة الإشارة في النطاق الترددي ، ذلك أن الإشارة تتألف من مركبات من ترددات مختلفة. الشكل (1- 24) يوضح كيفية تمثيل موجة جيبية في كل من النطاق الزمني والنطاق الترددي. لاحظ أننا في النطاق الترددي يمكن تمثيل خاصيتين من خصائص الإشارة بخط واحد: موقع الخط يدل على التردد وارتفاعه يدل على القيمة العظمى.



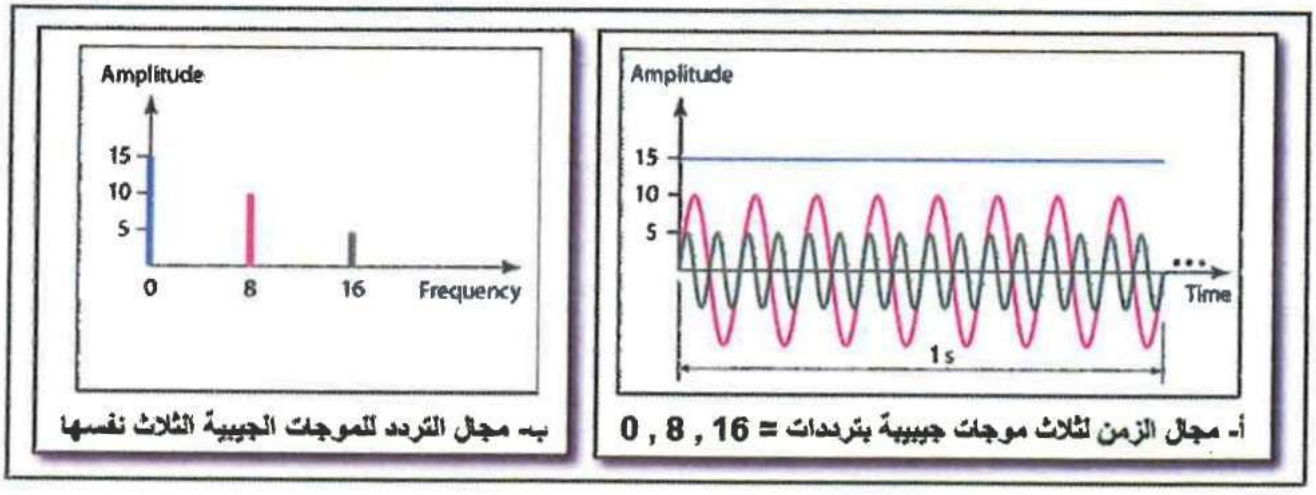
الشكل (1- 24) تمثيل موجة جيبية في كل من النطاق الزمني والنطاق الترددي

الشكل (1-25) يوضح الرسم البياني لموجـة جيبية Sine Wave في مجال الزمن ومجال التردد لإشارة بتردد = 0 وإشارة مستمرة بتردد = 8 .



الشكل (1- 25) الرسم البياني لموجة جيبية في مجال الزمن ومجال التردد

النطاق الترددي أكثر فائدة وتركيزاً عند التعامل مع أكثر من موجة جيبية ، الشكل (1- 26) يوضح ثلاث موجات جيبية لكل منها تردد وقيم سعة مختلفة ، ممثلة بعمود في النطاق الترددي.



الشكل (1- 26) مجال الزمن و مجال التردد لثلاث موجات جيبية

14.1 الطرق الرياضية والأدوات المستعملة في تحليل الإشارات

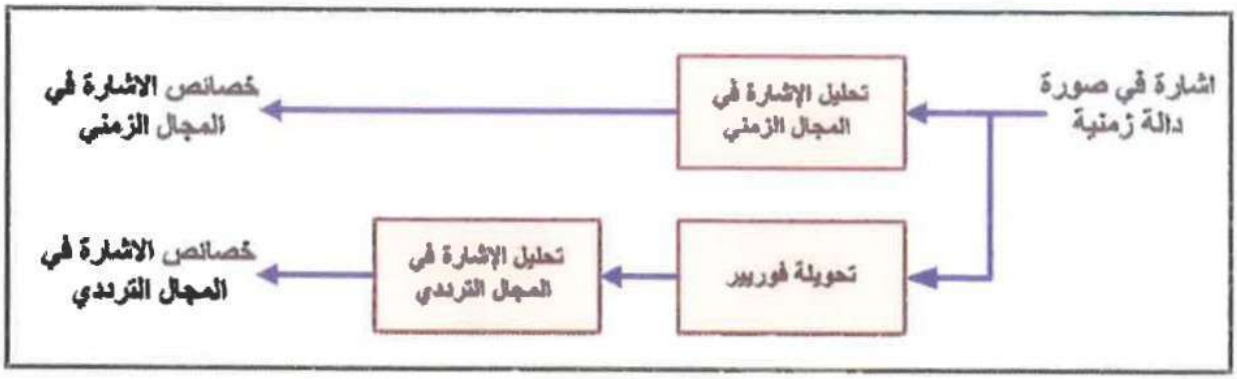
اعتمادا على بعض أدوات الرياضيات في تحليل الإشارات المختلفة يمكننا التعرف على خصائص تلك الإشارات والمجالان الرئيسان في التحليل هما:

- المجال الزمني Time domain.
- المجال الترددي Frequency domain.

1.14.1 التحليل في المجال الزمني

يستخدم مجال الزمن لتمثيل إشارة عبر دالة رياضية بدلالة الزمن ويوجد بعض التحويلات الرياضية التي تحول من حيز الزمن إلى حيز التردد وبالعكس.

التحليل في المجال الزمني يستخدم لمعرفة كيفية تغير الإشارات عندما يكون المتغير المستقل هو الزمن أو تكون الإشارات ذات الأشكال الهندسية المعروفة بدوال تغيرها في المجال الزمني سهلة التحليل . أما الإشارات ذات الأشكال الهندسية الغير مألوفة (أشكالها عبارة عن نماذج رياضية) ، في هذه الحالة لا بد من إجراء عملية تحويلها إلى إشارات دوالها سهلة التحليل مثل الإشارة الجيبية ، هذا التحليل يدعى (متسلسلة فورير) التي سيتم شرحها في هذا الفصل ، ويمكن أن يتم تحليل قدرة الإشارة بدلا من اتساعها وتكون الدالة المرسومة في هذه الحالة عبارة عن الارتباط المتبادل والمساحة تحت المنحني تعبر عن الطاقة ويشمل التحليل في المجال الزمني حساب خرج الشبكات (عند إدخال إشارة محددة الخصائص) الذي يمثل التكامل و يحسب عدديا أو بالرسم ، نستخدم هذه الطريقة في التحليل عندما يكون التحليل في المجال الترددي غير ممكن. والشكل (1- 27) يوضح مخططا مبسطا للكيفية التي تمر بها الإشارة المعرفة في المجال الزمني عند تحليلها لمعرفة خصائصها في المجال الزمني والمجال الترددي.

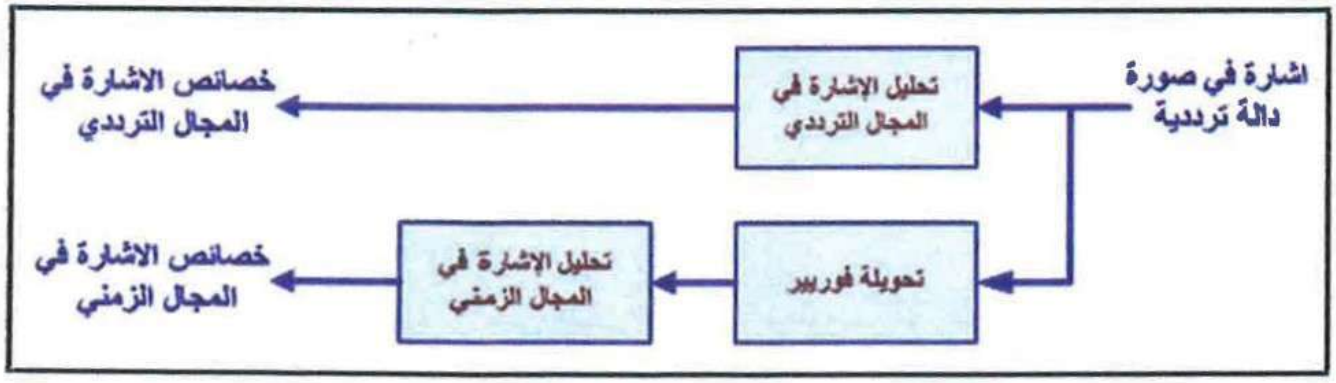


الشكل (1-27) مخطط يوضح كيفية التعامل مع إشارة في صورة دالة زمنية عند تحليلها

2.14.1 التحليل في المجال الترددي

يستخدم مجال التردد لتمثيل إشارة عبر دالة رياضية بدلالة التردد بدلا من الزمن. في هذا التحليل يعد التردد المتغير المستقل وبما أن وحدات التردد هي هرتز (دورة / ثانية) ، فان التردد يكون مقلوب الزمن وقد اعتمد هذا الأسلوب في التحليل لمعرفة خصائص الإشارات عندما يكون التحليل الزمني غير ممكن أو يكون المجال الزمني للإشارة غير معروف ويصبح من الضروري دراسة خصائص هذه الإشارة باستخدام المجال الترددي بدلا من المجال الزمني ، والمجال الترددي هو المعروف بتحويلة فوريير.

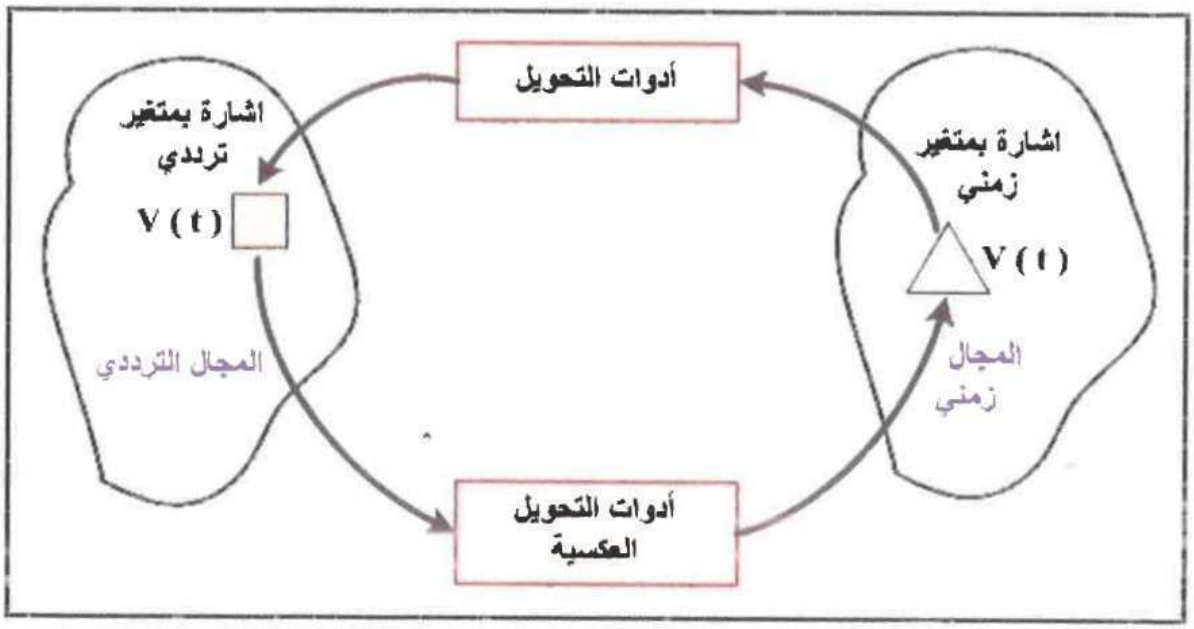
إن كل من المجال الزمني والمجال الترددي هما أدوات رياضية تسهلان عملية التعرف على الإشارة من حيث اتساعها وقدرتها والنطاق الترددي الذي تحتاجه ومدى استجابة الدوائر أو الشبكات لهذه الإشارات عند إدخالها عليها . المجال الترددي يعبر عن الخاصية الطبيعية التي يلزم التعرف عليها عند استخدام بعض الأجهزة الالكترونية لمعرفة مدى استجابتها مثل المضخمات والمرشحات إذ أن دالة التحويل لها عبارة عن متغير ومتغيره المستقل هو التردد وعليه يصبح المجال الترددي هو الأنسب للتعرف على خصائص الإشارات التي يتم إدخالها على مثل هذه الأجهزة . والشكل (1-28) يوضح مخططا مبسطا للكيفية التي يتم بها التعامل في المجال الزمني والترددي.



الشكل (1- 28) مخطط يوضح كيفية التعامل مع إشارة في صورة دالة ترددية عند تحليلها

طرق التحليل كما ذكرنا هي أدوات رياضية تعتمد أساسا على الانتقال بمتغيرات محددة ومعروفة إلى متغيرات أخرى محددة ومطلوبة تمكننا من التعرف على الخصائص لهذه المتغيرات في المجال الجديد والرجوع ثانية إذا لزم الأمر إلى المجال الأصلي .

يوضح الشكل (1- 29) مخطط الانتقال من المجال الزمني إلى المجال الترددي وبالعكس.



الشكل (1-29) مخطط يوضح عملية الانتقال من المجال الزمني إلى المجال الترددي وبالعكس

15.1 عرض الحزمة Band Width

عرض الحزمة هو قيمة تستخدم لقياس كمية المعلومات المرسلة أوالمستقبلة خلال فترة زمنية معينة ويوجد نوعان من عرض الحزمة وهما:

أ- عرض حزمة إشارة المعلومات Information Band Width (BW inf): هو الفرق بين التردد الأعلى والتردد الأدنى ضمن إشارة المعلومات.

ب- عرض حزمة قناة الإرسال Channel Band Width (BW ch): هو الفرق بين التردد الأعلى والتردد الأدنى الذين تسمح لهما القناة بالمرور.

وبالتالي نخلص إلى العلاقة الآتية : حتى تنتقل إشـــارة المعلومـــات عبر أي قناة لابد أن يكون عرض حزمة إشارة المعلومات أقل أو يساوي عرض حزمة القناة .

$$BW\ inf \leq BW\ ch$$

BW inf = عرض حزمة إشارة المعلومات .

BW ch = عرض حزمة القناة .

1.15.1 عرض الحزمة الترددي

عرض الحزمة الترددي bandwidth يشير إلى مجموعة من الترددات frequencies التي يمكن لوسائل الاتصال أن تبث بها على نحو فعال. (حيث يصبح النقل في أي من نهايتي عرض الحزمة الترددي من الضعف لدرجة انه يكون بشكل غير موثوق). ويعرف بانه حزمة الترددات التي يمكن أن يمر في قناة إرسال معينة. وفي الشبكات الرقمية ، يستخدم عرض الحزمة الترددي في معنى مختلف ليعني كمية

البيانات التي يمكن أن تبث في وقت معين وهو ما يصف بشكل أدق معدل نقل المعلومات. وعادة ما تقاس بالبت في الثانية الواحدة (bits per second). والقياس الشائع هو بالميجابت / ثانية megabits per (second)(mb/sec) ، على سبيل المثال ، ان شبكة إيثرنت سريعة قد يكون لها سعة 100 ميجابت / ثانية بينما شبكة الخطوط الهاتفية لمنزل قد يكون عرض الحزمة الترددي لها من 1 حتي 10 ميجا بت / ثانية ومودم القابلو أو خط المشترك الرقمي (DSL) (digital subscriber line) يعمل على حوالي 1 ميجا بايت / ثانية. (بالمقارنة مع بث المودم الهاتفي فإن عرض الحزمة الترددي له يقرب من 28- 56 كيلو بايت / ثانية ، أي أبطأ بنحو 20 مرة. ان عرض الحزمة الترددي يحدد المعدل الذي يمكن أن تنتقل به المعلومات من خلال الدوائر: كلما زاد عرض الحزمة الترددي ، فإن المزيد من المعلومات يمكن إرسالها في كمية معينة من الزمن.

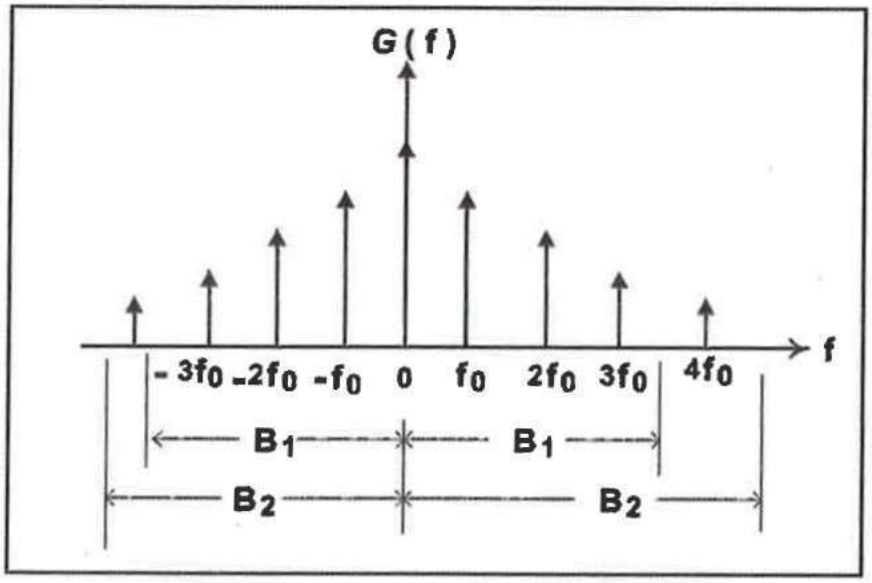
إن قدرة الإشارة تتركز في حزمة ترددية معينة وتتلاشى هذه القدرة خارج هذه الحزمة ، وبذلك فالحزمة الترددية التي تحتوي على المركبات الأساسية التي تحمل أكبر نسبة من قدرة الإشارة تسمى الحزمة الترددية للإشارة وتختلف قيمة الحزمة الترددية باختلاف التعريفات ، فمثلا الحزمة الترددية B_1 التي تحتوي على 95% من قدرة الإشارة تختلف عن الحزمة الترددية B_2 التي تحتوي على 98% من قدرة الإشارة كما موضح في الشكل (1- 30).

أي أن:

$$4\,f_o < B_2 < 5\,f_o \text{ ، } 3\,f_o < B_1 < 4\,f_o$$

B_1= حزمة ترددية يحتوي على 95% من قدرة الإشارة.

B_2 = حزمة ترددية يحتوي على 98% من قدرة الإشارة.



الشكل (1- 30) الحزمة الترددية للإشارة

16.1 متسلسلة فوريير Fourier Series

الغاية من متسلسلة فوريير هي إعادة تكوين للدوال الدورية بدلالة مركباتها الأساسية التذبذبية بطرق رياضية نستطيع بوساطتها تحليل الإشارة والتعرف على خصائصها في مجال التردد وتعطي هذه المتسلسلة معلومات حول هيكل ترددات الإشارة وبالتالي عرض نطاق ترددتها. التي تساعد في تصميم أجهزة الاتصالات المناسبة. ويناظرها عمليا جهاز التحليل الطيفي الذي نستطيع من خلاله التعرف على خصائص الإشارة في المجال الترددي.

يمكن من خلال متسلسلة فوريير كتابة أي دالة رياضية دورية مثل دالة الفولتية V(t) في شكل متسلسلة أو مجموع من الدوال المثلثية (دوال الجيب وجيب التمام) مضروب بمعامل معين. الفكرة الأساسية لمتسلسلة فوريير هي أنه يمكن تمثيل دالة زمنية خلال فترة زمنية (T) بوساطة متسلسلة لدالة أساسية هذه الدالة الأساسية يمكن أن تكون دالة جيبية أو غيرها.

متسلسلة فوريير الجيبية:

هي أداة رياضية لتمثيل أي دالة دورية V(t) لها دورة أساسية T_0 وتردد f بوساطة جمع عدد لا نهائي من الدوال الجيبية كما يأتي:

$$\upsilon(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos 2\pi n f_0 t + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin 2\pi n f_0 t$$

إذ أن :

$f_0 = \frac{1}{T_0}$ هو التردد الاساسي للدالة

A_0 القيمة المتوسطة للإشارة أو الدالة (t) V وتسمى A_0 ، A_n ، B_n معاملات فوريير.

نستخدم متسلسلة فوريير لغرض:

1- تحويل إشارة دورية معقدة الشكل إلى مجموعة إشارات جيبية معروفة يسهل التعامل معها بمفردها.

2- التعامل مع الإشارة الدورية بمنظار ترددي أي أننا نستطيع أن نرى التوزيع الطيفي الترددي لهذه الإشارة كما نراها بجهاز التحليل الطيفي للإشارة وبذلك يمكن تحديد النطاق الترددي لهذه الإشارة الذي يحدد خصائص الدوائر والمرشحات المتعاملة معها.

3- التعرف على المركبات الأساسية لأي إشارة وانتقاء المناسب منها للتطبيقات والاستخدامات المختلفة مثل مضاعف التردد ومولد التوافقيات وغيرها.

17.1 المرشحات (Filters)

المرشحات من الوحدات الأساسية في نظم الاتصالات وتستخدم لانتقاء النطاق الترددي المرغوب الإرسال فيه والتخلص من الترددات الأخرى الغير مرغوب فيها ، أي تسمح بإمرار مجموعه من الإشارات التي يقع ترددها داخل نطاق ترددي معين ولا تسمح بمرور أي إشارات أخرى لها تردد خارج هذا النطاق.

ففى انظمة التراسل وخاصة التى تستخدم موجات حاملة Carrier Signal , يجب استخدام المرشحات لفصل الاشارة المرغوب فيها عن باقى الاشارات حتى نحدد من تاثير التداخلات بين القنوات المتجاورة .

اما فى انظمة التراسل الرقمية فنحتاج الى المرشحات للتخلص من الترددات التى تحدث نتيجة اخذ العينات sampling والتقريب لقيم صحيحة فى حالة الارسال , اما عند الاستقبال فان الاشارة الخارجة من فك الشفرة decoder يجب ان تجرى لها عملية ترشيح وذلك لازالة الترددات العالية الناتجة من اعادة تكوين الاشارة المرسلة .

1.17.1 تصنف المرشحات وفق أساليب عدة الى :

أ- مرشحات تماثلية (Analog) ومرشحات رقمية (Digital) .

ب- مرشحات فعالة (Active) ومرشحات غير فعالة (Passive) .

ت- مرشحات للترددات الصوتية (AF) ومرشحات للترددات الراديوية (RF) .

تصمم المرشحات التماثلية لمعالجة الإشارات التماثلية , أما المرشحات الرقمية فتتعامل مع إشارات رقمية. كما تصنف المرشحات تبعا لنوع العناصر التي تدخل في تركيبها إلى مرشحات فعالة ومرشحات غير فعالة, فالمرشحات غير الفعالة تتكون فقط من (المقاومة والملف والمتسعة) RLC أما المرشحات الفعالة فيدخل في تركيبها عناصر فعالة مثل الترانزستور ومكبر العمليات. مجالات التردد التي تسمح المرشحات بتمريرها تتحدد بنوع العناصر التي تدخل في بناء المرشح مثلا تستخدم المرشحات RC في مجالات الترددات الصوتية أما مرشحات LC فتستخدم في مجالات الترددات الراديوية.

2.17.1 تردد القطع Cut off Frequency

تردد القطع هو التردد الذي يبدأ عنده المرشح بعمله فمثلاً في مرشح إمرار الترددات المنخفضة تردد القطع هو ذلك التردد الذي يبدأ بعده المرشح بمنع الترددات من المرور .

يمكن حساب تردد القطع للمرشح بالقانون الآتي :

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

إذ أن :

R : قيمة المقاومة بالأوم

C : سعة المتسعة بالفاراد

π : النسبة الثابتة وتساوي 3.141

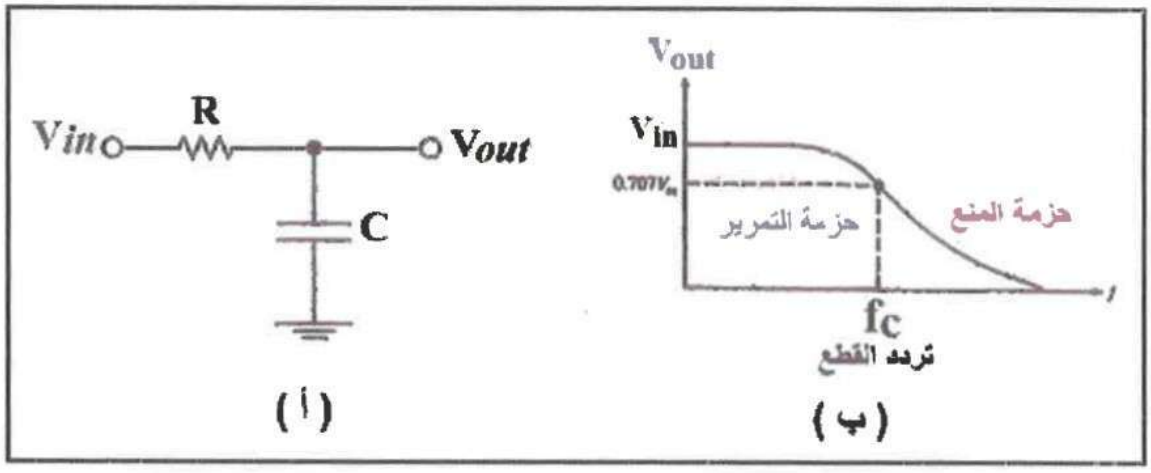
3.17.1 تصنف المرشحات حسب مجال التمرير إلى:

- مرشح مرور واطئ (Low Pass Filter) : يمرر الترددات المنخفضة.
- مرشح مرور عالي (High Pass Filter) : يمرر الترددات العالية.
- مرشح تمرير حزمة (Band Pass Filter) : يمرر حيز من الترددات.
- مرشح رفض (منع) حزمة (Band Stop Filter): يمنع مرور حيز من الترددات.

أ- مرشح مرور واطئ (Low Pass Filter):

1- مرشح مرور واطئ باستخدام مقاومة ومتسعة (RC low pass filter):

وهي مرشحات تقوم بتمرير الإشارات الكهربائية ذات الترددات من الصفر هرتز حتى تردد القطع (f_c) لهذا المرشح. الشكل (1-31 أ) يوضح دائرة مرشح مرور واطئ باستخدام المقاومة والمتسعة الذي يمرر الترددات الواطئة ويمنع مرور الترددات العالية والتي تقع بعد تردد القطع f_c . وعند تردد القطع فان فولتية الخرج تساوي ($0.707\ v_{in}$). كما موضح في الشكل (1-31 ب) الذي يمثل منحني الاستجابة الترددية.



(ب) الاستجابة الترددية (أ) دائرة المرشح باستخدام RC

الشكل (1- 31)

الربح في مرشح مرور واطئ يبقى ثابتا من التردد (0)(Hz) وحتى تردد القطع (f_c) , لذلك تعد عرض حزمة المرشح مساوية لـ (f_c) . يسمى المجال الترددي من (0)(Hz) وحتى f_c باسم مجال التمرير(pass band) أي ($f<f_c$) , أما المجال (من f_c وحتى ∞) فيسمى مجال المنع أو الرفض (stop band) أي ($f>f_c$) .

مثال (1-1)

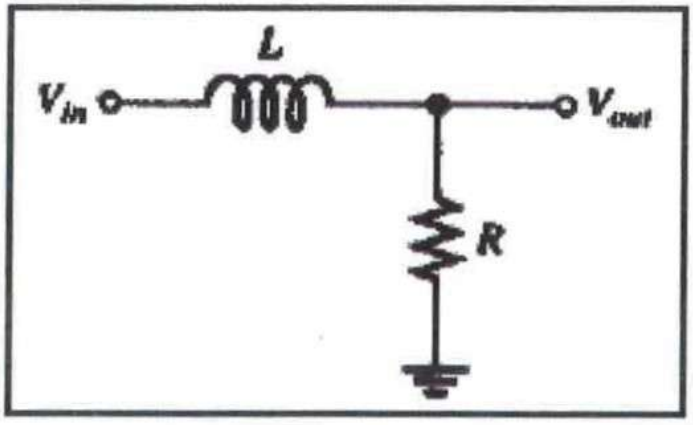
احسب تردد القطع لمرشح مرور واطئ باستخدام مقاومة ومتسعة علما أن $C=0.0047\mu f$ ، $R=1K\Omega$

الحل:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi(1\times10^{3})(0.0047\times10^{-6})} = 33.9kHz$$

2- مرشح مرور واطئ باستخدام مقاومة وملف (RL low pass filter):

الشكل (1-32) يوضح دائرة مرشح مرور واطئ باستخدام مقاومة وملف علما أن جهد الخرج يكون عبر المقاومة. عند الترددات الواطئة تكون (X_L) صغيرة أي أن فولتية الخرج مساوية لفولتية الدخل. عند الترددات العالية تصبح (X_L) كبيرة عند تردد القطع f_c إذ تكون $X_L=R$, وتقترب قيمة فولتية الخرج من الصفر.



الشكل (1-32) مرشح مرور واطئ باستخدام مقاومة وملف

عند نقطة $X_L=R$ فان تردد القطع fc:

$$f_c = \frac{R}{2\pi L} \quad \Longrightarrow \quad f_c = \frac{1}{2\pi(L/R)}$$

مثال (1-2)

احسب تردد القطع لمرشح مرور واطئ باستخدام مقاومة وملف علما أن $R=2.2K\Omega$ ، $L=4.7mH$.

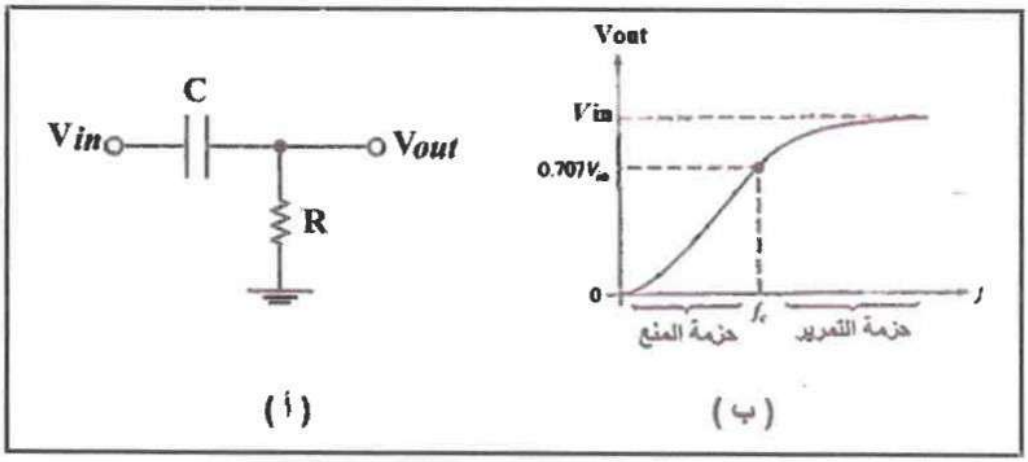
الحل:

$$f_c = \frac{1}{2\pi(L/R)} = \frac{1}{2\pi(4.7\times10^{-3}/2.2\times10^{3})} = 74.5kHz$$

ب- مرشح مرور عالي (High Pass Filter):

1- مرشح مرور عالي باستخدام مقاومة ومتسعة (RC high pass filter):

الشكل (1-33 أ) يوضح دائرة مرشح مرور عالي باستخدام مقاومة ومتسعة الذي يمرر الترددات العالية ويمنع مرور الترددات الواطئة التي تقع قبل تردد القطع f_c . وعند تردد القطع فان جهد الخرج يساوي ($0.707\ v_{in}$). كما موضح في الشكل (1-33 ب) الذي يمثل منحنى الاستجابة الترددية لمرشح مرور عالي بمجال منع ($0<f<f_c$) ومجال تمرير ($f > f_c$) إذ أن f هو الترددات المرغوب بها.

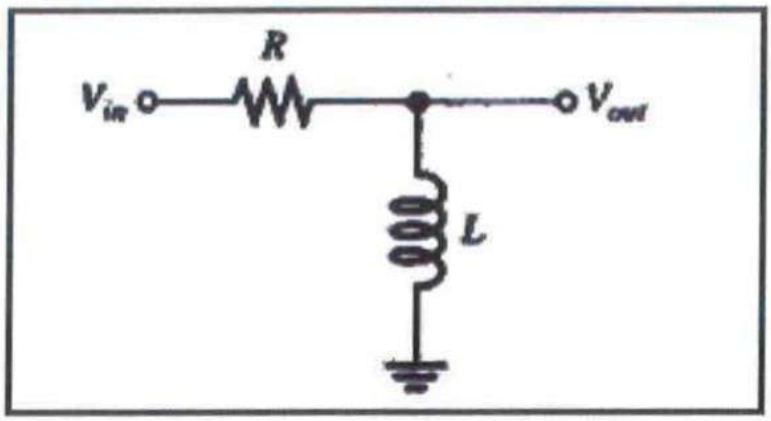


(ب) الاستجابة الترددية (أ) دائرة المرشح باستخدام RC

الشكل (1- 33)

2- مرشح مرور عالي باستخدام مقاومة وملف (RL high pass filter):

الشكل (1- 34) يوضح دائرة مرشح مرور عالي باستخدام مقاومة وملف علما أن فولتية الخرج تكون عبر الملف. عندما يكون التردد مساوي لتردد القطع (f_c) فأن ($X_L=R$) , وفولتية الخارج تساوي ($0.707\ v_{in}$) وعندما يكون التردد أعلى من تردد القطع (f_c) فأن X_L تزداد وفولتية الخارج تزداد حتى تصبح مساوية لفولتية الداخل.



الشكل (1- 34) مرشح مرور عالي باستخدام مقاومة وملف

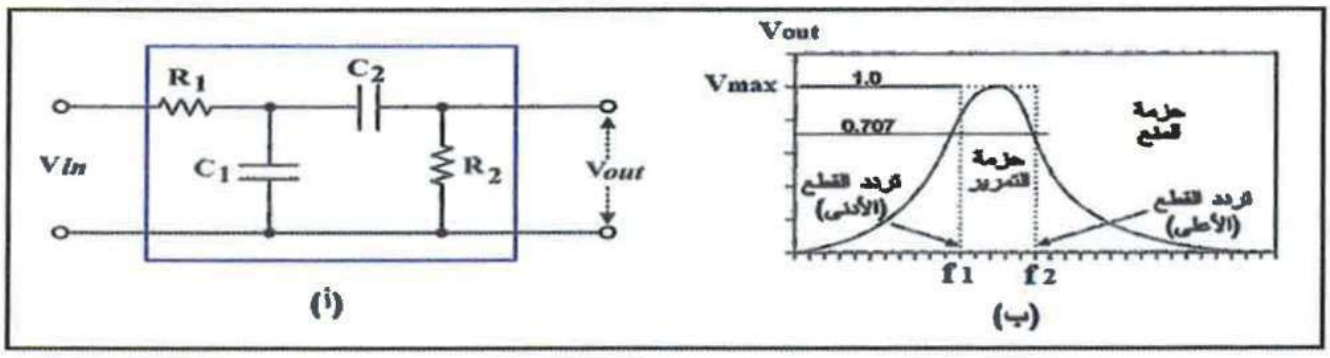
العلاقة بين تردد القطع لمرشح مرورعالي ومرشح مرور واطئ هي نفسها كالآتي:

$$f_c = \frac{1}{2\pi(L/R)}$$

3- مرشح تمرير حزمة (Band Pass Filter):

الشكل (1- 35 أ) يوضح دائرة مرشح تمرير حزمة ، يسمح هذا المرشح بإمرار الإشارات التي تقع ترددها داخل نطاق ترددي يحدد من خلال ترددين الأول يعرف بتردد القطع الأدنى (f_1) والثاني يعرف بتردد القطع الأعلى (f_2) ، كما موضح في الشكل (1-35ب) ولحساب قيمة عرض نطاق الإمرار في هذا النوع من المرشحات نستخدم العلاقة الآتية:

$$Bw = f_2 - f_1$$



(ب) منحني الاستجابة الترددية (أ) دائرة المرشح

الشكل (1- 35)

مثال (1-3)

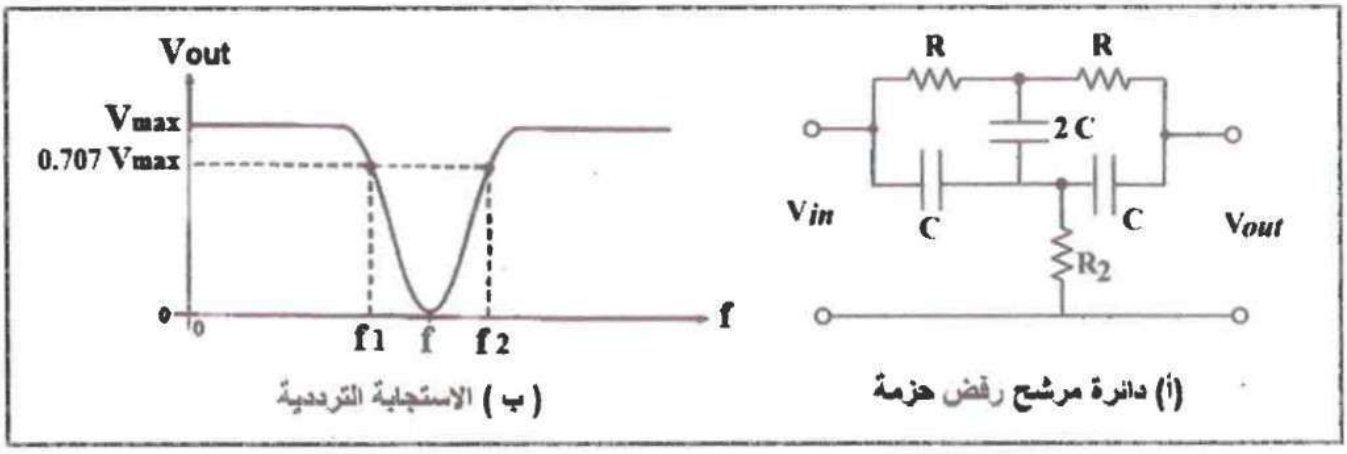
احسب عرض الحزمة (Bw) لمرشح تمرير حزمة علما أن تردد القطع (f_1) يساوي (2kHz) وتردد القطع (f_2) يساوي (2.5kHz) ؟

الحل:

$$Bw= f_2 - f_1 = 2.5\times10^3 - 2\times10^3 = 500Hz$$

4- مرشح رفض حزمة (Band Stop Filter):

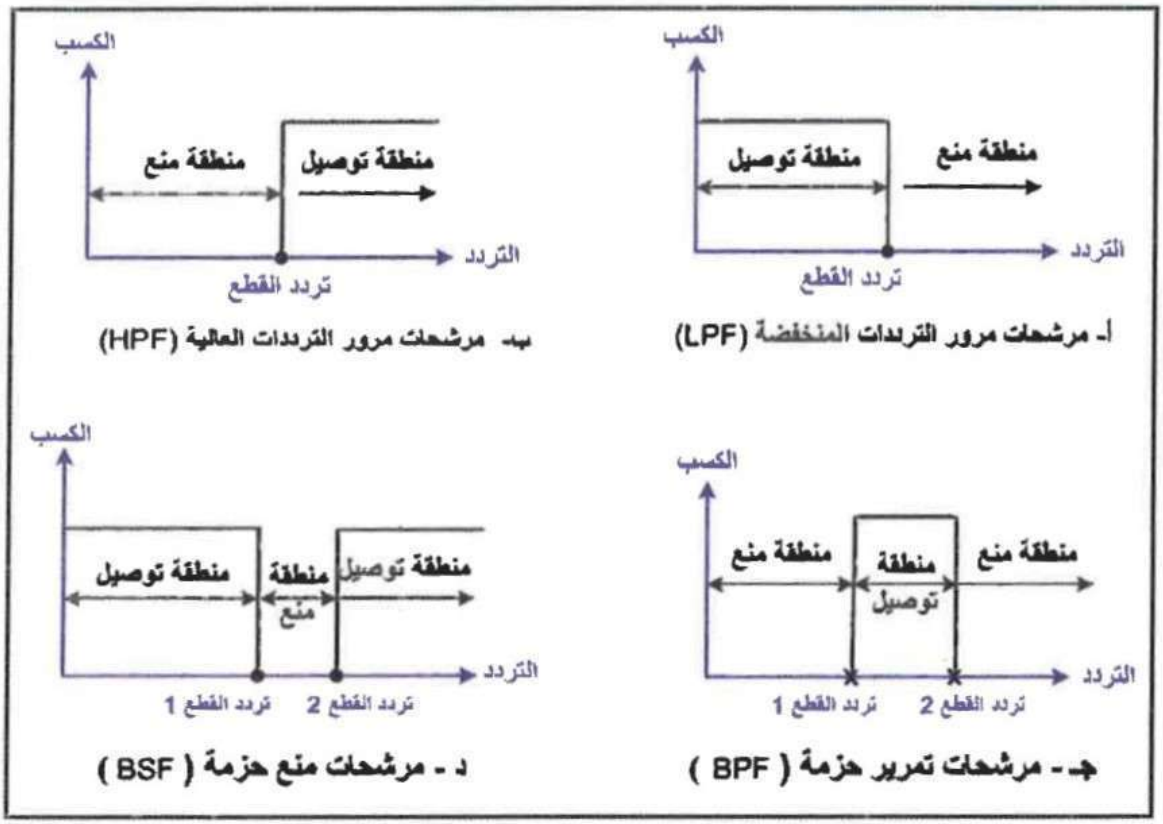
يمكن تحقيق مثل هذا المرشح الذي يقوم بتمرير كافة الإشارات ما عدا الترددات المحصورة ضمن حزمة محددة ، سلوك مرشح رفض حزمة معاكس تماما لمرشح تمرير حزمة فهو يمنع مرور الإشارات ذات الترددات الواقعة بين f_1 و f_2 ويسمح بمرور الإشارات ذات الترددات ($f< f_1$) والترددات ($f>f_2$) , الشكل (1- 36 أ) يمثل الدائرة الالكترونية للمرشح والشكل (1- 36ب) يمثل منحنى الاستجابة.



(أ) دائرة مرشح رفض حزمة (ب) منحني الاستجابة الترددية

الشكل (1- 36)

الشكل (1-37) يوضح مناطق القطع والتوصيل النموذجية للمرشحات المختلفة التي تم ذكرها سابقا.



الشكل (1 -37) مناطق القطع والتوصيل النموذجية للمرشحات المختلفة

أما من ناحية مكونات المرشح أو عناصره فقد صنفت المرشحات إلى نوعين رئيسين:

أ- مرشحات غير فعالة.

ب- مرشحات فعالة.

أ- المرشحات الغير فعالة Passive Filters:

يتكون المرشح من العناصر الكهربائية الأساسية غير الفعالة وهي:

1- المقاومة الكهربائية : يرمز لها بالحرف (R) ، وتقاس بالأوم (Ω).

2- الملف : يرمز له بالحرف (L) ، ويقاس بالهنري (H).

3- المتسعة: يرمز لها بالحرف (C) وتقاس بالفاراد (F).

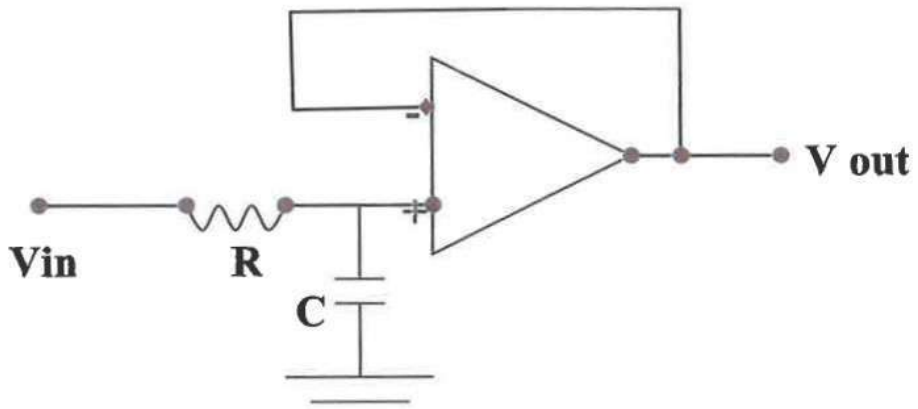
تتغير قيم ممانعة الملف والمتسعة للتيار الكهربائـي اعتماداً على التردد ، لذلك نجد أن المرشح يحتوي على عدد من المتسعات والملفات فقط وتسمى بمرشحات (LC) وقد يحتوي على عدد من المتسعات والمقاومات فقط وتسمى بمرشحات (RC) أو تتكون من الملفات والمقاومات وتسمى عندها بمرشحات (RL) أو تتكون من المقاومات والمتسعات والملفات وتسمى بمرشحات (RLC).

ب- المرشحات الإلكترونية الفعالة Active Filters:

يستخدم في هذا النوع مـن المرشحات عناصر إلكترونية فعالة وهـي عناصر تضخيم وتكبير للإشارة الكهربائيـة مثل الترانزستور أو مكبر العمليات، فضلا عن عناصر غير فعالـة تقوم بتحديد الخواص الترددية للمرشح الفعال، وهي المقاومة والمتسعة ، في هذه المرشحات يتم تجنب الملفات (L) التي تتصف بكبر الحجم نسبياً.

في الدوائر المتكاملة ظهر نوع جديد من المرشحات الفعالة، سُميت بالمرشحات ذات المكثف المتقطع تمتاز هذه المرشحات بالدقة العالية وتستخدم عناصر فعالة متكاملة على رقاقة إلكترونية واحدة (دائرة متكاملة) مرتبطة مع عناصر غير فعالة (متسعة أو مقاومة) على الرقاقة نفسها.

يمكن تصميم المرشحات باستخدام مضخم العمليات كما هو مبين في الشكل (1- 38).



الشكل (1- 38) تصميم مرشحات باستخدام مضخم العمليات

4.17.1 المرشحات الرقمية Digital Filter

تعتبر المرشحات الرقمية جزءاً هاماً من معالجةالإشارةالرقمية (DSP) (Digital Signal Processing) حيث كان لأدائها الدور الأكبر في توسيع وتعميم معالجة الإشارة، تستخدم المرشحات الرقمية لهدفين أساسين أولهما الفصل بين الإشارات الرقمية المتراكبة وهو ما يحدث عادة بوجود الضجيج أو إشارات أخرى كمثل على ذلك ما يحدث عند إجراء تخطيط لقلب طفل في بطن أمه فإن الإشارة الصادرة عن قلبه ستختلط بإشارة نفس أمه وإشارة ضربات قلب أمه أيضاً، وهكذا يمكن استخدام مرشح لفصل الإشارات وتعالج منفصلةً.وثاني هدف استخدام المرشحات هو لاستعادة إشارة مشوهة لسبب ما كاستعادة إشارة صوتية مسجلة على شريط مغناطيسي قديم أو غير صالح فإن استخدام المرشحات يساعد على الحصول على إشارة وكأنها مسجلة حديثاً، وكما أنه يمكن استخدام المرشحات التماثلية لنفس الغرض إلا أن

المرشحات الرقمية أكثر فاعلية وأجدى نفعاً.تقسم المرشحات بشكل عام حسب استجابتها إلى صنفين وهما المرشحات محدودة الاستجابة (finite Impulse Response FIR) والمرشحات لامحدودة الاستجابة (Infinite Impulse response IIR).

18.1 مولد الإشارات (مولد الدالة) Function Generator

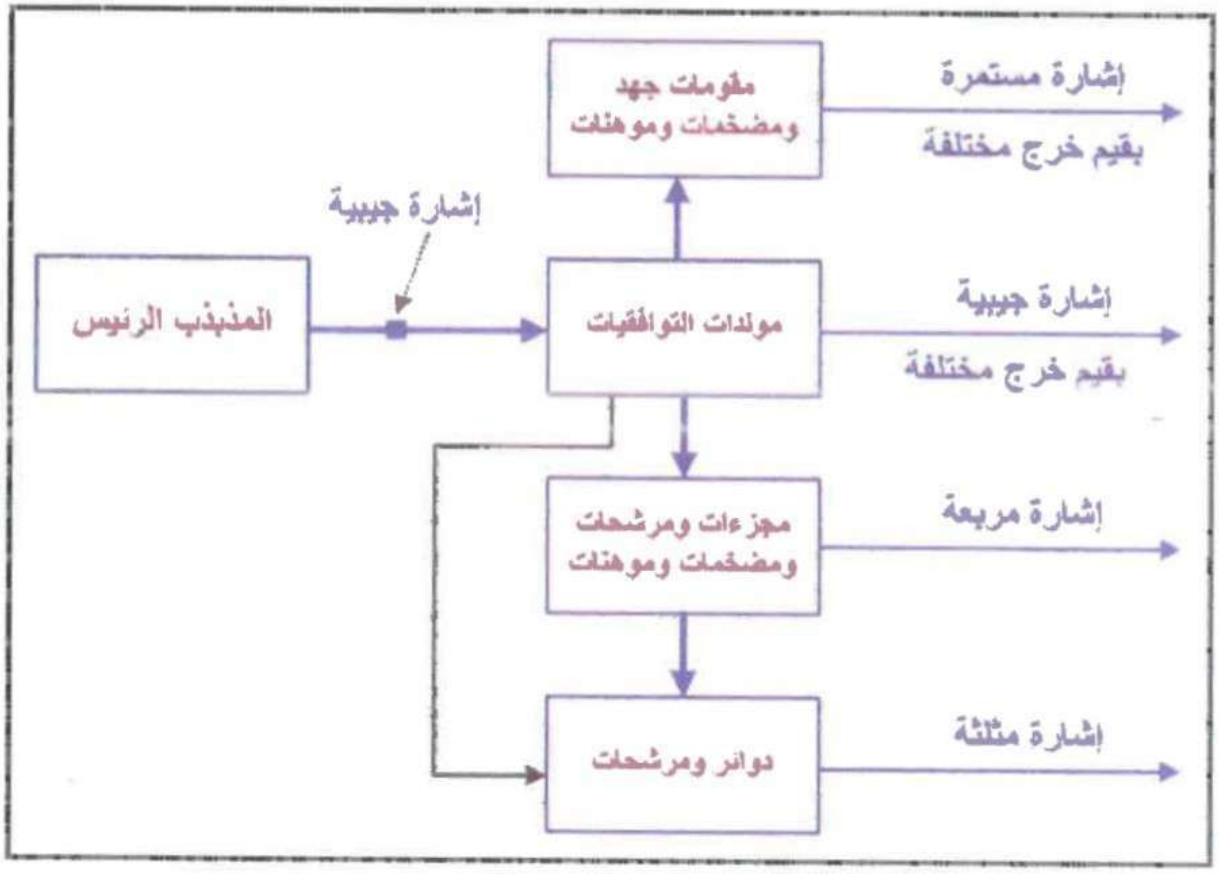
مولد الدالة عبارة عن جهاز الكتروني يقوم بتوليد إشارة دورية باتساع محدد وتردد محدد ويمكن تغيير قيم التردد والاتساع للإشارات المولدة.

وتتمثل مبادئ عمله في الحصول على إشارة دورية جيبية من خلال دائرة مذبذب يعتمد في تصميمه على مضخم ودائر تغذية راجعة موجبة لخارج المضخم ، على أن يحقق ربح المضخم ودالة تحويل دائرة التغذية شرطا محددا فيما يتعلق بالاتساع والطور لحدوث التذبذب وتوليد الإشارة الدورية وللحصول على إشارة جيبية مستقرة القيمة يتم استخدام مذبذب نوع بلوري له استقرار محدد ويعد هذا من ضمن مواصفات تصميم المذبذب.

وبعد ذلك يتم تجهيز الإشارة الجيبية المتحصل عليها عن طريق دوائر مضخمات بقيم كسب مختلفة أو عدد من الموهنات والمرشحات وذلك للحصول على توافقيات الإشارات الجيبية العلوية والسفلية وبقيم اتساع مختلفة ، أي أن هذه العملية تمكننا من الحصول على مولد جيبي بترددات واتساعات مختلفة.يمكن الحصول من مولدات الإشارة الدورية على الإشارات الآتية :

- ❖ الإشارة الجيبية.
- ❖ الإشارة المربعة.
- ❖ الإشارة المثلثية
- ❖ الإشارة النبضية.
- ❖ الإشارة المستمرة.

وللحصول على كل الإشارات الدورية فان الأمر يتطلب إضافة عدد آخر من الدوائر الالكترونية مثل المضخمات والمرشحات والمجزءات والمقومات والشكل (1-39) يوضح المخطط الكتلوي لعملية توليد الإشارة. ويستخدم فى ورش التدريب العملي .



الشكل (1-39) مخطط صندوقي يوضح كيفية الحصول على إشارات دورية

اسئلة الفصل الاول

س1: ما المقصود بالاتصالات ؟ وما المكونات الأساسية لنظام الاتصال؟

س2: انكر عناصر منظومة الاتصالات موضحا إجابتك بالرسم .

س3: ما المقصود بمحول الطاقة؟ وما وظائفه؟

س4: الإشارات المرسلة عبر قناة الاتصال تتعرض لعدة مؤثرات ، عددها مع الشرح.

س5: عرف المصطلحات الآتية:

الإشارة - الشكل الموجي للإشارة- الإشارة العشوائية - السعة - التداخل - التوهين - قناة الاتصال - الإشارة الدورية - الإشارة المستطيلة- الإشارة التماثلية- الإشارة الرقمية- التأخير الزمني- التشويه- الطيف الكهرومغناطيسي - الانكسار- الخفوت - تردد القطع .

س6: ما الخصائص المشتركة للأشكال الموجية الكهربائية ؟

س7: عدد أنواع الإشارات المستخدمة في مجال الاتصالات.

س8: وضح المقصود بالإشارة الدورية مع الرسم.

س9: عرف إشارة أسنان المنشار ، وما الغرض من استخدامها ؟ وضح اجابتك بالرسم.

س10: ما المقصود بالإشارات المستمرة والإشارات المتقطعة ؟ وضح اجابتك بالرسم.

س11: ما الفرق بين الإشارة التناظرية والإشارة الرقمية؟

س12: ما الفرق بين الإشارات والبيانات ؟

س13: وضح كيف يتم تحويل البيانات إلى إشارات.

س14: انكر أنواع وسائط نقل المعلومات ذاكرا خصائص كل منها.

س15: انكر أنواع الوسائط السلكية المستخدمة

س16:اذكر صفات قنوات الاتصال الرقمية.

س17: عدد مع الشرح أنماط الاتصال في أنظمة الاتصالات.

س18: ما الفرق بين التشويه و التشويش؟

س19: اذكر أسباب انخفاض مستوى الإشارة.

س20: ما أهم خصائص الإشارة الكهرومغناطيسية ؟

س21: وضح المقصود بدراسة الإشارة في النطاق الزمني و النطاق الترددي.

س22: عرف عرض النطاق واشرح أنواعه.

س23: ما الغاية من متسلسلة فوريير؟ ولماذا نستخدمها ؟

س24: ما المقصود بالمرشحات ؟ ومما تتكون ؟ وضح اجابتك بالرسم

س25: اذكر مع الشرح أنواع المرشحات حسب مجال التمرير.

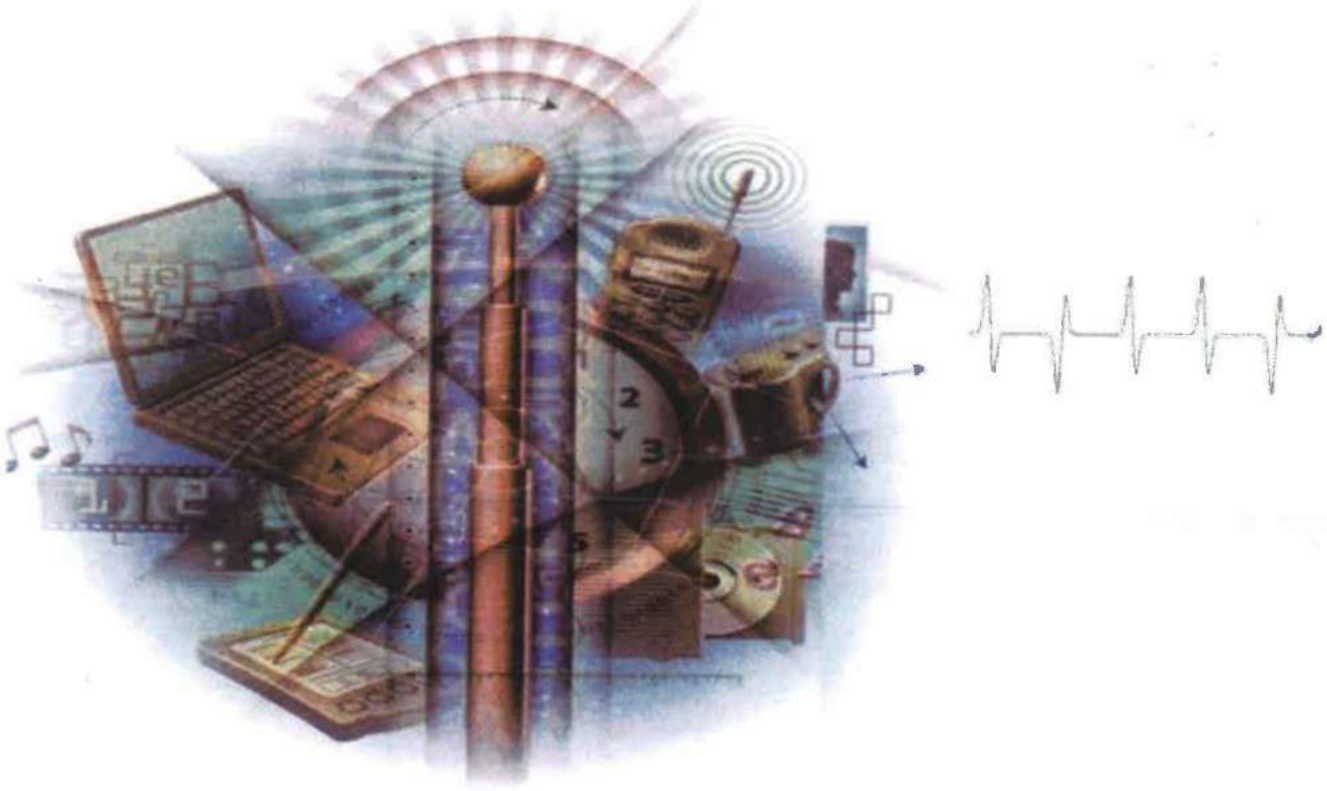
الفصل الثاني

التضمين التماثلي

الاهداف الخاصة

بعد الانتهاء من دراسة هذا الفصل يكون الطالب قادرًا على:

1. معرفة المفاهيم الأساسية للاتصالات التماثلية.
2. معرفة مفهوم التضمين التماثلي وفوائده وأنواعه بشكل عام.
3. معرفة التضمين السعوي وأنواعه، وكيفية توليده والكشف عنه.
4. معرفة التضمين الزاوي وأنواعه، وكيفية توليده والكشف عنه.
5. المقارنة بين أنواع التضمين التماثلي.



الفصل الثاني
التضمين التماثلي

1.2 المقدمة

إنَّ جوهر الاتصالات يكمن في تبادل المعلومات، حيث تستخدم الاتصالات الالكترونية نفس التقنية في عملية إرسال واستقبال ومعالجة الإشارة بين محطتين أو أكثر وذلك باستعمال الدوائر الالكترونية المناسبة، فالإشارات الحاملة للمعلومات في أنظمة الاتصالات تكون غير ملائمة بصورة عامة للإرسال عبر وسط معين بحالتها الأصلية؛ وذلك لأن ترددتها غير ملائمة للانتشار Propagation في وسط الإرسال Transmission-Medium وعليه تستعمل موجة حاملة Carrier Wave مُضمَّنة Modified لتلك الإشارات تكون خواصها أكثر ملائمة لوسط الإرسال.

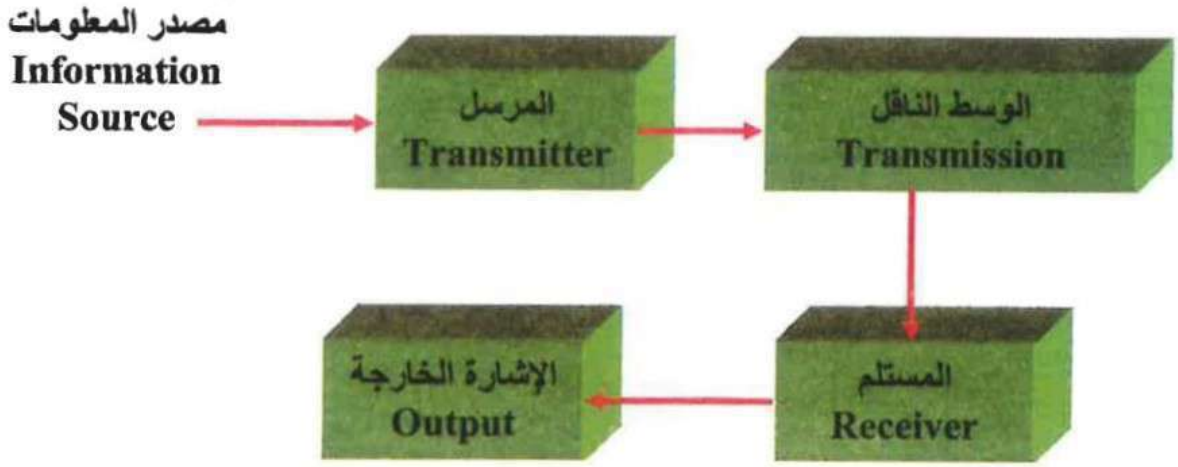
إنَّ تضمين إشارة المعلومات على الموجة الحاملة يتم بواسطة عملية تسمى التضمين Modulation وهي عبارة عن تغيير يتم لإحدى صفات الموجة الحاملة وفقًا لإشارة التضمين Modulation Signal، وهذا التضمين له عدة أنواع حسب نوع نظم الاتصالات الالكترونية المستخدمة والتي تقسم بشكل رئيسي إلى نوعين:

1- نظم الاتصالات التماثلية Analog Communication System: وهي أنظمة الكترونية ترسل فيها الطاقة ويتم استقبالها على شكل مستمر.

2- نظم الاتصالات الرقمية Digital Communication System: وهي أنظمة الكترونية ترسل فيها الطاقة ويتم استقبالها على شكل مستويات متقطعة، وسندرسها بالتفصيل في الفصل الثالث.

ومهما كان نوع نظام الاتصالات فانه يتشكل من العناصر التالية: منبع أو مصدر إشارة المعلومات، قسم الإرسال حيث تجري فيه عملية التضمين، والوسط الناقل (سلكي ولاسلكي)، وقسم الاستقبال والذي تجرى فيه عملية عكسية للإشارة المستلمة تسمى بعملية كشف التضمين Demodulation وفيه نسترجع إشارة المعلومات الأصلية، والشكل (2-1) يوضح العناصر الأساسية لنظام اتصالات.

والتضمين الذي سندرسه في هذا الفصل هو المتعلق بنظم الاتصالات التماثلية وتقسيماته وكيفية توليد كل نوع والكشف عنه، والتطرق إلى ذكر أهمية التضمين في نظم الاتصالات بالإضافة إلى دورها الابتدائي كعملية تحويل للتردد Frequency Conversation Operation.



الشكل (2-1) العناصر الأساسية لنظام الاتصالات

2.2 مفهوم التضمين Modulation Concept

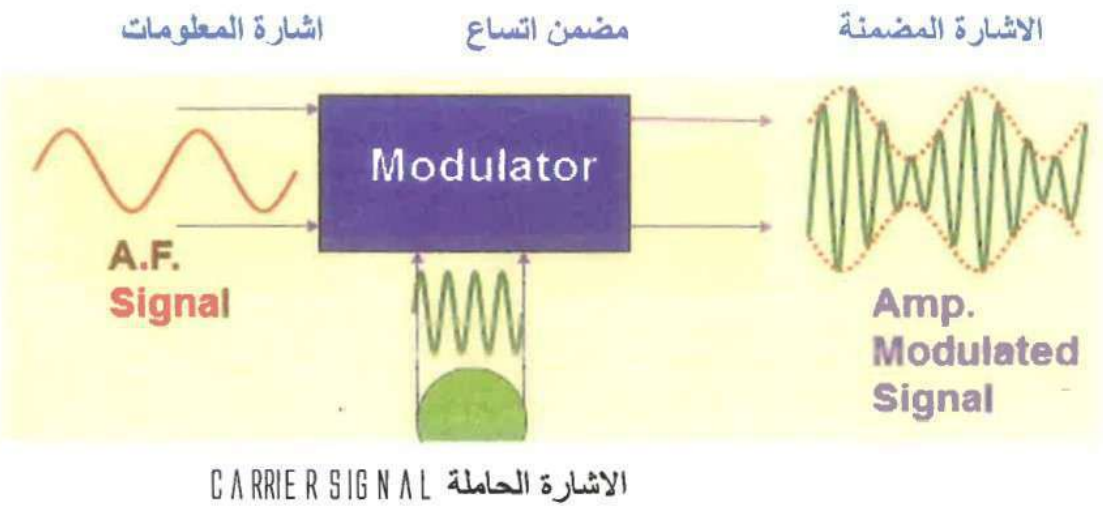
نظرًا لأن إشارة المعلومات الناشئة من مصادر المعلومات المختلفة تقع غالبًا ضمن مدى تردد إشارة الحزمة الأساسي (Baseband Frequency Range) وهذا المدى يكون عادة مدى ذو تردد واطئ نسبيًا فتسمى إشارة المعلومات بإشارة الحزمة الأساس Baseband Signal وهي بهذه الترددات الواطئة تكون غير مناسبة للنقل لمسافات بعيدة عبر قنوات الاتصال المتوفرة، فيتم لذلك إجراء عملية تعديل لتسهيل عملية النقل وهذا التعديل يُعرف بعملية التضمين وحقيقة العملية هي عبارة عن مزج إشارة المعلومات واطئة التردد مع إشارة جيبية (Sinusoidal) عالية التردد لإنتاج إشارة جديدة، هذه الإشارة الجديدة سوف تكون لها ميزات وفوائد معينة أكثر مقارنة مع الإشارة غير المعدلة وخاصة أثناء الإرسال، الإشارة الجيبية عادة يتم توليدها عن طريق مذبذب محلي (Local Oscillator) يكون في قسم الإرسال وهذه الإشارة الجيبية تسمى بإشارة المذبذب المحلي (Local Oscillator Signal), إنَّ الإشارة الحاملة e(t) بصورة عامة يتم التعبير عنها كالتالي:

$$e(t)= A_c \cos(2\pi f_c t + \theta_c) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

ومن المعادلة السابقة يمكن ملاحظة أنَّ هناك ثلاث عناصر يمكن تغييرها للتأثير على شكل الرسم الخاص بالإشارة الجيبية، حيث تمثل:

A_c: الاتساع أو السعة , fc : التردد , θ : الطور

فإذا تغير اتساع أو تردد أو طور الإشارة الحاملة وفقًا لإشارة التضمين ينتج عن ذلك أحد أنواع التضمين التي سندرسها في الفقرة القادمة.



الشكل (2-2) مخطط توضيحي لعملية تضمين إشارة معلومات

3.2 أنواع التضمين

إنَّ أنواع التضمين بشكل أساسي تقسم إلى ثلاثة اقسام رئيسية حسب نوعية نظام الاتصال المستخدم فأمَّا ان يكون نظام اتصال تماثلي أو نظام اتصال نبضى او نظام اتصال رقمي ولكل من الانظمة تقسيمات خاصة بالتضمين، انظر الشكل (2-3) في هذا الفصل سندرس التضمين التماثلي أمَّا الانواع الاخرى فسيتم دراستها في الفصل الثالث , التضمين في نظم الاتصالات التماثلية يقسم إلى قسمين رئيسيين، هما:

أ- تضمين السعة أو الاتساع Amplitude Modulation:

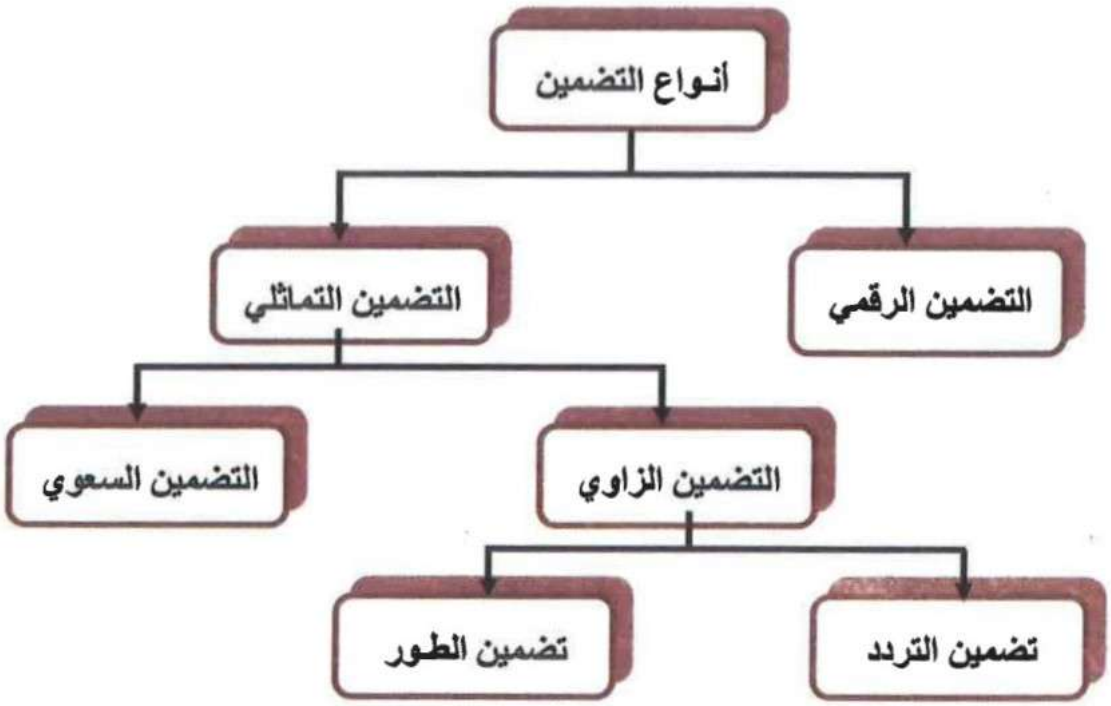
وفي هذا النوع من التضمين يتغير اتساع الإشارة الحاملة بما يتناسب والتغير اللحظي لاتساع إشارة المعلومات في حين يبقى تردد وطور الإشارة الحاملة ثابتًا .

ب- تضمين الزاوية Angle Modulation:

وهذا النوع من التضمين يقسم إلى نوعين:

1- تضمين التردد **Frequency Modulation**: وفي هذا النوع من التضمين يتغير تردد الإشارة الحاملة بما يتناسب والتغير اللحظي لتردد إشارة المعلومات في حين يبقى اتساع وطور الإشارة الحاملة ثابتًا.

2- تضمين الطور **Phase Modulation**: وفي هذا النوع من التضمين يتغير طور الإشارة الحاملة بما يتناسب والتغير اللحظي لطور إشارة المعلومات في حين يبقى اتساع الإشارة الحاملة وترددها ثابتًا.



الشكل (2-3) أنواع التضمين

4.2 أسباب اللجوء إلى التضمين

توجد عدة اعتبارات وفوائد تحتم علينا استخدام التضمين في منظومات الاتصال نذكر منها ما يلي:

1- التضمين لتسهيل عملية البث اللاسلكي:

من خلال مبادئ الإشعاع الموجي فإن الطول الفعلي المناسب لهوائي الارسال يجب ان يكون بطول (الطول الموجي/10) على الأقل , و ذلك للحصول على اشعاع جيد لإشارة صوتية ذات تردد (1) كيلوهيرتز فإننا بحاجة إلى هوائي بطول (30000) متر أي 30 كيلومتر على الأقل و إذا كان تردد الإشارة الصوتية هو 100 هرتز فإن طول الهوائي يكون 300 كيلومتر على الأقل وهذه الأطوال غير عملية ومن الصعب تنفيذها , وإذا استخدمنا التضمين أي تحويل الحزمة الترددية المنخفضة إلى حزمة ترددية عالية تصبح هوائيات الاشعاع الجيد ذات أطوال عملية. فمثلا في حالة البث الإذاعي للموجة المتوسطة عند تردد1 ميكاهرتز, يكون طول الهوائي 30 مترعلى الأقل واذا استخدم هوائي بطول (الطول الموجي/ 2) فيكون بذلك طوله 150 متروهي من الاطوال المستخدمة في البث الاذاعي.

2- تضمين لغرض تضييق الفارق النسبي لمدى الحزمة الترددي :

إذا افترضنا بأننا نريد بث إشارة صوتية مباشرة و أن الهوائي المطلوب يمكن العمل على تنفيذه وفي هذه الحالة ستنشأ مشكلة أخرى, فإذا افترضنا أن مدى حزمة الإشارة الصوتية يمتد من 50 هيرتز إلى 10000 هيرتز والفارق النسبي بين أعلى وأقل تردد سيكون كبير ولذلك فالهوائي المناسب عند إحدى

نهايات الحزمة سيكون قصيرا جدا أو طويلا جدا عند النهاية الأخرى وإذا تم تضمين هذه الإشارة الصوتية بتحويل حزمتها إلى المدى الترددي لاشارة التضمين المحملة لذلك فعملية التضمين ضيقت الفارق النسبي لمدى الحزمة الترددي وأصبح بالإمكان استخدام هوائي واحد.

3- تضمين لغرض التجميع (الإرسال المتعدد):

في كثير من الأحوال فإننا نحتاج إلى إرسال عدد من الإشارات من موقع ما في آن واحد وعبر قناة إتصال واحدة إلى موقع آخر, و في هذه الحالة نقوم باستخدام التضمين بتجميع الإشارات وفق التقسيم الترددي (FDM) ثم إرسالها عبر القناة ومن ثم نقوم بإستقبالها و توزيع هذه الإشارات للمواقع المرسلة إليها , وتعتبر طرق إرسال بيانات القياس عن بعد و منظومات البث المسموع المجسم ومنظومات القنوات الهاتفية كأمثلة لتطبيقات طريقة التجميع وفق التقسيم الترددي , ومن الشائع الآن إرسال ما يزيد عن 1800 قناة هاتفية عبر قابلومحوري واحد يقل قطره عن سنتمتر واحد.

4- تضمين لغرض تحديد وتوزيع الترددات:

التضمين يساعد على عملية توزيع الترددات وتحديدها وفق محطات الإرسال ووفق الإستخدامات المختلفة فعملية بث عدة قنوات مرئية وعدة محطات إذاعية في منطقة واحدة و في آن واحد أصبحت ممكنة بوجود عملية التضمين, وبدونها لا يمكن السماح إلا لمحطة أو إذاعة واحدة للبث في آن واحد وإلا سيحدث التداخل بينها .

5- تضمين للتغلب على الضجيج والتداخل:

يستخدم التضمين كأداة للتقليل من تأثيرالضجيج والتداخل على جودة الإستقبال كما هو الحال في نظام تضمين التردد الذي يمتاز بمقدرته على التغلب على الضجيج والتداخل إلا انه لتحقيق ذلك يتطلب عرض حزمة ترددي واسع.

5.2 تضمين السعة Amplitude Modulation(AM)

ان تضمين السعة تعرف بانها العملية التي يتم خلالها تغيير سعة الموجة عالية التردد (الموجة الحاملة) تبعًا لتغيرات سعة الموجة منخفضة التردد (الموجة المحمولة - إشارة المعلومات) مع بقاء تردد الموجة الحاملة ثابتًا، ويستخدم هذا النوع من التضمين في العديد من محطات المذياع للبث الإذاعي .

1.5.2 أساسيات تضمين السعة Amplitude Modulation Basics

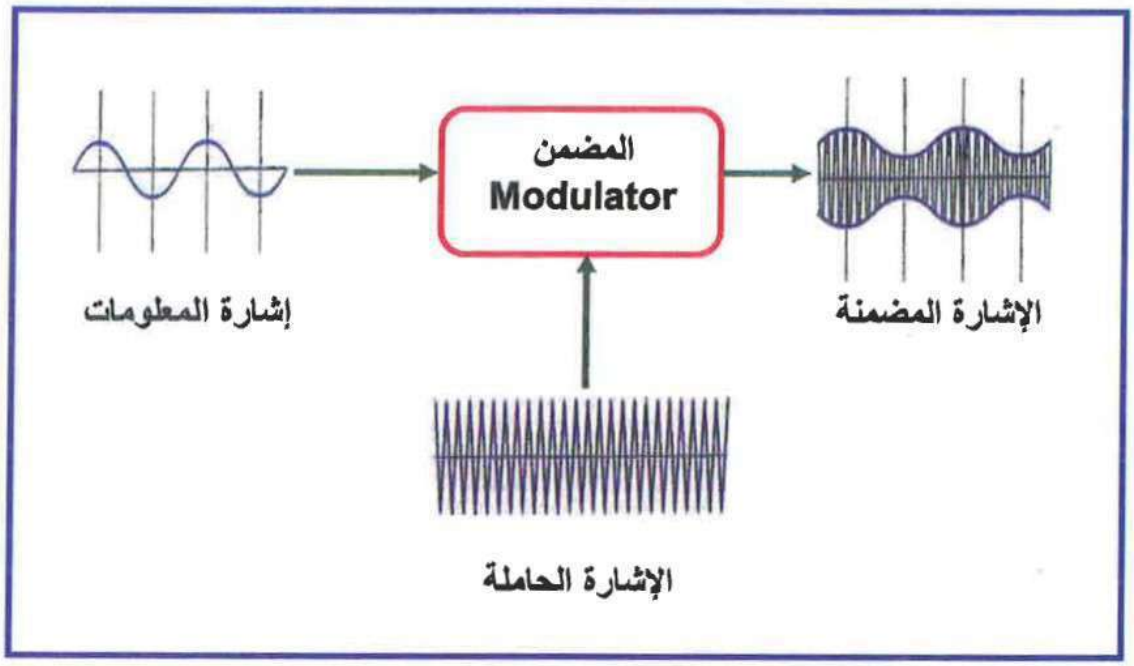
في نظام تضمين السعة توجد أربعة عناصر أساسية كما في الشكل (2-4) وهي:

أ- إشارة المعلومات Information Signal التي سيتم تحويلها من نطاقها ذي التردد الواطئ إلى نطاق ذي تردد عالٍ مناسب لعملية النقل عبر قناة الاتصال المحددة، وذلك عن طريق استخدام إشارة حاملة.

ب- الإشارة الحاملة Carrier Signal ويتم توليدها بواسطة مذبذب Oscillator.

ت- المضمن السعوي Amplitude Modulator دائرة الكترونية تقوم بعملية التضمين حيث يقوم بمزج إشارة المعلومات مع الإشارة الحاملة بعد التضمين على سعتها لتناسب نقل إشارة المعلومات عبر قناة الاتصال المتاحة.

ث- الإشارة المضمنة Modulated Signal هي الاشارة الخارجة من المضمن السعوي، وهذه الإشارة تكون ملائمة للنقل عبر قناة الاتصال المتاحة.



الشكل (2-4) العناصر الأساسية لنظام تضمين السعة

لتضمين السعة توجد عدَّة أنواع تختلف في خواصها وهي :

1. تضمين السعة التقليدي **Conventional Amplitude Modulation (AM)** أو تضمين السعة ذو الحزمتين الجانبيتين والحاملة الكبيرة أو الحاملة الكاملة

. Double Side Band Large/Full Carrier (AM-DSBLC/AM-DSBFC)

2. تضمين السعة ذو الحزمتين الجانبيتين والحاملة المحذوفة

Double Side Band Suppressed Carrier (AM-DSBSC)

3. تضمين السعة ذو الحزمة الجانبية الواحدة **Single Side Band (AM-SSB)**

أو تضمين السعة ذو الحزمة الجانبية الواحدة والحاملة المحذوفة

Single Side Band Suppressed Carrier (SSB –SC)

توجد أربع صفات تتميز بها الموجة المضمنة سعويًا، وهي:

1- ترددها يكون مساويًا لتردد الموجة الحاملة.

2- التغير الذي يحدث على سعة الموجة المضمنة خلال عملية التضمين يكون مساويًا للتغيير الذي يحدث على سعة إشارة المعلومات (الموجة المحمولة).

3- تردد الغلاف الخارجي للموجة المضمنة يكون مساويًا لتردد إشارة المعلومات.

4- سعة الغلاف الخارجي تكون مساوية لسعة إشارة المعلومات .

2.5.2 توزيع جهد موجة AM AM Voltage Distribution

كما هو معروف لكل موجة كهربائية تحمل في طياتها جهد، تيار، وطاقة من خلال هذا الجزء نريد ان نعبر رياضيا عن توزيع جهد موجة AM. حتى يتسنى لنا ذلك نعبر عن الجهد اللحظي الجيبي للموجة الحاملة قبل التضمين بالمعادلة الرياضية التالية:

$$v_c(t) = E_c \sin(2\pi f_c t) \qquad \text{.....(2)}$$

$$v_m(t) = E_m \sin(2\pi f_m t) \qquad \text{.....(3)}$$

Vc(t): هو الجهد اللحظي للموجة الحاملة (Volts).

Ec: القيمة العظمى (السعة) للموجة الحاملة (Volts).

fc: تردد الاشارة الحاملة.

Em : القيمة العظمى (السعة) لاشارة المعلومات

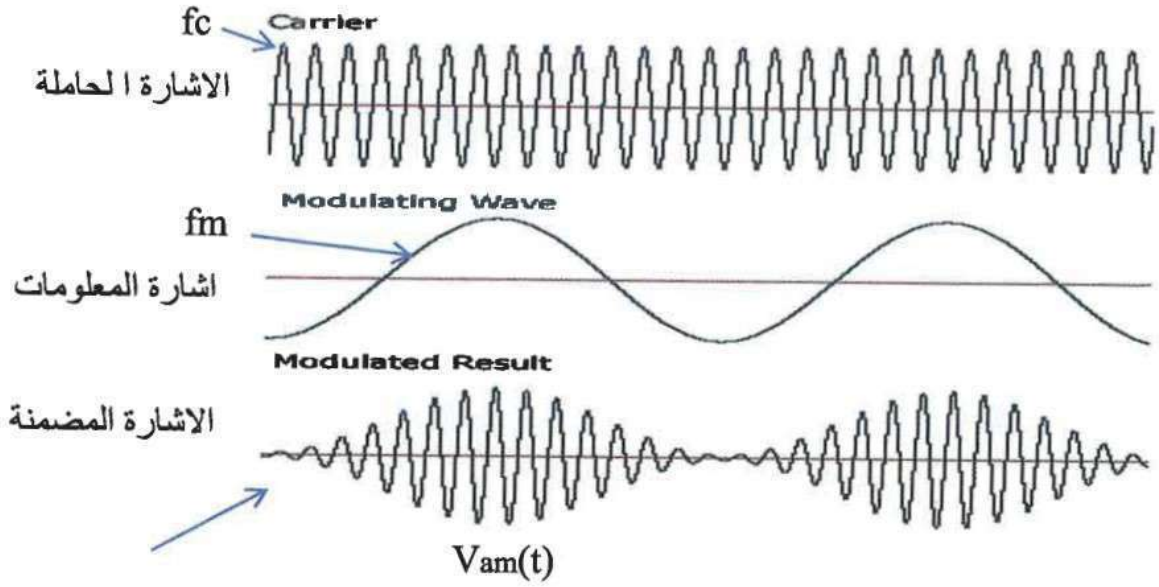
fm : تردد اشارة المعلومات

من الشكل (2-5) نلاحظ مايلي :

*معدل الاعادة (Repetition Rate) للغلاف الخارجي لموجة AM يساوي تردد اشارة التضمين (المعلومات).

* القيمة العظمى (السعة) للغلاف الخارجي لموجة AM تساوي Em+Ec.

*سعة الغلاف الخارجي لموجة AM تتغير تبعا لسعة اشارة التضمين.



الشكل (2-5) تضمين الموجة سعويا

ومن هنا يمكن التعبيرعن السعة اللحظية لموجة AM بالعلاقة الرياضية التالية:

$$v_{am}(t) = [E_c + E_m \sin(2\pi f_m t)][\sin(2\pi f_c t)] \qquad \text{.....(4)}$$

حيث ان $[(E_c + E_M \sin(2\pi f_M t)]$: تمثل سعة الموجة المضمنة.

واذا كانت:

$$E_m = mE_c$$

حيث m تمثل معامل التضمين (سيأتي شرحها لاحقا في هذا الفصل) نحصل على:

$$v_{am}(t) = [E_c + mE_c \sin(2\pi f_m t)][\sin(2\pi f_c t)] \qquad \text{.....(5)}$$

3.5.2 الطيف الترددي (طيف الاشارة) AM Frequency Spectrum

كما ذكرنا سابقًا فإنَّ إشارة المعلومات المراد إرسالها عبر الوسط الناقل تكون عادة ذات ترددات منخفضة, فلا يمكن ضمان وصولها إلى الجهة المراد نقلها إلا عن طريق إجراء عملية التضمين ومن نتائج عملية التضمين أنَّ عرض حزمة الإرسال اللازمة ستكون ضعف عرض حزمة إشارة المعلومات نظرًا لإزاحة طيف إشارة المعلومات أعلى وأوطأ من تردد الإشارة الحاملة.

من الواضح أنَّ قسم الإرسال لا يرسل إلا موجة مضمنة واحدة وتكون هذه الموجة ذات حزمة تحتوي على أكثر من تردد واحد، والإشارة المضمنة سعويًا تحتوي على ثلاثة ترددات أساسية ، وهي:

1- تردد الموجة الحاملة نفسها ويعبر عنه بـ f_c.

2- مجموع تردد الموجة الحاملة f_c وتردد الموجة المحمولة f_m وتسمى الحزمة الجانبية العليا (Upper Side Band) (USB) (fc + fm) .

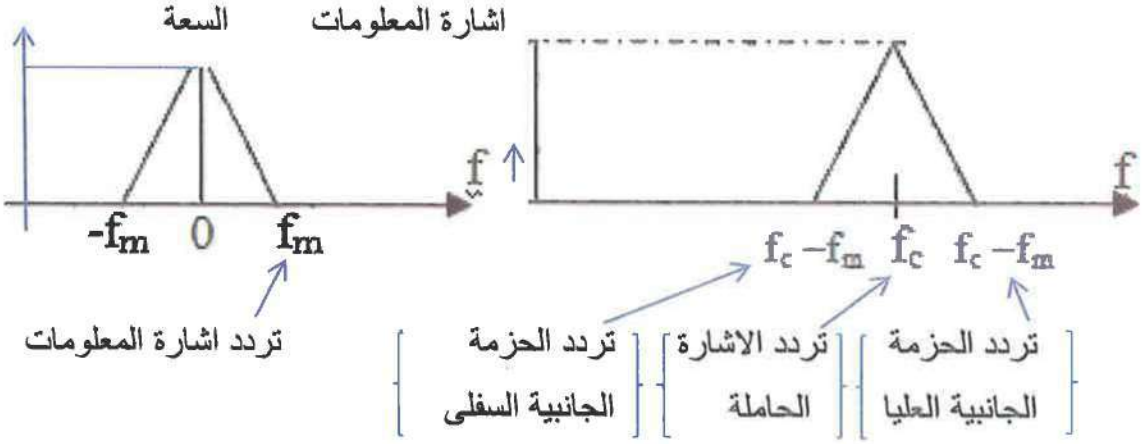
3- الفرق بين تردد الموجة الحاملة f_c وتردد الموجة المحمولة f_m وتسمى الحزمة الجانبية السفلى (Lower Side Band) (LSB) (fc - fm) .

وللتوضيح انظر الشكل (2- 6) وبعبارة أخرى فإنَّ للموجة المضمنة لها ثلاث مركبات:

الأول: مركبة تردد الموجة الحاملة نفسها.

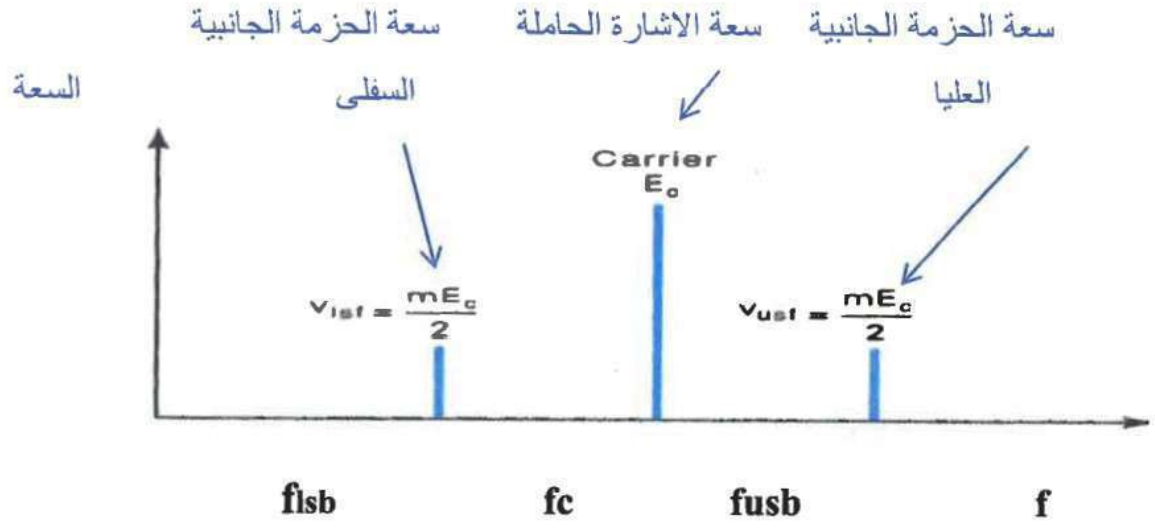
والثاني: مركبة تردد حزمة جانبية سفلي (LSB) ويكون أقل من تردد الموجة الحاملة بتردد المحمولة.

والثالث: مركبة تردد حزمة جانبية عليا (USB) ويكون تردده أكبرمن تردد الموجة الحاملة بمقدار تردد المحمولة.



الشكل (2-6) أنواع الترددات للإشارة المضمنة

الشكل (2-7) يوضح طيف الاشارة مع سعات المركبات الثلاثة.



الشكل (2-7) يوضح طيف الاشارة مع سعات المركبات الثلاث

فمثلًا إذا كان تردد الموجة الحاملة 500 كيلو هرتز، وكان تردد الموجـة المحمولـة (إشارة المعلومات) 10 كيلوهرتز فإنَّ الترددات الناتجة هي:

1- 500 – 10 = 490 كيلو هيرتز وهو تردد حزمة جانبية سفلي.

2- 500 + 10 = 510 كيلو هرتز وهو حزمة جانبية عليا .

مثال (2-1)

إذا علمت أنَّ تردد إشارة المعلومات هو 2500Hz وتردد الإشارة الحاملة هو 1000Khz، احسبْ تردد الحزم الجانبية العليا والسفلى،وعززْ إجابتك برسم توضيحي للمكونات الترددية للإشارة المضمنة الناتجة عن عملية التضمين.

الحل:

تردد إشارة المعلومات

$$f_{,m} = 2500 \div 1000 = 2.5 \text{ Khz}$$

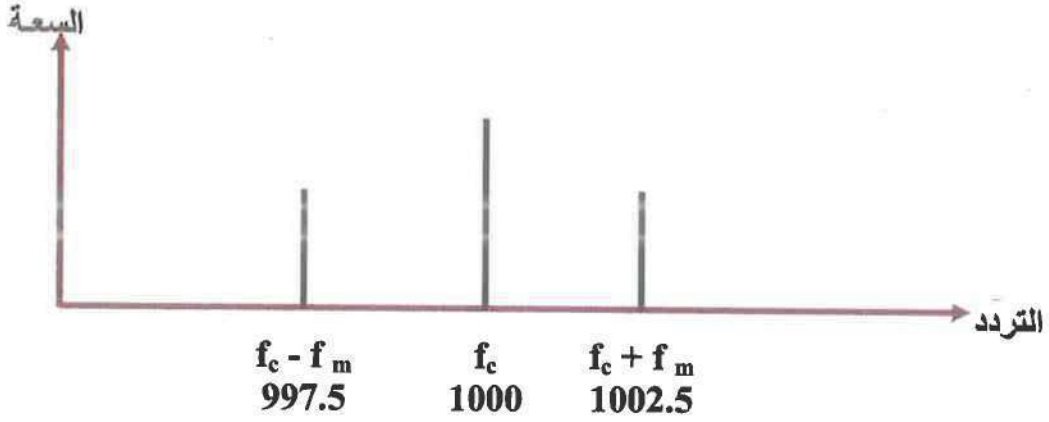
تردد الإشارة الحاملة f_c = 1000Khz

تردد الحزمة الجانبية العليا = تردد الإشارة الحاملة + تردد الإشارة المحمولة

$f_{ubs} = f_c + f_m = 1000 + 2.5 = 1002.5$ Khz

تردد الحزمة الجانبية السفلي = تردد الإشارة الحاملة – تردد إشارة المعلومات

$F_{lbs} = f_c - f_m = 1000 - 2.5 = 997.5$ Khz



مثال (2-2)

محطة إذاعية تستخدم التردد الحامل مقداره 675Khz، والاشارة الخارجة من المايكروفون الإذاعي تحتوي على الحزمة 3400-300Hz، احسب المكونات الأساسية للإشارة المضمنة سعويًا، وعزز إجابتك بالرسم التوضيحي للمكونات الترددية للموجة المضمنة.

الحل:

حزمة ترددات الاشارة الخارجة من المايكروفون الإذاعي = 3.4 – 0.3Khz

ترددات الحزمة الجانبية العليا = تردد الموجة الحاملة + تردد موجة المعلومات

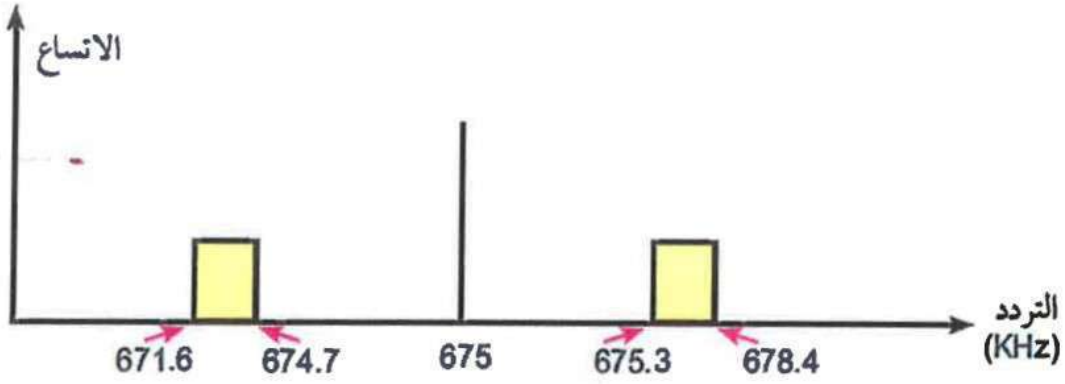
675 + 0.3 = 675.3Khz

675 + 3.4 = 678.4Khz

ترددات الحزمة الجانبية السفلي = تردد الموجة الحاملة – تردد موجة المعلومات

675 – 0.3 = 674.7Khz

675 – 3.4 = 671.6Khz



4.5.2 عرض حزمة تضمين السعة AM Bandwidth

إنَّ الموجة الحاملة التقليدية هي عبارة عن موجة ذات تردد واحد وتحتل جزء صغير جدًا من الطيف الترددي، لكن عندما يتم تضمين الموجة الحاملة سعويًا فإنه يتم تكوين حزمتين من الترددات أعلى وأسفل تردد الموجة الحاملة كما في الشكل (2-8)، إنَّ مقدار مساحة الطيف الترددي المطلوب للإشارة يسمى بعرض الحزمة لتلك الإشارة.BW_{AM} وهو ضعف عرض حزمة إشارة المعلومات.

يمكن ايجاد عرض الحزمة الترددي للإشارة ذات التضمين السعوي من الطيف التردد (الشكل 2-7) تبعا للعلاقة التالية :

$$B.W_{AM} = f_{usf} - f_{lsf} = (f_c + f_m) - (f_c - f_m) = 2\,f_m \ldots\ldots..(6)$$

حيث أنَّ:

f_c: تمثل تردد الموجة الحاملة وتقاس بالهرتز.

f_m: تمثل تردد الموجة المحمولة (إشارة المعلومات) وتقاس بالهرتز.

BW_{AM}: تمثل عرض حزمة الموجة المضمنة سعويًا وتقاس بالهرتز.

علمًا أنَّ هذه العلاقة الرياضية صحيحة في كل من عمليتي: تضمين السعة ذو االحزمتين الجانبيتين والحاملة الكاملة AM-DSBFC وتضمين السعة ذو الحزم الجانبية محذوف الحاملة AM-DSBSC.

مثال (2-3)

احسب الحزمة الترددية المطلوبة لإرسال إشارة مضمنة سعويًا لكل مما يأتي:

1- إذا كان عرض الحزمة للموجة المحمولة (موجة المعلومات) يساوي 7KHz؟

2- إذا كانت ترددات الموجة المحمولة (موجة المعلومات) من 1000Hz إلى 6000Hz؟

الحل:

1. $BW_{AM} = 2f_m$

$BW_{AM} = 2 \times 7 = 14\ KHz$

مدى ترددات الموجة المحمولة = 1000 إلى 6000 Hz

$\therefore f_m = 6000\ Hz = 6\ KHz$

$BW_{AM} = 2f_m$

$BW_{AM} = 2 \times 6 = 12\ KHz$

مثال (2-4)

محطة إذاعية ترسل إشارة نوع AM – DSBFC وكان تردد موجة المعلومات يساوي 4KHz بينما تردد المذبذب المحلي يساوي 50KHz فاحسب ما يأتي:

1- النهايات الترددية لكل من الحزمة الجانبية العليا USB والحزمة الجانبية السفلى LSB .

2- عرض الحزمة للموجة المضمنة BW_{AM}.

3- التردد الجانبي العلوي USF عندما يكون $f_m = 2KHz$.

4- التردد الجانبي السفلي LSF عندما يكون $f_m = 2KHz$.

الحل:

$f_c \leq USB \leq f_c + f_m$

$f_c - f_m \leq LSB \leq f_c$

$46\ KHz \leq LSB \leq 50\ KHz$

1- $BW_{AM} = 2f_m = 2 \times 4 = 8KHz$

2- $f_{USF} = f_c + f_m = 50 + 2 = 52\ KHz$

3- $f_{LSF} = f_c - f_m = 50 - 2 = 48\ KHz$

5.5.2 معامل ونسبة التضمين
Coefficient of Modulation and Percent Modulation

أ- معامل التضمين Coefficient of Modulation

معامل التضمين هو مصطلح يستعمل لوصف مقدار تغير السعة الذي يحصل في الموجة المضمنة سعويًا أثناء عملية التضمين، فهو المدى الذي يتغير (ويضمن) فيه اتساع الإشارة الحاملة بسبب قيمة اتساع الإشارة المحمولة (إشارة المعلومات) أي يعبر عن نسبة اتساع الإشارة المحمولة إلى اتساع الإشارة الحاملة، ويمكن التعبير عنه رياضيًا بالمعادلة التالية:

$$m = \frac{A_m}{A_c} \qquad \text{.....(7)}$$

m: معامل التضمين ويكون عادة أقل أو مساوي للواحد وأكبر من الصفر أي ($0 \le m \le 1$) ويعبر عنه بدون وحدات قياس.

(A_m اوEm) : التغير الأقصى لسعة الموجة المضمنة وتقاس بالفولت.

A_c (او Ec): سعة الموجة الحاملة وتقاس بالفولت.

الشكل (2-8) يوضح العلاقة الرياضية بين m و A_m و A_c وكما يأتي:

$$V_{max} = A_c + A_m \quad \text{.....} \quad (8)$$

$$V_{min} = A_c - A_m \quad \text{.....} \quad (9)$$

وبجمع المعادلتين السابقتين (8) و (9) ينتج لنا :

$$V_{max} + V_{min} = 2A_c$$

$$A_c = 1/2\ (V_{max} + V_{min}) \quad \text{.....} \quad (10)$$

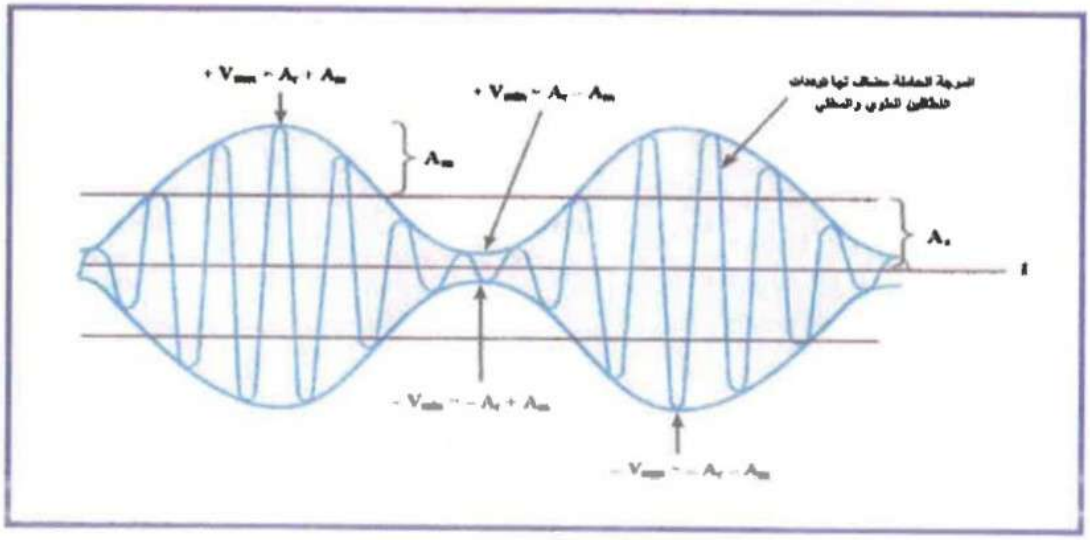
وبطرح المعادلتين (8) و (9) ينتج لنا:

$$V_{max} - V_{min} = 2\ A_m$$

$$A_m = 1/2\ (V_{max} - V_{min}) \quad \text{.....} \quad (11)$$

V_{max}: قيمة الجهد الأقصى للموجة المضمنة وتقاس بالفولت.

V_{min}: قيمة الجهد الأدنى للموجة المضمنة وتقاس بالفولت.



الشكل (2-8) العلاقة بين معامل التضمين وسعة الموجة المضمنة وسعة الموجة الحاملة

ب- النسبة المئوية للتضمين Percent Modulation (M)

هو مصطلح يشير إلى النسبة المئوية لمعامل التضمين الذي تم دراسته آنفًا، ويمكن التعبير عنه رياضيًا بالمعادلة التالية:

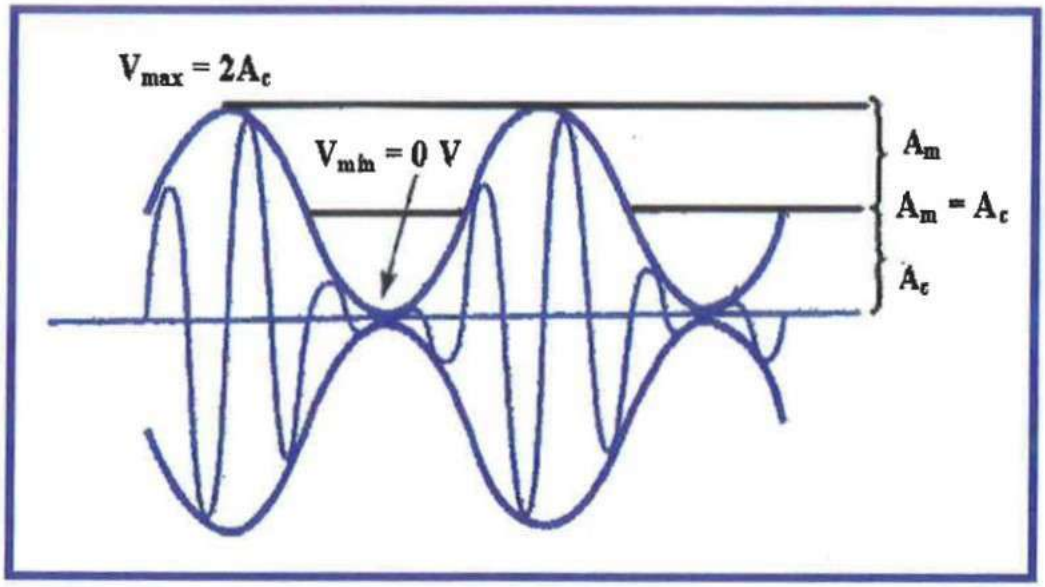
$$M = \frac{A_m}{A_c} \times 100\% \quad \ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

ومن المعادلتين اعلاه يمكن حساب معامل التعديل m .

$$m = \frac{E_m}{E_c} = \frac{V_{max} - V_{min}}{V_{max} + V_{min}}$$

ملاحظة :

- من المعادلة السابقة يتضح لنا أنَّ نسبة التضمين تصل إلى 100% عندما يتحقق $A_m = A_c$.
- ومن المعادلة (2.1) يتضح لنا أنَّ $V_{max} = 2A_c$.
- ومن المعادلة (2.2) يتضح لنا أنَّ $V_{min} = 0$، وكما موضح في الشكل (2- 9).



الشكل (2-9) موجة مضمنة لنسبة تضمين مقدارها 100%

مثال (2-5)

إذا بلغت قيمة الجهد الأقصى للموجة المضمنة (+12 V) وكانت قيمة الجهد الأدنى لنفس الموجة (+4 V) ، فاحسب قيمة معامل التضمين m ونسبة التضمين M.

الحل:

$V_{max} = +12$ V ; $V_{min} = +4$ V

$A_m = 1/2\ (V_{max} - V_{min}) = 1/2\ (12-4) = 4$ V

$A_c = 1/2\ (V_{max} + V_{min}) = 1/2\ (12+4) = 8$ V

$$m = \frac{A_m}{A_c} = \frac{4}{8} = 0.5$$

$$M = \frac{A_m}{A_c} \times 100\% = 0.5 \times 100\% = 50\%$$

6.5.2 توزيع القدرة لموجة AM AM Power Distribution

في أي دائرة كهربائية فأن القدرة المستهلكة تعطى بالعلاقة التالية:

$$P = \frac{V^2}{R}$$

اما القيمة المتوسطة للقدرة:

$$P_{av} = \frac{V_{rms}^{2}}{R}$$

حيث ان:

$$V_{rms} = \frac{V}{\sqrt{2}}$$

اذن:

$$P_{av} = \frac{V^2}{2R}$$

تبعا للمعادلة اعلاه يمكننا استنتاج قيمة القدرة المتوسطة للموجة الحاملة المستهلكة في الحمل R.

$$P_C = \frac{E_C^2}{2R} \qquad \text{.....(13)}$$

حيث:

Pc: طاقة الموجة الحاملة (Watts).

Ec: السعة القصوى للموجة الحاملة (Volts).

R: مقاومة الحمل (Ohms).

اما القدرة لكل من الجانب العلوي والسفلي:

$$P_{usf} = P_{Lsf} = \frac{\left(\frac{mE_C}{2R}\right)^2}{2R} = \frac{m^2 E_C^2}{8R} \qquad \text{.....(14)}$$

$$P_{Usf} = P_{Lsf} = \frac{1}{4} m^2 P_C \qquad \text{.....(15)}$$

اما القدرة الكلية لموجة AM:

$$P_T = P_C + P_{Usf} + P_{Lsf}$$

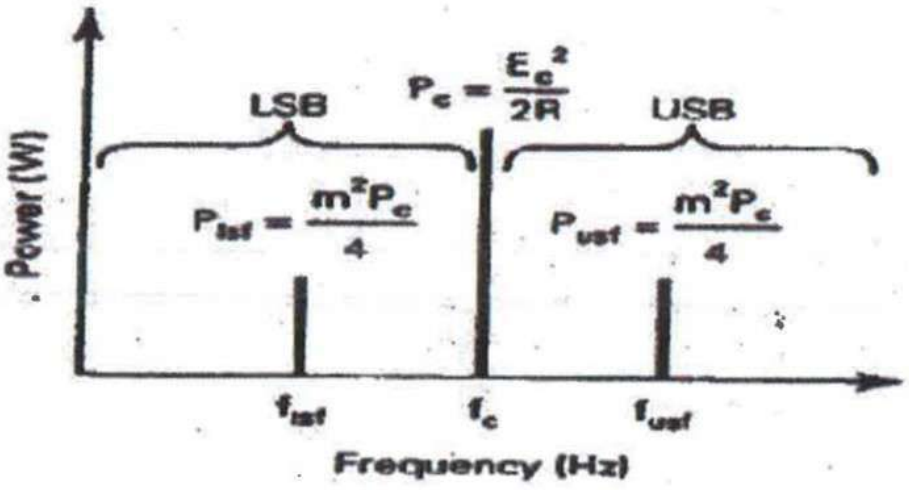
$$P_T = P_C + \frac{1}{4}m^2P_C + \frac{1}{4}m^2P_C \qquad \text{.....(16)}$$

$$P_T = \left[1 + \frac{m^2}{2}\right]P_C \qquad \text{.....(17)}$$

يمكن الملاحظة من المعادلة ان الموجة الحاملة تحافظ على نفس القدرة بعد التضمين اما قدرة الحزمة الجانبية فتحسب كما يلي:

$$P_{Usf} = P_{Lsf} = \frac{P_C}{4}$$

يلاحظ ان القدرة الكلية تزداد بازدياد معامل التضمين. تبعا للمعادلة اعلاه يمكن رسم الطيف الترددي للقدرة الموضح في الشكل (2-10).



الشكل (2- 10) الطيف الترددي للقدرة

مثال (2-7)

لدينا المعطيات التالية لموجة AM DSBFC :

سعة الموجة الحاملة 10 Vp ومقاومة الحمل 10 Ω والتضمين تم عند 100% ، اوجد مايلي:

أ- قدرة الموجة الحاملة Pc .

ب- قدرة كل من الجانبين العلوي والسفلي P_{USB} .

ج- القدرة الكلية للجانبين P_{SB} .

د- القدرة الكلية للموجة المضمنة.

الحل:

أ-

$$P_C = \frac{E_C^2}{2R} = \frac{10^2}{2 \times 10} 5W$$

ب -

$$PUSf = PLSf = \frac{1}{4} m^2 \; Pc = \frac{1}{4} 1^2 \; 5 = 1.25 \; w$$

حيث m=1 لان التضمين تم عند 100%.

ج-

$$P_{TUsf} = \frac{P_C}{2} = \frac{5}{2} = 2.5W$$

د-

$$PT = [1 + \frac{m^2}{2}] Pc = [1 + \frac{1^2}{2}] 5 = 7.5 \; w$$

مثال (2-8)

اذا كان لدينا جهاز التضمين السعوي modulator AMDSBFC ذو الداخلين، الاول الموجة الحاملة ذات تردد Fc=100KHz والثاني موجة المعلومات الاساسية ذات تردد Fm=5KHz. احسب مايلي:

أ. النهايات الترددية لكل من USB و LSB.

ب. عرض النطاق B.W.am.

ج. التردد الجانبي العلوي (USF) عندما Fm=3KHz.

د. التردد الجانبي السفلي (LSF) عندما Fm=3KHz.

الحل:

أ-

$$f_c \le USB \le f_c + f_m$$

$$100\ kHz \le USB \le 105\ KHz$$

$$f_c - f_m \le LSB \le f_c$$

$$95\ KHz \le LSB \le 100\ KHz$$

ب-

$$BW_{AM} = 2 f_m = 2 \times 5\ KHz = 10\ KHz$$

ج-

$$FUSF = 100\ KHz + 3KHz = 103KHz$$

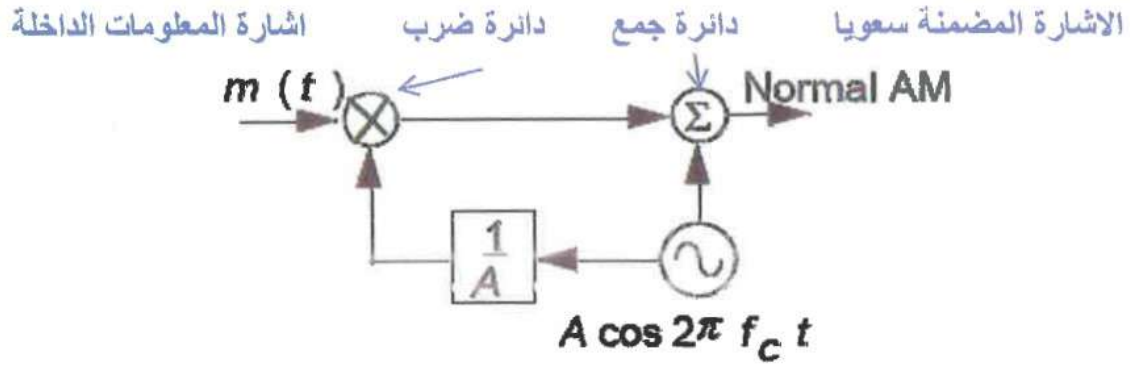
د -

$$f_{Lsf} = f_c - f_m$$
$$= 100\ KHz - 3\ KHz = 97\ KHz$$

7.5.2 توليد إشارات تضمين السعة Generation of AM Signals

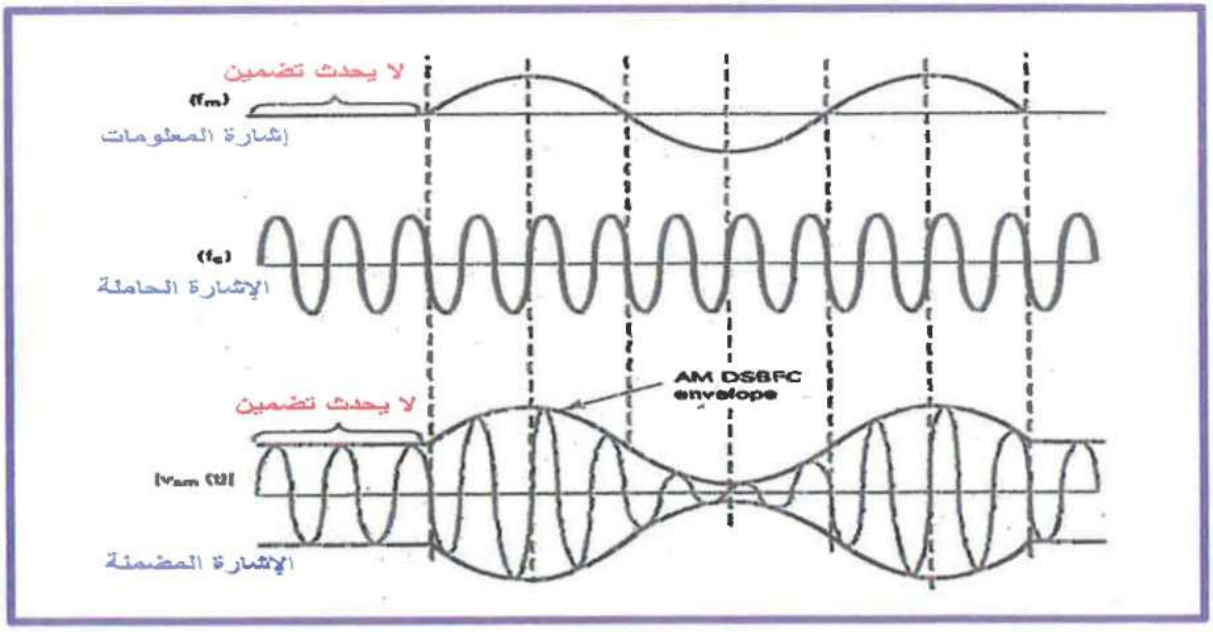
لاحظنا فى المواضيع السابقة ان عملية التضمين بالسعة تنتج ازاحة لتردد اشارة المعلومات، هذا يعني انه لابد من انتاج ترددات جديدة واستنادا الى الدراسة النظرية للدوائر الالكترونية لايمكن انتاج ترددات جديدة باستعمال الدوائر الخطية ومن هنا حتى يتسنى لنا انتاج موجة ذات تضمين سعوي لابد من استعمال عناصر الكترونية غير خطية وهناك عدة دوائر يمكنها انتاج موجة التضمين السعوى.

يمكن توليد إشارات تضمين السعة عن طريق ضرب الإشارة الحاملة Carrier Signal بإشارة المعلومات Message Signal ، كما موضح بالشكل (2-11) الذي يوضح عملية توليد اشـــارة التضمين السعوي AM .



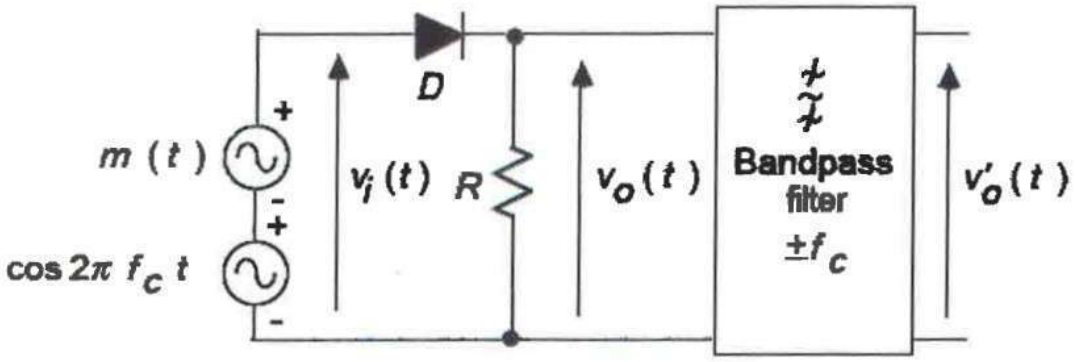
الشكل (2-11) توليد الاشارة المضمنة سعويا

نلاحظ من الشكل (2-12) عندما لا تكون هناك إشارة معلومات فلا تحدث أي عملية تضمين، والتي هي عبارة عن عملية ضرب تتم بواسطة استعمال أجهزة أشباه الموصلات (Semi – Conductor Devices) التي لها خواص إدخال/إخراج لاخطية (مثل الثنائي شبه الموصل) ومنها ما تكون لها خواص إدخال وإخراج مستمرة (Continuous) والأخرى تكون لها خواص إدخال وإخراج غير مستمرة أو متقطعة (Discontinuous).



الشكل (2-12) توليد موجة مضمنة سعوي

إنَّ الأجهزة اللاخطية هي ليست ضاربات (Multipliers) حقيقة حيث ينتج عنها مركبات ترددية غير مرغوب فيها ويجب ترشيحها، الشكل (2-13) يوضح مخططًا لنموذج مضمن AM وفيه تم استعمال ثنائي شبه موصل (D) , إنَّ مرشح إمرار الحزمة (BPF) يسمح بمرور الاشارة المضمنة سعويا.



الشكل (2-13) دائرة تضمين AM – DSBFC بأستعمال قانون القوى

8.5.2 كشف إشارة التضمين السعوي AM Demodulator

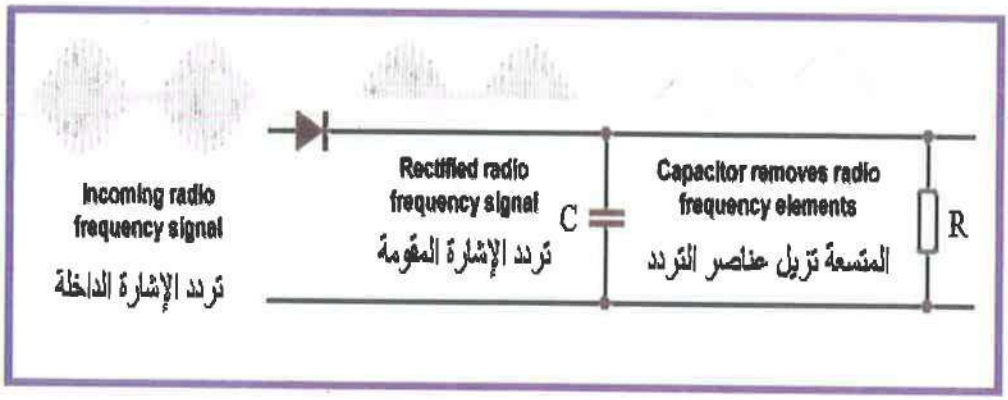
إن عملية الكشف هى عبارة عن عملية إزالة التعديل (التضمين) المرسلة من محطات الإرسال، والكشف هو عبارة عن عملية إستخلاص (فصل) لإشارة المعلومات المرسلة (إشارة النطاق الأصلية) عن الموجة الحاملة وكشف الموجة المعدلة سعويا AM يمكن أن تتم بإحدى الطرق الثلاث الآتية:

الأولى: كشف الموحد Detector Rectifier .

الثانية: كشف الغلاف Envelope Detector .

الثالثة: كشف قانون التربيع Detector Square Law .

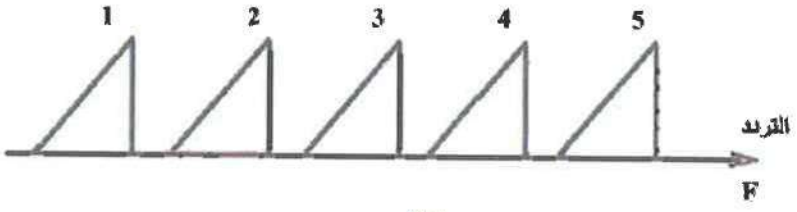
تعتبر الدائرة الموضحة في الشكل (2-14) من أشهر أنواع كشف تعديل الإتساع ، ودائرته بسيطة جدا، وتستخدم في أغلب أجهزة الإستقبال AM ، حيث أنها تسترجع شكل غلاف الإشارة الأصلية، فعند وصول الإشارة المعدلة سعويا إلى دخل الثنائى D والذي يعمل كموحد نصف موجة ، يقوم الثنائى بإمرار أنصاف الموجات الموجبة من الموجة المعدلة حيث أن مقاومته في هذا الاتجاه (الأمامي) تكون صغيرة جدا, أما عند الأنصاف السالبة من الموجة المعدلة سعويا يصبح الموحد مقاومته كبيرة جدا عند أنصاف الموجات السالبة وكأن الثنائي دائرة مفتوحة ويقوم المكثف C بإمرار تردد الموجة الحاملة Fc خلال الأرضي، ونحصل على طرفي مقاومة الحمل RL على إشارة المعلومات التى تم تعديلها في محطة الإرسال والشكل يبين أشكال الموجات الخارجة من دائرة الكاشف الثنائي.



الشكل (2-14).

9.5.2 مضاعفة (تعدد) الإرسال بتقسيم التردد FDM

احدى المشاكل الاساسية فى هندسة الاتصالات هو تصميم منظومة تسمح بارسال عدة اشارات مستقلة من المستخدمين على قناة واحدة (قناة الارسال) على التوالي . من الطرق الشائعة هو تحويل تردد اشارات المعلومات المنفردة (اشارة المستخدمين) الى تردد اعلى وذلك باجراء عملية التضمين . حيث تقوم بتحويل حزمة ترددات اشارة المعلومات المختلفة الى حزمة ترددات اعلى بحيث تكون متجاورة عند الارسال حتى لاتتداخل مع بعضها اثناء نقلها خلال خط التراسل (قناة الارسال) وهي كلمة مختصرة من FDM وتعرف هذه الطريقة بتعدد الارسال تقسيم التردد (Frequency Division Multiplexing). كما موضح فـي الشكل (2-15) , نلاحظ من الشكل الارقام 1 الى 5 تمثل خمسة اشارات معلومات لخمسة مشتركين مختلفين مرسلة على قناة واحدة. كما يلاحظ وجود حزمة ضيقة بين ارسال واخر تسمى حزمة حماية (guard band) حتى لا تتدخل الاشارات المرسلة مع بعضها البعض.



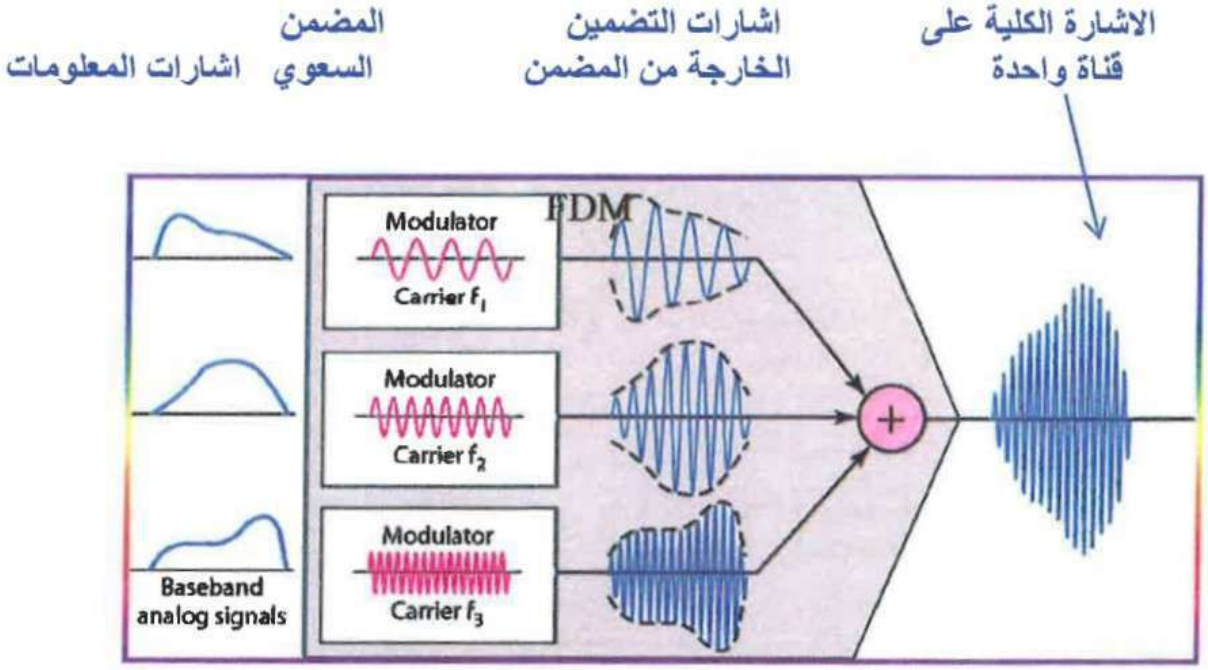
حزمة حماية

الشكل (2-15) تعدد الارسال بتقسيم التردد

تستخدم هذه الطريقة في الإرسالات التماثلية transmissions analog ، وفي الشبكات ذات الحزمة الأساسية ، كما في شبكة network baseband أو في الاتصالات على الخط الهاتفي.

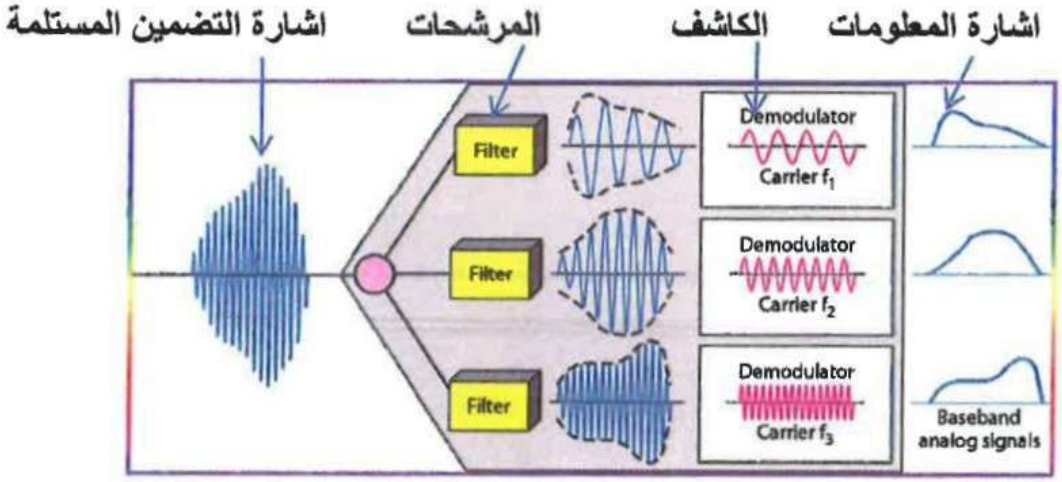
الشكل (2-16) يوضح مخطط كتلوي لمرسلة , مستلمة, وطيف الاشارة لثلاثة مستخدمين لمنظومة FDM مع الترددات الحاملة لكل اشارة والمدرجة ادناه:

$fc1 < fc2 < fc3$



الشكل (2-16) يوضح مخطط كتلوي لمرسلة

الشكل (2-17) يمثل مخطط كتلوي لجهاز الاستلام بطريقة FDM ، حيث تقوم المرشحات بفصل الاشارات عن بعضها وتسليطها الى دائرة الكاشف (Demodulator) لاستخلاص اشارات المعلومات المرسلة .



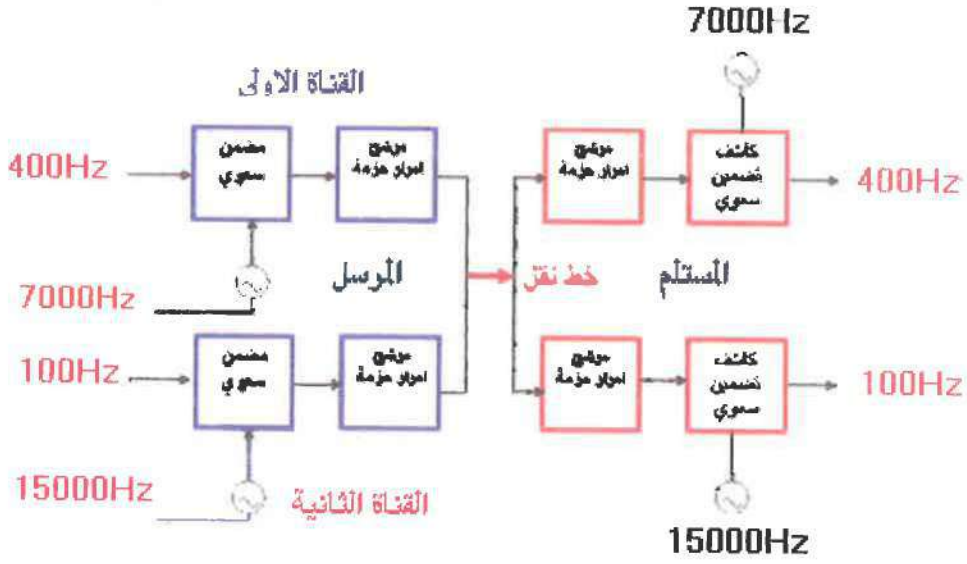
الشكل (2-17) مستقبلة FDM

مثال (2-9)

الاتصال الهاتفي بين مدينتين باستخدام الأمواج المحملة ذات قناتين تردد إشارة المعلومات للقناة الأولى (400) Hz وتردد الإشارة الحاملة KHz (7) وتردد إشارة المعلومات للقناة الثانية (100)Hz وتردد الإشارة الحاملة KHz (15) . وضح الترددات المرسلة والمستلمة بالاستعانة بالمخطط الكتلوي . لاحظ الشكل (2- 18).

تردد القناة الأولى في خط النقل: $7400\ Hz = 7000 + 400$

تردد القناة الثانية في خط النقل: $15100\ Hz = -15000 + 100$



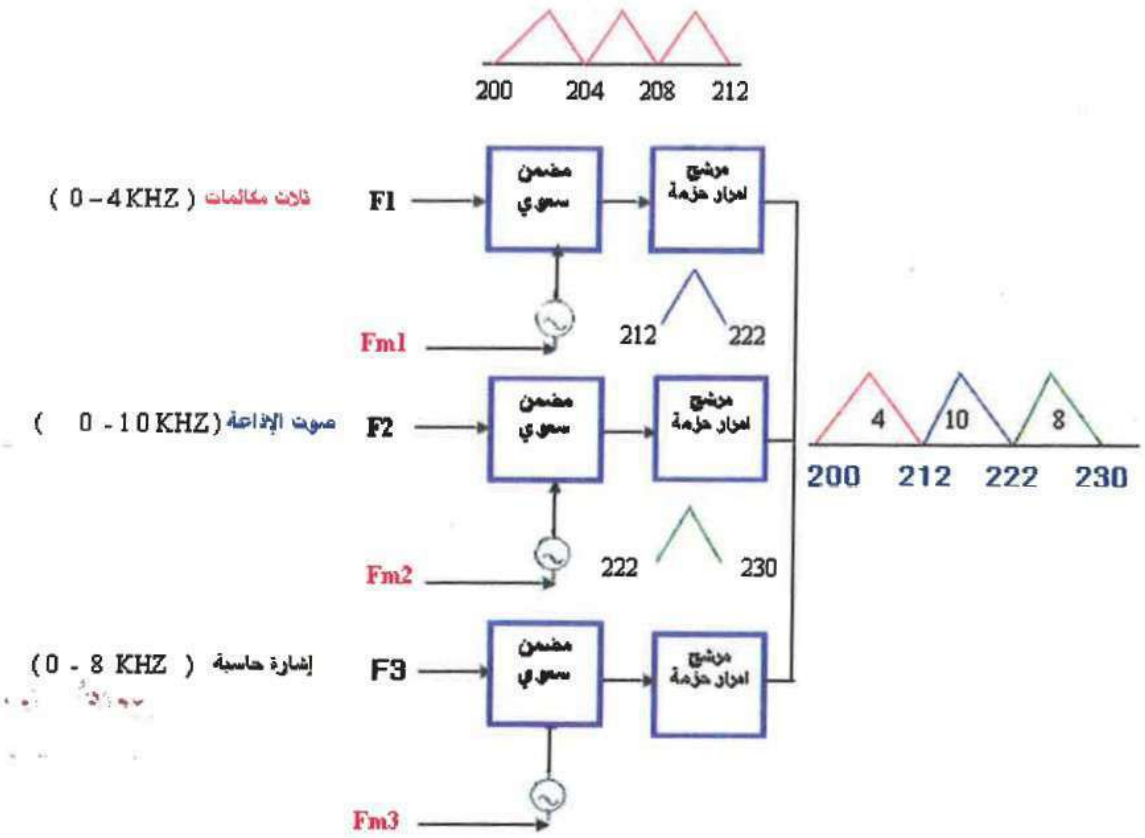
الشكل (2-18) مخطط بسيط للأمواج المحملة

مثال (2-10)

المطلوب إرسال المعلومات التالية مع خط نقل واحد بطريقة FDM .

1- ثلاث مكالمات من (0 – 4 KHZ) .
2- إشارة إذاعة ذات حزمة من (0 – 10KHZ) .
3- إشارة حاسبة الكترونية ذات حزمة من (0 – 8KHZ) .

ارسم مخطط التوزيع للترددات مبينا فيها تردد الإشارات الحاملة والحزمة الجانبية السفلى علما إن الحزمة المخصصة تقع بين KHZ (200 - 230) ، لاحظ الشكل (2- 19) .



الشكل (2-19) الارسال بطريقة FDM

6.2 التضمين الزاوي Angle Modulation

إن التضمين الزاوي يمكن أن يقسم إلى نوعين، هما: تضمين الطور (Phase Modulation) وتضمين التردد (Frequency Modulation) ولهذين النوعين خصائص مشتركة بحيث أنّه يمكن اشتقاق أحدهما من الآخر .

توجد ثلاث خصائص يمكن تغييرها للاشارة التماثلية وهي: الاتساع والطور والتردد إن تضمين التردد وتضمين الطور يعتبران شكلا للتضمين الزاوي وهناك خصائص مميزة تستدعي استعمال التضمين الزاوي بدلا من التضمين الاتساعي نظرا لمساهمته في تقليص الضوضاء وتحسين دقة نظام الاتصالات واكثر مردودية في استعمال الطاقة الا ان التضمين الزاوي يتطلب دوائر الكترونية معقدة في كل من جهازي الارسال والاستقبال.

في سنة 1931 اقترح التضمين الزاوي كبديل للتضمين الاتساعي وفي سنة 1936 تمكن العالم ارمسترونغ من تطوير نظام المذياع باستعمال التضمين الترددى , وفي سنة 1939 تم البث الاذاعي باستعمال هذا التضمين في الولايات المتحدة الامريكية , وفي يومنا هذا اصبح استعمال التضمين الزاوي

بشكل كبير جدا حيث يستعمل في البث الاذاعي وفي التلفاز لنقل الصوت والمذياع الخلوي وفي انظمة الاقمار الصناعية والمايكروويف. إن التضمين الزاوي ينتج كلما تغيرت زاوية الموجة الجيبية بدلالة الزمن و نعبر رياضيا عن موجة التضمين الزاوي بواسطة المعادلة التالية :

$$V(t) = E_C \cos[2\pi f_C + \Phi(t)] \quad \text{.....(18)}$$

حيث ان :

$\Phi(t)$ زاوية الطور فى المعادلة تمثل دالة اشارة المعلومات .

$V(t)$: موجة التضمين الزاوي .

1.6.2 تضمين التردد Frequency Modulation (FM)

في هذا النوع من التضمين يتغير تردد الحامل وفقاً لتغيرات سعة إشارة التعديل (المعلومات) في حين أن سعة إشارة الحامل تبقى ثابتة.

ينتج هذا النوع عند تغيير تردد الإشارة الحاملة بواسطة الإشارة أو المعلومة المراد تضمينها، ويكون نوع التغيير خطي ولحساب قيمة التردد اللحظي f_i الناتج من عملية التضمين فإنّه يساوي تردد الإشارة الحاملة f_c هرتز مضافًا إليها مركبة تتغير مع الزمن تتناسب مع الإشارة المراد تضمينها $m(t)$ وكما يأتي:

$$f_i(t) = f_c + K_f m(t) \quad \text{.....(19)}$$

حيث تمثل:

f_c: تردد الإشارة الحاملة غير المضمنة.

K_f: ثابت انحراف التردد ووحدته هرتز لكل فولت.

$M(t)$: إشارة المعلومات

العلاقة التالية تمثل معادلة اشارة التضمين الترددي $e(t)$

$$e(t)_{FM} = A_c \cos[2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(t)dt] \quad \text{.....(20)}$$

حيث ان:

fc : تردد الموجة الحاملة .

fm: تردد اشارة المعلومات .

Ac: اقصى سعة للاشارة الحاملة .

يستخدم التضمين الترددي عموما في الترددات الراديوية العالية جدا VHF لضمان بث إذاعي عالى الجودة من الموسيقى والصوت. كذلك أيضا في البث التلفزيوني التماثلي. تبث الإذاعات المحلية عادة الحزمة الترددية FM في موجات الراديو (77-108) MHz لضمان جودة الإشارة وعدم التداخل.

2.6.2 تضمين الطور Phase Modulation (PM)

في هذا النوع من التضمين الزاوي فأن القيمة الآنية لزاوية الطور $\theta_i(t)$ تساوي طور إشارة حاملة (غير مضمنة) مضافًا إليها مركبة متغيرةمع الزمن تتناسب مع إشارة التضمين m(t) (اشارة المعلومات) وكما يأتي:

$$\theta_i(t) = 2\pi f_c t + K_p\, m(t) \qquad \text{.....(21)}$$

حيث تمثل:

$2\pi f_c t$: طور الإشارة الحاملة (غير المضمنة).

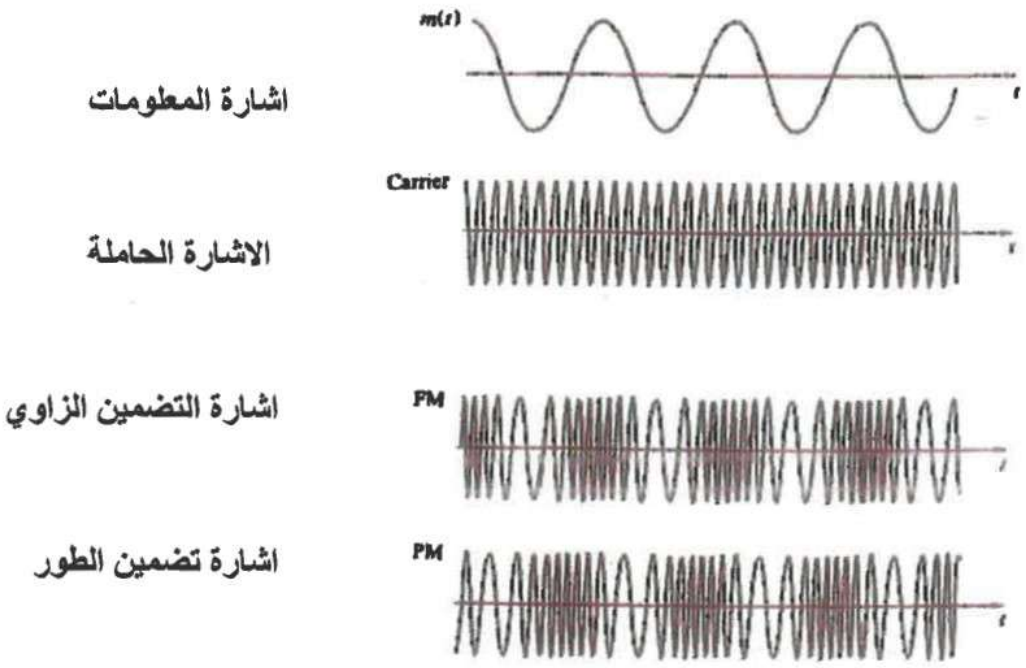
M(t): إشارة المعلومات .

Kp عبارة عن ثابت انحراف الطور .

العلاقة التالية تمثل معادلة اشارة تضمين الطور .

$$e(t)_{PM} = A_c \cos[2\pi f_c t + K_p\, m(t)] \qquad \text{.....(22)}$$

كما أشرنا سابق أن معادلات التردد اللحظي لكل من تضمين الطور وتضمين التردد هما الركيزتان الاساسيتان لفهم طريقة توليد موجتي PM,FM، كما يوضحه الشكل (2-20) .



الشكل (2-20) موجة FM , PM

3.6.2 متطلبات عرض حزمة موجات المضمنة زاويا
Requirement for Angle Modulated Bandwidth

إن عرض حزمــة التضمين الزاوي يتعلق بتردد اشــارة المعلومــات وثابت التضمين فبالتالي لابد ان نقوم بتمييز عدة حالات:

الحالة الاولى: عندما يكون ثابت التضمين منخفضا ففي هذه الحالة فإن الطيف الترددي للتضمين الزاوي يشبه تماما الطيف الترددي للتضمين الاتساعي AM وعـرض الحزمة السفلى تجاوزا يعطى بالعلاقة التالية:

$$B = 2.f_m$$

حيث أن:

B : عرض الحزمة .

fm : تردد اشارة المعلومات .

الحالة الثانية: من اجل دليل التضمين العالي فان عرض الحزمة في هذه الحالة يقرب بالعلاقة التالية:

$$B = 2\Delta f$$

حيث:

Δf: الانحراف الاقصى في التردد .

4.6.2 معامل التضمين الزاوي Modulation Index

يعبر معامل التضمين عن مدى تغير الإشارة المضمنة حول مستواها قبل التضمين .

أ- معامل التضمين لموجة تضمين التردد:

دليل التضمين لموجة تضمين التردد يعطى بالعلاقة التالية:

$$\beta = \frac{\Delta f}{f_m} \quad .....(23)$$

حيث:

Δf : يدعى الانحراف في التردد او الانحراف الاقصى في التردد.

fm : تردد اشارة المعلومات.

β : معامل التضمين الترددي .

حيث f_m يمثل أعلى مركبة تردد في الإشارة الداخلة m(t) و Δf هي القيمة العظمى للانحراف الترددي أذا كانت $1 \ll \beta$, يطلق على التضمين بـ تضمين تردد ضيق الحزمة , ويكون عرض الحزمة تقريبا $2f_m$. اما إذا كانت $\beta \gg 1$ فيطلق على التضمين تضمين تردد واسع الحزمة وعرض حزمته تقريبا $2\Delta f$.

ب- معامل التضمين لموجة تضمين الطور:

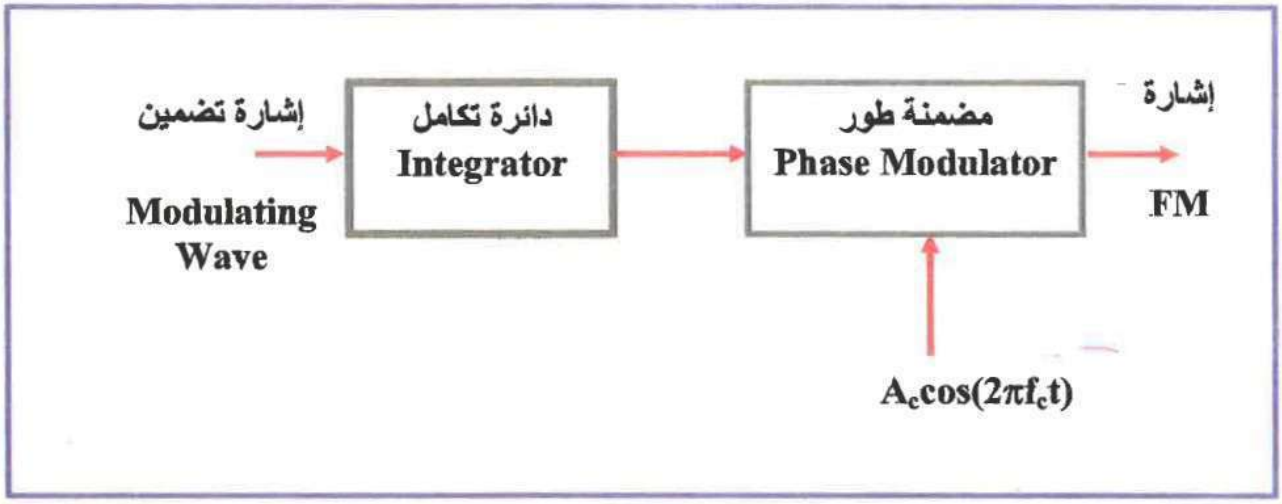
معامل التضمين لموجة تضمين الطور يعطى بالعلاقة التالية:

$$h = \text{kp Vm}$$

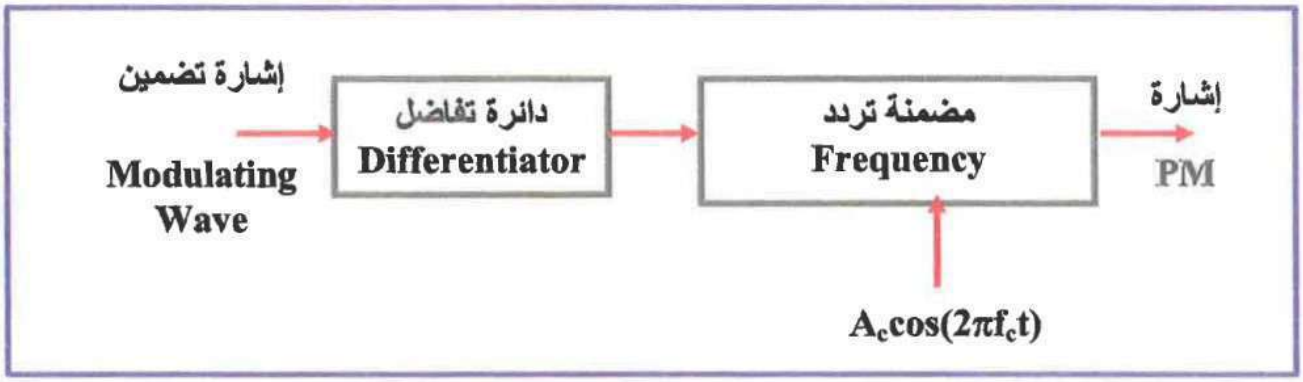
h معامل تضمين الطور, KP ثابت انحراف الطور, Vm السعة القصوى لجهد المعلومات ،يجب التنبيه على ان معامل التضمين لموجة تضمين الطور يدعى كذلك (الانحراف الاقصى في الطور).

5.6.2 توليد موجتي تضمين التردد وتضمين الطور
Generation of FM and PM waves

ذكرنا سابقًا أن هناك خواص مشتركة وعلاقة ما بين تضمين التردد وتضمين الطور بحيث أنّ الواحدة منهما يمكن اشتقاقها من الأخرى، نلاحظ من المعادلتين (20) و (22) بأنّ الإشارة مضمنة التردد يمكن أعتبارها إشارة الطور بافتراض أنّ إشارة التضمين تساوي $\int m(t)dt$ بدلًامن$m(t)$, لذا فإن الإشارة المضمنة التردد FM يمكن توليدها نظريًا بتكامل $m(t)$ وإدخالها في دائرة تضمين الطور كما في الشكل (2-21) وبالعكس فإن الإشارة المضمنة الطور يمكن توليدها بتفاضل $m(t)$ وادخالها في دائرة تضمين الطور كما في الشكل (2-22) .



الشكل (2-21) توليد موجة التردد بأستعمال مضمنة طور



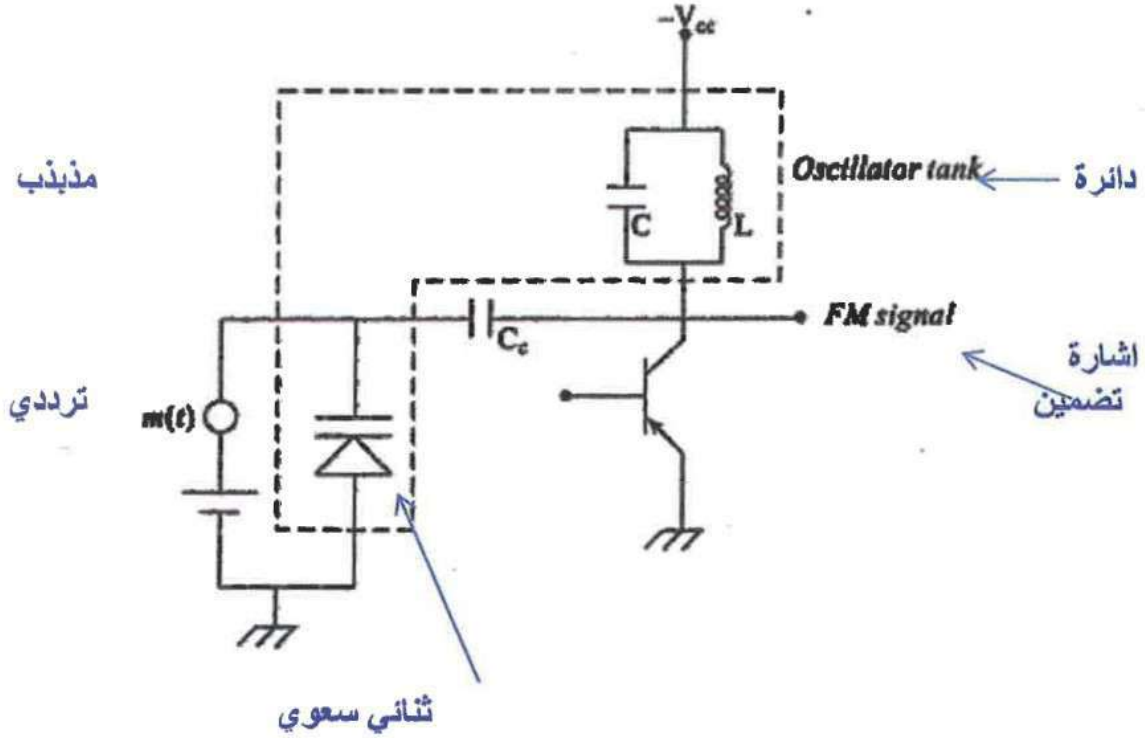
الشكل (2-22) توليد موجة مضمنة الطور بأستعمال مضمنة تردد

6.6.2 دوائرتوليد التضمين الزاوي

Practical Generation of Angle Modulated Waves

أ ـ دائرة مضمنة التردد FM:

الشكل (2-23) يوضح الدائرة الالكترونية التي يمكن استخدامها من اجل توليد موجة FM. في هذه الدائرة استخدم ثنائي سعوي (varactor) كمتسعة متغيرة تتغير قيمتها اعتمادا على الجهد الواقع عليها اذ يقوم بتحويل كل تغيير يطرأ على سعة إشارة المعلومات m(t) الى تغيير في التردد.



الشكل (2-23) مضمنة التردد FM باستخدام ثنائي سعوي

في حالة عدم وجود أشارة المعلومات اي أن m(t)= 0 فأن المتسعة الكلية C(t) = Co وهي قيمة المتسعة الابتدائية , وان تردد الاهتزاز للمذبذب يعطي بالعلاقة التالية:

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{Lc}}$$

والتي تمثل تردد الموجة الحاملة عند تسليط اشارة المعلومات فان تردد الاهتزاز يصبح كالتالي :

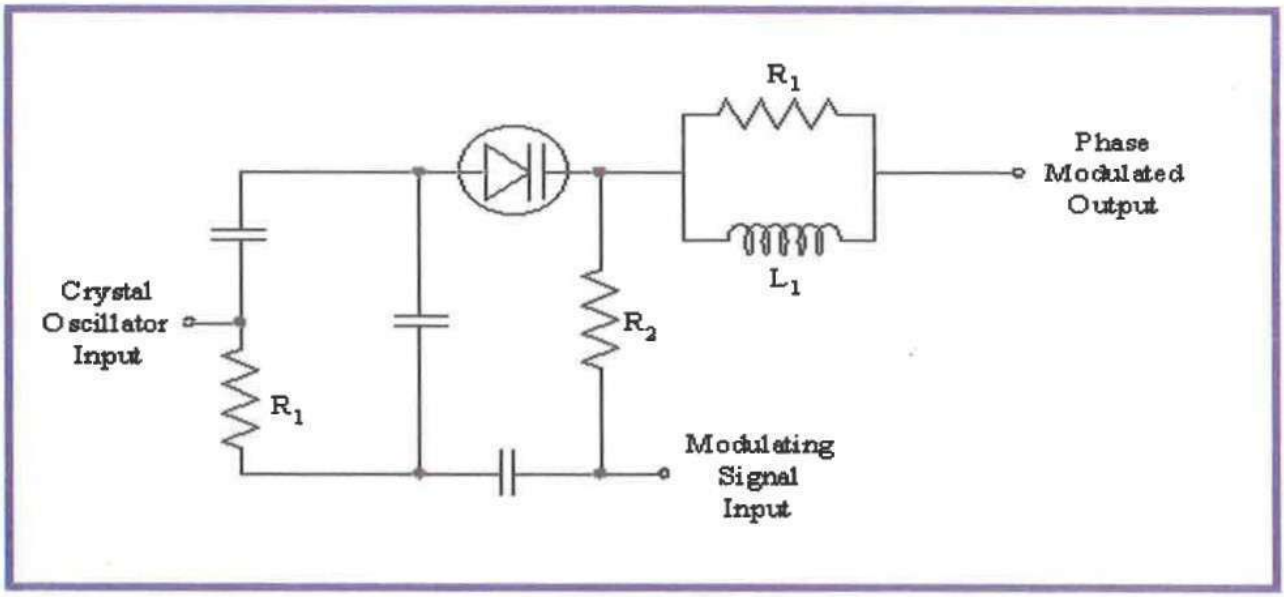
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(c+\Delta c)}}$$

حيث أن قيمة الثنائي السعوي تتغير سعتها اعتمادا على الجهد الواقع عليها.بسبب تغير قيمة ضخامة) اشارة المعلومات وبالتالى يسبب تغير في تردد الاهتزاز (f) والذى يمثل تردد اشارة FM , و Δ c هو التغيير الذي حصل على المتسعة نتيجة تسليط اشارة المعلومات اما L فهي قيمة الملف وتعطى بالهنري .(H)

ب - دائرة مضمنة الطور PM:

يعتمد نظام تضمين الطور على استحداث تغيير في طور الإشارة الحاملة بواسطة الإشارة المحمولة وهذا بالإمكان تحقيقه بطريقتين: أحدهما مباشرة بالاعتماد على مضمن طور والأخرى تكون بالاعتماد على مضمن تردد وعندها لابد من تمرير الإشارة المحمولة على دائرة تفاضل ليكون الخرج من هذه الدائرة متناسبًا مع التردد وهو الأساس الذي يعمل عليه مضمن التردد وهذا الإجراء يتطلب ضرورة تكامل الإشارة المستخلصة عند آخر مراحل المستقبل.

الشكل (2-24) يمثل دائرة مضمن PM باستعمال الثنائى السعوي ، وبنفس المبدأ الأساسي لعمل دائرة مضمن FM وعند دخول إشارة المعلومات على الثنائى السعوي ، سيحدث تغيير في قيمة المتسعة مما يؤدي إلى تغيير طور الموجة الحاملة.



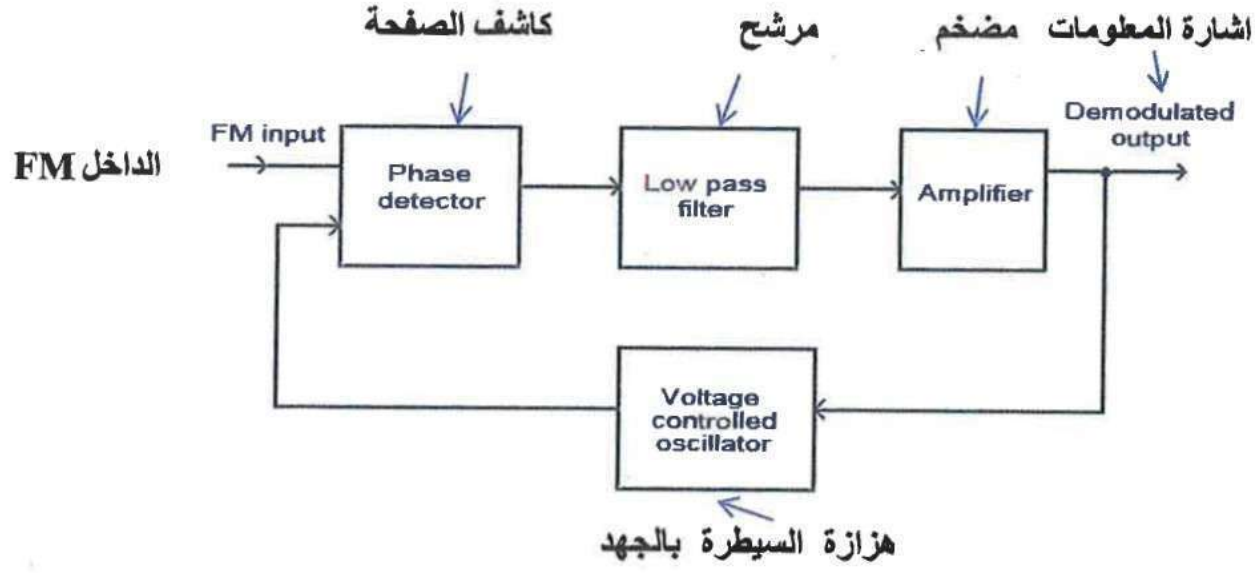
الشكل (2-24) مضمنة الطور بأستعمال الثنائي السعوي

7.6.2 دوائر كشف التضمين الزاوي

قبل البدء بسرد طرق كشف التضمين الزاوي فلابد ابتداءً من بيان نقطة مهمة وهي : في حالة كشف موجات التضمين الزاوي فإن الانحراف الترددي لهذه الموجات يجب تحويله إلى تغير في السعة في الفقرات السابقة لاحضنا انه كيف يمكن تكوين إشارات تحمل المعلومات من خلال انحراف في تردد اشارة الحامل وهي اشارة تضمين التردد . سوف ندرس هنا كيف يمكن لدائرة كشف التضمين الترددي من اعادة المعلومات . ان الاكثر الطرق شيوعا في اعادة المعلومات من اشارة التضمين الترددي هي طريقة مرحلة غلق الطور(PLL (phase lock loop .

أ ـ كشف التضمين الترددى باستخدام دائرة غلق الطورPLL:

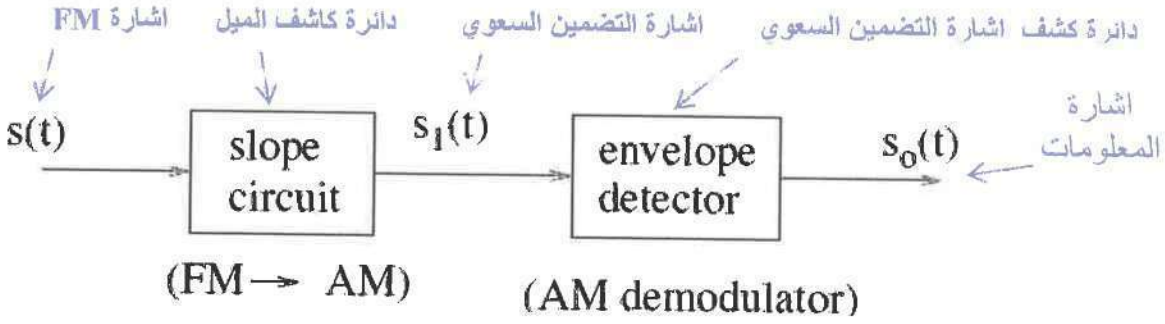
الشكل (2-25) يوضح طريقة عمل كاشف التضمين الترددي باستخدام دائرة غلق الطورالاشارة الداخلة الى المخطط الكتلوي هي اشارة التضمين الترددي والاشارة الخارجة من دائرة مذبذب السيطرة بالجهد تسلط الى دائرة كاشف الطور.الاشارة الخارجة من كاشف الطور ترشح باستخدام مرشح الترددالواطىء بعد ان تضخم تستخدم للسيطرة على دائرة مذبذب السيطرة بالجهد . في حالة عدم وجود اشارة حاملة مضمنة اي ان الاشارة الداخلة هي اشارة حاملة فقط , فأن خط فولتية التنغيم لدائرة مذبذب السيطرة بالجهد سيكون عند خط الوسط . وفي حالة وجود اشارة ذات تضمين ترددي اي وجود انحراف ترددي في اشارة الحامل فأن تردد مذبذب السيطرة بالجهد سيتبع الاشارة الداخلة (الاشارة المضمنة) من اجل الحفاظ على استمرارية غلق الطور ونتيجة لذلك فأن خط الجهد الى دائرة مذبذب السيطرة بالجهد يتغير وهذا التغير يتناسب مع تغيراشارة التضمين الترددي , التغير الحاصل في الجهد يرشح ويضخم للحصول على اشارة المعلومات.



الشكل (2-25) منظومة كشف اشارة FM

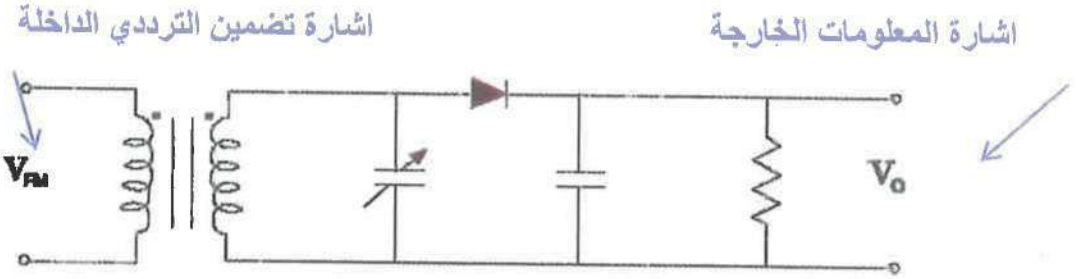
ب- دائرة كشف الميل Slop Detection Circuit:

طريقة ثانية تستخدم لكشف اشارة FM وهـي دائرة كشف الميل وتتكون مـن كتلتين كما موضح بالشكل (2-26) , دائـرة الميل وكشف اشـارة التضمين السعوي . تقوم دائـرة الميل بتحويل تغيرات التردد فـي اشارة التضمين الترددي الى اشارة جهد , والتي تنسب الى اشارة التضمين السعوي. الاشارة الخارجة من دائرة كشف اشارة التضمين السعوي تتناسب مع اشارة المعلومات.



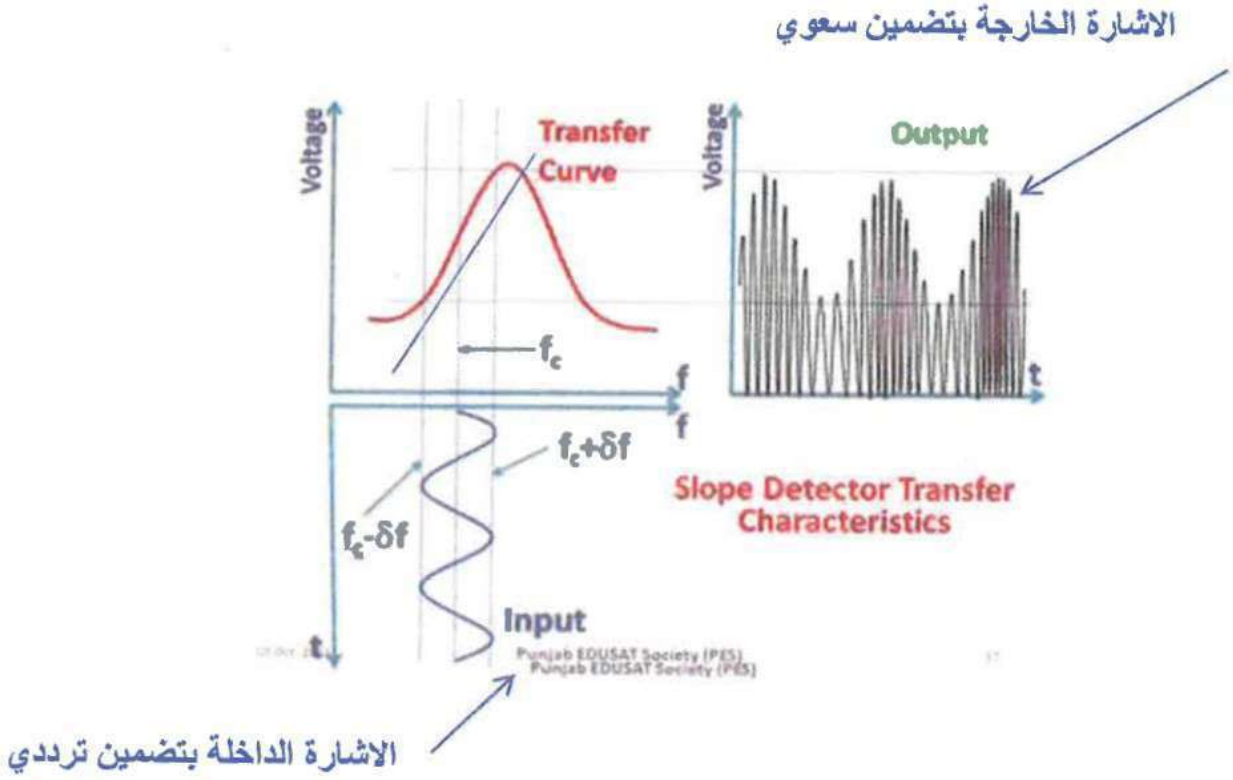
الشكل (2-26) المخطط الكتلوي لدائرة كشف الميل

أن الاشـارة الخارجة من دائـرة الميل تتناسب مع اشارة المعلومات, ابسط انـواع دائـرة كاشف الميل موضحة في الشكل (2-27) والتي تتكون من دائرة الميل ودائرة كشف اشارة التضمين السعوي.



الشكل (2-27) دائرة كشف الميل

أن الدائرة اعلاه وهي أبسط طريقة للكشف عن موجة التضمين الترددي ، حيث تقوم بتحويل التغيير في التردد إلى تغيير في الاتساع ، كما موضح في الشكل (2-28) ، فعندما يقع تردد الموجة الحاملة على أحد الجوانب المائلة لمنحنى دائرة رنين يتحول التغير في تردد الإشارة إلى ما يماثله من التغير في الاتساع . وعلى هذا يتغير خارج دائرة الرنين في الاتساع حسب التغير في الموجة الصوتية ، ويتم التخلص من الترددات العالية بواسطة كاشف تضمين سعوي.



الشكل (2-28) خواص تغير كاشف الميل

7.2 مقارنة بين أنظمة التضمين التماثلي

بعد الانتهاء من دراسة نظم التضمين التماثلي بنوعيه الخطي (تضمين الاتساع) واللاخطي (التضمين الزاوي)، فسنذكر مقارنة بين النظم التي ذكرناها سواء بالتفصيل أو إشارة من حيث:عرض الحزمة الترددي , الاستخدام , التعقيد في الدوائر المطلوبة أو التكلفة النسبية .

نوع التضمين	عرض الحزمة الترددي	التعقيد في الدوائر	الاستخدام
1. تضمين الاتساع	2W	بسيط	البث الإذاعي المسموع
2. تضمين بالحزمة الجانبية المفردة	W	متوسط	منظومات اتصال باستخدام الترددات العالية، نظام التجميع بطريقة التقسيم الترددي FDM
3. تضمين بنطاق جانبي مزدوج	2 W	معقـد	قليل الاستعمال
4. تضمين التردد	$2(\Delta f + f_m)$	أكثر تعقيدًا بالمقارنة بنظم التضمين الخطي	الراديو المتنقل، منظومة الراديو المجسم، منظومة الموجات المايكروية، استقبال البث الإذاعي الغير مجسم
5. تضمين الطور	$2(\Delta f + f_m)$	أقل تعقيدًا بالمقارنة بمعدات تضمين التردد	منظومات الموجات المايكروية

حيث $f_m = W$ وتمثل عرض الحزمة الترددي الأساسي .

اسئلة الفصل الثاني

س1: عرف كل مما يأتي:

أ. التضمين　　ب. نظم الأتصالات التماثلية　　ت. تضمين السعة

ث. معامل التضمين　　ج. النسبة المئوية للتضمين　　ح. التضمين الزاوي

خ. تضمين التردد　　د. تضمين الطور.

س2: اكتب معادلة الإشارة الحاملة وما هي العناصر التي تؤثر على شكل الرسم الخاص بالإشارة الجيبية؟

س3: عدد أقسام التضمين في نظم الاتصالات التماثلية.

س4: للتضمين فوائد عدة ما هي؟

س5: ما هو الفرق بين أنواع تضمين السعة؟

س6: عدد العناصر الأساسية لتضمين السعة.

س7: ما هي مركبات طيف الإشارة المضمنة سعويًا؟

س8: وضح عمل دائرة كاشف الموجة المضمنة سعويًا مع الرسم.

س9: عدد خصائص موجة تضمين السعة.

س10: وضح بالرسم كيف يمكن توليد موجة FM وتوليد موجة PM.

س11: وضح عمل دائرة مضمن قانون القوى مع الرسم.

س12: وضح عمل دائرة مضمن FM.

س13: ما هي الطرق المستخدمة لكشف التضمين الزاوي؟ عزز إجابتك بشرح واحدة منها.

س14: قارن بين أنظمة التضمين التماثلي الخطية واللاخطية.

التمارين

س1: إذا علمت أن تردد إشارة المعلومات هو 3000HZ وكانت قيمة تردد الحزمة الجانبية العليا هي 1000KHz احسب ما يأتي:

أ- تردد الإشارة الحاملة.

ب- قيمة تردد الحزمة الجانبية السفلى.

ت- أرسم المكونات الترددية للإشارة المضمنة الناتجة عن عملية التضمين؟

س2: محطة إذاعية ترسل إشارة نوع AM-DSBFC وكان تردد موجة المعلومات يساوي 10KHz بينما تردد المذبذب المحلي يساوي 100KHz احسب ما يأتي:

أ- النهايات الترددية لكل من USB و LSB.

ب- عرض الحزمة للموجة المضمنة BWAM.

ت- تردد الحزمة الجانبية العليا USF عندما يكون f_m=4KHz.

ث- تردد الحزمة الجانبية السفلي LSF عندما يكون f_m=4KHz.

ج- ارسم الطيف الترددي للموجة المضمنة.

س3: إذا كانت قيمة نسبة التضمين 60% وكانت قيمة التغير الأقصى لسعة الموجة المضمنة هو 12V احسب قيمة سعة الموجة الحاملة.

س4: إذا كانت قيمة سعة الموجة الحاملة هو 50V وقيمة التغير الأقصى لسعة الموجة المضمنة هو 25V احسب قيمة معامل التضمين ونسبة التضمين.

س5: إذا كانت قيمة الجهد الأقصى للموجة المضمنة هو 14V وكانت قيمة الجهد الأدنى هو 7V احسب قيمة معامل التضمين ونسبة التضمين.

س6: إذا بلغت قيمة الجهد الأقصى للموجة المضمنة هو 12V وقيمة الجهد الأدنى لنفس الموجة هو 4V احسب:

أ- السعة القصوى للجانب العلوي والجانب السفلي.

ب- السعة القصوى للموجة الحاملة قبل التضمين.

ت- التغير الأقصى في سعة الغلاف الخارجي للموجة المضمنة.

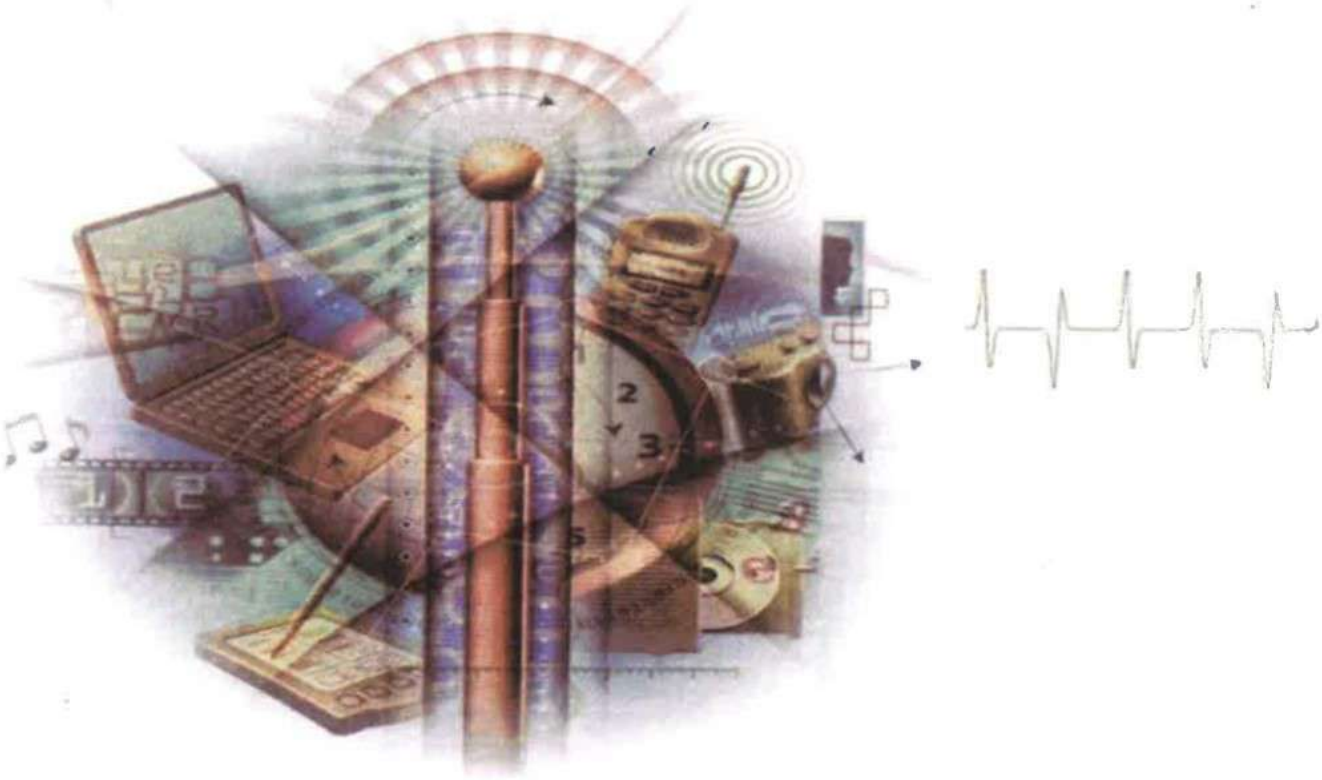
الفصل الثالث

الاتصالات الرقمية

الاهداف الخاصة

بعد الانتهاء من دراسة هذا الفصل يكون الطالب قادرًا على:

1. **معرفة المفاهيم الأساسية للاتصالات الرقمية.**
2. **معرفة التضمين النبضي وأنواعه وتطبيقاته.**
3. **معرفة نظرية أخذ العينات وكيفية تطبيقها.**
4. **معرفة التضمين الرقمي وأنواعه، وكيفية توليده والكشف عنه.**



الفصل الثالث

الاتصالات الرقمية

1.3 المقدمة

تعتبر الاتصالات الرقمية المحور الرئيسي لتقنية المعلومات وخاصة في تقنية الاتصالات حيث استخدمت في الوقت الحاضر فى كل الميادين وفي ارسال المعلومات ومعالجتها نستذكر منها :

أ- النقل اللاسلكي للمكالمات الهاتفية الذى يمثله الهاتف الجوال الذي يستعمل فى كل مكوناته وسائل تقنيات رقمية .

ب- النقل السلكي للمكالمات الهاتفية الذى يعتمد اليوم على عمليات وتقنيات رقمية تطبق في البدالات الهاتفية ووسائل النقل المختلفة.

ت- نقل المعلومات بواسطة شبكات الحاسب العالمية (مثال الانترنيت).

ث- نقل البرامج التلفزيونية والاذاعية من خلال الاقمار الصناعية .

ح- خزن واعادة المعلومات لاغراض التحليل والدراسة.

وتفسرأهمية التقنيات الرقمية عامة بما لها من نواح ايجابية كثيرة مقارنة بالتقنيات التماثلية وأهم ايجابياتها:

أ- أمكانية حماية البيانات الرقمية بواسطة تشفيرها .

ب- امكانية دمج بيانات من مصادر متعددة ومختلفة على قناة بث واحدة .

ت- امكانية اصلاح الاخطاء بواسطة شفرات خاصة.

ث- استعمال جهدين فقط متباينين كثيرا (عـادة 0 و5 فولت) للتعبير عن الرقمين الثنائيين المستعملين (0 و1) وهو ما يفسر صلابة البيانات الرقمية بالنسبة للضجيج الذى يمثل اشكالا رئيسا بالنسبة للاشارات التماثلية ففي الارسالات الرقمية يصعب الخلط بين (0,1) نظرا لتباين الجهدين حتى عند وجود الضجيج.

ج- في الارسالات البعيدة المدى لاتنتشر الاخطاء عبر معيدات (repeaters) مـع الاشارات الرقمية كما هو الحال في الاتصالات التماثلية وأنما يتم استرجاع الاشارة الرقمية عند كل معيد بث .

ح- امكانية استعمال الدوائر الرقمية بسبب كلفتها الرخيصة نسبيا .

اما أهم سلبيات الاتصالات الرقمية فهي:

أ- استخدام اشارات التزامن بين اشارات الارسال واشارات الاستلام .

ب- الحاجة الى عرض حزمة كبير جدا مقارنة بعرض حزمة الاشارات التماثلية.

2.3 التضمين في الاتصالات الرقمية

إن عملية التضمين في الاتصالات الرقمية تنقسم بشكل رئيسي الى :

أ- التضمين النبضي Pulse Modulation ويقسم إلى نوعين اساسيين وهما :

النوع الأول: التضمين النبضى التماثلي ويقسم إلى ثلاثة أنواع وهما:

1- تضمين سعة النبضة Pulse Amplitude Modulation ويعرف اختصارًا بـ PAM.

2- تضمين عرض النبضة Pulse Width Modulation ويعرف اختصارًا بـ PWM.

3- تضمين موقع النبضة Pulse Position Modulation ويعرف اختصارًا بـ PPM.

النوع الثاني: التضمين النبضي الرقمي وهوعلى نوعين وهما :

1- تضمين ترميز النبضات Pulse Code Modulation ويُعْرف اختصارًا بـ PCM.

2- تضمين دلتا Delta Modulation ويُعْرف اختصارًا بـ DM.

ب- التضمين الرقمي Digital Modulation ويتضمن عدة أنواع منها:

1- تضمين السعة مفتاحيًا Amplitude Shift Keying ويُعْرف اختصارًا بـ ASK.

2- تضمين التردد مفتاحيًا Frequency Shift Keying ويُعْرف اختصارًا بـ FSK.

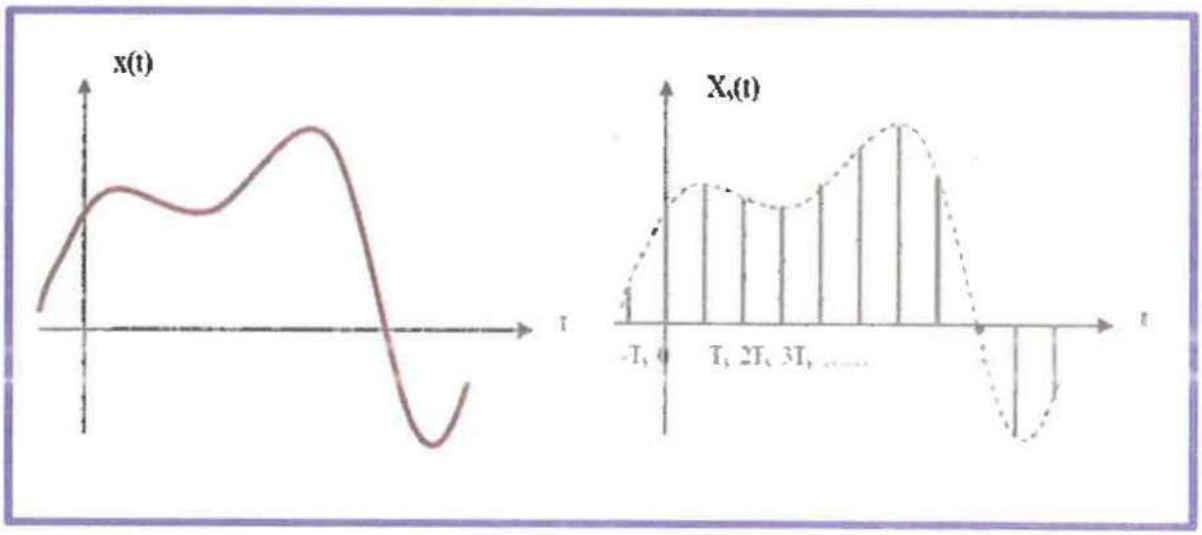
3- تضمين الطور مفتاحيًا Phase Shift Keying ويُعْرف اختصارًا بـ PSK.

قبل ان نتطرق الى التضمين الرقمي يجب ان نتطرق الى دراسة نظرية أخذ العينات بنوعيها المثالي والطبيعي والتي تشكل المرحلة الاولى والاساسية لتحويل الاشارات التماثلية الى رقمية من اجل ارسالها عبر النظام الرقمي .

3.3 نظرية أخذ العينات Sampling Theorem

ان اشهر انـواع الاشارات المستخدمة فـي انظمة الاتصالات المختلفة هـي الاشارات الصوتية (Audio) والمرئية (Video) , وهذه الاشارات بطبيعتها تماثلية. اي انها اشـارات متصلة مـع الزمـن. لكي نستطيع ارسـال تلك الاشـارات عبر انظمـة الاتصالات الرقميـة , يجب تحويلها الى صيغة تناسب ارسالها عبر النظام الرقمي . حيث تسمى هـذه العملية بالتحويل من التماثلي للرقمي (Analog to Digital Conversion) والتي تعرف اختصارا (A/D) , ان اول مرحلة في هذا التحويل هو تحويل المتغير الزمني (t) من متغير متصل الى متغير متقطع عند قيم زمنية محددة متباعدة بنفس القيمة والتي تسمى زمن أخذ العينة (sampling time) ويرمز لها T_s. والتي تعيد نفسها بانتظام مما يسمح باخذ عينات

الاشارة التماثلية (Sampling) عند تلك القيم الزمنية مما يسمح بارسالها عبر النظام الرقمي، أنظر الشكل (1-3).



اشارة متقطعة زمنيا بعد اخذ العينات اشارة متصلة زمنيا

الشكل (3-1) يظهر إشارة متصلة زمنيًا ويقابلها نفس الإشارة بعد أخذ العينات

أن الهدف من نظرية اخذ العينات هو تحديد العدد المناسب للعينات في الثانية الواحدة حتى نتمكن من اعادة الاشارة الاصلية. ووفقا لنظرية نيكويست (Nyquist) لاعادة الاشارة التماثلية الاصلية هناك شرط ضروري وهو ان يكون معدل اخذ العينات على الاقل ضعفي اعلى تردد في الاشارة الاصلية .

$$f_s \geq 2f_m$$

$$f_s = 1/T_s$$

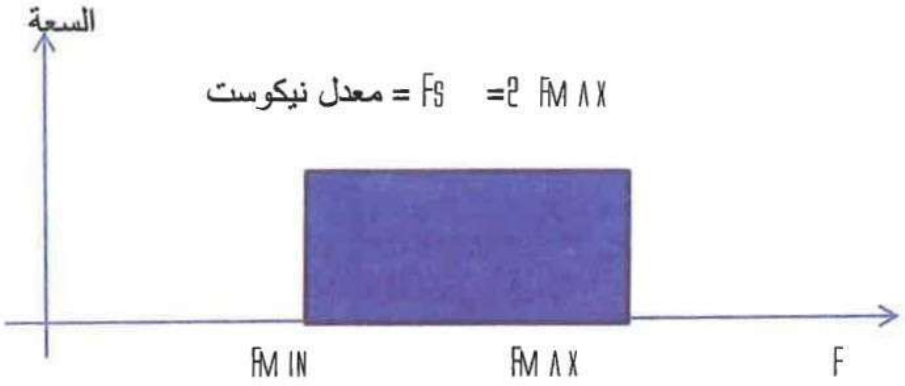
حيث أن:

f_s: تردد أخذ العينات frequency sample.

T_s: زمن أخذ العينات.

f_m: أقصى تردد في الإشارة التماثلية الأصلية.

أن هذه العينات تؤخذ للاشارات ذات عرض حزمة محددة فقط ، ولا تؤخذ للاشارات ذات عرض حزمة غير محدد ويجب أن يكون معدل اخذ العينات على الاقل ضعفي أعلى تردد وليس عرض الحزمة . فأن أذا كانت الاشارة التماثلية ذات تمرير منخفض (low pass) عرض الحزمة وأعلى تردد سيكونان متساويان في القيمة أما اذا كانت الاشارة ذات تمرير حزمة (band pass) فأن عرض الحزمة سيكون قيمته أقل من التردد الاعلى، لاحظ الشكل (3-2) .



الشكل (3-2) مخطط يوضح نيكوست

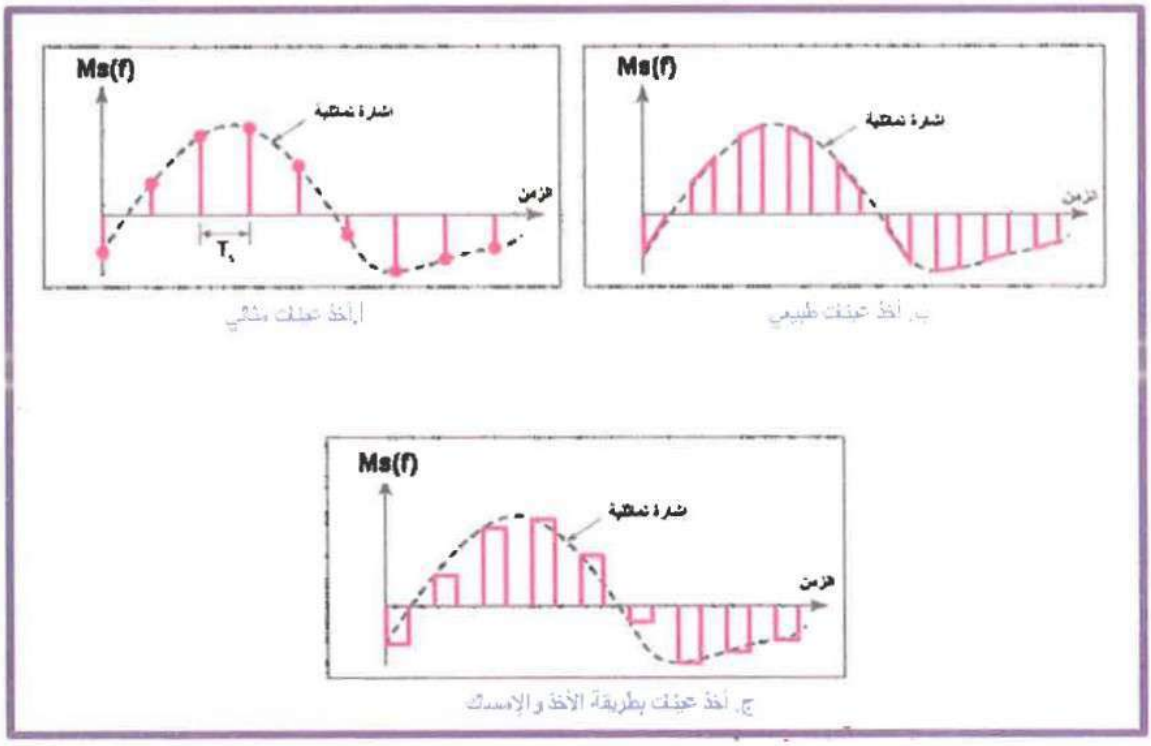
أن الإشارة التماثلية الأصلية يمكن استرجاعها بشكل تقريبي من ناتج عملية أخذ العينات بواسطة مرشح إمرار منخفض (Low Pass Filter LPF)، ولكن السؤال المهم هو عند استرجاع الإشارة التماثلية بعد عملية أخذ العينات كم ستكون مقاربة للإشارة الأصلية ؟! وهنا يأتي دور نظرية أخذ العينات للإجابة على هذه النقطة تحديدا، حيث تشترط النظرية أن يكون التالي :

$$T_s \leq \frac{1}{2f_m}$$

1.3.3 طرق أخذ العينات Types of Sampling

توجد ثلاث طرق لاخذ العينات , مثالية Ideal وطبيعية Natural وقمة مسطحة Flat Top ،لاحظ الشكل (3-3) . في طريقة اخذ العينات المثالي تقسم نبضات الاشارة التماثلية الى عينات لايمكن تنفيذها بسهولة. وفي اخذ العينات الطبيعى تكون النتيجة سلسلة من العينات التى تحافظ على شكل الاشارة التماثلية حيث تقطع بسرعة عالية لفترة قصيرة من الزمن لحظة اخذ العينة . والطريقة الشائعة في اخذ العينات هي

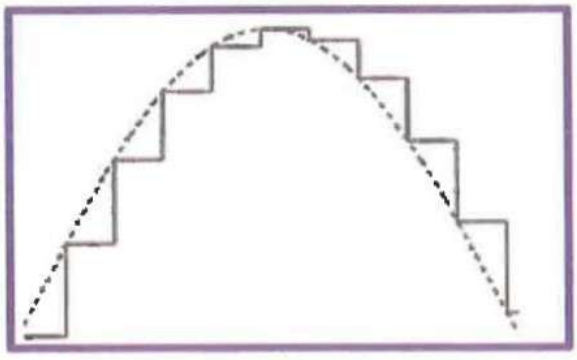
اخذ العينة ثم التوقف فتنشأ عينات مسطحة القمة, هذه الطريقة تسمى ايضا بطريقة الاخذ والمسك Sample and Hold.



الشكل (3-3) طرق اخذ العينات

2.3.3 طريقة الأخذ والمسك Sample and Hold

هذه الطريقة تُعرف أيضا بأسم طريقة القمة المسطحة لأخذ العينات (Flattop Sampling) وتتميز عن ما سبقها بأن العينة المأخوذة من الإشارة التماثلية تبقى ثابتة خلال دورة النبضة وتكون قيمتها هي القيمة المسجلة عند نقطة بداية النبضة أي نقطة أخذ العينة، وتبقى كذلك حتى تتوفر عينة جديدة. وفي هذه الطريقة سيكون ناتج أخذ العينات شكله مشابه للسلم تقريبًا كما في الشكل (3-4).



الشكل (3-4) عملية أخذ العينات بطريقة الأخذ والمسك

4.3 التضمين النبضي Pulse Modulation

نظام التضمين النبضي هو نظام التضمين الذي تكون فيه الإشارة الحاملة Carrier عبارة عن سلسلة نبضات ذات اتساع وعرض ودورة ثابتة وتقوم إشارة المعلومات " إشارة التضمين " بتغيير أحد عناصر هذه النبضات بما يتناسب واتساع إشارة التضمين في أوقات تواجد هذه النبضات و عليه يمكن القول بأن نظام التضمين النبضي يتعامل مع عينات متوالية Samples من إشارة المعلومات وهذه العينات تمثل بصورة كاملة هذه الإشارة , حيث نستطيع تمثيل إشارة تماثلية بواسطة عينات منها ومن خلال هذه العينات نستطيع تكوين الإشارة التماثلية من جديد.

1.4.3 أنواع التضمين النبضي

أن تضمين النبضات يمثل أحد أنواع التضمين المستعملة لجعل الموجة الحاملة للإشارات مناسبة أكثر للنقل عبر الوسط الناقل، ففي هذا النوع يتم استخدام سلسلة نبضات دورية كموجة حاملة ويتم التغيير على أحد الصفات المميزة للنبضة وفقًا لقيمة العينات، والصفات المميزة للنبضة هي:

السعة Amplitude العرض Width الموقع position

أ- تضمين سعة النبضة PAM:

هذا النوع من التضمين يعتبر من أبسط أنواع التضمين وأكثرها انتشارًا في اتصالات النطاق الأساسي وذلك لسهولة بنائه، حيث يتم تغيير سعة النبضة للإشارة الحاملة وفق قيم النبضات التي تم الحصول عليها من عملية أخذ العينات للإشارة التماثلية الحاملة للمعلومات.

لتوليد إشارة PAM، نستخدم طريقة القمة المسطحة (flattop) لتضمين سعة النبضة ، لأنه خلال عملية الإرسال تدخل الضوضاء على أعلى قمة للنبضة المنقولة والتي يمكن إزالتها بسهولة إذا كان تضمين سعة النبضة من نوعية القمة المسطحة (flat top).

هناك نوعان من تضمين سعة النبضة، وهما:

1- **تضمين سعة النبضة أحادية القطبية Single Polarity PAM:** وفي هذا النوع من التضمين تكون قيمة السعة موجبة أو سالبة، وكما موضح في الشكل (3-5).

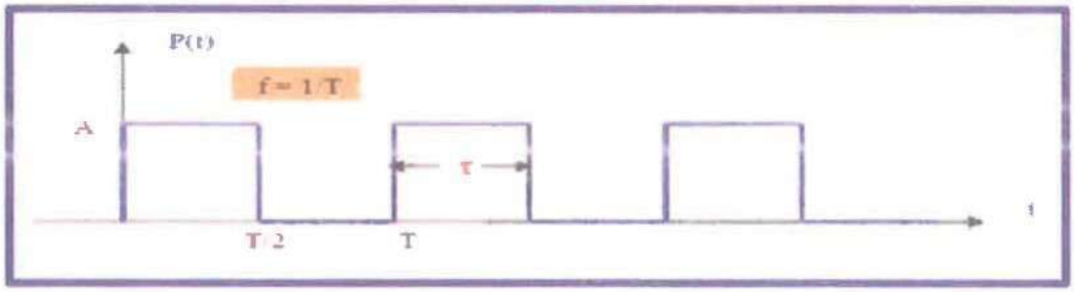
2- **تضمين سعة النبضة ثنائي القطبية Double Polarity PAM:** وفي هذا النوع من من التضمين تكون قيمة السعة موجبة وسالبة، وكما موضح في الشكل (3-6).هذا النوع من التضمين وفيه يكون أرتفاع النبضة أي سعة الإشارة للموجة الحاملة في نقطة زمنية محددة ذا علاقة تناسبية مع سعة الإشارة المضمنة $S_{Ts}(t)$ في النقطة الزمنية ذاتها، وبهذا نحصل على التالي:

Pulse Height = $V \alpha V_s$

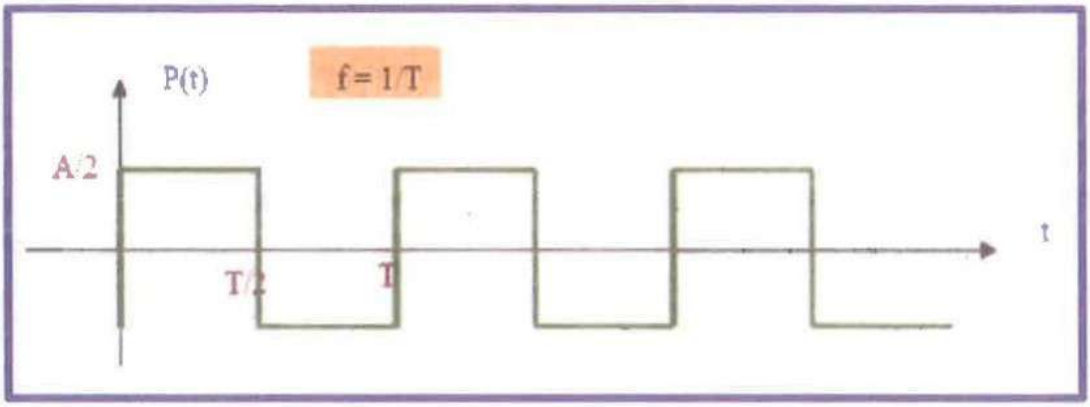
حيث تمثل:

V_s: سعة العينة في النقطة الزمنية t .

$V \alpha$: عامل تناسب السعة .

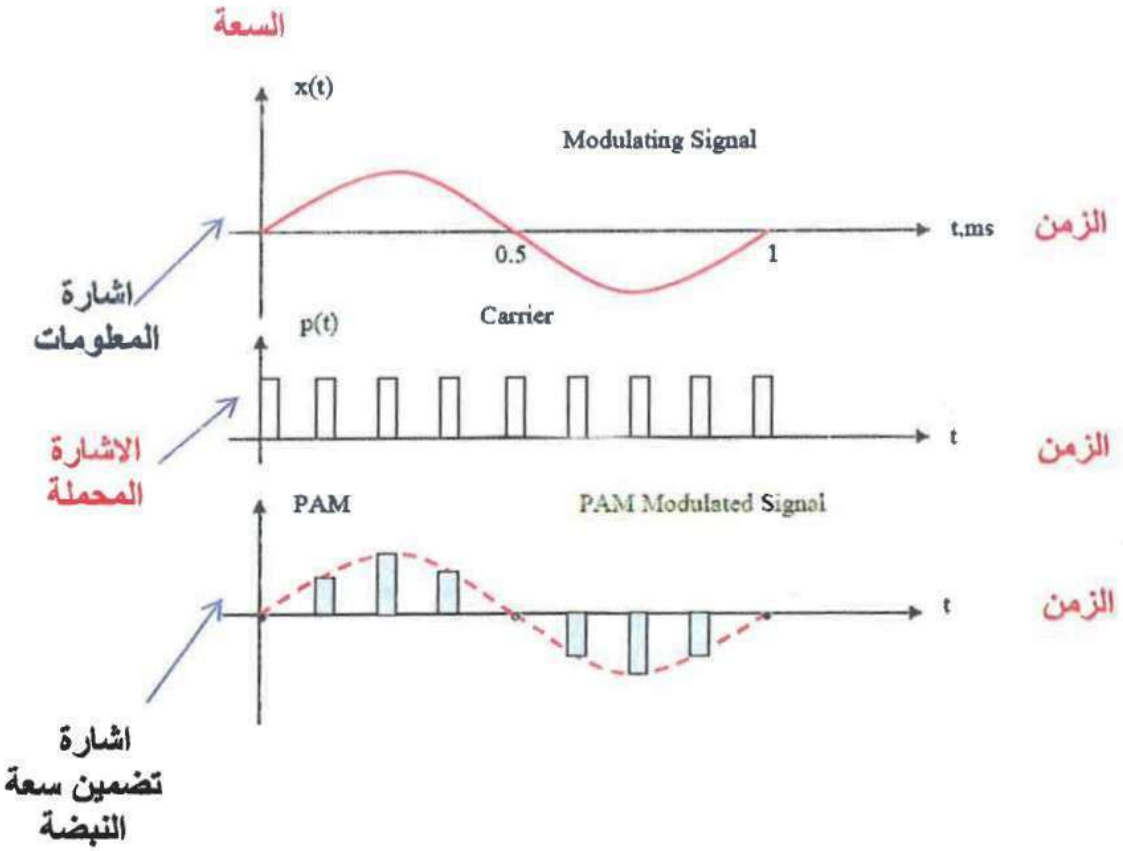


الشكل (3-5) النبضات أحادية القطبية



الشكل (3-6) النبضات ثنائية القطبية

الشكل (3-7) يمثل تضمين سعة النبضة ، ومن عيوب هذا النوع من التضمين هو الحاجة إلى حزمة تردد أعلى عند تطبيقه وفي نفس الوقت لدينا تأثير الضوضاء الذي لا يقل وبسبب تأثير الضوضاء فهناك أنواع أفضل من تضمين سعة النبضة وهي تضمين عرض النبضة PWM وتضمين موقع النبضة PPM.

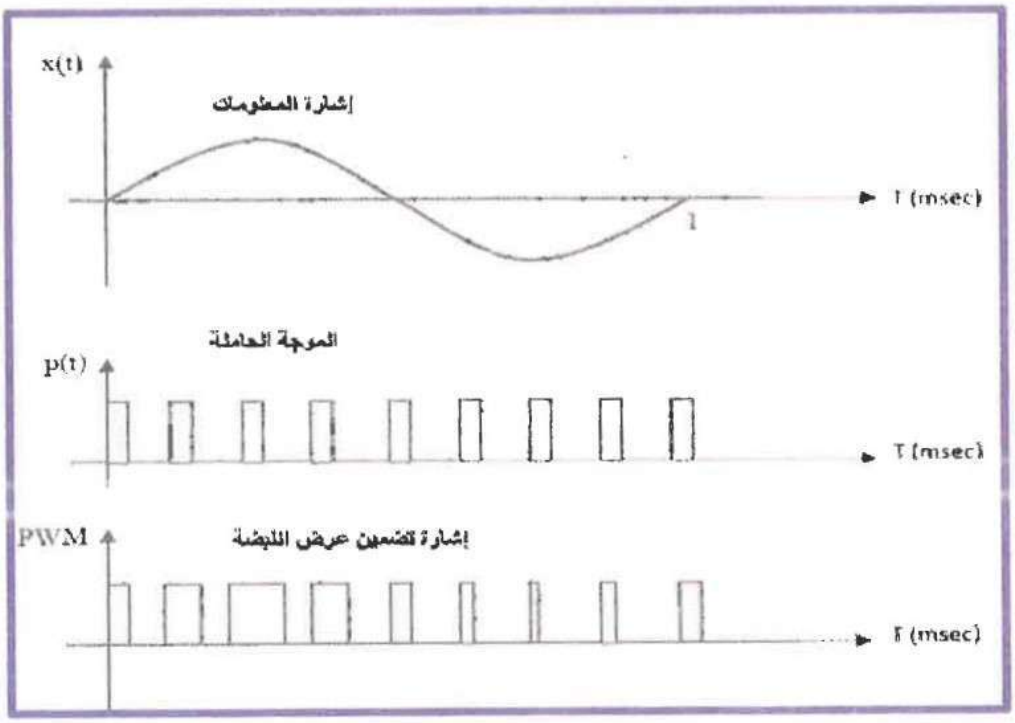


الشكل (3-7) تضمين سعة النبضة PAM

ب- تضمين عرض النبضة PWM:

هذا النوع من التضمين يتم فيه تغيير عرض النبضة (Pulse Width) وفقًا لقيمة الإشارة التماثلية، وفي هذا التضمين يكون مقدارعرض النبضة أكبر ما يمكن عندما تكون الإشارة في أعلى قيمة والعكس صحيح وفي جميع الأحوال يكون ارتفاع والمواقع الزمنية لجميع النبضات ثابتة لا تتغير.وفي هذا النوع من التضمين يكون عرض النبضة أي مدة الموجة الحاملة في نقطة زمنية محددة ذا علاقة تناسبية مع سعة الإشارة المضمنة.

الشكل (3-8) يوضح هذا التضمين، وبالرغم من أنَّ تضمين عرض النبضة أقل تأثرًا بالضجيج من تضمين سعة النبضة لكن في نفس الوقت الطاقة تتغير بتغير سعة العينات وهو ما يعتبر من عيوب هذه الطريقة لأنه يقلل كفاءتها.

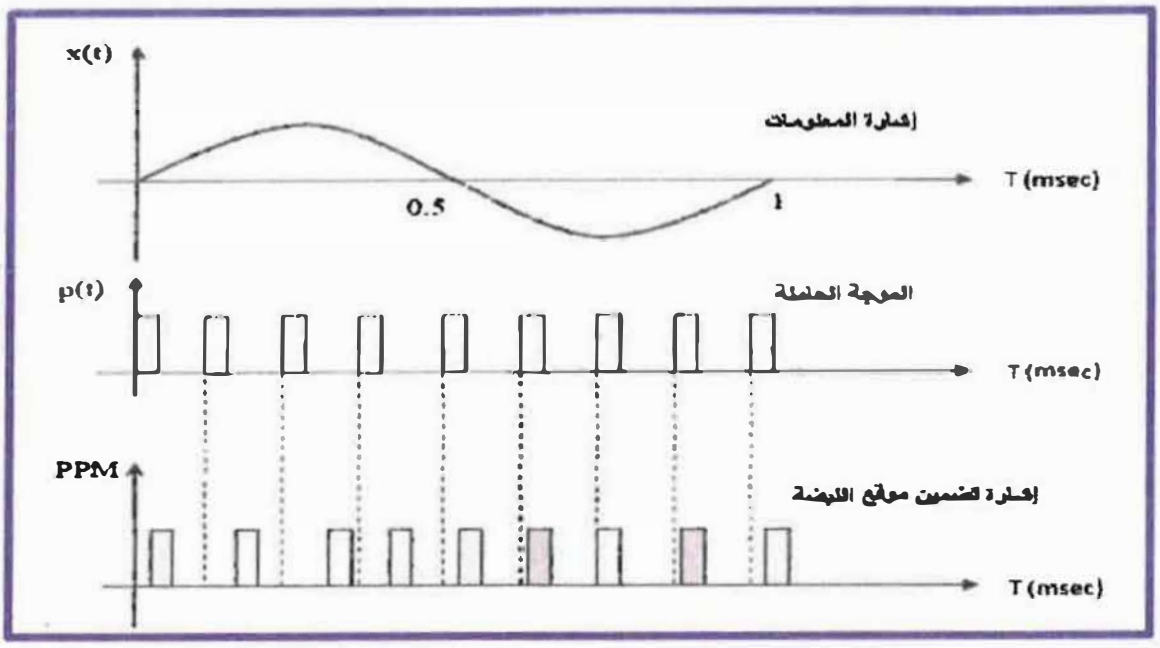


الشكل (3-8) تضمين عرض النبضة PWM

ج- تضمين موقع النبضة PPM:

هذا النوع من التضمين يتم فيه تغيير موقع النبضة pulse position وفقًا لقيمة الإشارة التماثلية وفي هذا التضمين يكون موقع النبضة أبعد ما يمكن عن موقعها الأصلي عندما تكون الإشارة في أعلى قيمة والعكس صحيح، وفي جميع الأحوال يكون ارتفاع وعرض جميع النبضات ثابتة لا تتغير.وفي هذا النوع من التضمين يكون موقع النبضة في الدورة أي تأخيرها عن نقطة بداية الدورة أي بداية نبضة الموجة الحاملة في نقطة زمنية محددة ذا علاقة تناسبية مع سعة الإشارة المضمنة.

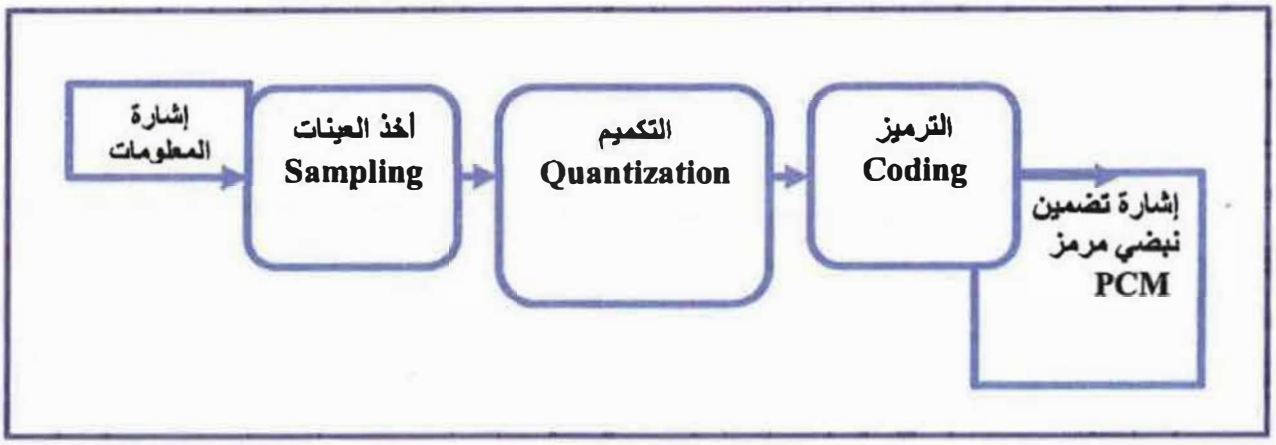
يظهر الشكل (3-9) تضمين موقع النبضة ، ويتميز هذا النوع من التضمين بمزايا إيجابية منها عدم تأثره بالضجيج كما في تضمين عرض النبضة ، ولكن لا يأخذ عيب تضمين عرض النبضة وهو التغير بطاقة سعة النبضة.



الشكل (3-9) تضمين موقع النبضة النبضة PPM

2.4.3 التضمين النبضي المشفر (Pulse Code Modulation (PCM

يعد **التضمين النبضي المشفرأو (المرمز)** أحد الوسائل المستخدمة لتحويل عينات الإشارات التماثلية إلى إشارات رقمية ، يتم فى إشارات التضمين النبضي المشفر الى اعادة المعلومات من الإشارة المستمرة عن طريق اخذ عينات لهذه الإشارة على أزمنة قصيرة جداً ومنتظمة باستخدام تضمين سعة النبضة (PAM) حيث يتم تكميم quantization كل عيّنة لأقـرب قيمة لها ضمن نطاق من الخطوات الرقمية. الشكل (3- 10) يوضح المكونات الاساسية للتضمين النبضى المشفر.



الشكل (3-10) مراحل التضمين النبضي المشفر PCM

والذي يتكون من المراحل الاساسية التالية :

أ- المرحلة الأولى أخذ العينات Sampling:

وفيها يتم أخذ عينات من الإشارة التماثلية للحصول على إشارة تعديل سعة النبضة PAM.

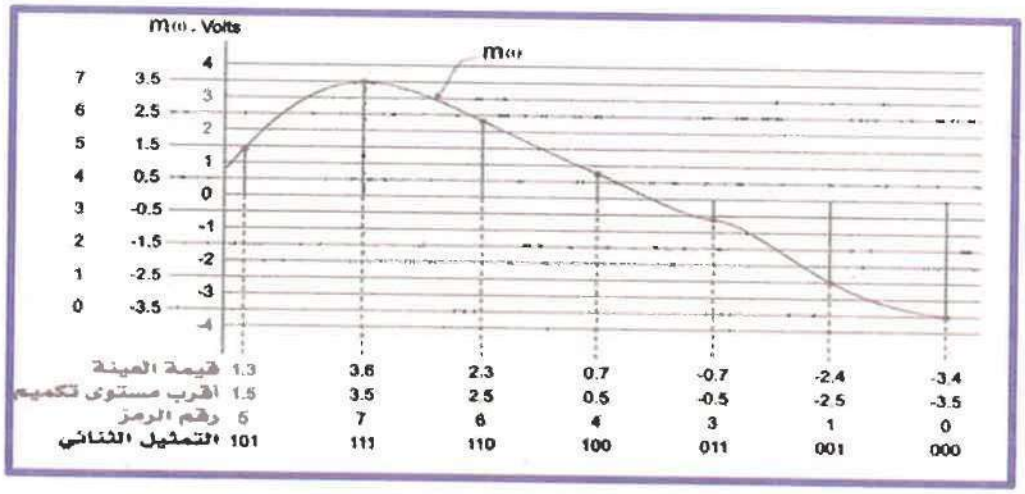
ب- المرحلة الثانية التكميم Quantization:

وفيها يتم تقريب قيمة العينة التي تحصلنا عليها من المرحلة السابقة إلى أقرب قيمة من القيم المعتمدة، ويتم التقريب أما عن طريق التقريب للقيمة الأقرب (Rounding) أو للقيمة الأقل (Truncation).فمثلًا القيمة 0.45 تقرب الى 0.5 و0.42 تقرب الى 0.4 وهكذا .

ت- المرحلة الثالثة التشفير(الترميز) Coding:

وفيها يتم تشفير القيم التي تحصلنا عليها من المرحلة السابقة إلى كلمة ثنائية (binary word).

ويمثل الشكل (3-11) مثال تطبيقي لتضمين نبضي مشفر بمراحله الثلاث.



الشكل (3-11) تطبيق التضمين النبضي المشفر PCM

ومن أشهر تطبيقات نظام التضمين النبضي المشفر:

أ- أنظمة الهاتف الرقمية (Digital Telephone System).

ب- أنظمة الصوت الرقمية في أجهزة الحاسوب (Digital Audio in Computers).

ت- أنظمة الصوت في الأقراص المدمجة والفيديو (Digital Audio in CD, DVD and Blue Ray).

ث- أنظمة الفيديو الرقمية (Digital Video).

ج- أنظمة الترميز وفك الترميز (Coders and Decoders).

ح- أنظمة إجراء القياسات عن بعد (Telemetry).

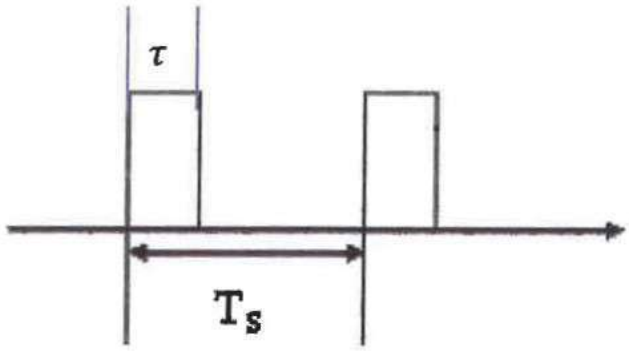
خ- الاتصالات الفضائية (Space Communication).

3.4.3 تجميع الاشارات بالتقسيم الزمني
Time Division Multiplexing (TDM)

كل التجميع بواسطة التقسيم الزمني هي تقنية تستخدم لارسال عدة اشارات معلومات مختلفة على قناة ارسال واحدة خلال دورة اخذ العينات التي تنقسم فيها الاشارات الى اطارات (frames) اطار يقسم الى حيزات (slots) زمنية متساوية وترسل المجموعة كاملة على نفس قناة الارسال وبنفس التردد وكل حيز يخصص لاشارة معلومات واحدة . يتم خلال الدورة أخذ عينة واحدة من كل اشارة بصفة تسلسلية.

وتعد طريقة تجميع الاشارات المضمنة بسعة النبضات (PAM) هي المستخدمة بشكل واسع لاخذ عينات اشارات المعلومات وبالتالي تجميعها على قناة واحدة .

يلاحظ عند اخذ عينتين متتاليتين من كل اشارة مضمنة بسعة النبضات وجود فراغ بينهما ، كما موضح في الشكل (3-12) .

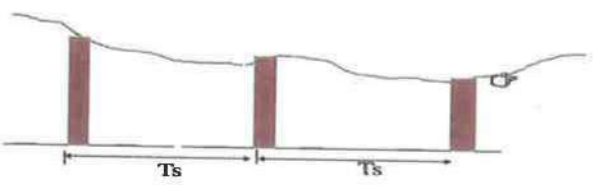


الشكل (3-12) دورة اخذ العينات

حيث أن:

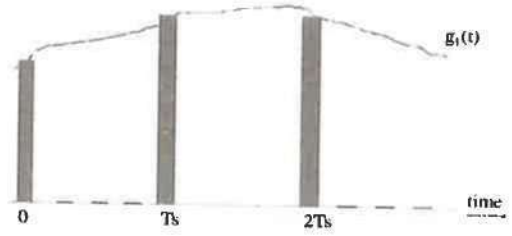
Ts زمن اخذ العينات و τ عرض العينة .فمثلا فى الشكل (3-13) يوضح اشارتين تم اخذ عينات لهما بطريقة تضمين سعة النبضات , الاشارة الاولى هي $g_1(t)$ الموضحة في الشكل (أ) والاشارة الثانية هي $g_2(t)$ والموضحة في الشكل (ب) تم تجميعهما على قناة واحدة كما موضحة بالشكل (ج).

عينات الاشارة الثانية



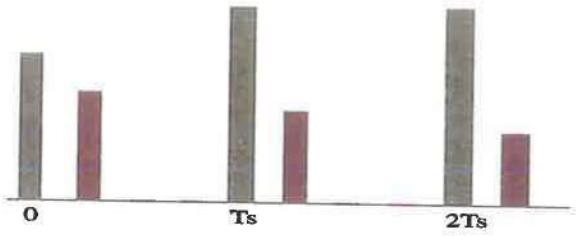
(ب)

عينات الاشارة الاولى



(أ)

تجميع عينات الاشارتين



(ج)

الشكل (3-13) تجميع اشارتين على قناة واحدة

وتكون العملية كما يلي :

أ- تجمع عينات من اشارات مختلفة (عينة واحدة من كل اشارة) فى اطار طوله Ts, يقسم الى حيزات زمنية عددها يساوى عدد الاشارات , تحتل كل عينة حيزا ثابتا خلال عملية الارسال .

ب- يشمل الاطار الاول العينات الاولى اي العينة الاولى من كل اشارة .

ت- يشمل الاطار الثانى العينات الثانية اى العينة الثانية من كل اشارة , وهكذا .

ث- ترسل الاطارات على التوالي (تسلسلي) .

ح- لكي نحافظ على التسلسل الزمني الصحيح , ترسل اشارات تزامن (sync puise) في اول واخر كل اطار .

ولتوضيح ما ورد اعلاه نأخذ المثال التالي , لو كان لدينا خمس اشارات يراد تجميعها بنظام TDM لغرض ارسالها عبر نفس قناة الاتصال , علما بأن النظام يتمتع بالخصائص التالية :

1- عدد الاشارات يساوى 5 .

2- جميع الاشارات تم اخذ العينات لها بنفس قيمة التردد fs .

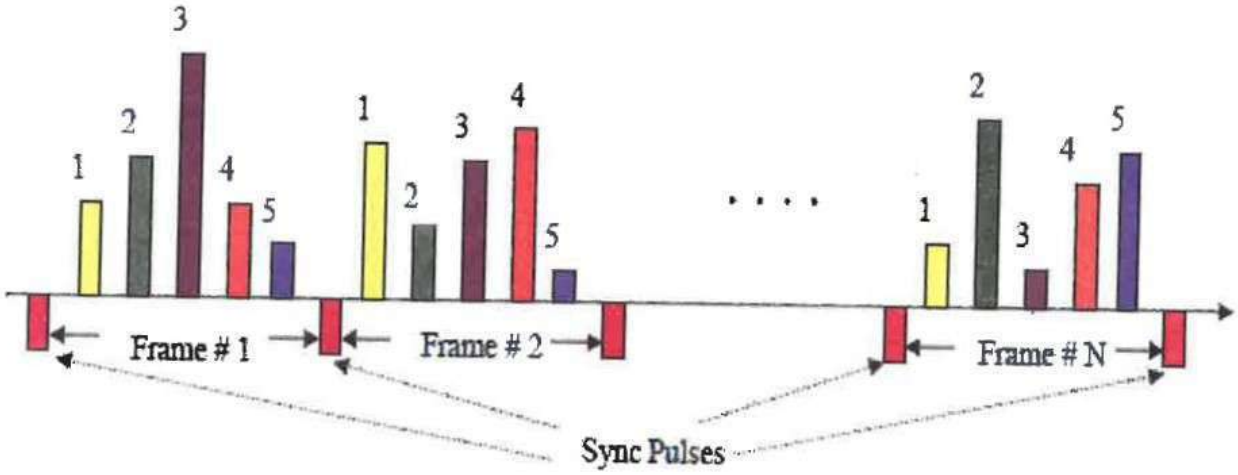
3- عملية اخذ العينات من نوع النبضات ذات المستوى الثابت Flat Top.

4- عرض النبضة الواحدة يساوى τ .

5- نبضات التزامن sync pulses تتميز عن غيرها بقيمها السالبة .

وبناء على ما ذكر اعلاه يمكننا تمثيل الاشارة بعد التجميع بالشكل (3-14) حيث يحتوى الاطار الاول (frame 1) النبضة التى تمثل العينة الاولى لكل اشارة من الاشارات الخمسة . والاطار الثاني (frame 2) النبضة تمثل العينة الثانية لكل اشارة من الاشارات الخمس وهكذا.

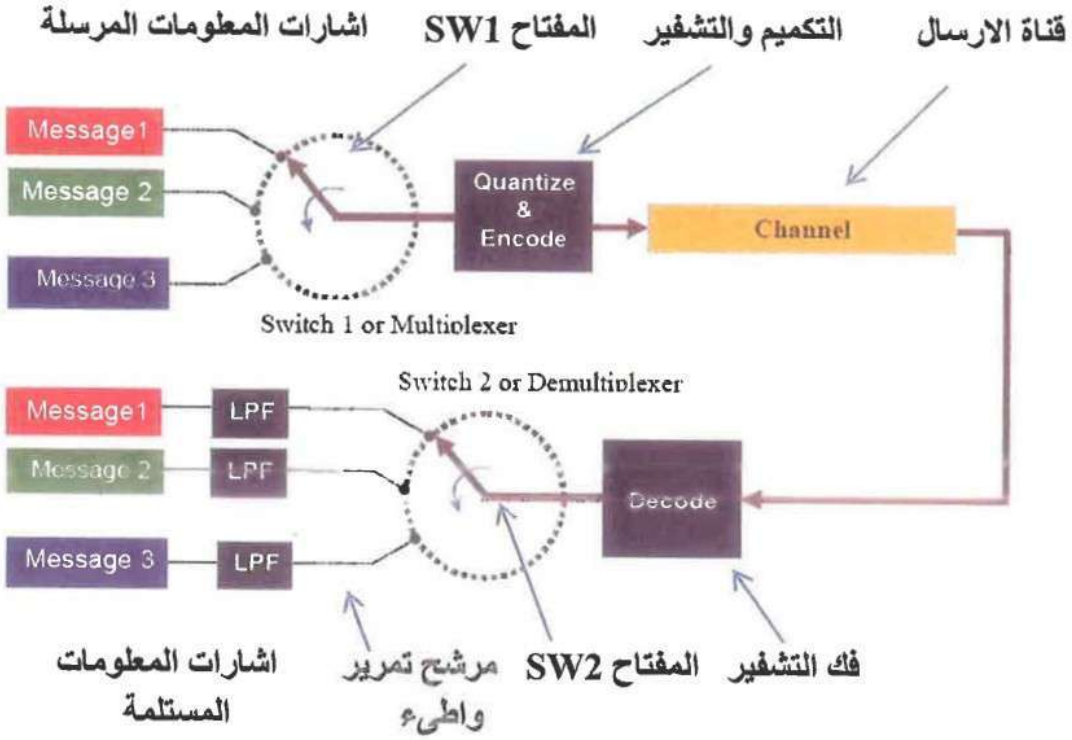
ان عدد الاطارات (frames) يساوي قيمة تردد اخذ العينات (fs) فمثلا اذا كان تردد اخذ العينات يساوي 10kHz فهذا يعنى ان عدد الاطارات يساوي 10000 .



نبضات التزامن

الشكل (3-14)

الشكل (3-15) يوضح مخطط كتلوي لتجميع عدة اشارات مختلفة على قناة ارسال واحدة باستخدام تضمين سعة النبضات (PAM) ويتم اعادة توزيعها (في جهة الاستلام) , تم استخدام المفتاح SW1 في جهاز الارسال والمفتاح SW2 في جهاز الاستلام لتنظيم ادخال واخراج الاشارات المراد تجميعها ونقلها عبر قناة اتصال واحدة .

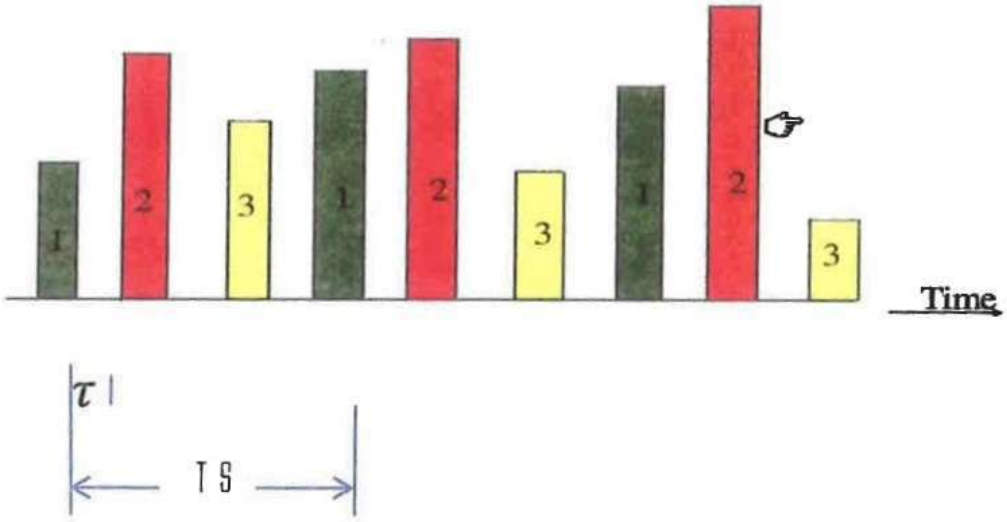


الشكل (3-15) تجميع وتوزيع عدد من الاشارات في نظام TDM

الشكل اعلاه يعطي مثالا للتجميع بالتقسيم الزمني لـ3 اشارات متعددة هما (message1 الى message 3).
المفتاح SW1 يسمى commentator اي محول الربط في الداخل والمفتاح SW2 يسمى decommutator اي مفكك الربط في الخارج . يقوم محول الرابط في الداخل باخذ العينات تسلسليا خلال دورة واحدة وبتردد لايقل عن تردد نيكويست الذى يعادل $f_N=2f_m$.

يوجد تزامن بين المحول الرابط فى الداخل والمفكك فى الخارج حيث يقوم الاخير بايصال كل اشارة الى وجهتها الصحيحة . الشكل اعلاه يمثل اشارة مركبة من 3 اشارات مجمعة من 3 خطوط مختلفة لتكون اطارا واحدا، المدة الزمنية الفاصلة بين عينتين متتاليتين في الاطار هي $\tau = Ts/3$ وذلك لتفادي التداخل , تستعمل هنا طريقة المستويات المسطحة في اخذ العينات .

الشكل (3-16) يوضح تجميع العينات للاشارات الثلاث .



الشكل (3-16) تجميع العينات للأشارات الثلاث

5.3 التضمين الرقمي Digital Modulation

في التضمين الرقمي يتم تضمين الإشارة التماثلية للموجة الحاملة ـ والتي تكون عادة إشارة جيبية أي لها تردد واحد فقط بإشارة متقطعة ، وذلك بتغيير أحد الخصائص الثلاث للإشارة الحاملة وهي : (السعة amplitude، التردد Frequency، الطور Phase) والتضمين الرقمي يمكن اعتباره عملية تحويل من رقمي إلى تماثلي.

إن وجود مثل هذا النوع من التضمين أصبح ضروريًا للحاجة لاستخدام وسائل نقل تماثلية لنقل إشارات رقمية، فمن التطبيقات الشائعة على هذا النوع من التضمين هو خط الهاتف فهو مصمم لنقل موجات تماثلية وليست رقمية، ومع ذلك فإنَّ الحواسيب يمكن أن تتصل بعضها مع بعض عن طريق خط الهاتف باستخدام جهاز يقوم بعملية التضمين الرقمي وهو جهاز المودم (وهو عبارة عن جهاز يقوم باجراء عملية التضمين Modulation وعملية كشف اشارة المعلوماتdemodulation).

1.5.3 فوائد التضمين الرقمي

تتعدد الفوائد الرئيسية لاستعمال تقنية التضمين الرقمي والمتعلقة بـ: انخفاض مشاكل المكونات المادية hardware والضوضاء والتداخل مقارنةً مع تقنيات التضمين الأخرى، وفوائد هذا النوع من التضمين بشكل عام هي:

أ- حصانة أكبر ضد الضوضاء Noise؛ لأن قيمة صفر لا تتحول إلى واحد بسهولة والعكس صحيح أيضًا.

ب- متانة عالية ضد ضعف قناة الاتصال Channel impairments، وهذا الضعف في قناة الاتصال قد يسبب تشوه Distortion أو اضمحلال Fading في الإشارة وهذا يقل في التضمين الرقمي.

ت- سهولة دمج عدة أنواع من المعلومات مثل: (بيانات، صوتية، فيديو) لأن هذا النوع من التضمين يستفيد من تقنية TDM.

ث- زيادة الأمنية بواسطة استعمال تقنيات التشفير لتجنب التشويش.

ج- سهولة في كشف وتصحيح الأخطاء التي تحدث أثناء انتقال الإشارة.

ح- التكلفة المطلوبة في مثل هذه التقنية أقل مقارنة مع غيرها من طرق التضمين؛ بسبب استخدامها معدات بسيطة لبنائها.

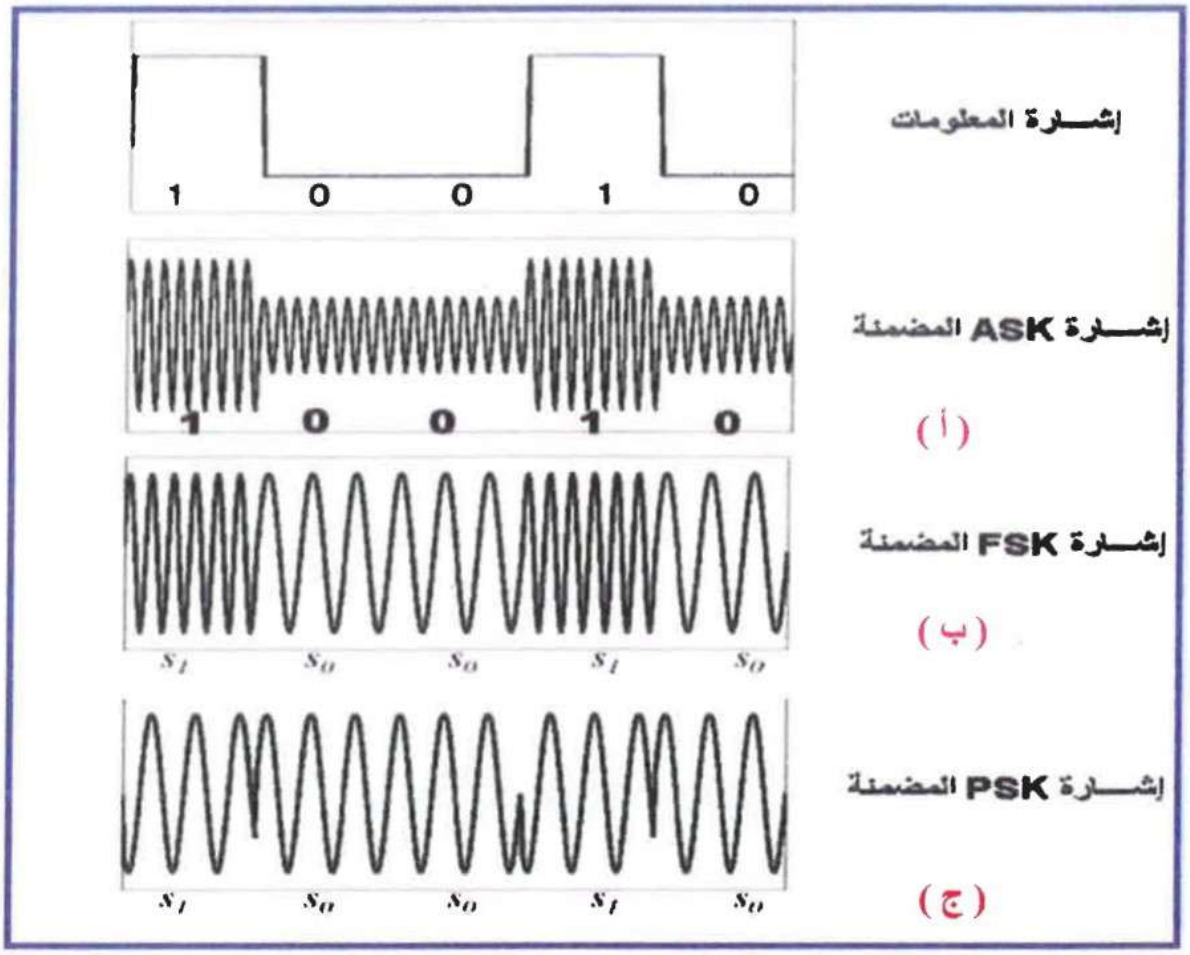
2.5.3 أنواع التضمين الرقمي

توجد ثلاثة أنواع رئيسية للتضمين الرقمي:

الأول/ تضمين إزاحة السعة مفتاحيًا Amplitude Shift Keying (ASK): وفيه يتم تغيير سعة الإشارة الحاملة بواسطة الإشارة الرقمية (إشارة المعلومات)، وبما أنَّ الإشارة الرقمية ثنائية التركيب فلذلك يكون تغيير السعة بجعلها مساوية لقيمة محددة موجبة عادة أو مساويةً للصفر، والتي تكون إشارة جيبية - بالقيمة (1) أو (0) وهذا بالطبع يعتمد على تركيبة سلسلة البتات التي تمثل الإشارة الرقمية وكما في الشكل (3- 17أ).

الثاني/ تضمين إزاحة التردد مفتاحيًا Frequency Shift Keying (FSK): وفيه يتم تغيير تردد الإشارة الحاملة بواسطة الإشارة الرقمية (إشارة المعلومات)، ويتم ذلك التغيير عن طريق إضافة قيمة صغيرة للتعبير عن (1) وطرح نفس القيمة الصغيرة منه للتعبير عن (0) وهذه القيمة الصغيرة ووحداتها هرتز تحدث انحرافًا ترديديًا في تردد الإشارة الحاملة وكما في الشكل (3-17ب).

الثالث/ تضمين إزاحة زاوية الطور مفتاحيًا Phase Shift Keying (PSK): وفيه يتم تغيير زاوية طور الإشارة الحاملة بواسطة الإشارة الرقمية (إشارة المعلومات)، ويتم ذلك التغيير عن طريق إضافة طور قيمته صفر من الدرجات للتعبير عن قيمة (1) وإضافة طور قيمته 180 درجة للتعبير عن قيمة (0) حيث أنَّ (1) و (0) تمثل مكونات سلسلة البتات في الإشارة الرقمية وكما في الشكل (3-17ج).



الشكل (3-17) أنواع إشارات التضمين الرقمي بإزاحات مختلفة مفتاحيًا

استخدمنا في جميع أنواع التضمين الثلاثة السابقة الذكر موجة حاملة جيبية والتي يمكن التعبير عنها بالصيغة الرياضية التالية:

$$v_c(t) = A_c sin(\omega_c t + \theta) = A_c sin(2\pi f_c t + \theta)$$

حيث تمثل:

$V_c(t)$: تغير فرق الجهد مع الزمن t.

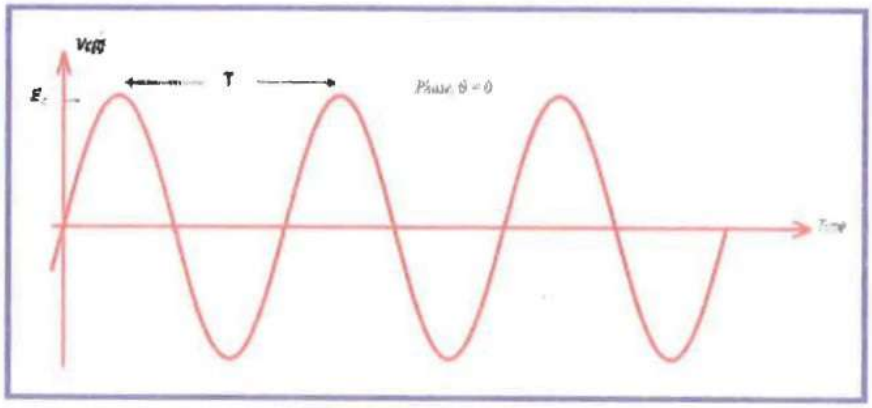
A_c: سعة الموجة الجيبية.

ω_c: التردد الزاوي للموجة الجيبية Angular Frequency.

f_c: تردد الموجة الجيبية بالهرتز.(Hz)

θ: طور الموجة الجيبية .

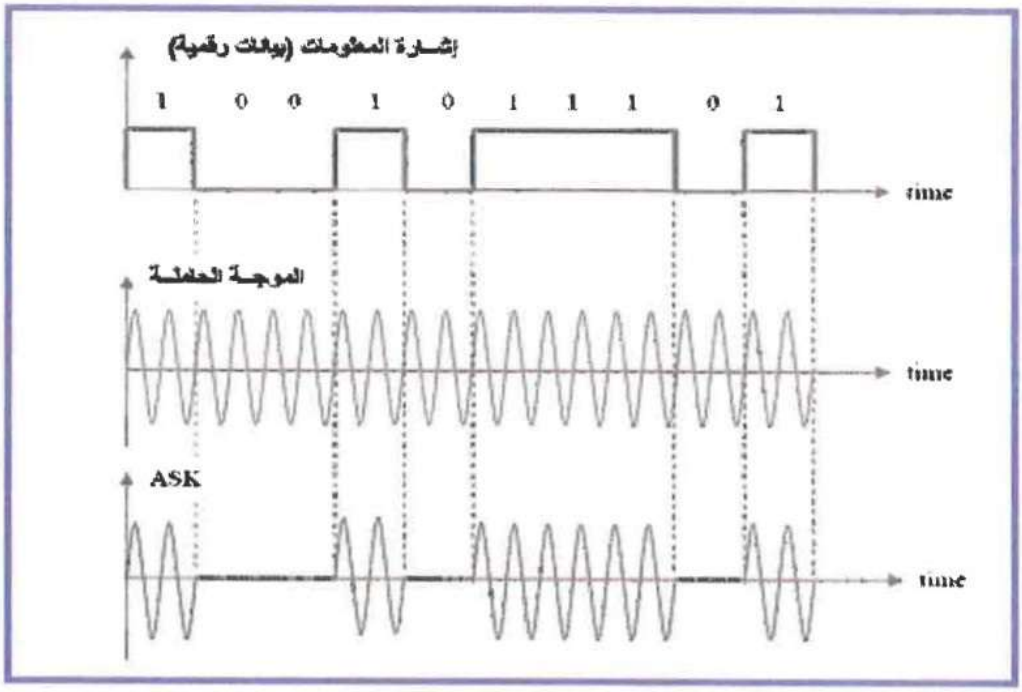
يلاحظ في الشكل (3-18) للمعادلة السابقة فلقد تم استخدام الموجة الجيبة لأن قيمة دالة الجيب تساوي صفرًا عندما تكون قيمة الزمن تساوي الصفر وهذا يساهم في سهولة الاستخدام وخاصة في حالة تضمين الطور.



الشكل (3-18) صيغة الموجة الجيبية

أ- تضمين إزاحة السعة مفتاحيًا ASK:

هناك عدة أنواع من هذا التضمين وسندرس أبسط أنواع التضمين المفتاحية والتي تسمى أيضًا تضمين التشغيل والإغلاق مفتاحيًا (On Off Keying OOK) ويتم باستخدام إشارة حاملة تماثلية تقع غالبًا بالتردد الراديوي (Radio Frequency RF) ، فلذا يمكن أن يُنظر للإشارة بأنها الإشارة الحاملة مبدلة بين قيمتين موجودة لتمثيل قيمة (1) أوغير موجودة لتمثيل (0) ، كما في الشكل (3-19).

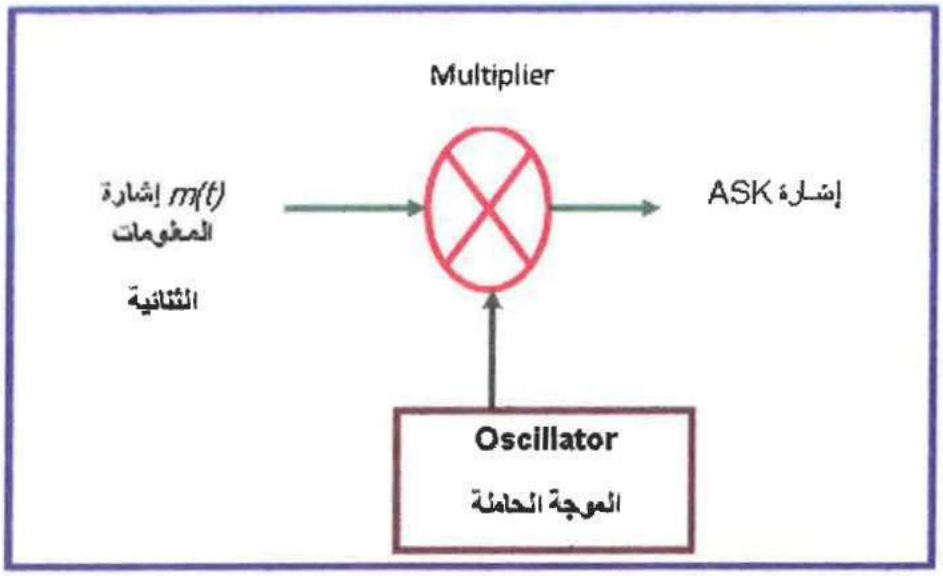


الشكل (3-19) توليد إشارة ASK

1- توليد ASK:

يمكن استخدام الدائرة في الشكل (3-20) لتوليد إشارة ASK حيث يتم ضرب إشارة المعلومات ذات التمثيل الرقمي الثنائي بإشارة الموجة الحاملة عن طريق Multiplier.

الإشارة الحاملة يتم ضربها: أما بقيمة موجبة عندما تكون m(t) تمثل الرقم (1) وينتج عنها نبضة راديوية تستمر لفترة زمن البت أو يتم ضربها بقيمة صفر عندما تكون m(t) تمثل الرقم (0) وعندها لا تكون هناك نبضة راديوية أي لا يكون هناك إرسال.



الشكل (3-20) دائرة توليد إشارة ASK

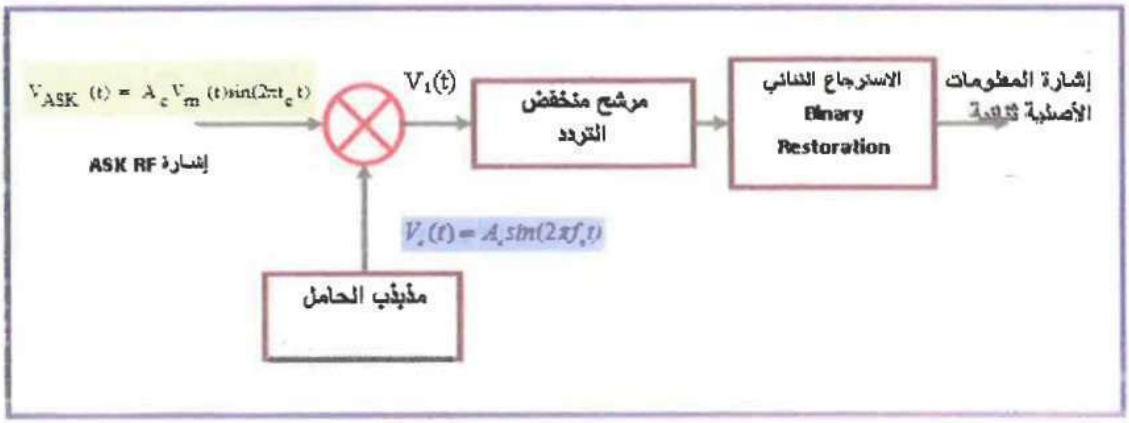
وكبديل لهذه الطريقة يمكن تبديل مصدر الإشارة الحاملة وهو المذبذب الراديوي (Oscillator) بين الحالتين, تشغيل لتمثيل قيمة (1) أو عدم التشغيل لتمثيل قيمة (0).

2- كاشف ASK:

هناك طريقتان للكشف عن إشارة ASK وإرجاع الإشارة الثنائية:

أ- طريقة الكشف المترابطة أو المتزامنة (Coherent Detection):

وهذه الطريقة تعتمد على توفير مذبذب (Oscillator) بالمستقبل يكون تردده وطوره مساويًا لتردد وطور الإشارة الحاملة عند نقطة الاستقبال، ويكون عمل الدائرة في الشكل (3-21) كالتالي: الإشارة القادمة من الإرسال تدخل أولًا على دائرة الضرب Multiplier بعد ذلك يتم تحسينها عن طريق مرشح منخفض الترددات LPF، ثم يتم توليد النبضات الأصلية عن طريق دائرة الاسترجاع الثنائية Binary Restoration.



الشكل (3-21) دائرة الكشف المترابطة لإشارة ASK

ب- طريقة الكشف غير المترابط أو غير المتزامن (Noncoherent Detection):

وهذه الطريقة لا تحتاج إلى مذبذب عند المستقبل ولا يلزم وجود ومعرفة تردد الإشارة الحاملة في المستقبل، ويكون عمل الدائرة في الشكل (3-22) كالتالي: الإشارة القادمة من الإرسال تدخل أولًا على كاشف الإطار (Envelope Detector) لاسترجاع الشكل العام للإشارة الثنائية المرسلة بعد ذلك يتم تحسينها عن طريق مرشح الترددات المنخفضة LPF، وفي النهاية يتم توليد النبضات الأصلية عن طريق دائرة الاسترجاع الثنائي (Binary Restoration).

تعتبر الطريقة الثانية المعتمدة على كاشف الغطاء أبسط لأنها لا تحتاج إلى مذبذب والذي عادة يصعب تصميمه وتنفيذه بسبب أنَّ كُلَّ من تردده وطوره يجب أن يكونا مساويين بالضبط لتردد وطور الإشارة الحاملة المستقبلية ويقوم كاشف الغطاء بالكشف عن الإشارة الرقمية ومعها بعض الضوضاء فلذا نحتاج إلى تمريرها من خلال مرشح منخفض الترددات LPF وهذا سيؤدي إلى أن يكون الخارج من المرشح لايمثل إشارة رقمية بالضبط لأن عرض النطاق الترددي لهذا المرشح يكون محددًا، فلذا يصبح من الضروري إعادة إنتاج البتات من جديد وذلك بتمرير الخارج من المرشح إلى دائرة الاسترجاع الثنائي والتي تقوم باسترجاع النبضات الغير الصحيحة إلى وضعها الطبيعي فنحصل على الإشارة الرقمية الأصلية m(t).

الشكل (3-22) دائرة الكشف الغير مترابطة لإشارة ASK

3- عرض الحزمة Bandwidth:

إنَّ عرض الحزمة الترددية المطلوبة لإرسال إشارة ASK يمكن حسابها عن طريق العلاقات الرياضية التالية:

حيث تمثل

$$f_p = \frac{1}{T_p}$$

B_T: قيمة عرض الحزمة الترددي المطلوب لإرسال إشارة ASK

$$B_T = 2f_p$$

f_p: تردد نبضات الإشارة الرقمية

T_p: الزمن الدوري لنبضات الإشارة الرقمية

إنَّ أعلى قيمة تردد تحصل عندما يأتي الصفر بعد الواحد وبعد الصفر واحد بشكل دوري وهذا يتطلب أعلى قيمة عرض نطاق.

ب- تضمين إزاحة التردد مفتاحيًا FSK:

في هذا النوع من التضمين تحتوي إشارة إزاحة التردد مفتاحيًا كما في الشكل (3-23) على ترددين هما:

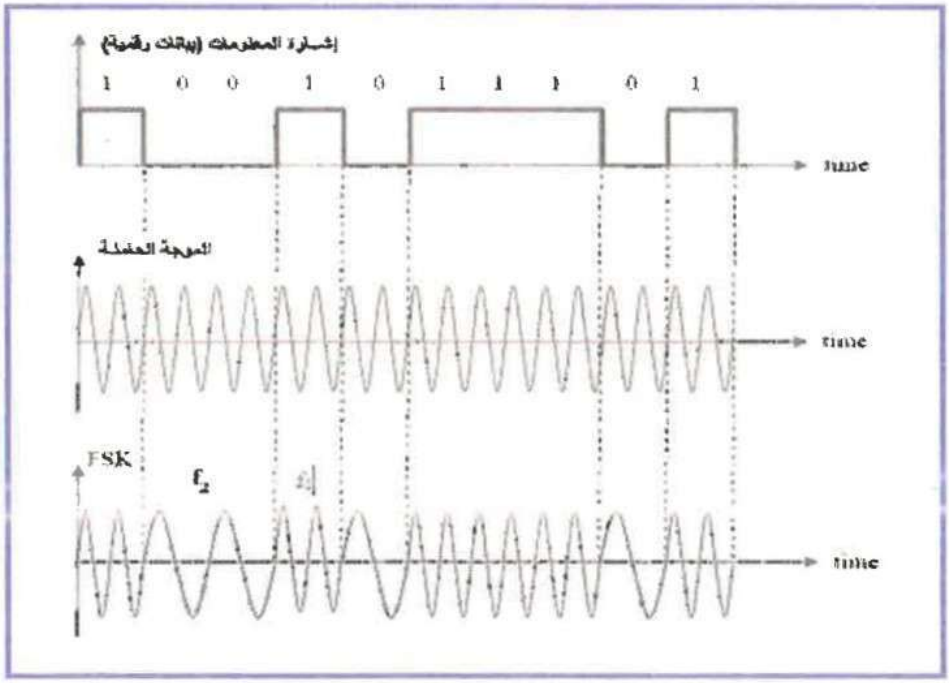
f_1

$$f_2 = f_c + \Delta f$$

و f_2 حيث:

$$f_1 = f_c - \Delta f$$

إن f_c عبارة عن تردد الإشارة الحاملة والتي تكون كما في حالة تضمين إزاحة السعة مفتاحيًا في المدى الترددي الراديوي RF، وهذا النوع من التضمين يعتبر أقل حساسية لأخطاء الإرسال من ضوضاء وتداخل وتشتت للإشارة بتعدد المسارات.

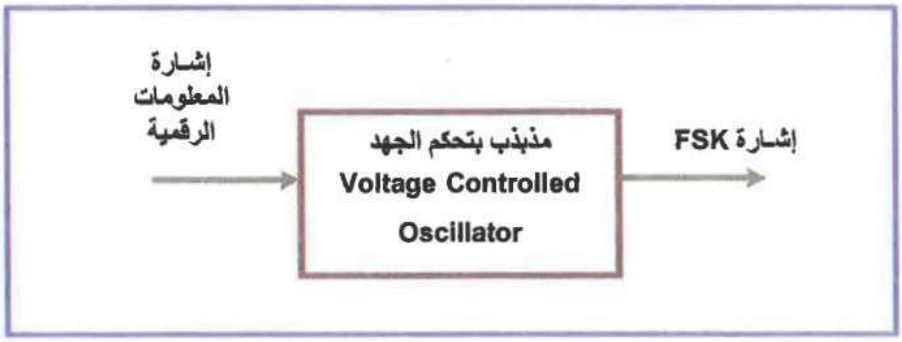


الشكل (3-23) توليد إشارة FSK

1- توليد FSK:

يمكن توليد إشارة FSK عن طريق استخدام الإشارة الرقمية الأساسية كإشارة ضبط للتحكم في مذبذب نوع التحكم فيه يتم عـن طريق الجهد (Voltage Controlled Oscillator VCO) كما في الشكل (3-24)، وبما أنَّ الإشارة الرقمية لها قيمتان فقط أمَّا (1) أو (0) فبناءً على ذلك يكون الخارج من المذبذب له ترددين:

الأول عندما تكون قيمة إشارة التحكم ممثلة للقيمة (1) والثاني عندما تكون قيمة إشارة التحكم ممثلة للقيمة (0) وبما أنَّ المذبذب يولد إشارة جيبية؛ فلذا يكون الخارج في حالة التحكم بإشارة رقمية ثنائية عبارة عن إشارة جيبية لها ترددين أحدهما أعلى من f_c بالمقدار $\Delta f+$ والآخر أصغر من f_c بنفس المقدار Δf.



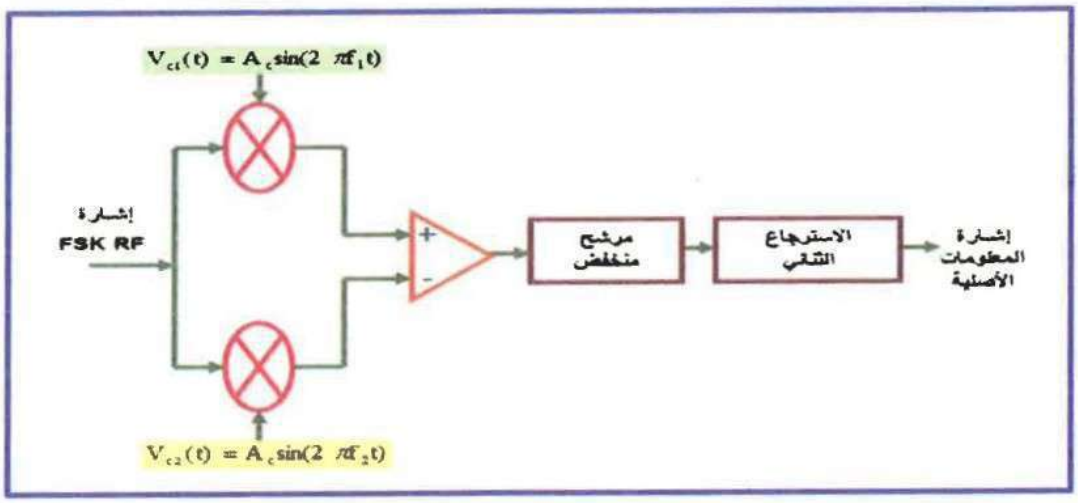
الشكل (3-24) دائرة توليد إشارة FSK

2- كاشف FSK:

هناك طريقتان للكشف عن إشارة FSK وإرجاع الإشارة الثنائية:

أ- طريقة الكشف المترابطة أو المتزامنة (Coherent Detection):

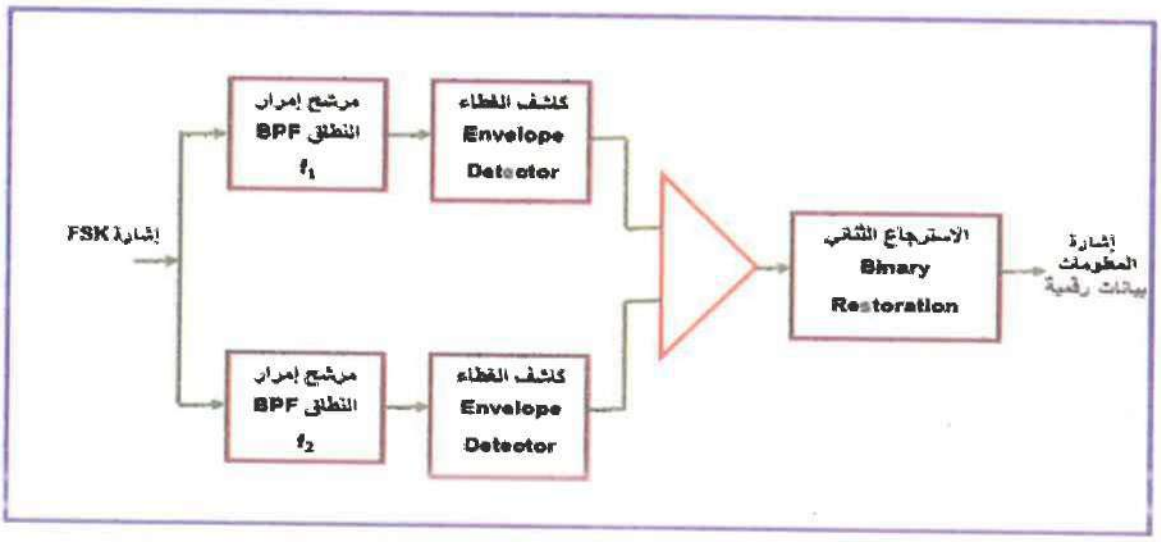
وهذه الطريقة تعتمد على وجود ومعرفة تردد الحامل في المستقبل ، وكما في الشكل (3-25) ويكون العمل كالتالي: تدخل الإشارة القادمة من الإرسال FSK أولًا على دائرتي ضارب Multiplier، كل منهما يدخل عليه أحد ترددي الحامل f_1 أو f_2 ويتم إدخال الإشارتين على المكبر الجامع Operational-Amplifier بعدها يتم إدخال الإشارة على مرشح LPF والذي يزيل جميع الترددات العالية، وأخيرًا يتم توليد النبضات الأصلية عن طريق دائرة الاسترجاع الثنائية Binary Restoration.



الشكل (3-25) دائرة الكشف المترابط لإشارة FSK

ب- طريقة الكشف غير المترابط أو غير المتزامن (Noncoherent Detection):

وهذه الطريقة لا تحتاج إلى وجود ومعرفة تردد الحامل في المستقبل كما في الشكل (3-26)، حيث تنقسم الإشارة القادمة من الإرسال إلى قسمين: عندما يكون التردد f_1 يتم تمرير الإشارة خلال المرشح العلوي BPF فقط ومن ثم يتم الكشف عنها عبر كاشف الإطار وتدخل على معبر العمليات Operational-Amplifier، وعندما يكون التردد f_2 يتم تمرير الإشارة خلال المرشح السفلي BPF فقط ومن ثم يتم الكشف عنها عبر كاشف الإطار وتدخل على مكبر العمليات، وفي النهاية يتم توليد النبضات الأصلية عن طريق دائرة الاسترجاع الثنائية.



الشكل (3-26) دائرة الكشف الغير مترابط لاشارة FSK

3- عرض الحزمة Bandwidth:

إنَّ حساب عرض النطاق الترددي المطلوب لإرسال إشارة FSK والتي تم تعديلها بواسطة الإشارة الثنائية ذات تردد f_p يمكن حسابه باستخدام قاعدة كارسون (Carson's Rule) كالتالي:

$$B_T = 2(\Delta f + f_m)$$

$$\Delta f = \frac{f_1 - f_2}{2}$$

$$f_m = f_p = 0.5R$$

$$B_T = f_1 - f_2 + R$$

حيث تمثل:

B_T: عرض النطاق الترددي المطلوب لإرسال إشارة FSK

Δf: الإزاحة الترددية

f_m: تردد الإشارة المراد إرسالها، وفي هذه الحالة $f_m=f_p$

R: سرعة إرسال البيانات، وفي هذه الحالة $R=2f_p$

ويكون عرض النطاق الترددي متمركزًا حول قيمة التردد الوسيط Centre Frequency.

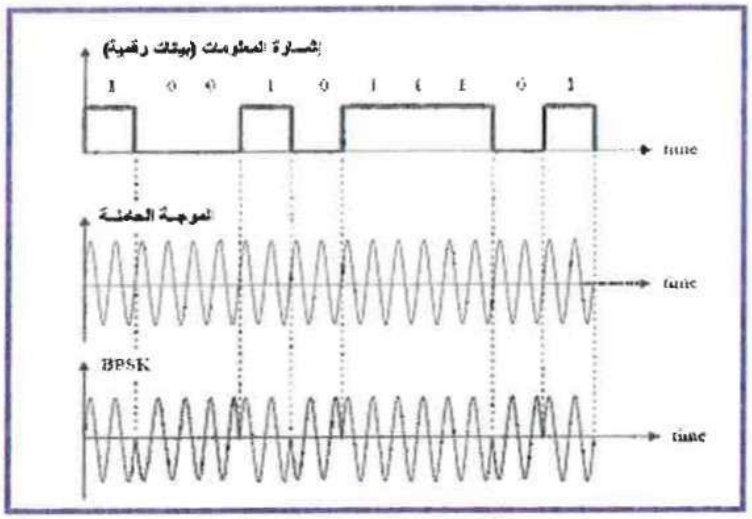
$$f_c = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

ج- تضمين إزاحة زاوية الطور مفتاحيًا Phase Shift Keying (PSK):

ابتداءً لابد من التنبيه على أنَّ تضمين إزاحة الطور مفتاحيًا يتضمن عدة أنواع منها:

- الأول/ التضمين الثنائي لإزاحة الطور مفتاحيًا Binary Phase Shift Keying (BPSK).
- الثاني/ التضمين التفاضلي لإزاحة الطور مفتاحيًا Differential Phase Shift Keying (DPSK).

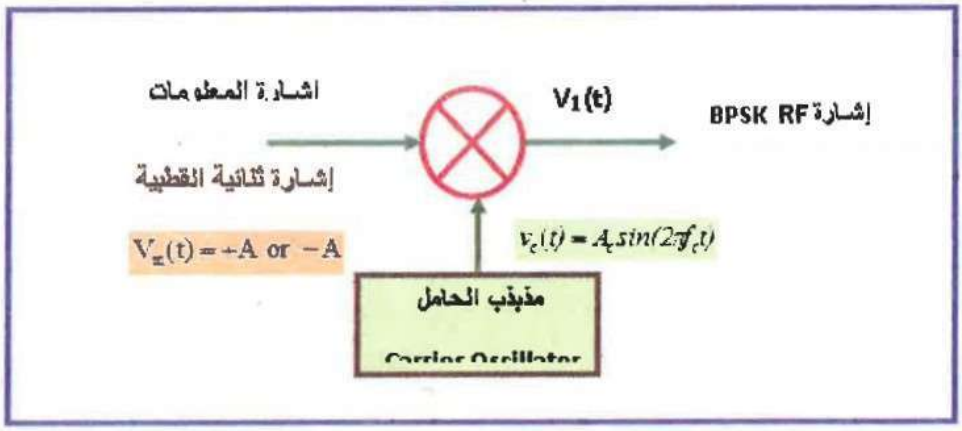
وسنتطرق للنوع الأول في دراستنا حيث يتم في هذا النوع من التضمين تغيير قيمة طور الإشارة الحاملة بين قيمتين: صفر أو 180 درجة، وهذا التغيير يعتمد على قيمة إشارة المعلومات الرقمية التي تكون أما (1) أو (0) ونظرًا لأن الإشارة الحاملة جيبية فإنَّ إضافة طور صفر لها لن يغير من قيمتها شيئًا وأن القيمة العليا لها هي اتساع الإشارة الحاملة، وإنَّ إضافة طور قيمته 180 درجة سوف يغير في إشارة الاتساع من الموجب إلى السالب، وفي حالة تكرار الإشارة تبقى قيمة الطور بدون تغيير أي (0) درجة ينظر الشكل (3-27).



الشكل (3-27) توليد إشارة BPSK

1- توليد PSK:

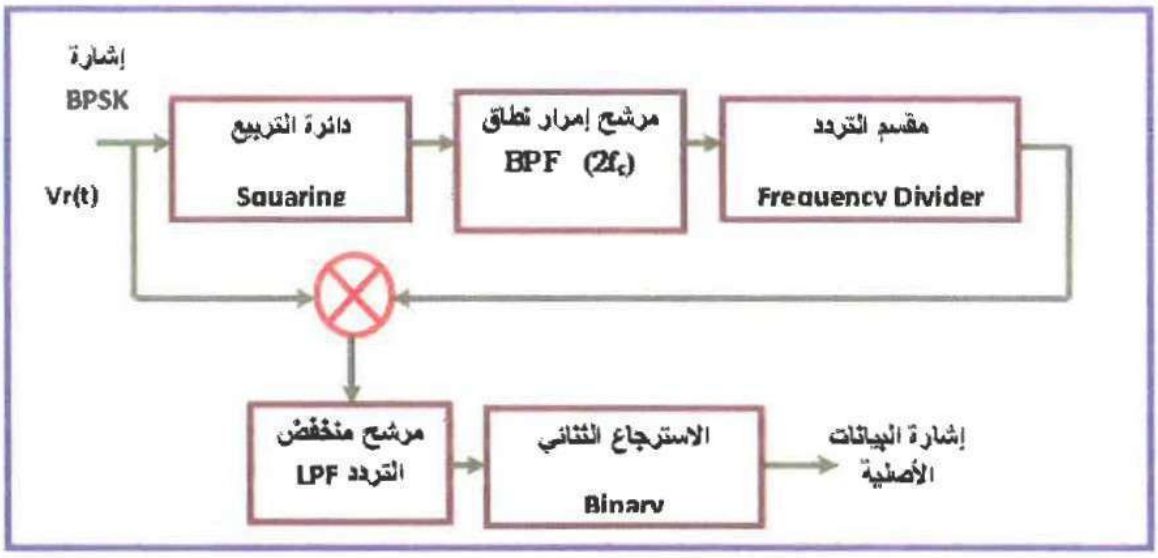
يمكن استخدام الدائرة في شكل (3-28) لتوليد إشارة BPSK حيث يتم ضرب إشارة المعلومات ذات التمثيل الرقمي الثنائي بإشارة الموجة الحاملة عن طريق Multiplier، وفي هذه الدائرة لابُد من تحويل الإشارة الثنائية أحادية القطبية (Unipolar) إلى ثنائية القطبية (Bipolar)، حيث يمثل (1) بنبضة ذات جهد موجب (+A) وقيمة الصفر (0) بنبضة ذات جهد سالب (-A).



الشكل (3-28) دائرة توليد إشارة BPSK

2- كاشف PSK:

هناك طريقة واحدة للكشف عن إشارة BPSK وإرجاع الإشارة الثنائية الأصلية وهي **طريقة الكشف المترابطة أو المتزامنة (Coherent Detection)** ويكون عمل الدائرة في الشكل (3-29) كالتالي: الإشارة القادمة من الإرسال تدخل أولًا على دائرة التربيع *Squaring Circuit* وفيها يتم تربيع الموجة المستقبلة مما ينتج مكون ترددي على ضعف تردد الحامل ($2f_c$) والذي يتم تمريره من خلال مرشح إمرار نطاق (Band Pass Filter BPF) الخاص بهذا التردد، ثم يتم إدخال الإشارة على مقسم التردد *Frequency Divider* حيث تتم القسمة على (2) لاسترجاع تردد الحامل الأصلي (f_c)، ثم يتم بعد ذلك إدخال الإشارة على الضارب *multiplier* مع الإشارة المستقبلية الأصلية $v_r(t)$ حيث يتم تمرير الجزء الثابت الناتج من عملية الضرب عبر المرشح منخفض التردد LPF ومنه إلى دائرة استرجاع النبضات.



الشكل (3-29) دائرة الكشف المترابط لإشارة BPSK

3-عرض الحزمة Bandwidth:

عرض الحزمة الترددي المطلوب لإرسال إشارة BPSK مساوٍ لسرعة إرسال البيانات، فيمكن حسابه كما في طريقة ASK. اى ان عرض الحزمة B_T .

$$B_T = 2f_p \qquad f_p = \frac{1}{T_p}$$

اسئلة الفصل الثالث

س1: عرف كل مما يأتي:

أ- التضمين ب- أخذ العينات ت- الموجة الحاملة ث- عرض الحزمة ج- التضمين النبضي المشفر

س2: ما الفرق بين النبضة المثالية والنبضة العادية؟

س3: ما الفائدة من نظرية أخذ العينات؟

س4: عدد طرق أخذ العينات، وما الميزة الأساسية لكل طريقة؟ مع رسم توضيحي لتطبيق كل طريقة.

س5: ما هي أنواع تضمين سعة النبضة؟

س6: ما هي مراحل التضمين النبضي المشفر؟

س7: عدد فوائد التضمين الرقمي .

س8: ما المقصود بالتجميع بالتقسيم الزمني؟

س9: ما الفرق بين اخذ العينات الطبيعية والمثالية؟

س10: ما الفرق بين تضمين عرض النبضات وتضمين موقع النبضات؟

س11: ما الميزة الرئيسية لتضمين عرض النبضات مقارنة مع تضمين سعة النبضة؟

س12: ما الذي يحدث إذا لم يتحقق الشرط $f_s \geq 2f_m$ ؟

س13: اذكر أهم تطبيقات نظام التضمين النبضي.

س14: وضح ما المقصود بعرض حزمة إشارة المعلومات وعرض قناة الإرسال؟

س15:أملأ الفراغات التالية بما يناسبها:

أ- يتم تمثيل الإشارات على شكل إشارات ---------- و ---------- زمنياً.

ب- الغرض من التضمين النبضي هو ---------- .

ت- نظرية أخذ العينات تعرف أيضا بنظرية ---------- .

ث-أن معكوس قيمة t_s يسمى ورمزه ---------- .

ج-الصفات المميزة للنبضات هي ---------- و---------- و---------- .

ح-أن من عيوب طريقة تضمين سعة النبضة هو ---------- .

خ-يتميز تضمين موقع النبضة PPM بـ ---------- .

س16: ما أنواع التقريب المستخدمة في التكميم؟ وضحها بالأمثلة.

س17: ما سبب إمكانية تطبيق TDM على تضمين سعة النبضة؟

س18: عرف كل مما يأتي:

أ- التضمين الرقمي ب- تضمين إزاحة السعة مفتاحيًا ت- تضمين إزاحة زاوية الطور مفتاحيًا

ث- تضمين إزاحة التردد مفتاحيًا

س19: ما هي الأمور التي يجب مراعاتها عند تطوير تقنيات التضمين الرقمي؟

س20: ما ميزات نظم الاتصالات الرقمية مقارنة مع نظم الاتصالات التماثلية؟

س21: كيف يتم توليد إشارة ASK وضح ذلك مع الرسم؟

س22: اذكر طريقتي كاشف ASK وما الفرق بينهما؟

س23: وضح بالرسم دائرة الكشف المترابط لإشارة BPSK؟

س24: ما هي طرق كاشف FSK عددها مع الشرح؟

س25: كيف يتم حساب عرض الحزمة لإرسال إشارة FSK ووفق إي قاعدة تتم؟

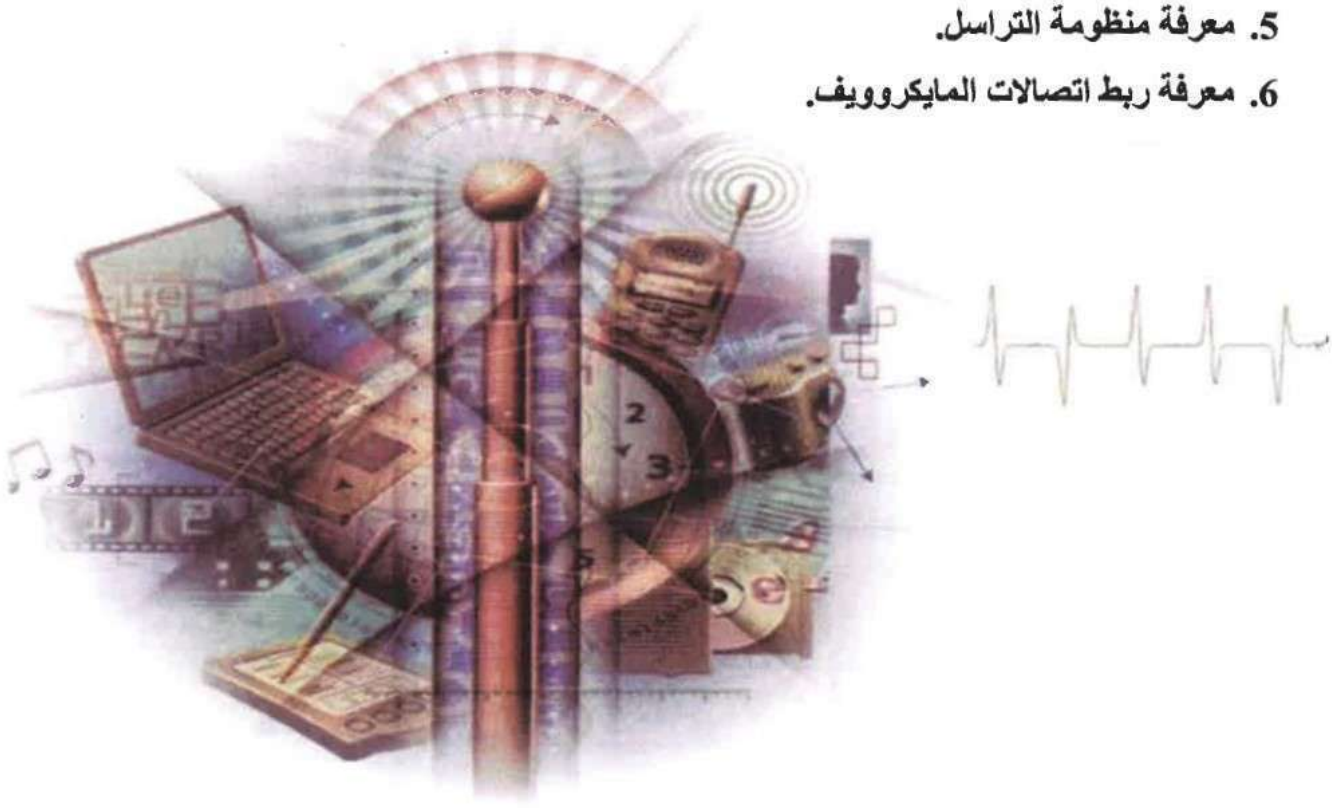
الفصل الرابع

الشبكات الهاتفية

الاهداف الخاصة

بعد الانتهاء من دراسة هذا الفصل يكون الطالب قادرًا على:

1. **معرفة المفاهيم الأساسية للشبكات الهاتفية.**
2. **معرفة كيفية عمل شبكات الهواتف القديمة والحالية.**
3. **معرفة مكونات الشبكة الهاتفية.**
4. **معرفة شبكة الهواتف الارضية.**
5. **معرفة منظومة التراسل.**
6. **معرفة ربط اتصالات المايكروويف.**



الفصل الرابع

الشبكات الهاتفية

1.4 المقدمة

الهاتف (Telephone) كلمة اشتقت من مقطعين، المقطع الأول منها " *tēle* " اي عن بعد والمقطع الثاني" phone" ويعني (صوت) وهو إحدى وسائل الاتصال عن بُعد التي تُستخدم لإرسالواستقبال الأصوات المشفرة رقميًا أو إلكترونيًا (الكلام الشائع) بين شخصين أو أكثر. وهو من اكثر الادوات الشائع استخدامها في المنازل . ويتم تشغيل معظم الهواتف من خلال ارسال اشارات كهربائية عن طريق شبكة هاتفية ، تلك الشبكة التي تساعد في اتصال أي هاتف مستخدم بأي مستخدم آخر. وبوجه عام ، يعتمد نظام الهاتف الأرضي التقليدي، المعروف أيضًا باسم" الخدمة التليفونية القديمة والتقليدية على استخدام كل من المعلومات السمعية والإشارات من خلال القابلو (cable) المجدول والمكون من أسلاك معزولة والذي يمثل خط الهاتف ، وعلى الرغم من أن الهاتف قد صُمم خصيصًا من أجل الاتصال عن طريق الصوت، فإن نظام الاتصال قد تم تعديله لكي يشمل أيضًا الاتصال عن طريق إرسال البيانات مثل التليكس أو الفاكس أو الاتصال عن طريق الإنترنيت.

وبزيادة عدد الهواتف وانتشارها وجد من الضرورى ايجاد وسيلة تكفل اتصال الاجهزة مع بعضها وذلك ضمن نطاق معين، وهكذا ظهرت فكرة البدالة (Exchange), في البدالة الاولى كان الاتصال بين المشتركين (Subscribers) يدويا يتم عن طريق عامل البدالة .

من اهم المتطلبات التي تقوم بها البدالات هي :

1- توفير التيار المستمر الى اجهزة الهواتف المتصلة بها .

2- ان تكمن اجهزة الهواتف جاهزة لتلقى الطلب ويتم ذلك بسماع نغمة النداء (Dial Tone).

3- ان يؤمن الخط اللازم ما بين المشترك (الطالب) والمشترك (المطلوب) .

4- ارسال اشارة صوت رنين الجرس الى المشترك الطالب .

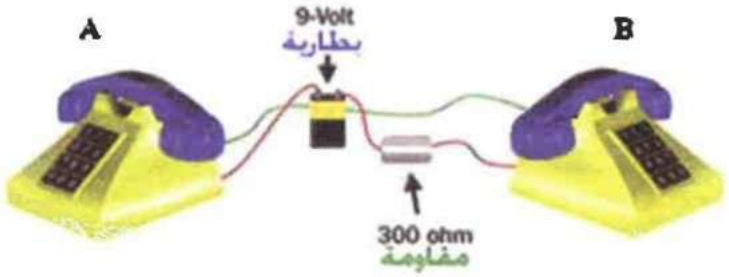
5- يرن جرس هاتف المشترك المطلوب اذا كان غير مشغول وقطع تيار رنين الجرس اوتوماتيكيا حالما يرفع المشترك المطلوب السماعة .

6- تسجيل النداء على حساب الجهة الطالبة عندما يكون هاتف المشترك مشغولا (Busy Tone)

7- حراسة النداء ضد اي تداخل من قبل المشتركين الاخرين سواء كان اثناء المحادثة او طلب الاتصال .

2.4 شبكة الهاتف القديمة

كانت الهواتف قديما لا تملك شبكة (network) لان استخدامها كان محدودا حيث يربط شخصين باستخدام جهازين كما بالشكل (4-1) والذي يوضح دائرة إرسال (الميكرفون) واستلام (السماعة) تتكون من خط واحد (سلكين) فقط وبطارية وهذا النوع من الدوائر تستعمل للمتكلم (A) مع المتكلم (B) ولا يمكن استعمالها لأكثر من متكلم واحد ، تنقل الإشارة الكهربائية من الملف الابتدائي إلى الملف الثانوي بالحث المتبادل وهي عبارة عن إشارة المتكلم والغاية من استخدام ملفات الحث في الدائرة هو منع مرور التيار المستمر إلى السماعة للحصول (على صوت خالٍ من التشويش) ، يجهز الميكرفون بالتيار المستمر بوساطة البطارية . ولو استعملت دائرة أخرى لمتكلم آخر مع هذه الدائرة فلابد من استخدام أربعة أسلاك بدلا من سلكين وهذا غير اقتصادي.

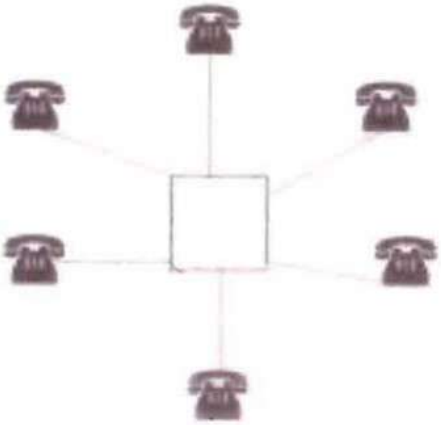


الشكل (4-1) الاتصال بين شخصين

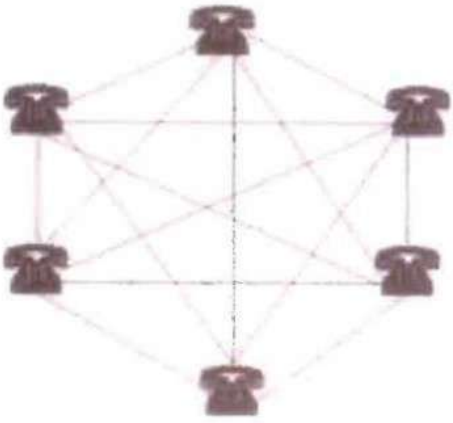
عندما يتوجب الاتصال بين طرفين معينين فانه من الضروري تاسيس دورة اتصال بينهما وعندما يكون عدد المشتركين قليلاً فان الطريقة والتي يتم فيها توصيل خط مباشر من كل مشترك الى كل من المشتركين هي الطريقة الفعالة كما موضح فى الشكل (4-2). وعندما يزداد عدد المشتركين تزداد الخطوط اللازمة بصورة كبيرة ويصبح من وجهة النظر الاقتصادية من المتعذر عملياً تحقيق الاتصالات المباشرة اللازمة بكاملها .مع العلم اننا لانستطيع ان نستخدم تقنية الترقيم بين هذين الجهازين او حتى سماع نغمة الطلب (dial tone) ونغمة الجرس , وذلك لحاجتنا الى مكونات اخرى تشكل فى مجملها الشبكة الهاتفية المتطورة الا ان هذه الشبكة البسيطة تعد النواة الاولى للشبكة الهاتفية العامة PSTN .

والطريقة الاخرى التي يمكن استخدامها في مثل هذه الحالة هي توفير اجهزة تحويل (المقسم) في المكان المركزي لمجموعة المشتركين لايصال اي اثنين من مجموعة المشتركين الراغبين بالاتصال ببعضهما. وفي هذه الطريقة يمكن تحقيق الغرض هذا بوضع دورة بين اجهزة التحويل وبين كل من المشتركين كما موضح بالشكل (4-3) .

جهاز تحويل (المقسم)

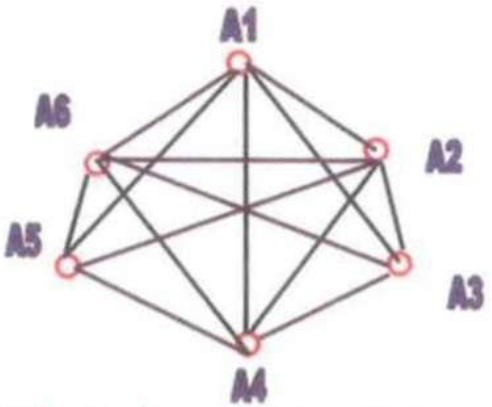


الشكل (4-3) استخدام مقسم الهاتف



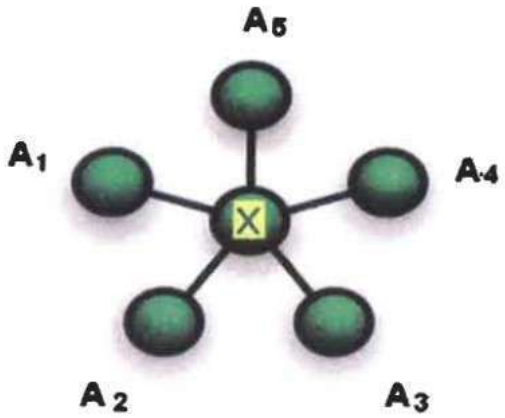
الشكل (4-2) شبكة هاتفية بدون مقسم

ان توفير عدد كبير من الخطوط الطويلة جدا التي تصل المشتركين يعتبر غير مفيد من الناحية الاقتصادية لذلك يتم تقسيم المنطقة بكاملها الى عدد من مناطق الخدمات المحلية ، ويتم توفير طريقة تحويل في كل منطقة ثم يتم وصل طريق التحويل في المناطق المختلفة بواسطة قنوات عبور (ترانزيت) Transient. واذا ازداد عدد المشتركين وازداد عدد محطات التحويل (دائرة مركزية) CO (Center Office) يجب ان يكون عدد قنوات العبور اللازمة لربط هذه الدوائر كبيراً ايضاً ، ويعتمد عدد القنوات اللازمة على الطريقة التي تربط القنوات بالمراكز فيما بينها . وهما يمكن استخدام طريقتين ففي الطريقة الاولى تقوم كل دائرة مركزية بتوصيل قنوات مباشرة الى كافة الدوائر المركزية الاخرى وتدعى بشبكة الطريقة التشابكية لاحظ الشكل (4-4) وهي شبكة بسيطة واقتصادية ويتم تحقيقها بين بعض الدوائر المركزية التي تتزاحم وتتراكم عليها حركة الاتصالات .



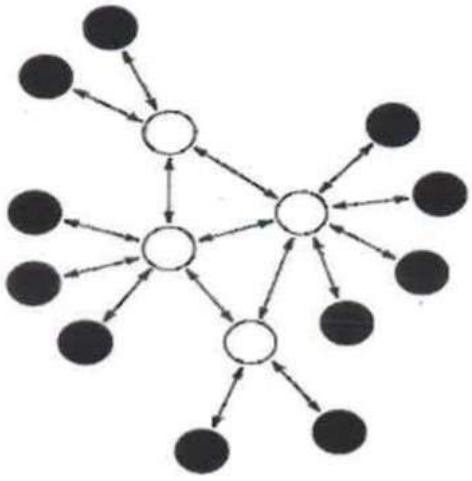
الشكل (4-4) الاتصال المباشر في شبكة الطريقة التشابكية

وفي الطريقة الاخرى يتم استخدام طريقة تحويل تستعمل فقط لغرض العبور توضع في موضع مركزي لمنطقة ما ثم يتم توصيل جميع دورات الدوائر المركزية وتركيزها الى مركز تحويل العبور وتدعى بشبكة الطريقة النجمية كما موضح بالشكل (4-5). وهذه هي الطريقة المستخدمة عادة عندما يكون عدد الدوائر المركزية كبيراً نسبياً .



الشكل (4-5) اتصال مباشر في شبكة الطريقة النجمية

وفي الحالات التي يتم فيها استخدام شبكة الطريقة النجمية تؤدي الزيادة الكبيرة بعدد المراكز الى ضرورة تركيب محولة عبورمن مستوى متطور عالٍ تتمكن من تأدية اعمال عدة مراكز عبور بصورة جماعية . ومثل هذه الطريقة التي يتم فيها استخدام مفاتيح تحويل عبور متدرجة تدعى بشبكة الطريقة النجمية المتعددة الدرجات كما في الشكل (4-6) .



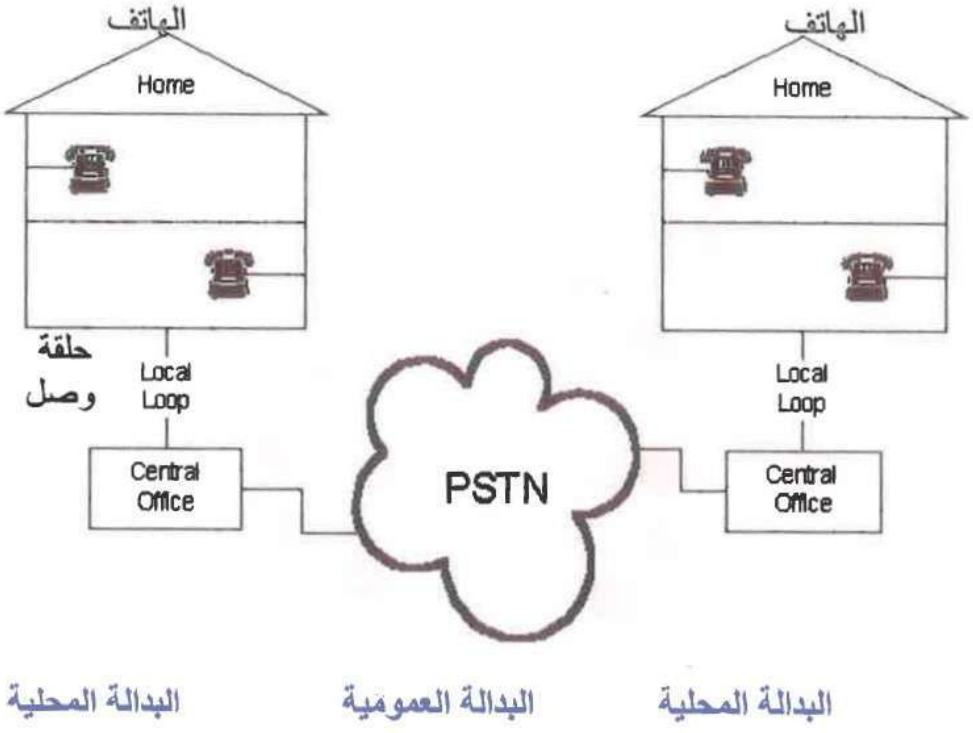
الشكل (4-6) شبكة الطريقة النجمية المتعددة الدرجات

3.4 كيف تعمل شبكة الهاتف الحالية

يبدأ الهاتف من بيتك حيث يمتد زوج من الأسلاك النحاسية من صندوق الهاتف في الطريق إلى صندوق الهاتف في بيتك والذي منه تستطيع أن تصل خط الهاتف إلى أي مكان في البيت.

تتجمع الأسلاك من صندوق او صناديق الهاتف في الطريق في قابلوات سميكة بها ما يزيد على مئة زوج من أسلاك النحاس مثل التي تصل لبيتك و تمد عبر الطرقات اما هوائيا او تحت الأرض . هذه الكوابل في الغالب تصل مباشرة مع بدالة شركة الاتصالات (المقسم الفرعي Branch Exchange) التي تخدم المنطقة او التجمع السكاني.

المقاسم المنتشرة بعد ذلك يتم ربطها معاً حيث يتم تجميع كل مجموعة مقاسم فرعية في مقسم رئيسي ثم توصل المقاسم الرئيسية سويا. طريقة التوصيل بين المقاسم تتم في العادة باستخدام قابلوات الألياف الضوئية وتنقل المكالمات عادة بين المقاسم بعد ان يتم دمجها (تجميعها) باستخدام تقنيات مثل (FDM) ، إذا أردت الاتصال بشخص ما يتبع لنفس بدالة الشركة التي تتبع لها كل ما ستقوم به البدالة هو عمل (loop) حلقة بينك وبين المتحدث الآخر ليتم إجراء المحادثة لكن لو أردت الاتصال بشخص بعيد فانه سيتم تحويل صوتك إلى إشارة رقمية ترسل عبر الأسلاك إلى بدالته حيث يتم فك شيفرتها وترسل لهاتفه, كما موضح في الشكل (7-4).



الشكل (4-7) طريقة عمل شبكة الهاتف الحالية

ي أنظمة الهاتف يتم الربط بتحويلة الكترونية فبمجرد أن ترفع سماعة هاتفك تكتمل الدائرة بداخل التحويلة الالكترونية فتدير لك نغمة خاصة تدلك على إن جهازك يعمل و متصل مع الشبكة. ثم بعدها تقوم بالضغط على الأرقام الخاصة بالشخص الذي تريد الاتصال معه باستخدام لوحة المفاتيح في هاتفك حيث إن كل رقم ينتج عن مزج لنغمتين بترددين مختلفين.

الصوت المسموع لدى الانسان هو من 0 to 3400 HZ و لكن ما يتم نقله عبر الهاتف بعرض نطاق مقداره 3000 HZ حيث إن أية إشارة صوتية لها تردد اقل من 400 HZ أو اكبر من 3400 HZ لاتنتقل عبر خطوط الهاتف و هذا ما يجعل أصوات الناس تختلف قليلا عبر أجهزة الهاتف عما هي عليه في الواقع.

الآن بقي أن تعرف أن رقم هاتفك هو بمثابة عنوان لك حيث تقسم مجموعة الأرقام التي يتكون منها رقم الهاتف إلى ثلاث فئات الأولى تدل على المنطقة التي تسكن بها و الثاني يدل على المقسم الذي تتبع له في هذه المنطقة والأخير هو رقمك الخاص الذي يستدل به عليك من خلال هذا المقسم .ذكرنا ان قابلوات الالياف الضوئية تستخدم عادة للربط ما بين المقاسم لتشكل شبكة هاتف ضخمة و لكن قد تستخدم تقنيات أخري مثل موجات الاتصال الراديوية (اللاسلكية) او قد تستخدم اتصالات الأقمار الصناعية.

المكالمات الدولية عبر الدول تمرر مـن شبكة وطنية الى أخرى امـا عبر الالياف الضوئية او الاقمار الصناعية او الموجات اللاسلكية و تتولي بدالة كل بلد المسؤولية عن توجيه الاشارة داخل نطاقها.

حديثا يتم استخدام تقنيات الصوت عبر الانترنت لنقل المكامات الدولية حيث يتم نقل المكالمات عبر شبكة الانترنت الضخمة.

4.4 مكونات الشبكة الهاتفية

تتكون الشبكة الهاتفية كما هو موضح في الشكل (4-8) من المكونات التالية :

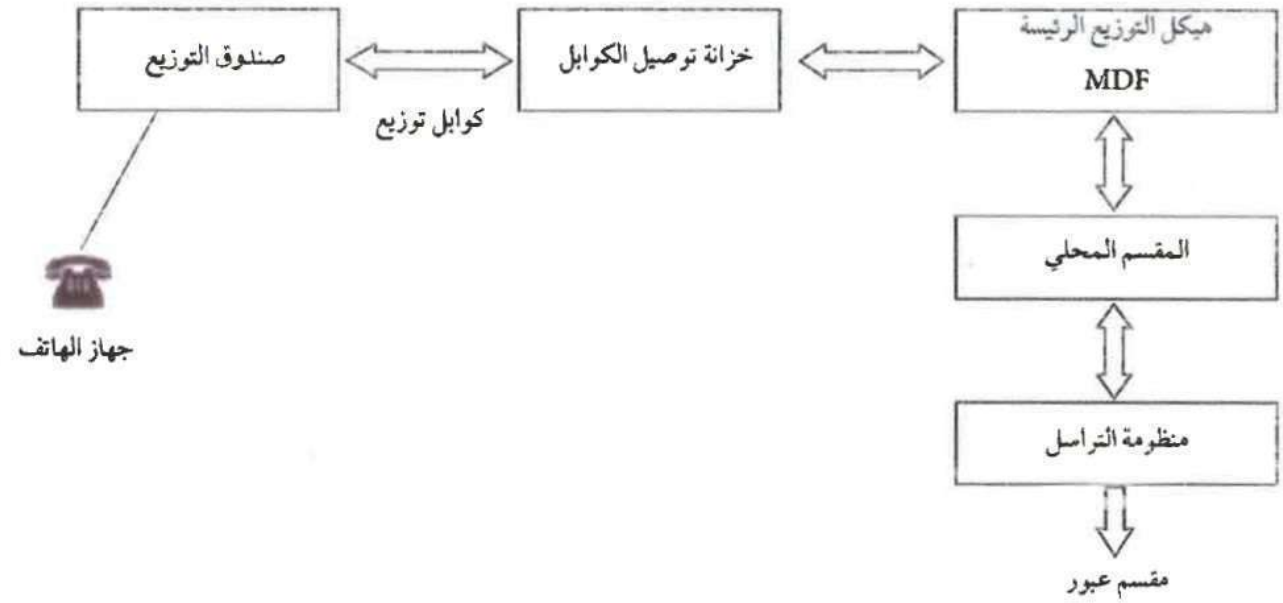
أ- جهاز الهاتف .

ب- شبكة التوزيع الهاتفية .

ت- هيكل التوزيع الرئيس (MDF) Main Distirbution Frame .

ث- المقاسم المحلية ومقاسم العبور والمقسم الدولي .

ج- منظومة التراسل Transmission Media .



الشكل (4-8) مكونات الشبكة الهاتفية

1.4.4 جهاز الهاتف

يتألف جهاز الهاتف كما موضح فى الشكل (4-9) من الأجزاء التالية:

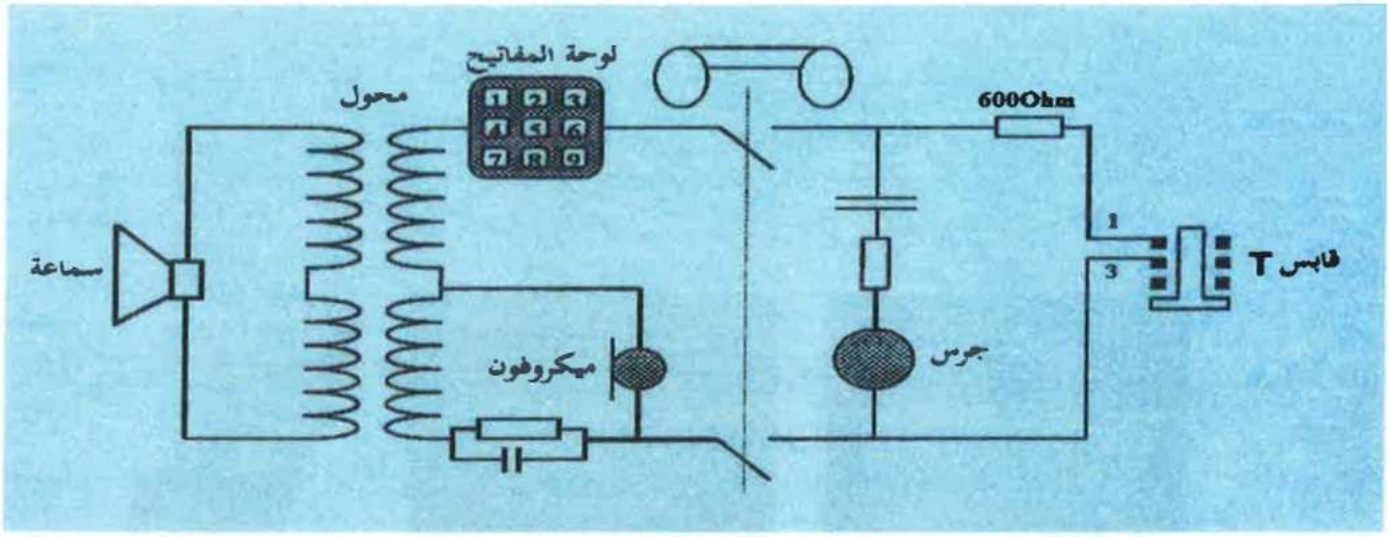
السماعة: تعمل على تحويل الأشارة الكهربائية الى موجة صوتية.

المحول ودائرة RC على التوازي: يعملان على تأمين المواءمة بين ممانعة الميكروفون والخط من جهة وبين ممانعة الخط والسماعة من جهة أخرى. يعملان أيضاً على ألغاء التأثير المحلي وهذا ما يمنع أشارة الميكرفون من الظهور على سماعة الهاتف.

لوحة المفاتيح: تستخدم لاختيار الارقام الطلوبة لاجراء المكالمة.

مفتاح السماعة: يغلق هذا المفتاح عند رفع السماعة مما يؤدي الى ربط جهاز الهاتف بالمقسم الفرعي والى مرور تيار مباشر قيمته حوالي 40mA معلناً بالمقسم الفرعى الرغبة بأقامة أتصال.

الجرس ودائرة RC على التوالي: تعمل دائرة RC على منع التيار المباشر من الوصول الى الجرس والذي يعمل بدوره على أصدار نغمات بعد وصول أشارة اليه.

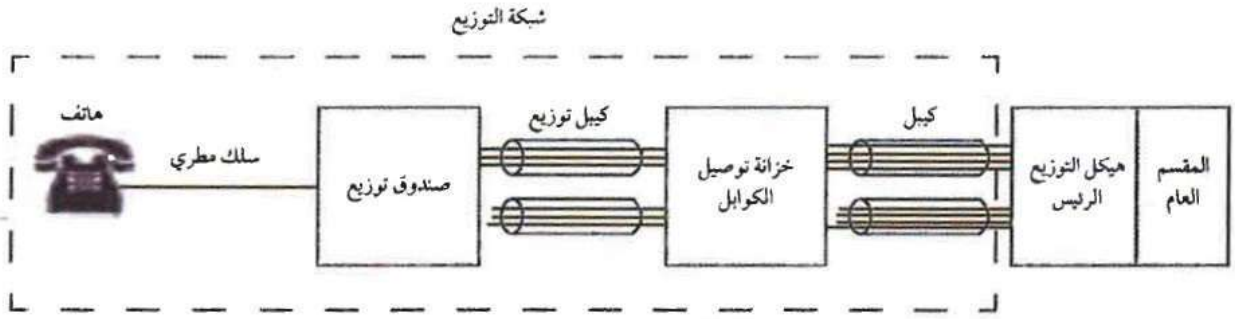


الشكل (4-9) مخطط الهاتف من حيث المبدأ

فالأشارات التماثلية يتم أرسالها ضمن نطاق الترددات السمعية للهاتف (3400- 300) هرتزبينما يتم أرسال البيانات الرقمية على موجة حاملة ترددها (256) كيلوهرتز .

2.4.4 شبكة التوزيع الهاتفية

تتكون من الوصلات والصناديق والكوابل وخزائن التوزيع , والشكل (4-10) يوضح الاجزاء الرئيسية لشبكة التوزيع الهاتفية .

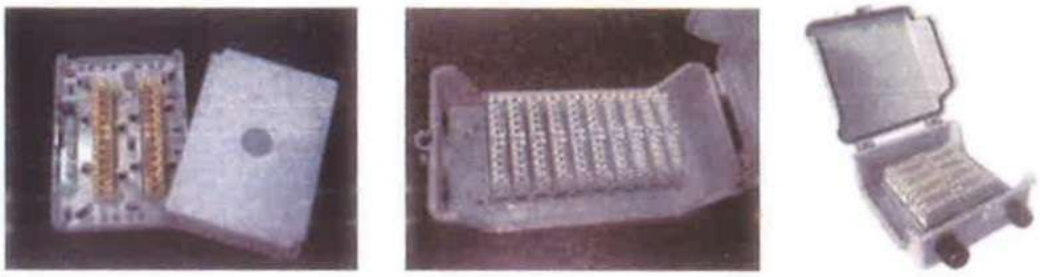


الشكل (4-10) شبكة التوزيع الهاتفية

أ- وحدة صندوق التوزيع Distribution Box Unit:

تثبت وحدة صندوق التوزيع Distribution Box Unit (DBU) على السور الخارجي لمباني المشتركين ويكون بأشكال وانواع واحجام مختلفة فعلى سبيل المثال يكون الصندوق بمقياس 30 * 30 * 7.5 سم. ويبدأ العمل بالشبكة الهاتفية الداخلية مع أعمال تشييد المبنى حيث يتم الربط بين صندوق التوزيع الخارجي وصندوق الهاتف الداخلي Telephone Box (T.B) والذي يكون مثبت داخل المبنى بواسطة الانابيب على أن يحدد حجم الصندوق الداخلي حسب أعداد الخطوط المراد توصيلها إليه. ويتم

تركيب نقاط الهاتف في المباني حسب المخطط المعتمد ويتم التوصيل بين هذه النقاط وصندوق الهاتف الداخلي بواسطة شبكة الأنابيب البلاستيكية. ويتم الربط بين نقاط الهاتف المختلفة باستخدام أسلاك خاصة بالشبكة الهاتفية بشكل متسلسل من نقطة لأخرى . وفي حالة استخدام بدالة يتم توصيل كل نقطة على حدا إلى صندوق الهاتف الداخلي . والشكل (4-11) يوضح عدد من صناديق التوزيع المتنوعة .



الشكل (4-11) عدد مختلف من صناديق التوزيع

يجب مراعاة النقاط التالية في اعمال الشبكة الهاتفية:

1- استخدام أسلاك ذات جودة عالية في توصيلات الشبكة الهاتفية .

2- في حالة استخدام بدالة يجب عدم توصيل اكثر من ثلاثة اسلاك في الانبوب الواحد .

3- وضع ارقام على الاسلاك الهاتفية لسهولة اعمال الصيانة.

4- وضع النقاط التي توصل الى الهواتف على ارتفاع 45 سم عن الارضية .

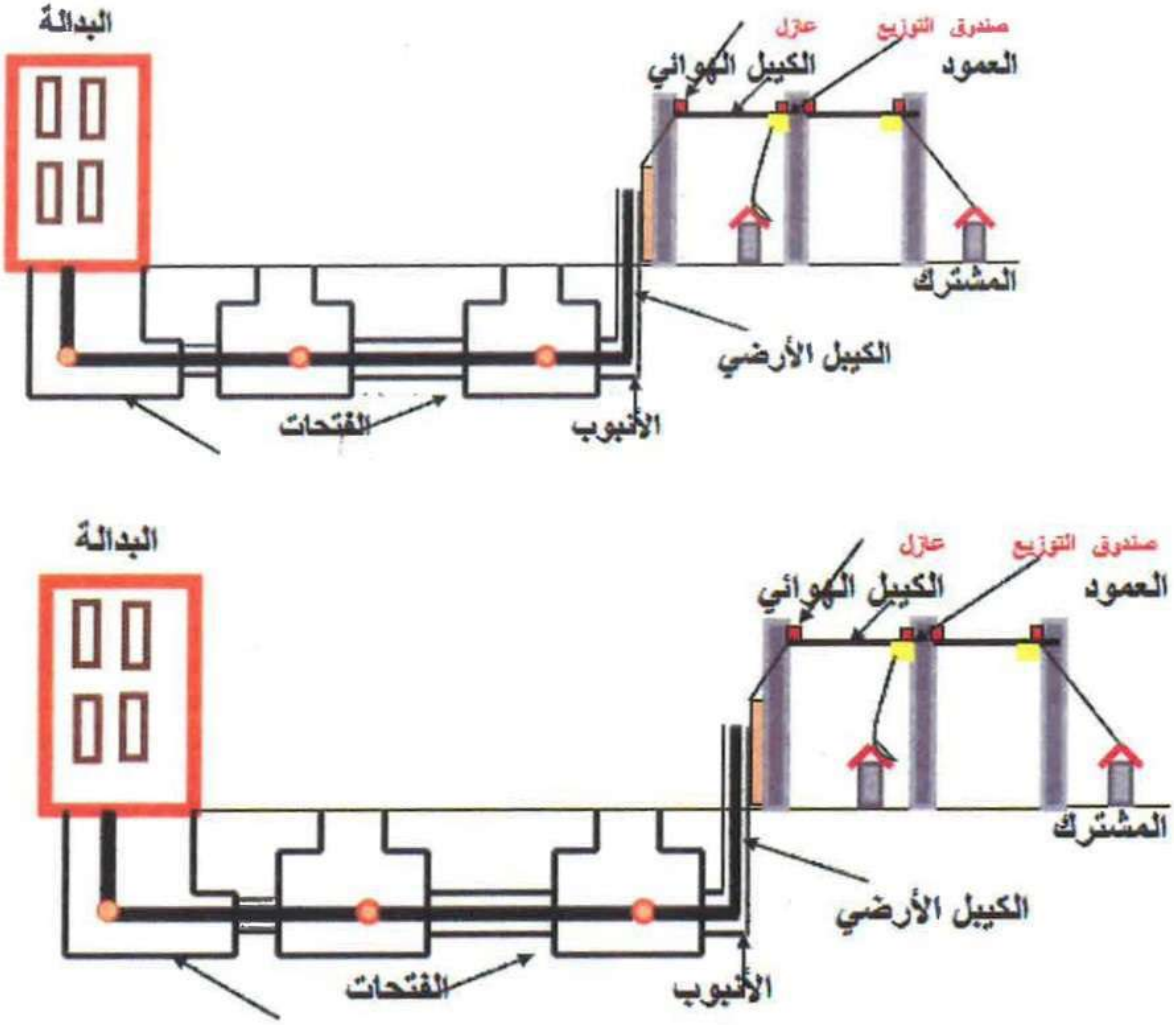
5- وضع الاسلاك الهاتفية في السقوف وليس اسفل ارضية الغرف.

6- عدم وضع الاسلاك الهاتفية اسفل ارضية المطابخ والحمامات.

ب- شبكات التوزيع والتشييد (الهوائي والأرضي):

عند التشييد لابد من إجراء مسح جغرافي للقاطع الذي توضع فيه البدالة لتأمين مستوى كاف للإشارة بين البدالة والمشتركين والتقليل من المفاقيد قدر الإمكان فعندما يكون خط المشترك من البدالة الى المشترك قصيراً بصورة نسبية لا يسبب ذلك مشاكل في الإرسال (الخسائر قليلة) عكس المشترك الذي يكون بعيدا عن البدالة لأنه يستغل إشارة كلام في مستوى واطئ فالتشييد الصحيح يوضح كيفية التخطيط لتسهيل عمل خط المشترك بأفضل كفاءة واقل كلفة ليغطي سعة البدالة مع المشتركين والبدالات الأخرى . ويتم التوزيع باستخدام القابلوات (الكيبلات) التي تدفن تحت سطح الأرض وتدعى بالقابلوات الأرضية وبعمق (1) متر، توضع داخل أنابيب من خلال فتحات Manholes وتستخدم حزمة أو درع من الفولاذ لحمايته. والقابلوات التي توضع تحت سطح الماء في الأنهار والبحيرات تدعى بقابلوات الغطس تمرر من خلال الأنابيب والشكل (4-12) يوضح كيفية الربط بين البدالة ومجموعة مشتركين استخدمت فيها القابلوات

الأرضية والقابلوات الهوائية ، والمقصود بالقابلوات الهوائية هي الأسلاك أو القضبان المعلقة على الأعمدة بمختلف أنواعها الخشبية والمعدنية والكونكريتية .



الشكل (4-12) التشييد بين البدالة والمشتركين

تنقل خطوط الإرسال إشارة الكلام وهي إشارة كهربائية تمثل صوت الكلام، يجب أن يكون هذا الخط موصلا ذا كفاءة عالية ولأنه يكون عرضة للتقلبات الطبيعية والقوى الاصطناعية لذلك تستلزم تشكيلة الموصلات إلى بعض القوى الميكانيكية والمقاومات الكيميائية كي تتحمل هذه التقلبات مثل الإمطار والرياح .

ج- خط الهاتف أو دائرة الهاتف:

هي دائرة مستخدم على نظام الاتصالات الهاتفي يُشيرُ هذا إلى السلك الطبيعي أو أي وسط آخر لإرسال الإشارات حيث يوصل جهازَ هاتف المستخدم بشبكة الاتصالات، ويتضمن عادة رقم الهاتف لغرض فاتورة الحجز لذلك المستخدم. فـي عام 1878 بدأت شركةِ بيل للهاتف بإسْتِعْمال دوائرِ محتوية على سلكين (الحلقةَ المحليّةَ) مِنْ كُلّ هاتف المستخدم إلى (المكتب) التي أدّت عملية التحويل الكهربائي الضروري للسَماح لإشاراتِ الصوتِ بالإرسال إلى الهواتفِ الأكثرِ بُعداً.هذه الأسلاكِ كانت نحاسية واحيانا من الألمنيومِ ، وحُمِلَ في الأزواجِ المتوازنةِ مفصولة مِن قِبل حوالي 25 سنتيمترَعلى الأقطابِ فوق الأرضِ، ولاحقاً بينما زوج ملفوف يبرق. الخطوط الحديثة قَدْ تجري تحت الأرض لاحـظ الشكل (4-13) ، وقَدْ تَحْملُ إشارات تماثلية أو رقمية إلى التبادلِ أو لَرُبَما لَها أداة التي تُحوّلُ الإشارةَ المناظرةَ إلى رقميةِ للإرسالِ على النظام الناقلِ .وتحمّل بخطوط نقل مفصولة بحوالي 25 سم موضوعة على اقطاب فوق الارض ، بعدها استخدمت قابلوات الزوج الملفوف. الخطوط الحديثة تستخدم تحت الارض او ربما يحتوي على اداة تحويل الاشارة التماثلية الى رقمية لنقلها على النظام الناقل (Carrier).

الشكل (4-13) خط الهاتف

د- القابلوات الهاتفية Telephone Cables:

القابلو عبارة عن مجموعة من الموصلات معزولة الواحد عن الآخر وجميعها مغلفة بغلاف عازل واحد ويستعمل القابلو بين نقطتين اذا دعت الحاجة الى خطوط توصيل بين هاتين النقطتين كما هو الحال في الخطوط الهاتفية . وتوجد انواع عديدة ومختلفة مستخدمة في شبكات الهاتف نكر منها:

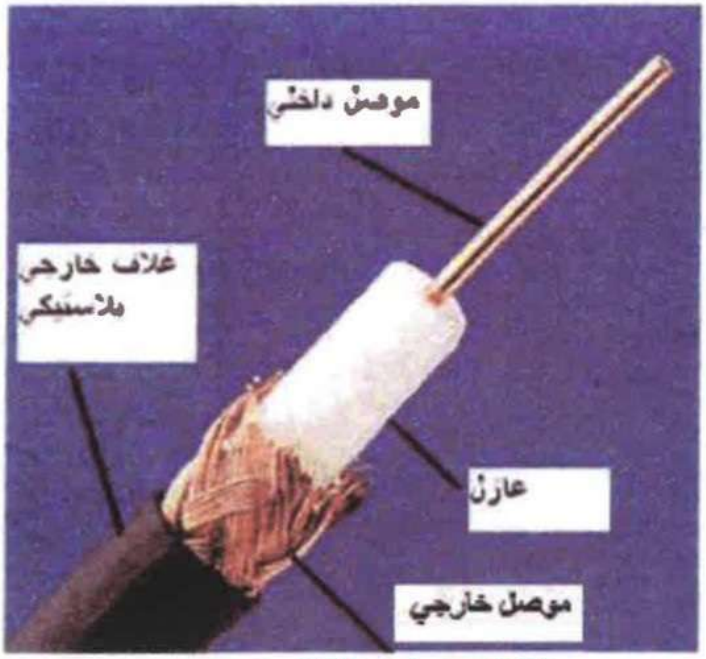
1- القابلوات المحورية

2- القابلوات المزدوجة المبرومة (المجدولة) .

3- الالياف البصرية .

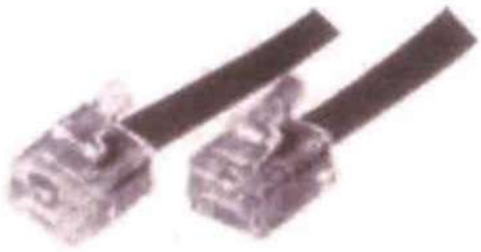
1- القابلوات المحورية Coaxial Cables:

يتكون قابلو الموصلات مشتركة المحور من زوج من الموصلات احدهما يحيط بالآخر ولكليهما نفس المحور ومن خواص هذا القابلو قلة الخسارة في الطاقة الكهربائية المتناوبة حين مرورها به اذا ما قورنت بالخسارة التي تحصل في قابلو ذي سلكين احدهما بجنب الآخر لنفس طول القابلو. ويتكون من سلك موصل من النحاس يحيط به عازل من البلاستك وتلف عليه طبقة من الأسلاك الشعرية وتغلف بماده بلاستيكية عازلة من كلوريد البولي فينيل PVC او مادة فلورو ليثنيرويلين والمستخدمة في الهاتف تحيط بها شبكه شعرية (Shield) ولها تحمل درجات حرارية عالية ولا تبعث دخان مسموم كما هو الحال عند احتراق أسلاك (pvc) وهي غالية الثمن وغالبا ما تستخدم في ربط الشبكات عندما يتطلب وضع القابلوات تحت الحائط (خلف البياض) لاحظ الشكل (4-14) يستخدم القابلو المحوري في أجهزة التلفزيون عند التوصيل بين الهوائي والجهاز ولها مقاومات 50 اوم - 75 اوم - 300 اوم.



الشكل (4-14) القابلو المحوري

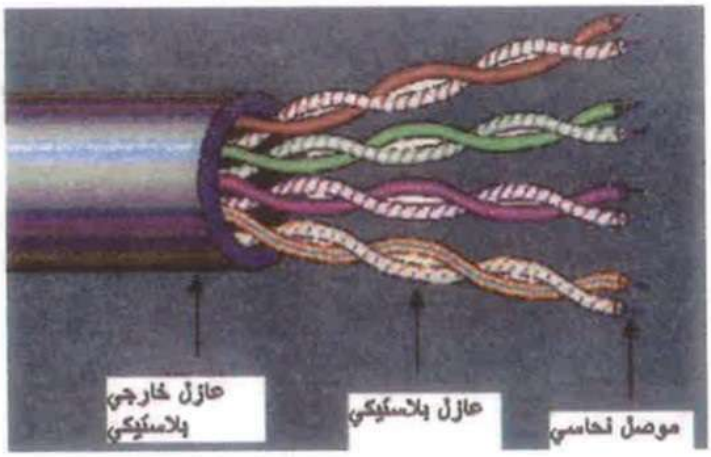
ومعظم هذه القابلوات لها تسميات وأرقام مثل (RG- 58) Radio Grade والمستخدم في أجهزة الهواتف من نوع (RG -11) لاحظ الشكل (4-15) وبسبب اختلاف قطر السلك الموصل الموضوع في مركز الكيبل يمكن التمييز بين الأصناف 10 Base 2 و 10Base 5 ويعني الرقم (2) رفيع والرقم (5) غليظ وتستخدم هذه التوصيلات وسائل ربط بينها وبين الأجهزة تدعى (BNC) British Navel Connector أول من استخدمه الملاحة البريطانية .



الشكل (4- 15) قابلو نوع RG – 11

2- القابلوات المزدوجة المبرومة (المجدولة) Twisted-Pair Cables:

يتكون من عدة أسلاك موصله معزولة يلف كل زوج منها على حده وتغلف بمادة بلاستيكية أو معدنية والسبب في برم كل سلكين على حده هو الحماية من التداخلات التي تسببها الإشارات الكهرومغناطيسية داخل الأسلاك النحاسية و المصادر الخارجية أيضا فالضوضاء المتكون على سلك سوف يعاكس الضوضاء المتكون على السلك الآخر فيلغي احدهما الآخر لاحظ الشكل (4- 16).



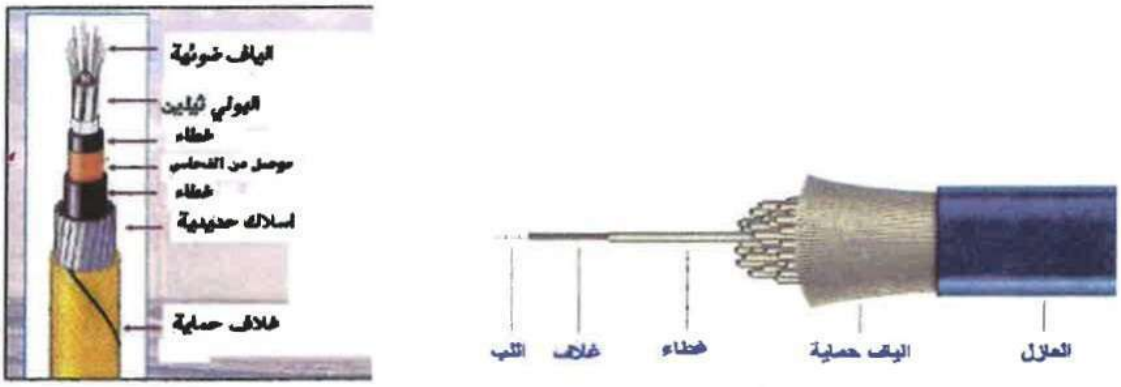
الشكل (4-16) القابلوات المزدوجة

ولهذه القابلوات وسائل ربط تختلف عن BNC لأنها لا تصلح لهذا النوع لتوصيل الكيبلات مع الأجهزة وسيلة ربط تدعى (RJ) (Registered Jack) ولها أرقام قياسية ففي أجهزة الهاتف تستخدم RJ11 له أربعة أسلاك (زوجين) ولربط شبكات الحاسبات تستخدم RJ 45 له ثمانية أسلاك (أربعة أزواج) لاحظ الشكل (4-17) .

الشكل (4-17) القابلو نوع RG – 45B

3- قابلو الليف الضوئي Fiber Optic:

ترسل الإشارات الرقمية خلال قابلو الليف الضوئي باستخدام حزم الأشعة الضوئية لنقل المعلومات ولها مناعة (حصانة) (Immune) ضد التداخل الكهرومغناطيسي Electro magnetic (EMI) Interferenceوالتداخل للترددات الراديوية Radio Frequency Interference (RFI) ومن فوائده الأخرى الإرسال أكثر من 40 كيلومتر ومن مساوئه صعوبة النصب والصيانة و يحمّل الضوء على ليف زجاجي أو لب بلاستيكي والليف الزجاجي يمكنه حمل الإشارة إلى مسافة أكثر إلا أن البلاستيك ارخص منه وهذا اللب يحاط بزجاج أوغلاف بلاستك (Cladding) ، لاحظ الشكل (4- 18) .



الشكل (4-18) الكيبل (القابلو) الضوئي

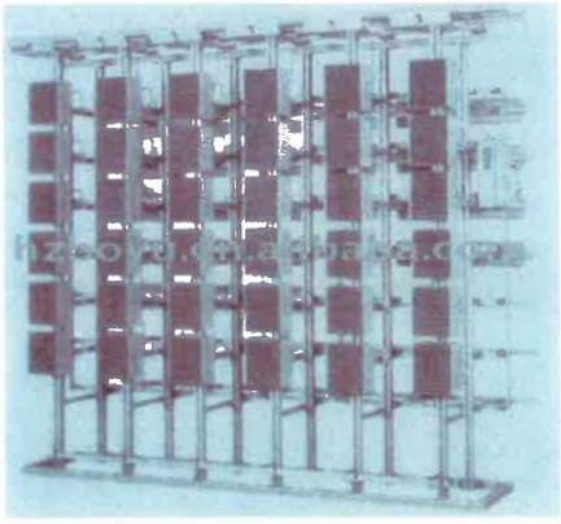
3.4.4 هيكل(اطار) التوزيع الرئيس (MDF)

في شبكة الهاتف الخاصة ،هناك جزء للنظام وجزء للشبكة والحد الفاصل في هذا ما يسمى بالـ MDF (Main Frame Distribution) هيكل التوزيع الرئيسي . حيث يتكون من جزئين، جزء يسمى جانب الشبكة ، ومنه تنطلق كل خطوط التلفون إلى المستخدمين ، وجزء يسمى جانب النظام ، وهو يتجمع من خلال قابلوات تتصل ببطاقات (cards) الخطوط الهاتفية في المقسم .

في المقسم توجد أنواع من البطاقات الإلكترونية من أهمها الخاصة بالخطوط الهاتفية، والبطاقات الهاتفية الخاصة بالربط بمقاسم أخرى. البطاقة الإلكترونية الخاصة بالخطوط الهاتفية تتكون من مجموعة من الدوائر الإلكترونية ، وكل دائرة تخدم مستخدم واحد .

ان الاتصال الهاتفي يمر عبر عدة مراحل. وهما لوحة التوزيع الرئيسية MDF الموجودة بجانب المقسم . حيث ان هذا الاتصال له مكان محدد في لوحة التوزيع (يكون مسجل في سجل يحتفظ به الفني) في جانب الشبكة . وتحويلتك كدائرة إلكترونية متصلة بمكان محدد في الـ MDF في جانب النظام . و أصلا منذ البداية منذ عملية تركيب المقسم الجديد يكون جانب النظام مرتب وكل نقطة في جانب النظام مرتبطة بدائرة إلكترونية داخل المقسم . و ذلك لأنه يخرج من كل كارت من الـ Back Panel للمقسم قابلو خاص فيه عدد من أزواج الأسلاك الها تغية بعدد الدوائر الإلكترونية داخل البطاقة الواحدة (مثلا 32) . هذه الأزواج الـ 32 تكون مجمعة في قابلو واحد وعندما نصل إلى جانب النظام من هيكل التوزيع الرئيسي فإنها توزع على نقاط التوصيل . وهنا وبعد الانتهاء من تركيب المقسم الجديد يحتفظ الفني بسجل بهذه النقاط . في الطرف الآخر ، جانب الشبكة من هيكل التوزيع الرئيسي ، لا بد أن تكون الشبكة الخارجية (شبكة القابلوات أو الأسلاك الهاتفية التي تصل لكل مكتب) قد وصلت واحتفظ الفني بسجل يوضح علاقة نقاط التوصيل في جانب الشبكة من هيكل التوزيع الرئيسي. بعد الانتهاء من تركيب المقسم وتركيب الشبكة الهاتفية وتركيب هيكل التوزيع الرئيسي بكل التفاصيل يأتي الفني ويعمل توصيل بين جانبي الهيكل (الشبكة والنظام) ويسمونها Jumpering .

معظم الانواع الكبيرة والشائعة للـ MDF عبارة عن دولاب طويل من الحديد مفتوح من الجانبين على احد الجوانب موضوعة النهايات بصورة افقية ومنتظمة على جانب رفوف الدولاب، واسلاك التوصيل (jumpers) تكمل التوصيلات حسب الحاجة لاحظ الشكل (4-19) .



الشكل (4-19) أطار التوزيع الرئيسي

الكابينة الهاتفية والموضحة بالشكل (4- 20).

الشكل (4-20) الكابينة الهاتفية

تحتوي على مجموعة من القطع الميكانيكية على شكل طبقات توضع داخلها ويحدد حجم الكابينة حسب الحاجة لعدد الخطوط اللازمة اي الطول والعرض والارتفاع وحسب الشركات المصنعة ونوع الموديل ، وتتالف من عدد من اللوحات المطبوعة printed board مع صفائح توضع خلفها تحتوي على وحدات التسليك، لاحظ الشكل (4-21) .

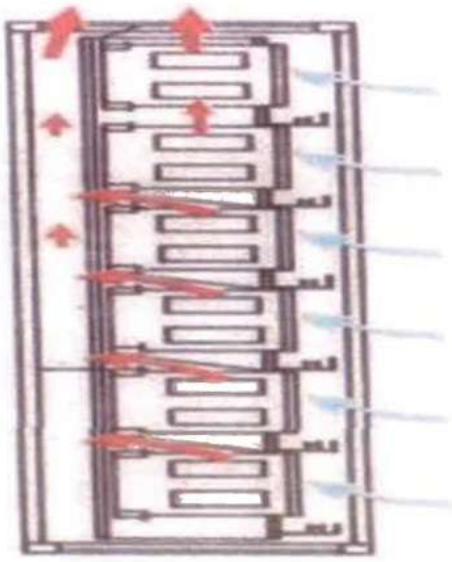
الشكل (4 -21) مكونات الكابينة الهاتفية

توضع مجموعات اللوحات المطبوعة داخل مجاري (Slots) في هذه الطبقات وتثبت بواسطة التوصيلات (تكون عادة كل اثنين من هذه اللوحات المطبوعة) في وحدة التسليك وتغلق باحكام مع الاطار وتثبت الموصلات ومجاري الاطار بمسافات ثابتة تساوي 2.5mm . تتوزع الفولتيات المنطقية بواسطة وحدة التسليك من مقبس وحدة القدرة حسب حاجة ارسال القدرة العالية والواطئة مع الاخذ بنظرالاعتبار الهبوط

في الفولتية مع خطوط التوصيل المصنوعة من اسلاك توصيل 0.5mm لتوزيع الفولتيات في وحدة التسليك لاحظ الشكل (4- 22) .

الشكل (4-22) طبقات الكابينة الهاتفية

ارتفاع درجة الحراة على مجمع اللوحات المطبوعة اكثر من درجة الحراة القياسية والمحيطة بالكابينة يجب ان تكون شروط العمل متساوية لطبقات الكابينة بغض النظر عن موقع هذه الطبقات باستخدام التبريد بطريقة التوالي والتوازي لاحظ الشكل (4- 23) .



الشكل (4-23) طريقة التهوية

4.4.4 المقاسم المحلية ومقاسم العبور والمقسم الدولي

المقاسم هو الجزء الذي يتم فيه تبديل (تحويل) الاتصالات الهاتفية. في السابق كان التبديل ينفذ يدوياً بواسطة عامل الهاتف لكنه تطور واصبح آلياً مع وجود المقسم او المبدل الآلي . يوجد العديد من المبدلات نذكر منها:

أ- المبدلات المحلية:

تعمل على تأمين الاتصالات بين الخطوط الهاتفية المحلية الموجودة في نفس المنطقة الجغرافية كما وانه يعمل على ربط الخطوط الهاتفية المحلية بالمناطق الاخرى عبر المبدلات الترادفية. وتعمل ايضاً على تأمين اتصالات الطوارئ.

ب- المبدلات الترادفية:

تعرف ايضاً بالمبدلات الانتقالية وتقسم الى ثلاثة اقسام:

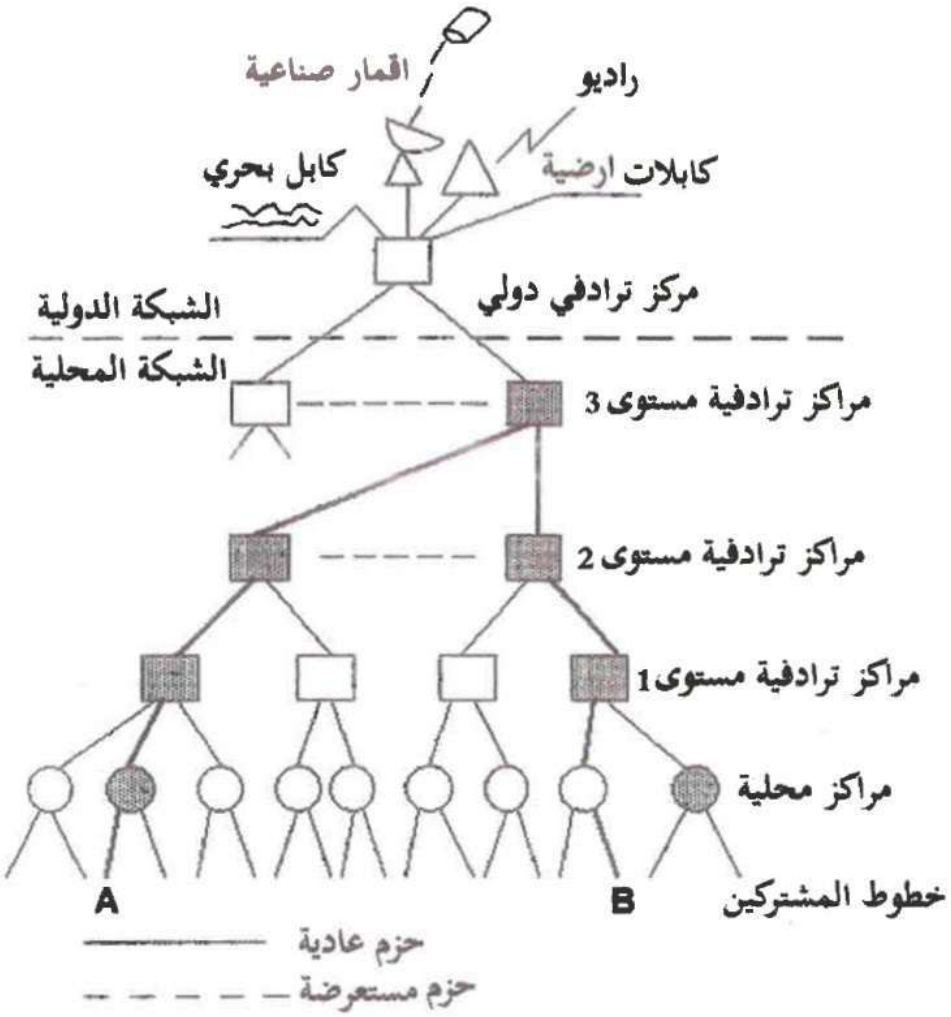
1- **مبدلات ترادفية مستوى 1:** تعمل على ربط المبدلات المحلية الموجودة في نفس المنطقة الجغرافية بالمبدلات المحلية الموجودة بالمناطق الاخرى عبر المبدلات الترادفية (مستوى 2 و3) تعرف ايضاً بمراكز التوجيه الذاتية .

2- **مبدلات ترادفية مستوى 2:** وهي مراكز ترادفية ثانوية تعمل على ربط المبدلات الترادفية مستوى 1 بالمبدلات الترادفية مستوى 3. يتم ربط المبدلات الترادفية مستوى 2 مع بعضها البعض بواسطة حزم مستعرضة (transverse bands) كما موضح فى الشكل (4- 24) .

3- **مبدلات ترادفية مستوى 3:** وهي مراكز ترادفية رئيسية تعمل على ربط المبدلات الترادفية مستوى 2 بالمقسم الدولي. يتم ربط المبدلات الترادفية مستوى 3 مع بعضها البعض بواسطة حزم مستعرضة.

ج- المبدل الترادفي الدولي:

يعرف بالمقسم الدولي يعمل على ربط المبدلات الترادفية مستوى 3 مع الشبكة الدولية عبر الاقمار الصناعية، القابلوات البحرية ، القابلوات البرية وعبر الربط الراديوي. الشكل (4- 24) يوضح كيفية الربط والتبديل بين المبدلات الترادفية للمقاسم المحلية ومقاسم العبور, والمقسم الدولي .



الشكل (4-24) توضيح لمفهوم دوائر التبديل

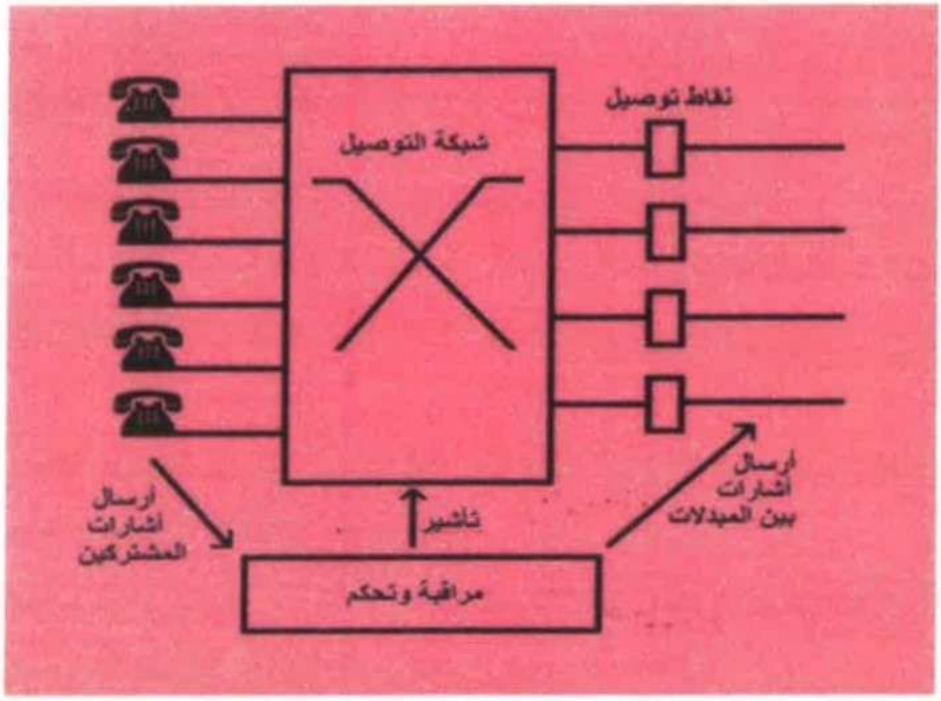
يمكننا أختصار مبدأ عمل المقسم او المبدل بأربع وظائف أساسية ،كما موضح بالشكل (4-25).

1- النقل: وهي الوظيفة التي تقوم بها شبكة التوصيل بحيث تعمل هذه الشبكة على ربط المتصل بأحد المخارج وفقاً للإيعاز المعطى من قبل وظيفة المراقبة والتحكم.

2- المراقبة والتحكم: كانت هـذه الوظيفة تنفذ سابقاً بواسطة عامل الهاتف، أما اليوم فيقوم بتنفيذها مجموعة من المعالجات المايكروية مزودة ببرامج متخصصة بمعالجة المكالمات الهاتفية وتكون قادرة على معالجة العديد من المكالمات في نفس اللحظة.

3- أرسال الأشارات: وهـي وظيفة أرسال الأشارات من خطوط المشتركين الى المراقبة والتحكم، ومن المراقبة والتحكم الى شبكة التوصيل والى المبدلات من أجل التحكم بعملية أقامة وأنهاء الاتصال.

4- التأشير: هذه الوظيفة عبارة عن إيعاز معطى لشبكة التوصيل من قبل المراقبة والتحكم مـن أجل بدء عملية نقل بين أحدى مداخل ومخارج شبكة التوصيل.



الشكل (4-25) البنية العامة للمبدل

5.4 شبكة الهواتف الارضية (السلكية) PSTN

PSTN هـواختصارلكلمة Public Switching Telecommunication Network وهو تعبير يطلق على شبكة الهواتف الارضية (السلكية) وتسمى ايضا بشبكة الهاتف العمومية التبديلية.

كما ويعتبر الانترنيت الشبكة العالمية العاملة وفق بروتوكول الانترنيت IP (Internet Protocol) , فان شبكة البدالات الهاتفية العامة PSTN تجمع كافة الشبكات الهاتفية التقليدية في العالم .

تعتمد شبكة البدالات الهاتفية في عملها على مجموعة من المعايير التقنية التى وضعها الاتحاد الدولي للاتصالات ITU (Inernational Telecommunication Union) في حين بنيت الانترنيت اعتمادا على معايير فريق عمل هندسة الانترنيت IEEE . تستخدم كلا هاتين الشبكتين العناوين لتوجيه سلسلة البيانات . فالشبكة الهاتفية تستخدم ارقام الهاتف لتحويل المكالمات اما الانترنيت فتستخدم عناوين بروتوكول الانترنيت IP لنقل الحزم بين الموجهات.

إن أقل أنظمة الربط الإقليمي كلفة هي تلك التي تتم عن طريق شبكة الهاتف PSTN وهي نفس الشبكة التي تقوم بخدمة المكالمات الهاتفية الصوتية. أما بما يتعلق بالأداء، فهو جيد للاستعمال المنزلي، ولكنه غير كاف بالنسبة للشركات. إن عرض قناة الاتصال على شبكة الهاتف هو 56 كيلوبت/الثانية، ويتم التوصل إلى هذه السرعة باستخدام تقنية ضغط المعطيات. ولكن بسبب العوامل البيئية كنوعية الخط الهاتفي ومزايا

مقاسـم الهاتف، فإن هذه السرعة نظرية. ويتم الوصل بواسطة مودم يربط الحاسب الشخصي بخط الهاتف، ويقوم بمهمة التحويل من تماثلي إلى رقمي.

1.5.4 نظام ISDN

يوفر نظام شبكة ISDN أو (Integrated Services Digital Network) مجموعة متكاملة من الخدمات الرقمية للشبكات". شبكة ISDN هي أسرع وأكثر وثوقية من شبكة الهاتفPSTN ، وتستخدم الألياف الضوئية لنقل الإشارة.

أهم مزايا ISDN:

- سرعات نقل عالية: سرعـة كل قناة ISDN 64 كيلوبت / الثانية ، الشبكة رقمية بالكامـل ، ولاداع لاستخـدام المحولات الرقمية / التماثلية (المودمات) .
- زمن إجراء الطلب الهاتفي قصير جداً بالمقارنة مع المودم الذي يستغرق حوالي 30 ثانية.
- يتم نقل الصوت رقمياً بنفس طريقة نقل المعلومات الرقمية.

2.5.4 خدمة xDSL

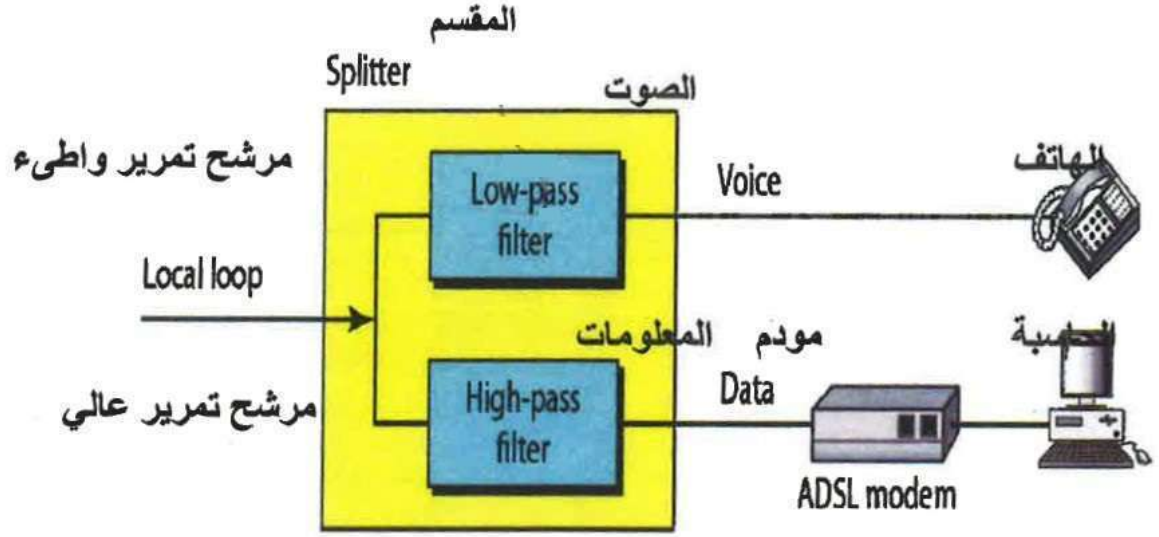
آخر تقنيات الاتصال هي خدمة xDSL أوx Digital Subscriber Line وتسمى بخدمة خط المشترك الرقمي، وهي الحل الأفضل للاستخدام في الشركات، ولها تكلفة أكبر .إن خدمة DSL توفر اتصالاً دائماً مع الشبكة، كما هو الحال مع خدمةISDN ، الأمر الذي يلغي الحاجة لإجراء الطلب الهاتفي الذي يقوم به المودم.

3.5.4 خط المشترك الرقمي (DSL) DIGITAL SUBSCRIBER LINE

DSL اختصار لـ (Digital Subscriber Line) ويعني توصيل الخدمات الرقمية عبر خطوط شبكات الهاتف العادية , اى العمل مع خطوط الهاتف العادية بحيث يستطيع المستخدم ان يقوم باستخدام الانترنت واجراء المكالمات الهاتفية في نفس الوقت. ولما تتمتع به هذه التقنية من السرعة العالية والامان والسعر الملائم فإنه يستفاد منها كثيراً في نقل البيانات خصوصاً الملفات الصوتية والصور.

معظم المنازل ومكاتب العمل الصغيرة تستخدم نظام الـ DSL الغير متماثل asymmetric DSL والذي يعرف باسم مختصر هو (ADSL). في هذا النظام يتم تقسيم الترددات المتاحة في خط الهاتف معتمدا على ان معظم مستخدمي الإنترنت يقومون بتصفح المواقع وتحميل الملفات download أكثر بكثير من إرسال البيانات (رفع الملفات) upload. وعلى أساس هذه الافتراض يكون سرعة التحميل من الانترنت أكثر بثلاث أو أربع مرات من رفع الملفات. ولهذا يشعر مستخدم الانترنت بسرعة تصفح المواقع وتحميل الملفات في حينُ يعاني من بطء رفع الملفات إذا احتاج لذلك.كما ان كفاءة الـ ADSL تعتمد كثيرا على المسافة التي تبعد المستخدم عن مقدم الخدمة. حيث ان خدمة الـ ADSL حساسة جدا للمسافة: فكلما زادت

المسافة كلما أصبحت جودة الإشارة اقل وكلما قلت السرعة. ويقدر الحد الأعلى للمسافة بـ 5460 متر وكلما قلت المسافة عن ذلك كان أفضل، أما من يبعد بمسافة اكبر من ذلك فانه سيجد ان سرعة التصفح اقل بكثر. وتصل سرعة الاتصال بتقنية الـ ADSL إلى 8 ميجابيت في الثانية(Mbps8) عندما تكون المسافة 1800 متر أما سرعة رفع الملفات تكون في حدود 640 كيلوبايت في الثانية (kbps640). عمليا فان أفضل سرعة يمكن ان نحصل عليها تصل لـ Mbps1.5 في حين سرعة الرفع تتراوح بين 64 Kbps و Kbps640. ويوجد سرعات أفضل تصل إلى Mbps12 باستخدام تقنيات متطورة عن ADSL تعرف باسمASDL2 و ASDL2+،حيث ان تصل سرعة التحميل في الأخيرة إلى Mbps24 وسرعة الرفع إلى Mbps3. لاحظ الشكل (4-26) .



الشكل (4-26) يوضح ارسال المعلومات بطريقة ADSL

وجـدت خدمـة DSL كجـزء مـن خصائص خدمـة (ISDN) وهـي شبكة رقمية للخدمـات المتكاملة (Integrate Service Of Digital Network) وهي خدمة هاتفية عالية السرعة اكثر من الخدمات الهاتفية التقليدية وهي شبكة تنقل الاشارة بين الاجهزة رقمياً وتوفر سرعة وكفاءة عالية جداً حيث تستطيع نقل البيانات (صوت او صورة او فديو) في نفس الوقت ، كما توفر خدمات اخرى مثل الفاكس والهاتف واجهزة الانذار وتصفح الانترنت . قد بنيت تقنية هذه الشبكة على ان تستخدم نفس الخطوط النحاسية فـي الهاتف العادي . تصل سرعة الشبكة الى 128KBps وهـذه السرعة ضروريـة لمن يقوم بالعمل على الانترنيت بشكل دائـم ويتطلب عمله تنزيـل كميات كبيرة مـن المعلومات وتستخدم هـذه الشبكة تقنية TDM ، والشكل (4-27) يوضح مودم خط المشترك الرقمي DSL.

الشكل (4 -27) مودم DSL

مميزات استخدام خطوط المشتركين الرقمية DSL:

1- السرعة العالية: تؤمن خطوط المشتركين الرقمية (DSL) امكانية توصيل بيانات عالية السرعة. وبالنسبة لمستخدمي الانترنت فأن هذه الامكانية تؤمن سرعة التصفح للشبكة وتحميل البيانات بأقصى سرعة ممكنة . هذا وتعتمد السرعات الفعلية على المسافة من مقسم شركة الاتصالات ومستوى جودة الخط الهاتفي والتوصيلات الداخلية وترتيبات مزود خدمة الانترنت .

2- الاتصال المستمر: يكون جهاز الكومبيوتر الخاص بك متصل بأستمرار بالجهة المزودة لخدمة الانترنت لديك - وهذا من شأنه أن يجعلك تتفادى اجراءات الاتصال الروتينية واشارات انشغال الخط والانتظار للتوصيل او انقطاع التوصيل . وبالطبع فأن خدمة الانترنت الخاص بك قد يطلب منك التسجيل للحصول على اجراءات امنية اضافية.

3- السهولة والاستمرارية: تمكن تقنية خطوط المشتركين الرقمية (DSL) من استقبال واجراء مكالمات هاتفية دون فصل جهازك من الشبكة وهذا يعني أنه بأمكانك التحدث على الهاتف وتصفح المواقع على الشبكة في نفس الوقت.

تعتمد سرعة الخدمة التي يوفرها خط المشترك الرقمي بشكل رئيسي على المسافة بين موقع الخدمة ومقسم شركة الاتصالات، فكلما ازدادت المسافة قلت سرعة نقل المعلومات لدى المستخدم. وتختلف انواع خطوط المشترك الرقمي باختلاف سرعتها ، ومن اشهر هذه الانواع :

❖ خط المشترك الرقمي غير المتماثل (ADSL) :

صمم ليعطي سرعة تنزيل (Download) اكبر بكثير من سرعة التحميل (Upload) معظم المستخدمين يستغلون اتصالاتهم بالانترنت لتنزيل المعلومات بشكل اكبر بكثير من تحميل المعلومات . يمكن ان تصل

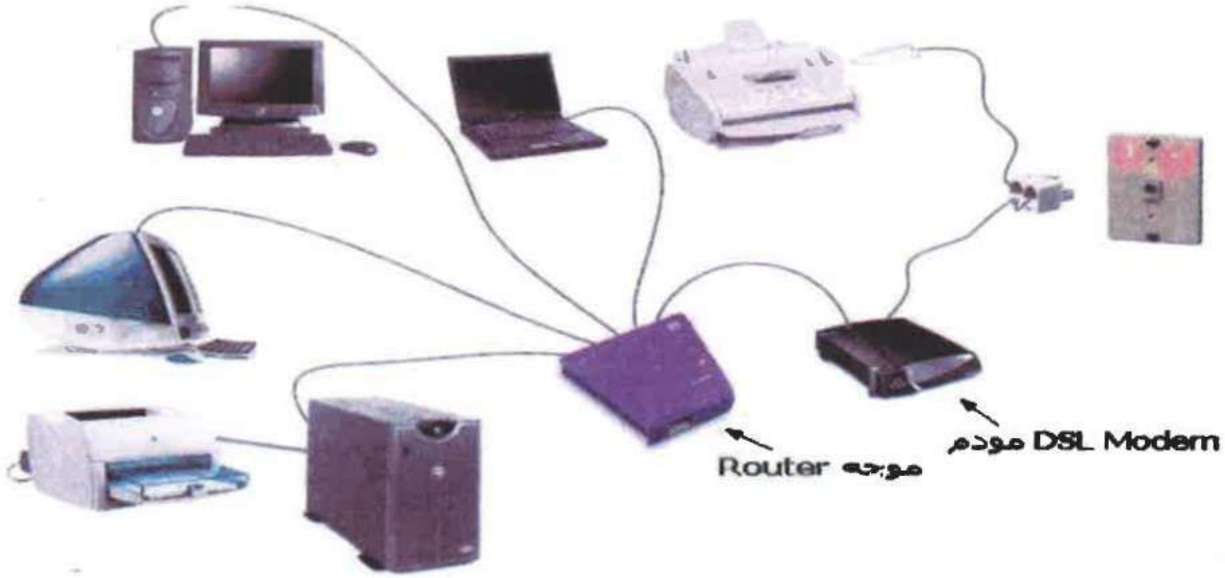
سرعة التنزيل الى 2Mbps بينما تصل سرعة التحميل الى 640Kbps وينتشر هذا النوع بين مستخدمي الانترنت في المنازل والمكاتب الصغيرة.

❖ **خط المشترك الرقمي المتماثل SDSL:**

يتميز هذا النوع بان سرعتي تنزيل وتحميل المعلومات متساويتان ، حيث تصل كل منهما الى 2Mbps ويكثر استعمال هذا النوع بالشركات والمؤسسات التي تقدم خدماتها من خلال الانترنيت حيث سرعة التنزيل والتحميل بنفس الاهمية.

❖ **خط المشترك الرقمي الفائق السرعة VDSL:**

يتميز بالسرعة العالية جداً والتي تصل الى 56Mbps ويمكن استخدامها للبث التلفزيوني العالي الجودة ونقل الملفات كبيرة الحجم ، لاحظ الشكل (4- 28) .



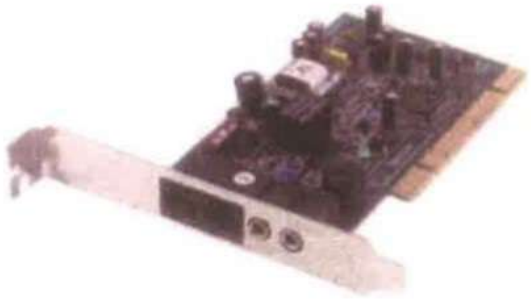
الشكل (4-28)

6.4 تطبيقات شبكة الهاتف

1.6.4 المودم (MODEM)

جهاز يقوم بتحويل الاشارات من رقمية الى تماثلية عند المرسل ومن تماثلية الى رقمية عند المستقبل ويستخدم لربط الحاسوب بشبكة الانترنت . عند استخدام المودم في تبادل البيانات، فإنه يأخذ البيانات الرقمية من الحاسوب عبر بوابة تسلسلية، ويحولها إلى إشارات تماثلية وتسمى العملية (modulation)، ثم يرسلها عبر خط الهاتف فيستقبلها جهاز المودم على الطرف الآخر، ويعيد تحويلها من إشارات تشابهية إلى رقمية (Demodulation) ويعطيها للحاسوب المستقبل عبر بوابة تسلسلية، أيضاً. وبالتالي يعمل المودم كمحول رقمي- تماثلي / تماثلي- رقمي أو(Modulator/Demodulator) ، ومـــن هنا جاءت تسمية

MODEM .لاحظ الشكل (4 -29) يشير معدل السرعة (Baud Rate) الى سرعة المودم في ارسال البيانات واستقبالها .



الشكل (4-29) المودم

والمودم، في الأساس، جهاز لتبادل البيانات بين جهازي الحاسوب عبر خط هاتفي، ثم تطورت استخداماته فصارت تشمل إرسال واستقبال الفاكسات، والبريد الصوتي، مع إمكانيات التحويل الآلي بين أنماط استقبال البيانات والصوت والفاكسات.ويمثل عرض النطاق للمودم العدد الثنائي الذي يمكن نقله في الثانية الواحدة باستخدام قناة الاتصال ، ويعتمد على :

1- طبيعة قناة الاتصال .

2- عدد القيم المختلفة التي يمكن نقلها عبر القناة .

3- سرعة النقل عبر الوسط الناقل .

مثال: قناة تنقل 16BIT معاً بسرعة 1000عملية نقل في الثانية الواحدة. احسب عرض الحزمة لهذه القناة .

الحل:

عرض الحزمة = عدد القيم X سرعة النقل

= 16 X 1000 = 16000 بت / ثانية

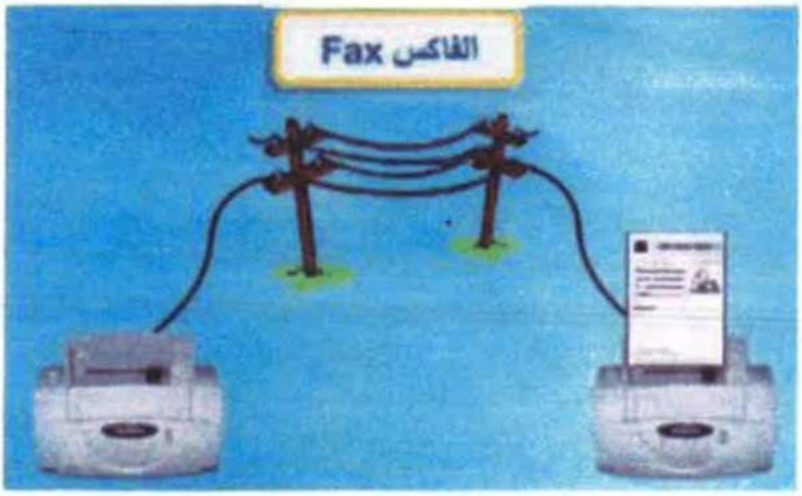
لم تتجاوز سرعة الاتصال في المودمات الأولى 300 بت في الثانية، أما الآن، فالمودمات التي تعمل بسرعة bps (33600) أو Kbps (33.6) أصبحت في متناول الجميع ، بالإضافة إلى مودمات (56Kbps و112) وقد تصبح سرعة نقل البيانات عدة أضعاف سرعة الاتصال، عند استخدام تقنيات الضغط، وذلك حسب قابلية ضغط البيانات المرسلة. بعض شبكات الهاتف غير قادرة عملياً على دعم هاتين السرعتين. علماً أن سرعة الاتصال الفعلية تتعلق أيضاً بسرعة المودمات لدى مزودي الخدمات، وبسرعة البوابات التسلسلية للحواسيب ، وبنوع الخطوط الهاتفية، ودرجة نقائها من الضجيج .

2.6.4 الفاكس

جهاز يستخدم خط الهاتف نفسه للأتصال ويقوم بارسال صورة عن صفحة او اكثر من مكان لآخر ويقوم مبدأ عمله على مسح الصورة وتحويلها الى معلومات رقمية ترسل عبر شبكة الهاتف ليتم تحويلها مرة أخرى في المستقبل الى صورة مطابقة ، يمكن استخدام خط الهاتف فاكساً وهاتفاً ولكن ليس في الوقت نفسه . لاحظ الشكل (4-30).

الشكل (4- 30) جهاز الفاكس

ويسمح الفاكس بنقل مادة مطبوعة من خلال الاتصال الهاتفي حيث يقوم جهاز الفاكس المرسل بمسح الصفحة ضوئياً وتحويل البيانات الى اشارة صوتية بينما يعمل جهاز الفاكس المستقبل باستلام الاشارة الصوتية وتحويله مرة اخرى الى صورة من من الصفحة المرسلة وطباعتها لاحظ الشكل (4-31).



الشكل (4-31) تبادل الرسائل بالفاكس عبر خط الهاتف

وتحتوي معظم الحاسبات الحديثة على مودم يمكنه ارسال واستقبال رسائل الفاكس بدون الحاجة الى جهاز فاكس منفصل .

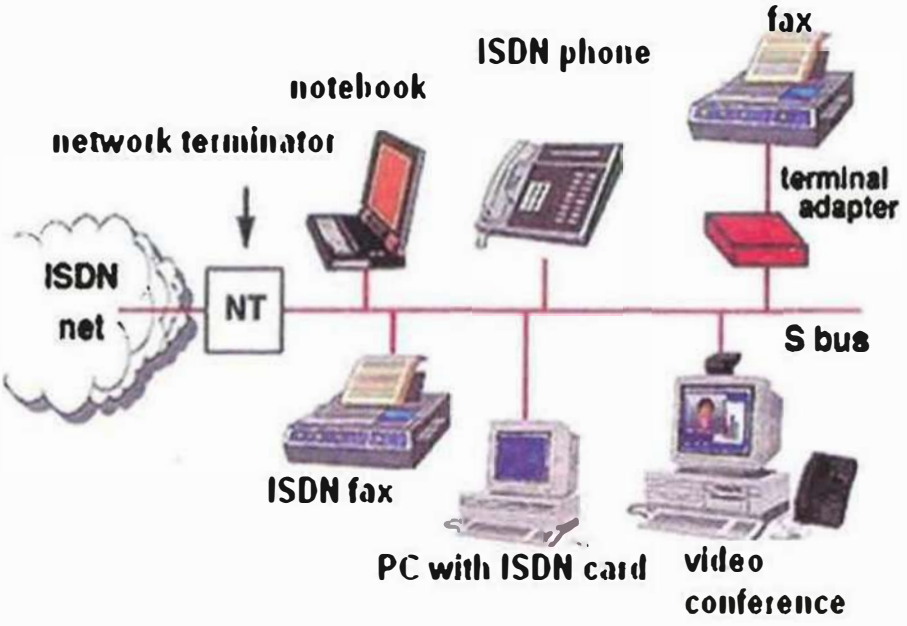
3.6.4 جهاز الهاتف كاشف الرقم

خدمة منها يمكن **معرفة** رقم المتصل من خلال جهاز يقوم بهذه المهمة يستخدم تقنية التضمين الترددي لاستقبال معلومات خاصة بالرقم المتصل . ويقوم مبدأ عمله على تحويل الاشارات التماثلية المرسلة الى معلومات رقمية وتحليل هذه المعلومات وبعرضها على الشاشة ويربط الكاشف بين مقبس خط الهاتف وجهاز الهاتف، لاحظ الشكل (4-32) . ترسل المعلومات من المقسم الى الكاشف وتتضمن المعلومات رقم هاتف الشخص المتصل وتأريخ الاتصال ووقته ، ويتكون من مودم لتحويل الاشارات التماثلية الى رقمية ودائرة كهربائية تفعّل عند الاتصال وشاشة لعرض رقم المتصل .

الشكل (4-32) هاتف مع كاشف رقم الشخص المتصل

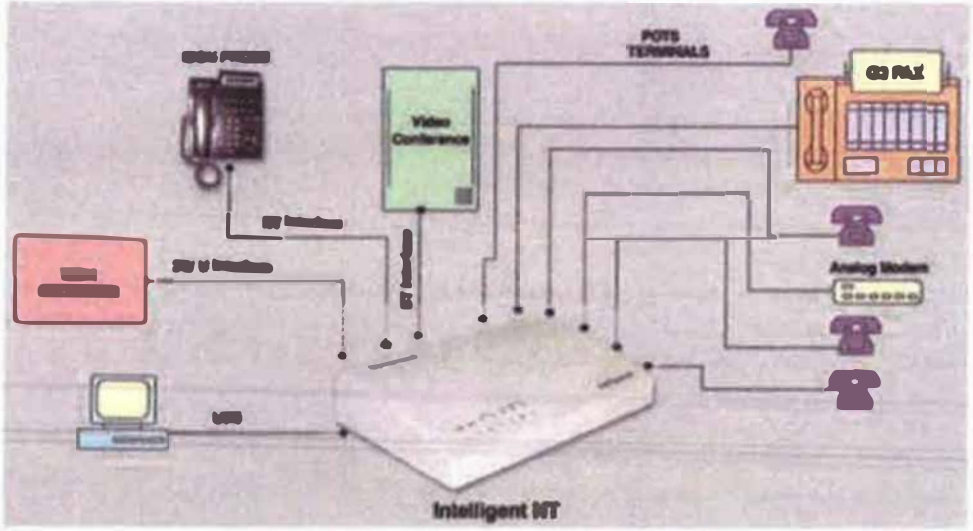
4.6.4 الشبكة الرقمية للخدمات المتكاملة (Integrated Services DigitalNetwork) ISDN

نظام اتصال رقمي وضع لنقل الصوت والمعلومات معاً عبر خطوط الهاتف الرقمية وهي خدمة هاتفية عالية السرعة اكثر من الخدمات الهاتفية الاعتيادية وهي تسمح بارسال البيانات الرقمية وكذلك باجراء المكالمات الهاتفية ، ويؤدي نقل المعلومات بشكل رقمي لتحسين نوعية الصوت المنقول لان المعلومات التماثلية المنقولة عبر شبكة الهاتف تضعف وتتلاشى مع المسافة ، وتتأثر بالتأثيرات الخارجية ، وعند تقوية الاشارة يتم مضاعفة القيمة الاصلية والاخطاء بحيث لا يمكن معرفة قيمة الاشارة الاصلية . وفي الاشارات الرقمية تكون قيمتها اما صفراً او واحداً وبالتالي من السهل تحديد القيمة الاصلية للإشارة وتقويتها الى القيمة الصحيحة . ترسل المعلومات بسرعة تصل الى 64kbps ويمكن دمج عدد من الخطوط معاً لتوفير سرعة اكبر تصل الى 128kbps أو 192kbps، يمكن استخدام خط الهاتف لنقل الصوت والمعلومات في آن واحد ويستخدم جهاز شبيه بالمودم يسمى (المحول الطرفي). لاحظ الشكل (4-33) .



الشكل (4-33) الشبكة الرقمية للخدمات المتكاملة

الشكل (4-34) يوضح احد التطبيقات لتوصيلات المودم (المحول الطرفي) . ومن الشكل نلاحظ توصيل جهاز الشبكة الطرفية الذكي (NT) Intelligent Network Termination الذي يحقق تشغيل الشبكة على مواقع المشتركين والسماح بتوصيل الادوات الرقمية والاجهزة التماثلية الى خط شبكة الخدمات الرقمية المتكاملة ISDN او السماح باتصال الادوات الرقمية فقط.



الشكل (4- 34) شبكة الخدمات الرقمية المتكاملة (ISDN)

وتوجد تطبيقات اخرى لشبكة الهاتف نذكر منها الخطوط المؤجرة وهي خطوط يتم استأجارها من شركة الاتصالات لربط مؤسسة مثلا بفروعها المتباعدة وتصل سرعتها الى 2048kbps والخط الرقمي المشترك وهي تقنية اتصالات ذات سرعة عالية مصممة لتستخدم مع خطوط الهاتف النحاسية العادية وتؤمن سرعة عالية تصل إلى 2 ميغابت/ث.

ونشأت الحاجة إلى استحداث هذه التقنية لمايلي:

1- بسبب ازدياد كمية المعلومات التي يتم تنزيلها عبر الإنترنت، والتي قد تحتوي على نصوص وصور وأصوات وفيديو.

2- تطور استخدام الإنترنت ليضيف مشاهدة محطات التلفزيون وسماع المحطات الإذاعية.

3- نقل الملفات كبيرة الحجم . يتصل كل سلك قادم من البيت أو المكتب بجهاز خاص في المقسم يسمى DSLAM. (Digital Subscriber Line Access Multiplexer).

يمكن الاتصال بالهاتف واستخدام الإنترنت في الوقت نفسه لأن معلومات الإنترنت تنقل باستخدام ترددات مختلفة عن الترددات المستخدمة لنقل المكالمات عبر شبكة الهاتف.تتميز هذه التقنية بتكلفتها المنخفضة ذلك لاعتمادها على نفس خطوط الهاتف النحاسية المجدولة دون الحاجة لشراء معدات وأسلاك جديدة وتركيبها وصيانتها مع ما يرافق ذلك من جهد وتكلفة، في حين أن البدائل المتوفرة من خلال تمديد الألياف البصرية أو التكنولوجيا اللاسلكية تحتاج إلى بنية تحتية جديدة مما يرفع تكلفتها.وتعتمد سرعة الخدمة التي يوفرها خط المشترك الرقمي على المسافة بين موقع مستخدم الخدمة ومقسم شركة الاتصالات، فكلما ازدادت المسافة قلت سرعة نقل المعلومات لدى المستخدم.

مميزات خط المشترك الرقمي هي :

1- السرعة تصل إلى 2 ميغابت/ث وأكثر.

2- تكلفة إنشاء النظام قليلة نسبياً وكذلك التكلفة التشغيلية.

3- لا يشغل خط الهاتف، فيمكن استخدام الاثنين معاً في الوقت نفسه.

4- خدمة مستمرة دون انقطاع.

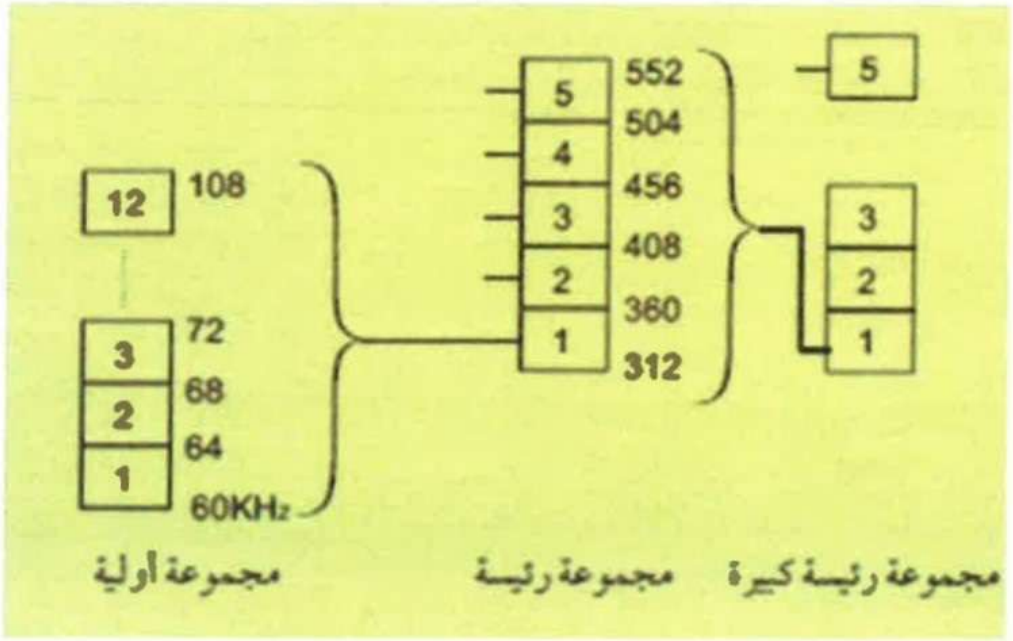
7.4 منظومة التراسل Transmission System

تشكل الوصلات التراسلية ذلك الجزء من الشبكة الذى تقوم مهمته على اتمام عملية ربط المقاسم فيما بينها ولهذا توجد غرفة تدعى غرفة التراسل بجانب اي مقسم مهما كان نوعه او مهمته داخل الشبكة الهاتفية . وهي عبارة عن غرفة مكونة من اجهزة التراسل ووحدات خاصة تكون نهاياتها موصلة بالوصلات التراسلية . وتحتوي غرفة التراسل على أنظمة التجميع ، والتي تكون مهمتها تجميع المعلومات على شكل قابل للنقل عبر الانواع المختلفة للوصلات التراسلية ، وعملية التجميع للمعلومات المرسلة من المقاسم التماثلية والرقمية ضرورية لزيادة السعة عن طريق دمج عدد كبير من القنوات على نفس خط النقل ، مما يؤدي الى تقليل تكلفة النقل.

1.7.4 انظمة التجميع

أ- نظام التجميع التماثلي: هو نظام يعتمد على تقسم النطاق الترددي FDM , وفيه يتم التجميع على النحو التالي :

- يتم تجميع كل 12 قناة للحصول على المجموعة الاولية بحزمة ترددية من (108 KHz الى600 KHz) .
- يتم تجميع كل خمس مجموعات اولية للحصول على مجموعة رئيسية تحوي على 60 قناة . بحزمة ترددية من 312KHz الى 552KHz .
- يتم تجميع كل خمسة من هذه المجموعات الرئيسية للحصول على مجموعة رئيسية كبيرة تحتوي على 300 قناة , وفي جهة الاستلام يتم اعادة الحصول على القنوات بالمرور في المراحل نفسها بشكل عكسي . لاحظ الشكل (4-35) .

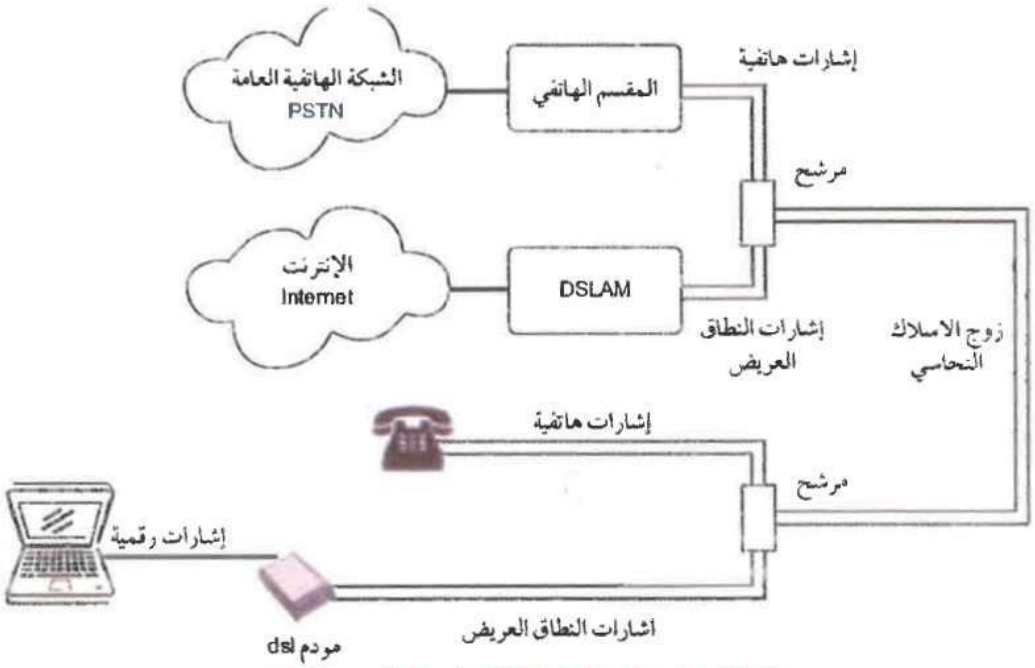


الشكل (4-35) نظام التجميع التماثلي

عيوب نظام التجميع التماثلي:

- امكانية التداخل ما بين القنوات .
- القابلية للتنصت وعدم السرية .
- محدودية عدد القنوات المتاحة .
- حجم الاجهزة الكبير.

ويتم دمج الاشارات الخاصة بالنطاق العريض بالاشارات الخاصة بالمكالمات الهاتفية من خلال التقسيم الترددي FDM كما في الشكل (4-36) .



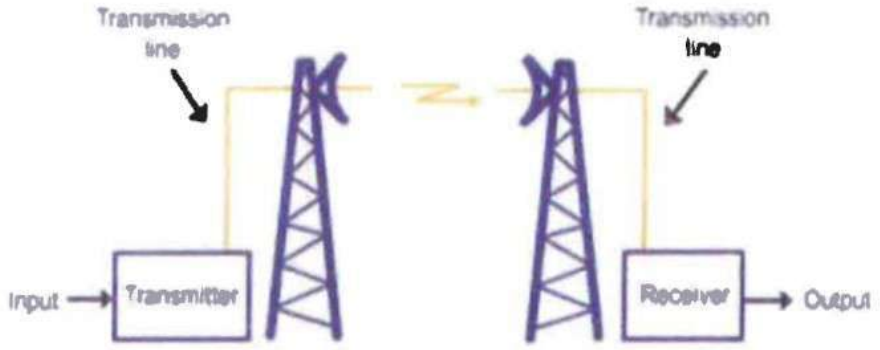
الشكل (4-36) خط المشترك الرقمي DSL

ب-انظمة التجميع الرقمية: هي أنظمة تعتمد على التقسيم الزمني (TDM) ، وتتميز عن الانظمة التماثلية بالاتي:

- أقل عرضة للتداخل بين قنواتها .
- حجم الاجهزة صغير نسبياً.
- امكانية التجميع لعدد اكبر من القنوات .
- امكانية نقل البيانات .
- أقل عرضة للتنصت.

8.4 ربط اتصالات الميكروويف Microwave Transmission Links

وسيلة ربط المايكروويف نظام اتصالات يستخدم شعاع من الموجات الراديوية بتردد بمعدل الموجات المايكروويف لارسال المعلومات بين موقعين ثابتين على الارض . ويؤثر هذا النوع من الاتصالات بمجال واسع في الصناعات وباشكال مختلفة وتستخدم الاذاعات مثلاً توصيلات المايكروويف لارسال البرنامج من الاستوديو الى موقع المرسل والتي تبعد عنه اميالاً . ويحمل المايكروويف مكالمات الهاتف الخلوي بين مواقع الخلية (Cell Sites) مجهزات خدمات الانترنت اللاسلكية تستخدم التوصيلات المايكرويف لتزويد المشتركين وصول شبكة الانترنيت بالسرعة العالية بدون الحاجة الى قابلو الموصلات ، وتتراسل شركات الهاتف المكالمات بين مراكز التغيير (Switching Center) بالمايكروويف بالرغم من استخدام الكثير منها قابلوات الليف الضوئي . والشكل (4-37) يوضح المخطط التوضيحي للمايكروويف بين المرسل والمستلم .



الشكل (4-37) مخطط توضيحي للمايكروويف

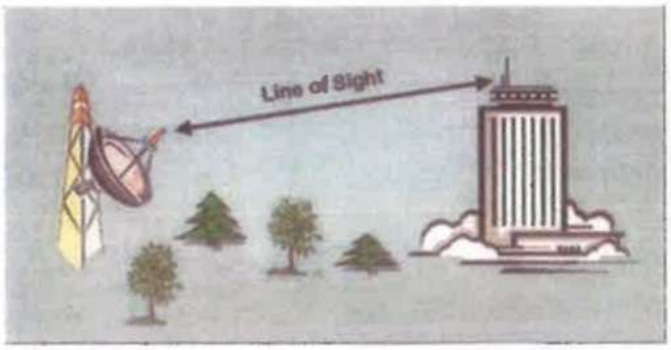
9.4 منظومة الإرسال المايكروي Microwave Relay System

المايكروويف هو مدى الترددات الراديوية بين (1–300)GHz وعلى سبيل المثال فان الترددات المستخدمة في منظومة الإرسال التلفزيوني هي اقل من الترددات المايكروية بينما تقترب الترددات المستخدمة في أجهزة الهاتف الخلوي (Cellular Telephone) الذي يعمل بحزمتين بالطيف الترددي الأول من MHz (800-900) والثاني من GHz (1.9 –0.8) وهي ضمن الترددات المايكروية ويعد بعض الاختصاصيين ان الترددات المايكروية أعلى من 500 MHz ، ويصل الطول ألموجي للتردد 1GHz الى 30 سنتيمتر. ان منظومة الإرسال المايكروي عبارة عن تقنية لإرسال الإشارات التماثلية والرقمية لمسافات بعيدة مثل إرسال المكالمات الهاتفية وبرامج التلفزيون بين موقعين بهوائيات موجهه لاحظ الشكل (4-38) في الإرسال والاستلام على شكل سلسلة متوالية لنقل المعلومات.

الشكل (4- 38) بعض أنواع هوائيات المايكروويف

ان الموجات ذات التردد العالي جدا (VHF) والفائقة (UHF) تنتشر انتشارا جيدا ضمن خط النظر (Line of Sight) لاحظ الشكل (4-39) ولإرسال هذه الإشارات إلى مسافات ابعد تستخدم شبكات المايكروويف او منظومة الأقمار الاصطناعية اذا كانت المسافة بعيدة جدا. ان منظومات شبكات

المايكروويف عبارة عن سلسلة من المحطات اللاسلكية المرسلة والمستلمة تعمل بشكل ذاتي (Automatic) وتسمى المحطات التي يبدأ عندها الاستلام او ينتهي عندها الإرسال بالمحطات الطرفية ، اما المحطات الوسطية التي تقوم بتقوية الإشارة فتسمى بمحطات الإعادة (Repeaters) .



الشكل (4-39) المحطات الطرفية

وبما أنّ كل محطة من هذه المحطات ترسل إلى نقطة واحدة (المحطة التالية) فمن الأفضل تركيز الطاقة المشعة ضمن زاوية صغيرة باستخدام الهوائيات الموجهة توجيها جيدا والتي يسهل تحقيقها في مدى الموجات السنتمترية. ومن المهم أن يكون هوائي كل محطة على خط النظر مع هوائي المحطة التالية ، ونظرا لكروية الأرض فان تبادل الرؤيا لا يمكن تحقيقه ما لم توضع الهوائيات على أبراج عالية يعتمد ارتفاعها على طبيعة تضاريس الأرض الواقعة بين الهوائيين والمسافة بين الموقعين ويصل متوسط ارتفاع هذه الهوائيات إلى (60) متراً وتفصل بينها مسافات تتراوح بين (30- 60) كيلومتراً لاحظ الشكل (4- 40) .

الشكل (4-40) كيفية نصب الأبراج

برامج التلفزيون والمكالمات الهاتفية ترسل عبر شبكات منظومات المايكروويف بعد أن ترفع إلى ترددات عالية بوساطة عملية التضمين التي تحدثنا عنها سابقا وترتب بشكل مجاميع قياسية بطريقة الإكثار ثم تحمل مرة ثانية على ترددات مايكروية وترسل عبر الشبكة إلى المكان المطلوب.

اسئلة الفصل الرابع

س1: ماذا نعني بالشبكات الهاتفية؟

س2: ماهي المكونات الأساسية لأي شبكة هاتفية؟

س3: كيف تعمل شبكة الهاتف الحالية؟

س4: ماهي الأنواع الرئيسية للقابلوات الهاتفية؟

س5: عرف مايلي:

أ. المقسم المحلي ب. مقاسم العبور ج. المقسم الدولي

س6: عدد وظائف المقسم او المبدل.

س7: ماهي مميزات استخدام خط الهاتف الرقمي؟

س8: ماهي الأسباب التي ادت الى إستحداث تقنية ISDN ؟

س9: عدد عيوب نظام التجميع التماثلي

س10: بماذا تتميز أنظمة التجميع الرقمي

س11: اشرح طريقة عمل منظومة الارسال المايكروي.

س12 : أختر الأجابة الصحيحة :

1. كان للمقاسم اليدوية العديد من العيوب, منها :

أ. حاجتها إلى عامل المقسم لتمرير المكالمات ب. ذات سعات قليلة

ت. الحاجة إلى أن تكون في وسط التجمع السكاني ث. كل ما ذكر

2.في جهاز الهاتف الجزء المسؤول عن تحويل الأشارة الكهربائية إلى موجة صوتية تسمعها :

أ. الميكروفون ب. السماعة

ت. المقاسم الكهروميكانيكية ث. المقاسم التماثلية

3. من أحدث أجيال المقاسم :

أ. المقاسم اليدوية .
ب. المقاسم الرقمية .
ت. المقاسم الكهروميكانيكية .
ث. المقاسم التماثلية .

4. تستخدم الكوابل ذات السعات الكبيرة لربط :

أ. خزانن التوزيع بالمقسم .
ب.جهاز الهاتف بقبس الهاتف.
ت.الصناديق المثبتة على الأعمدة بالقابلو الرئيس.
ث. مقبس الهاتف بصندوق التوزيع.

5. تتميز الشبكة الذكية بالعديد من الخدمات, مثل :

أ. الرقم المجاني .
ب.خدمات الهواتف مسبقة الدفع.
ت. خدمات البطاقات مسبقة الدفع .
ث. كل ما ذكر.

6. كيف يمكن ان تصمم خط المشترك الرقمي غير المتماثل على أن يكون :

أ.الحزمة المخصصة للبيانات المستقبلة أقل بكثير من الحزمة المخصصة للبيانات المرسلة.

ب الحزمة المخصصة للبيانات المستقبلة اكبر من الحزمة المخصصة للبيانات المرسلة.

ت. الحزمة المخصصة للبيانات المستقبلة مساوياً لحزمة البيانات المرسلة.

ث. كل ما ذكر .

س13: ضع إشارة (√) أمام العبارة الصحيحة وإشارة (X) أمام العبارة الخاطئة لكل من الجمل الآتية:

1- يعتمد عدد الأرقام في المدى الرقمي لكل مقسم على سعة المقسم.

2- كان يجب وضع المقاسم البدائية في أطراف التجمعات السكانية .

3- يعتمد جهاز الهاتف القرصي على النغمات المزدوجة متعددة الترددات.

4- تستخدم الكوابل ذات السعات الصغيرة نسبياً كقابلوات فرعية والأخرى ذات السعات الكبيرة التي تصل إلى 40000 زوج كقابلوات رئيسية في شبكة التوزيع الهاتفية.

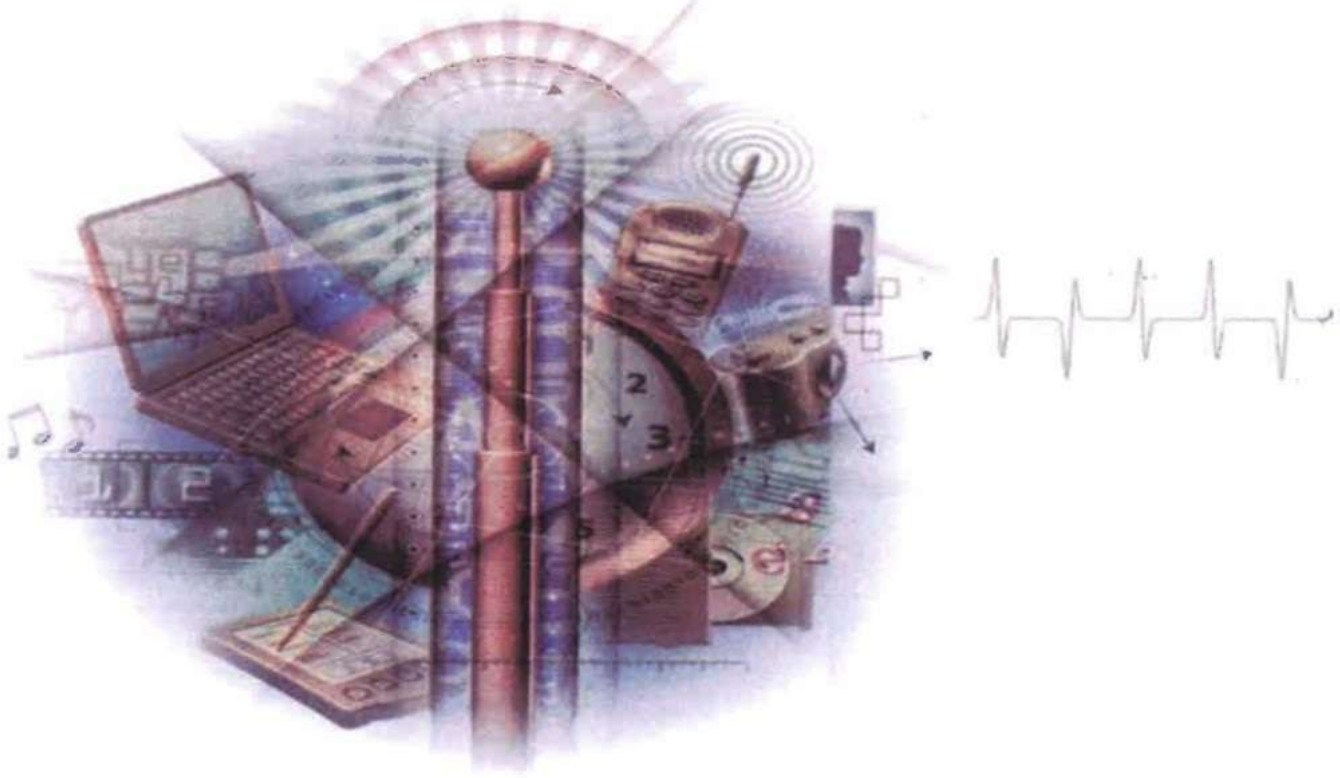
الفصل الخامس

الاتصالات الرقمية المتقدمة

الاهداف الخاصة

بعد الانتهاء من دراسة هذا الفصل يكون الطالب قادرًا على:

1. **معرفة الاقمار الصناعية ومداراتها.**
2. **معرفة مكونات منظومة الاتصال بالاقمار الصناعية.**
3. **معرفة شبكات الهاتف المحمول (النقال).**
4. **معرفة مكونات منظومة الهاتف الخلوي.**
5. **معرفة النظام الشامل الاتصالات المتنقلة GSM ومكوناته .**
6. **معرفة كيفية اجراء المكالمة الهاتفية باستخدام الهاتف GSM.**



الفصل الخامس

الاتصالات الرقمية المتقدمة

1.5 استخدام التقنيات الرقمية في الاتصالات

أهم استخدام للتقنيات الرقمية الحديثة، كان في تحقيق الاتصالات، بأساليبها المختلفة، حتى أضحى أحد دعائمها الرئيسية؛ فالمعلومات المتبادلة على شبكات الاتصال، وعبر وسائله المختلفة، قد تكون صوتية أو إشارات رقمية، تستخدم في التحكم عن بعد. وكلما كانت نسبة تطابق المعلومات المستقبلة مع المعلومات المرسلة نسبة مرتفعة، كان ذلك تعبيراً عن جودة نظام الاتصال. بيد أن ثمة أسباب عديدة، تحول دون تحقيق هذا الهدف، منها تداخل إشارة الضوضاء مع إشارة المعلومات.

اعتمدت الاتصالات الالكترونية البعيدة المدى حتى الستينات من هذا القرن ، اما على القابلوات او على انعكاسات الاشارة الراديوية من على الغلاف الجوي، ومن المعروف ان هذه القابلوات تحوى على عدد محدود من الاسلاك ، اما الاشارات المنعكسة فكانت تتخامد بسرعة مما يجعل الاتصال ذو نوعية سيئة . في عام 1945 اقترح العلماء فكرة استخدام الاقمار الصناعية التي تطير فوق الكرة الارضية، لزيادة فعالية الاتصالات الالكترونية، حيث يمكن رؤية القمر الصناعي من منطقة شاسعة من الارض .ونظرا لارتفاعه العالي ، يستطيع ان يحقق الاتصال ما بين عدة محطات بطرق متعددة خلاف للقابلو الذي يستطيع ان يصل بين محطتين فقط.

2.5 الاتصالات عبر الاقمار الصناعية

1.2.5 خلفية تاريخية عن تطور الأقمار الصناعية

الأقمار الصناعية سمة من سمات العصر التي أثرت بشكل كبير في نظام المعلوماتية على المستوي العالمي مما ساهم في ظهور و نمو عصر العولمة و عصر التكنولوجيا ، و لعل اهم جزئية في هذا التطور هو الاتصالات حيث تحتل أقمار الاتصالات المرتبة الأولى في عدد الأقمار الصناعية، ومن مهام أقمار الاتصالات إعادة إرسال المعلومات التي قد تكون مكالمة هاتفية او معلومات انترنت او ارصاد جوية او اشارة تلفزيونية و العديد العديد من الاستخدامات الأخرى. وتتميز الاتصالات بواسطة الأقمار الصناعية بالمرونة وسرعة الإنشاء، وسعة الاستيعاب، وكفاءة الإرسال والاستقبال على مسافات تقاس بآلاف الأميال إضافة إلى انخفاض النفقات.

ويعرف القمر بانه أي جسم صغير يدور حول جسم سماوي أكبر منه حجما وتنقسم الأقمار إلى أقمار طبيعية وأقمار صناعية من صنع الإنسان وتوضع الأقمار الصناعية في مداراتها بعد إطلاقها من سطح الأرض بمساعدة صواريخ دافعة تدور هذه الأقمار في مدارات بيضاوية حول الأرض.

ويمكن تعريف الأقمار الصناعية كالتالي "هي مركبات مصنوعة تطلق من الأرض إلى الفضاء الخارجي لتدور مع الأرض أو حوله من أجل إيصال معلومات تلتقطها مراكز الاستقبال الأرضية " ، فهو له طاقة وقدرات محددة لأداء وظيفة معينة".

اول قمر صناعي للاتصالات كان القمر Echo 1 الذي اطلق عام 1960، وكان هذا القمر من النوع غير الفعال (الخامل) Passive اي لم يكن يحوي اي دوائر الكترونية، وانما كان عبارة عن عاكس للاشارات الالكترونية . لقد قام هذا القمر والقمر Echo 2 الذي اطلق في عام 1964 عبارة عن بالون كبير بقطر 32 متر، مغطى برقائق الالمنيوم ، وكان يدور حول الارض بارتفاع 1610 كم .ومثل اي كرة زجاجية او فولاذية التي تعطي زاوية انعكاس واسعة للمناظر حولها، فان هذه الاقمار كانت تعيد عكس الاشارة الموجهة اليها ، ولكن بقوة اخفض .ونظرا لمساوئها ومشاكلها الكثيرة ، لم تعد تستخدم الاقمار غير الفعالة او الخاملة في ايامنا هذه . الشكل (5-1) يوضح نموذج لهذه الاقمار .

Echo1

Echo2

الشكل (5-1) قمر الاتصالات من النوع الخامل

وفي 1962 أطلقت الولايات المتحدة القمر الصناعي تلستار (Telstar) وهي عبارة عن محطات فضائية فعالة Active Satellites تقوم باستقبال اشارة من محطات ارضية معينة وتكبرها ثم تعيد ارسالها باتجاه محطات أرضية اخرى الذي أتاح الإرسال التليفزيوني لكل من بريطانيا وفرنسا والولايات المتحدة في نفس الوقت , وبعد ذلك أطلقت المنظمة الدولية للاتصالات الفضائية انتلسات (Intelsat) سلسلة من الأقمار الصناعية بداية من القمر الصناعي Early Bird في 1965 وما تبعه من أجيال متتالية لنقل الإرسال الهاتفي والإذاعي والتليفزيوني , وفي عام 1967 تم إطلاق الجيل الثاني من أقمار انتلسات , ثم

بدأ الجيل الثالث من أقمار انتلسات بين عامي 1968 – 1970 , وظهر الجيل الرابع من أقمار انتلسات بين عامي 1971 – 1973 , وخلال الثمانينات تم إطلاق الجيل الخامس الأكثر تطورا من أقمار انتلسات وبالإضافة إلى الاتصال الدولي عبر أقمار انتلسات, هناك أقمار صناعية تعمل على مستوى إقليمي مثل القمر الصناعي العربي الذي تم إطلاقه عام 1985 وكذلك أقمار إقليمية أخرى في كندا والهند وفرنسا . كذلك يوجد في الولايات المتحدة الأمريكية مجموعة من الأقمار الصناعية في كندا والهند وفرنسا . الشكل (5-2) يوضح قمر صناعى يدور حول الكرة الارضية .

الشكل (5-2) قمر صناعي

وفيما يلي أهم مزايا الأقمار الصناعية التي تتيحها تكنولوجيا الاتصال:

أ- اجتياز العوائق الطبيعية للإرسال مثل الجبال والمحيطات والصحارى .

ب- تتيح الوصلة الفضائية اتصالا مباشرا من نقطة الإنترنت عدة نقاط في الوقت نفسه.

ت- لا تواجه الترددات الفضائية العقبات الجوية التي تصادف انتشارها في المحيط الأرضي مثل التشويش وتكثيف الغلاف الجوي .

ث- ينتشر الإشعاع الراديو من خلال الأقمار الصناعية في خطوط مستقيمة تصل إلى سطح الأرض فتغطي مساحة كبيرة تعادل تقريبا ثلث مساحة الكرة الأرضية وبذلك يتحقق انتشارا أكبر للإذاعة الموجهة من الفضاء فتصل إلى رقعة قطرها 15 ألف متر من الكرة الأرضية .

ج- يمكن استخدام الاتصالات الفضائية بشكل مكثف على أسس اقتصادية .

ح- تحقيق السرعة والوضوح الكافين في نقل الأحداث والمعلومات من مكان لأخر.

خ- توفير استقبال عال الجودة لخدمات الراديو والتليفزيون والهاتف لنقل البيانات .

2.2.5 مدارات الاقمار الصناعية

تخضع حركة الاقمار الصناعية حول الكرة الارضية الى قوانين كيبلر التي تحدد حركة الكواكب. وهذه القوانين تنص انه كلما كان القمر واقعا في مدار أعلى ، كلما تحرك بسرعة أبطأ . وعلى ضوء ذلك تصنف الأقمار الصناعية حسب مداراتها الي ثلاثة أصناف كالتالي :

أ- المدار الأرضي المنخفض LEO "Low Earth Orbit Satellites":

هو مدار دائري او اهليجي يبعد عن الأرض من 200 إلى 2000 كم ويدور القمر حول الأرض بفترة زمنية قصيرة تتراوح من 90 دقيقة إلى ساعتين مما يعني ان سرعة دورانه أكبر من سرعة دوران الأرض حول نفسها . لاحظ الشكل (5-3) .

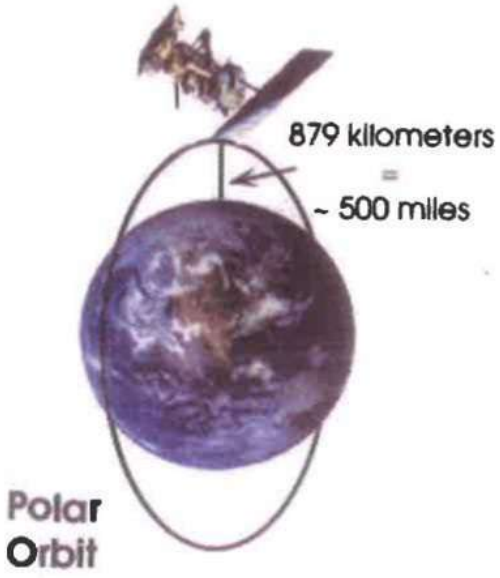
الشكل (5-3) المدار الارضي المنخفض

نظرا لقربها من الأرض فان مجال التغطية لها محدود بينما اشارت البث المستخدمة ليس بالضرورة ان تكون ذات طاقة عالية مما يعني اجهزة استقبال و ارسال ابسط قد تكون صغيرة كالهواتف .

مثال على هذا النوع نظام ايريديوم الذي يتألف من 66 قمر صناعي منخفض المدار تعمل على توصيل خدمة هاتف القمر الصناعي لاي مكان في الأرض.

مثال أخر نظام الثريا الذي يهدف لنقل خدمة الهاتف والانترنت لاي مكان في العالم.تستخدم في الاتصالات السلكية واللاسلكية والهواتف المتنقلة ونقل المعلومات الملاحية والجوية والاستشعار عن بعد وشبكة الانترنت والتجسس.

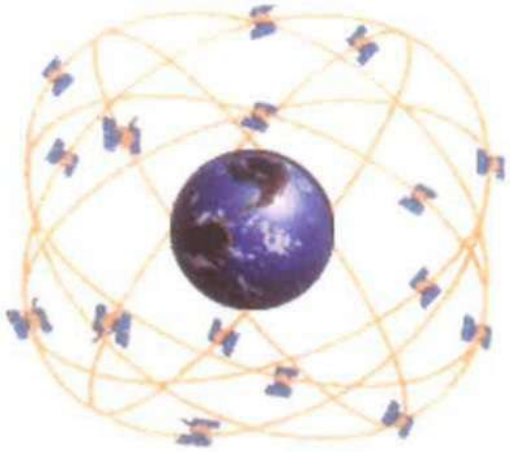
هناك مدار يسمي المدار القطبي Polar Orbit يميل مداره 90 درجة عن المستوى الاستوائي يغطي كلاالقطبين ويستخدم لأغراض بحثية وعلمية. و يقع ضمن الفئة LEO، كما موضح في الشكل (5- 4) .



الشكل (5-4) المدار القطبي

ب- المدار الأرضي المتوسط MEO "Medium Earth Orbit Satellites" :

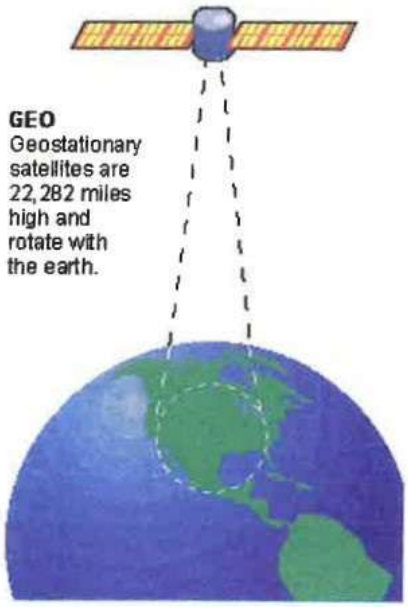
هو مدار اهليجي يبعد عن الأرض من 2000 إلى 20000 كم , و يدور حول الأرض في فترة زمنية تتراوح ما بين 3 ساعات الى 11 ساعة. لاحظ الشكل (5-5) , مثال على ذلك نظام GPS وهو نظام تحديد المواقع عبر الأقمار الصناعية. المستخدم لأغراض عسكرية و لأغراض الملاحة سواء للطيران او السفن.



الشكل (5-5) منظومة GPS

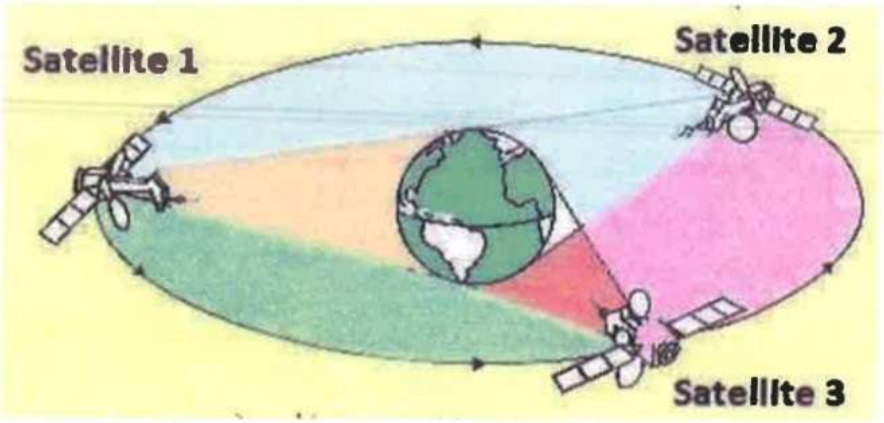
ت-المدار الجغرافي الثابت:"Geostationary Earth Orbit Satellites" GEO:

هو مدار دائري في مستوى خط الاستواء، ويبعد عن الأرض مسافة 35786 كم وتسبح فيه الأقمار بسرعة هي نفسها السرعة الزّاويّة لدوران الأرض حول محورها ومن ثم فإن القمر يظل ثابتاً نسبياً فوق بقعة بعينها من الأرض بصفة مستمرة لذا فإن هوائي المحطة الأرضية الذي يُرْسِل إلى القمر أو يَسْتقبل منه يظل موجهاً بصفة مستمرة نحو القمر ويدور القمر حول محوره بمعدل 30 لفة في الدقيقة محققاً بذلك الاتزان المطلوب أثناء حركته الهائلة السرعة أمـّا هوائيات القمر فقد جُهزت بطريقة خاصة تظل بموجبها متجهة صوب المحطات الأرضية. لاحظ الشكل (5- 6) .



الشكل (5-6) المدار الجغرافي الثابت GEO

ويسمى هذا المدار أحياناً المدار الجغرافي المتزامن."Geosynchronous Orbit" ويستطيع القمر من هذا الارتفاع تغطية مساحة شاسعة تصل حتي 42 % من مساحة الأرض والواقع أن ثلاثة أقمار فقط يمكنها من هذا المدار تغطية سطح الكرة الأرضية كما موضح في الشكل (5-7) .



الشكل (5-7) ثلاثة اقمار صناعية لاغراض الاتصالات

هذه الفئة من الأقمار المتزامنة تكون عادة كبيرة الحجم وقد يزيد وزنها على سبعة أطنان صواريخ قوية لوضعها في مدارها. وقد أطلق من هذا النوع حوالي 442 قمرا خلال مجمل السنوات السابقة منها حوالي 100 عاملة حاليا ، ومنها أقمار عربسات. تستخدم هذه الأقمار عادة في نقل المعلومات - الاتصالات الهاتفية- مراقبة الطقس - الخدمات الإذاعية للراديو والتلفزيون.للقمر الصناعي عمر افتراضي يصل الى 15 سنة حاليا.

3.2.5 منظومة الاتصالات الفضائية

تتكون منظومة الاتصالات الفضائية من أربع وحدات ، كما موضح في الشكل (5-8).

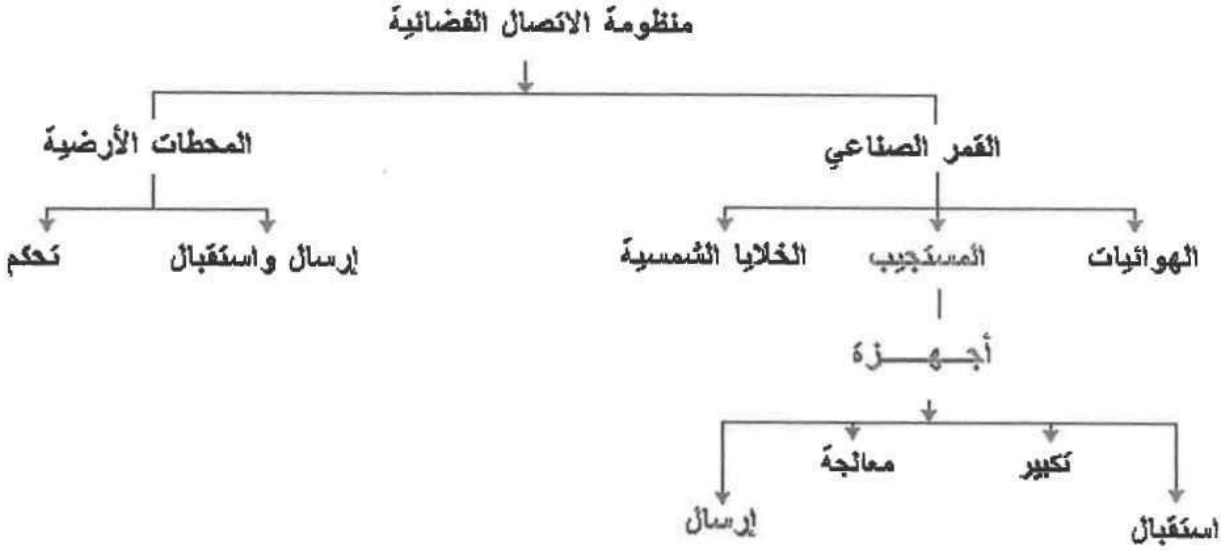
1- القمر الصناعي .

2- محطة الأرسال الأرضية .

3- محطة الأستقبال الأرضية .

4- محطة التحكم .

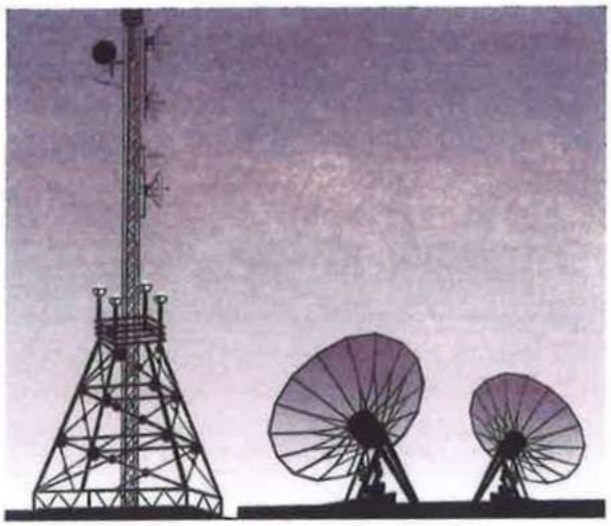
تتلخص فكرة الاتصال عبر الفضاء، في أن المحطة الأرضية تُرسل إشاراتها إلى القمر الصناعي، الذي يلتقطها ويكبّرها ثم يعيد إرسالها إلى محطات الاستقبال الأرضية. وبذلك، فإن قمر الاتصالات، من حيث فكرة عمله، يَسْتخدم الموجات متناهية القصر ذات التردد العالي جدا "الميكروويف Microwaves، التي يمكنها أن تحمل كمّاً هائلاً من المعلومات و تستطيع اختراق الغلاف الجوي لتصل الي القمر الصناعي.



الشكل (5-8) مكونات منظومة الاتصالات الفضائية

أ- محطات الأرسال الأرضية:

تقوم محطة الارسال الأرضي بتوليد موجات كهرومغناطيسية بتردد معين وترسل تلك الموجات للقمر . يزداد عدد المحطات الارضية بسرعة ومعظم هذه المحطات مزودة بهوائي على شكل صحن يصل قطره الى عدة امتار . وهذا الهوائي يمكن تحريكه في كافة الأتجاهات كما موضح بالشكل (5-9).



الشكل (5-9) هوائي

تبث محطة الأرسال الإشارات إلى القمر، محمّله بالمحادثات الهاتفية والبرامج الإذاعية والتليفزيونية والصور والخرائط والبيانات الرقمية ... إلخ. وتتكون محطة الإرسال بصفة عامة من هوائي على شكل قطع مكافئ "Parabola" ، يُكَبّر الإشارات في بؤرته ـ كما تفعل المرآة المقعرة ـ ومحول "Converter "، يقوم بتحويل الاشارات منخفضة التردد (المكالمات– بيانات حاسوب) الي اشارات ذات تردد عالي جدا و بطاقة كافية لارساله الي القمر الصناعي ويجب أن يوجّه الهوائي الأرضي بدقة نحو القمر الصناعي توجيهاً لا يتجاوز الخطأ فيه جزءاً ضئيلاً من الدرجة حتى يمكن تركيز الموجات متناهية الدقة التي تحمل الإشارة، في بؤرة الجهاز. محطة البث من الممكن أن تكون مركز مخصص للإرسال مثل محطات بث القنوات الفضائية ، و ممكن كذلك أن تكون عبارة عن جهاز صغير مثل المستخدم في أجهزة تحديد المواقع ، فكلمة محطة لا تعني بالضرورة مبنى ، إنما مصدر الإرسال.

ب- محطات الاستقبال الأرضية:

تستقبل الإشارات من القمر وتتكون محطة الاستقبال بصفة عامة من هوائي على شكل قطع مكافئ ("Parabola") ، يُكَبّر الإشارات في بؤرته ـ كما تفعل المرآة المقعرة ـ ومحول" Converter" ، يستقبل الإشارات ذات التردد العالي ويحولها إلى ترددات منخفضة ثم قابل محوري يمرر هذه الإشارات إلى جهاز الاستقبال ويجب أن يوجّه الهوائي الأرضي بدقة نحو القمر الصناعي توجيهاً لا يتجاوز الخطأ

فيه جزءاً ضئيلاً من الدرجة حتى يمكن تركيز الموجات متناهية الدقة التي تحمل الإشارة، في بؤرة الجهازوهناك العديد من المحطات الأرضية، التي تُستخدم في الاستقبال، مثل محطات التليفزيون المنزلية وتسمى TV Receive والمعروف أنه كلما ازدادت قدرة الإرسال للقمر الصناعي، صَغُر قطر هوائي الاستقبال المستخدم ويمكن، حالياً استقبال البث من الأقمار الحديثة بهوائيات، يراوح قطرها بين 60 و80 سم فقط.

ت- محطات التحكم :

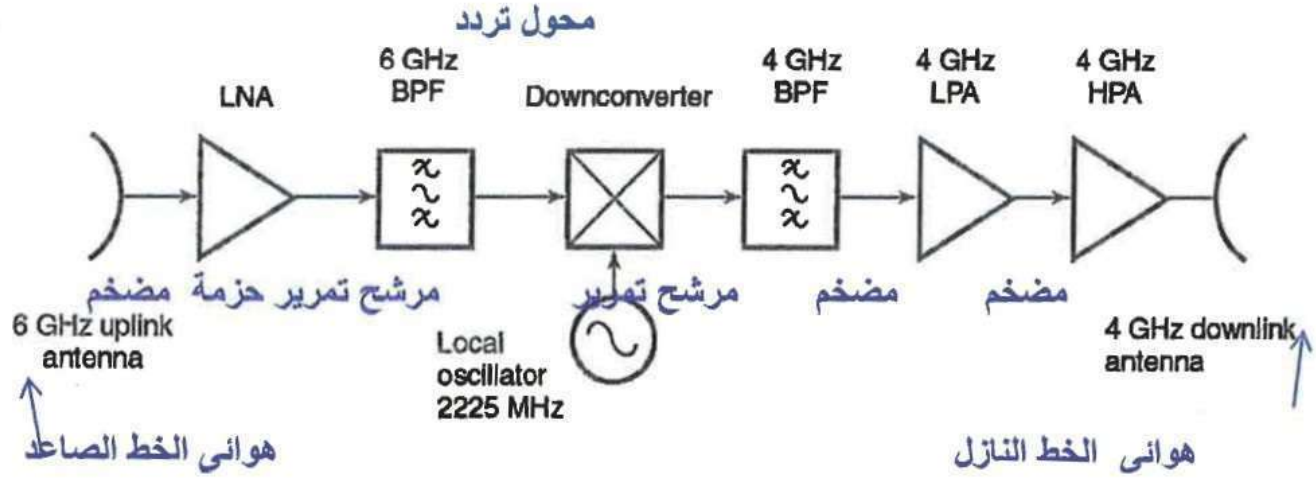
وظيفتها متابعة موقف القمر الصناعي متابعةً مستمرة، وضبط أجهزته، وتصحيح مداره حول الأرض، والتأكد من أداء مهامه أداءً صحيحاً وعادة لكل قمر صناعي يوجد محطة تحكم رئيسية ، كما توجد محطات تحكم فرعية او احتياطية لمتابعة التحكم بالقمر في حال حدوث مشكلة في المحطة الرئيسية.

4.2.5 مكونات القمر الصناعي

يُسمى العنصر الرئيسي في القمر، المستجيب (Transponder) ويشمل أجهزة استقبال، وأجهزة معالجة المعلومات، ومكبرات عالية القدرة لتكبير الإشارات المرسلة من الأرض، وأجهزة الإرسال التي تُعيد بث هذ الإشارات، ثم مجموعة هوائيات الإرسال والاستقبال، التي تُصمّم حسب الترددات المختلفة، وبما يتفق مع منطقة الاستقبال وتُغذى مجموعة المستجيب بالطاقة بواسطة الخلايا الشمسية التي تكون عادة في شكل أجنحة للقمر كما توجد في القمر بطاريات لإمداده بالطاقة اللازمة عندما تحتجب عنه أشعة الشمس.

داخل القمر الصناعي يجب ان يكون ذو حرارة ثابتة ، وذلك بسبب حساسية الاجهزة الالكترونية. ولهذا تستخدم اجهزة خاصة للتبريد والتسخين،كما يدهن الجسم الخارجي للقمر بمواد ماصة لحرارة الشمس.

من اهم اجزاء هذا القمر هما المستجيب (Transponder) والهوائي الذى يكونان نظام الاتصالات ويحققان الارسال والاستلام للمنطقة التى يغطيها القمر الصناعي, والمستجيب هوعبارة عن جهاز تضخيم الإشارة الملتقطة إلى بضعة عشرات الآلف مليون من المرات من اجل إعادة إرسالها مرة ثانية إلى المحطات الأرضية ورغم أن القمر الصناعي يلتقط عدد كبير من الترددات المختلفة فانه لا يحدث تداخل في ما بينها بسبب تحويل التردد الصاعد من المحطة الارضية المرسلة up link الى تردد نازل down link ويكون اقل من التردد الصاعد وبسبب استخدام الموجات الميكروية Microwave ، والتي لا تتأثر بالطبقات المتأنية في الغلاف الجوي التي تعكس الإشارات الاخرى الشكل (5-10) يوضح المخطط الكتلوى لمنظومة المستجيب حيث يقوم باستقبال الإشارات الارضية ضمن مدى معين فمثلا (6GHz, حزمة c) لتمر عبر مرشح حزمة ومن ثم الى مضخم منخفض التشويش LNA . يقوم بعد ذلك محول تردد الاشارة المستقبلة بتخفيض التردد الى (4GHz) .ويقوم مرشح الحزمة بتمرير التردد الاخير ليتم ارسالها الى الارض بعد ان يتم تضخيمها.



الشكل (5-10) يوضح المخطط الكتلوي لمنظومة المستجيب للقمر الصناعي

5.2.5 تقنية القمر الصناعي

تعتبر معدات الاتصالات في القمر الصناعى هي المستهلك الرئيسي والأكبر للطاقة الكهربائية . وقد وجد أن القدرة الكهربائية المطلوبة تقدر بحوالي 10 واط لكل كغ. ومن هنا تتضح الأهمية الكبرى لبحث تخفيض وزن معدات الاتصالات. وبمراجعة ما تم تحقيقه في هذا المجال لنمو سعة الاتصال عن طريق أقمار إنتلسات، نجد أنه في عام 1965م كان عدد الأقنية الهاتفية لكل كيلوغرام من وزن القمر نحو 40 قناة هاتفية. وقد زاد هذا العدد في عام 1988م إلى نحو 130 قناة هاتفية للكيلوغرام الواحد من وزن القمر. ويتضح لنا أن أجهزة الإرسال (مضخّمات القدرة) والهوائيات هي العناصر ذات التأثير الأعظم في زيادة سعة القمر الاصطناعي.

أ- تطور تكنولوجيا مضخات القدرة:

بدأت الأجيال المبكرة من سلسلة أقمار إنتلسات باستخدام الصمّامات ذات الموجات المرتحلة (TWT) traveling wave tubes للحصول على تضخيم القدرة المطلوب للإشارة المرسلة من القمر الاصطناعي، ثم ظهر بعد ذلك استخدام مضخات القدرة ذات الحالة الصلبة (Solid State Power) Amplifiers، إلا أن مضخات القدرة هذه كانت تعمل بنظام class A حيث لا يرتبط استهلاك القدرة الكهربائية بقدر الإشارة المضخمة، وبذلك فإن كفاءة efficiency هذه المضخمات يصل إلى ذروته عند التشغيل عند حد التشبع.Saturation . وقد حرصت كبريات الشركات العالمية على تطوير إنتاجها من الصمّامات TWT ذات القدرة العالية اللازمة للإرسال التلفزيوني المباشر. وهدف التطوير هو زيادة

القدرة مع تخفيض وزن الصمام وزيادة فترة عمره الافتراضي، والتطور الكبير الذي حدث في هذا المجال هو الانتقال من المضخمات TWT التي تستخدم التجاويف المقرونة coupled cavities إلى مضخمات تستخدم حلزونا helix لنقل الطاقة، وبذلك أمكن التطور من صمامات ذات قدرة 60 واط إلى صمامات قدرتها تصل إلى 280 واط. ويتميز المضخم ذو الحلزون بأنه أصغر وأخف وأرخص وذو نطاق المضخمات ذات القدرة العالية من النوع ذي الحلزون.

ب- تطور تكنولوجيا الهوائيات:

في البداية كانت هوائيات الأقمار الاصطناعية بسيطة جدا ومكونة من مجموعة ثنائيات dipoles مرتبة رأسيا Vertical array وموازية لمحور دوران القمر حول نفسه. ولذلك كان من الضروري أن يكون النموذج الإشعاعي radiation pattern دائرياً أو لااتجاهيا .Omnidirectional ولما كان القمر يعطي من سطح الأرض زاوية مقدارها 5،17 درجة من موقعه في المدار الثابت، فقد كانت تفقد نسبة كبيرة من قدرة القمروتصل الإشارة إلى سطح الكرة الأرضية ضعيفة جدا، ولذلك يلزم لتحقيق الاتصال عبر القمر محطة أرضية كبيرة ذات هوائي 32 مترا. وقد كانت أقمار إنتلسات من الجيلين الأول والثاني التي أطلقت خلال الفترة ما بين عام 1965 إلى عام 1967 مزودة بهوائي بسيط من هذا النوع. وللتغلب على مشكلة الفقد الكبير في طاقة قمر الاتصالات فقد تم تطوير تصميم أقمار إنتلسات بحيث يدور الهوائي في اتجاه معاكس لدوران المركبة الفضائية حول نفسها وبنفس السرعة. بهذه الطريقة أمكن تثبيت موضع الهوائي بالنسبة لسطح الأرض، وأمكن استخدام هوائي مخروطي horn عرض حزمته الإشعاعية 5،17 درجة. وهكذا أمكن تركيز قدرة قمر الاتصالات في اتجاه سطح الأرض فقط، وأمكن لأول مرة تغطية الكرة الأرضية كلها بواسطة ثلاثة أقمار من هذا النوع.

6.2.5 أنظمة الاتصالات الدولية

منذ نحو أربعين عاماً تحققت الاتصالات الدولية عبر الأقمار الاصطناعية عن طريق نظامين دوليين كبيرين هما الإنتلسات INTELSAT والإنترسبوتنيك .INTERSPUTNIK ونعرض هنا موجزاً لهما، كما نبيّن الخصائص الرئيسة لكل منهما.

أ- منظومة إنتلساتINTELSAT:

منظومة أقمار صناعية تطلقها المنظمة الدولية لأقمار الاتصالات International Telecommunication Satellite، إنتلسات، التي تدير وتشرف على الخدمات التي تقدمها المنظومة. أُنشئت المنظمة في 20 أغسطس 1964، وأُطلق أول أقمارها عام 1965، تحت اسم الطائر المبكر Early Bird وتتكون حالياً من 168 دولة تمتلك وتشغل نظام الإنتلسات الدولي يخدم العالم أجمع. ويستخدم النظام أساساً للاتصالات المحلية .domestic systems ويتكون نظام الإنتلسات حالياً

من 58 قمراً في المدار المتزامن الثابت فوق المحيطات :الأطلسي والهندي والباسفيكي، ومن أكثر من 850 محطة أرضية. ويصل الإنتلسات بين أكثر من 172 دولة ومنطقة حول الكرة الأرضية.

أمّا أحدث سلسلة أقمار هذه المنظومة فهي INTELSAT 9 ، التي أطلق أول أقمارها INTELSAT 901 في 6 سبتمبر 2001؛ والقمرINTELSAT 906 ، في 6 سبتمبر 2002. ويُقدر العمر الافتراضي لأقمار هذه السلسلة، بنحو 13 عاماً، ويحمل 56 جهازا للإرسال والاستقبال Transponders، وتزوده مصفوفة من الخلايا الشمسية بطاقة إجمالية مقدارها 10 كيلوات. وقد اتخذت وزارة الدفاع الأمريكية منظومةINTELSAT ، عنصراً مكملاً لمنظومة أقمار الاتصال العسكرية التي تمتلكها .

ب- الإنترسبوتنيك:

الإنترسبوتنيك مؤسسة دولية حكومية عضويتها مفتوحة لكل الدول، وقد وقعت اتفاقية تأسيسها في 15 تشرين الثاني 1971، وأصبحت سارية المفعول في 12 تموز 1972، وسجلت في الأمم المتحدة. وقد كُون نظام إنترسبوتنيك لتوفير وثائق ونظم تبادل برامج الإذاعة والتلفزيون، والمواصلات الهاتفية والبرقية والمعلومات الأخرى بين مختلف الدول. وقد صيغت الأسس القانونية والفنية لنظام إنترسبوتنيك في إطار التعاون بين الدول الاشتراكية (سابقاً) لاستخدام الفضاء الخارجي للأغراض السلمية. ويشمل النظام قمرين في المدار الثابت في الموقعين 14 درجة شرقاً (منطقة الأطلسي) ، و53 درجة شرقاً (منطقة المحيط الهندي) ، وتستخدم وحدتي معيد إرسال transponder في كل قمر للمواصلات والبرقية ولتبادل برامج الراديو والتلفزيون، ويعمل حالياً في هذا النظام 23 محطة أرضية.

7.2.5 الترددات المستخدمة فى الاقمار الصناعية

في الاشارات اللاسلكية يحدث ان الترددات اقل من قيمة معينة (بحدود 30 MHz) تتأثر بالغلاف الجوي بالانعكاس او الانكسار , ولهذا السبب تستعمل ترددات اعلى بكثير من هذا التردد وكما موضح في الجدول رقم (1) وهي الحزم الترددية التى خصصت للاستخدامات لاغراض الاتصالات عبر الاقمار الصناعية. يظهر فى الجدول التردد وطول الموجة لكل حزمة . والجدول رقم (2) يوضح ترددات الخط الصاعد وترددات الخط النازل لكل حزمة.

جدول رقم (1) الترددات المستخدمة فى اتصالات الفضاء

Band	Frequency
L	1-2 GHz
S	2-4 GHz
C	4-8 GHz
X	8-12 GHz
Ku	12-18 GHz
K	18-27 GHz
Ka	27-40 GHz

الجدول رقم (2)

Band	Down – Link Band (MHz)	Up – link Band (MHz)
UHF – Military	250-270 (Approx)	292-312 (Approx)
C Band- Commercial	3700-4200	5925-6425
X Band – Military	7250-7750	7900-8400
Ku Band - Commercial	11700-12200	14000-145000
Ka Band – Commercial	17700-212000	27500-30000
Ka Band - Military	20200-21200	43500-45500

فمثلا في الحزمة C فأن التردد الصاعد هو 6GHz والتردد النازل هو 4GHz .

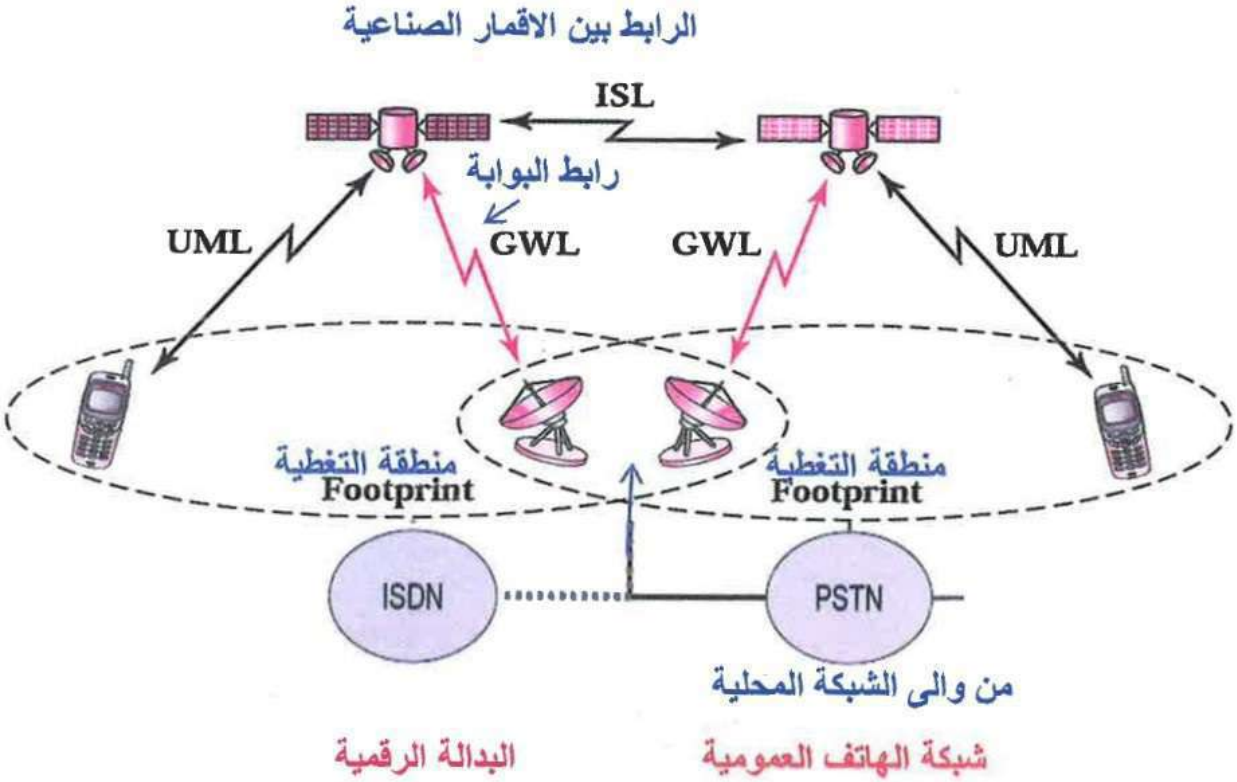
8.2.5 الاتصال الهاتفى عبر الاقمار الصناعية

ان قدرة الاقمار الصناعية على تغطية مناطق واسعة من الكرة الارضية وعدم تأثرها بالتضاريس الجغرافية جعلها الحل الامثل لتقديم خدمة الاتصالات خاصة فى المناطق النائية التى لاتتوفر فيها بنية تحتية للاتصالات بالاضافة الى خدمات الانترنيت . يتم التواصل بين الاقمار والمحطات الارضية لنقل المكالمات الهاتفية الى الشبكات الارضية , كما تتصل الاقمار فيما بينها لنقل المكالمات الهاتفية الى مناطق جغرافية اخرى كما موضح فى الشكل (5-11) . ومن الامثلة على هذه الانظمة نظام اريديوم والثريا , فمثلا يتكون نظام اريديوم من 66 قمرا صناعيا تغطى كامل مساحة الكرة الارضية حيث يتمكن المستخدم عن طريق هاتفه التحدث مع اي شخص فى اى مكان فى العالم . يستخدم حزمة الترددات (1.6 GHz- حزمةL) بين

الاجهزة المتنقلة والاقمار الصناعية وتستخدم حزمة الترددات (23GHz - حزمة k) بين الاقمار الصناعية بعضها مع البعض .

من الشكل نلاحظ ربط شبكة البدالة العمومية والمنظومة الرقمية ISDN مع المحطة الفضائية الارضية .

لقد نشأت شبكة ISDN نتيجة لمواكبة التطورات الحديثة على المعطيات وانماطها وهي شبكة تنقل الإشارات بين الأجهزة رقمياً وتوفر لنا سرعة وكفاءة عالية جداً حيث تستطيع نقل البيانات سواء كانت صوت أو صورة أو فيديو في نفس الوقت كما توفر مجموعة أخرى من الخدمات مثل الفاكس والهاتف وأجهزة الإنذار وتصفح الإنترنت. لقد بنيت تقنية هذه الشبكة على أن تستخدم نفس الخطوط النحاسية المستخدمة في الهاتف العادي لأنها الأكثر انتشاراً في العالم.



ISL - Inter Satellite Link
- GWL – Gateway Link
- UML – User Mobile Link

الشكل (5-11) الاتصال الهاتفي بين الاقمار

3.5 شبكات الهاتف المحمول (النقال) Cellular phone Networks

1.3.5 تاريخ الاتصالات المتنقلة

الهاتف المحمول يسمى كذلك الهاتف النقال أو الهاتف الخلوي أو الهاتف الجوال هو أحد تطبيقات الشبكات اللاسلكية التي تتم عن طريق الاتصال بواسطة شبكة من الأبراج الموزعة بطريقة معينة لضمان تغطية شاملة ضمن مساحة جغرافية معينة.

قبل اختراع الجوالات كان الاشخاص الذين احتاجو الى الاتصال اللاسلكي باجهزة متنقلة نتيجة لطبيعة عملهم كسائقى السيارات مثلا استخدموا تلفونات الراديو . في هذه الانظمة من التلفونات لم يكن يوجد سوى محطة ارسال واحدة مركزية فى المدينة (هوائي ارسال واحد) و25 قناة اتصال متاحة للاستخدام , مما توجب ان تحتوى تلك الاجهزة على جهاز ارسال قوى ليغطى مسافة (70– 100) كيلومتر . وهذا يعنى ان عدد محدود من الاشخاص بحدود 25 شخص يمكنهم استخدام تلفونات الراديو , حيث ان عدد القنوات المتوفر للاستخدام غير كافية .

في عام 1946 تم إعداد أول هاتف نقال في الولايات المتحدة الأمريكية. استخدم هذا النظام مرسل راديوي وحيد وضع على قمة بناء عالي, وتم استخدام قناة وحيدة لذا كان لابد من وجود زر يتم الضغط عليه عندما يود الشخص التحدث ويقوم بتحرير الزر لينصت. لا يزال هذا النظام , وهو من نوع النصف مزدوج (Half Duplex) , ولازال مستخدماً في أيامنا هذه من قبل الشرطة وسيارات الأجرة ويطلق على هذا النظام اسم جهاز راديو موجة المدينة[City Band (CB) –Radio]الشكل (5-12) يوضح الجهاز مع المايكرفون.

الشكل (5-12) جهاز اتصال لاسلكي (CB-Radio)

ومن استخدامات الجهاز اعلاه الاتصال بين سائقي شاحنتين يستخدما نظام راديو يعمل على تردد واحد (half - duplex) حيث يتحدث أحدهما والأخر يستمع، كما موضح في الشكل (5-13) .

الشكل (5-13) الاتصال بين شاحنيتين

ويوجد جهاز أخر معروف وهو جهاز Walkie -Talkie وهو جهاز يعمل بنظام راديو ارسال واستقبال كما موضح في الشكل (5-14) .

الشكل (5-14) جهازي ارسال وأستقبال

في الستينات تم تحسين هذا النظام حيث تم تزويده بقناتي اتصال وأطلق على هذا النظام اسم منظومة الشبكة الهاتفية المحسنة Improved Mobile Telephone System (IMTS) . لم يتمكن هذا النظام من دعم الكثير من المستخدمين نظراً لمحدودية مجال الترددات المستخدم آنذاك. تم حل هذه المشكلة فيما بعد باستخدام مفهوم الخلايا Cells (تم اقتراح مفهوم الخلايا في مختبرات Bell عام 1974) الأمر الذي مكن من إعادة استخدام الترددات Frequency Reuse مما مكن النظام من دعم عدد أكبر من المستخدمين وأطلق على تلك الشبكة اسم الشبكة الراديوية الخليوية.

وفي عام ١٩٧٨ تم اطلاق أول نسخة تجريبية للجيل الأول من نظام الهاتف الجوال الذي كان يدعى بالهاتف الجوال المتطور،انتشرت هذه التقنية في عدد من الدول ولم تنتشر في البقية نظرا لارتفاع تكلفتها.

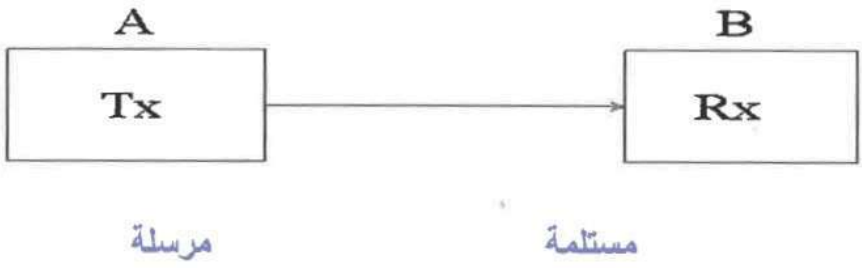
وفي عام ١٩٩٠ م اطلق الجيل الثاني من نظام الهواتف الجوالة والمعروفة بأسم GSM الذي انتشر وطبق في أغلب دول العالم . وتتابعت التطويرات بعدها .

2.3.5 تصنيف نظم الارسالات الراديوية المتنقلة

يمكن تصنيف نظام الارسال الراديوية المتنقلة كما يلي:

أ- نظم ارسال بسيط (simplex):

وفيها يتم الاتصال في اتجاه واحد باستخدامها قناة واحدة , ونظم البيجر خير مثال على ذلك حيث تستطيع انّ تستقبل الرسائل ولكن لن تستطيع الرد كما موضح في الشكل (5-15).



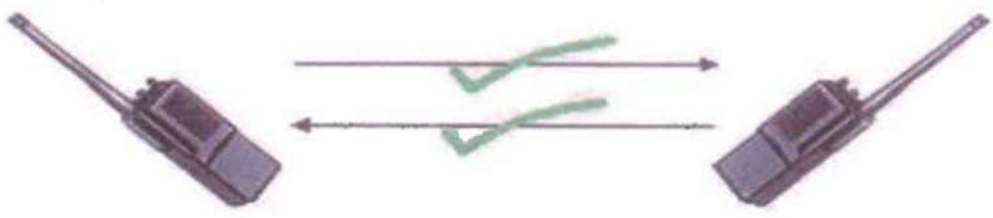
الشكل (5-15) نظام ارسال بسيط

ب- نظم ارسال نصف مزدوجة (half-duplex) :

وفيها يتم الاتصال في اتجاهين وحيث ان هذه الانظمة تستخدم قناة راديوية واحدة للارسال والاستقبال يعني في اي وقت يمكن للمشترك اما ان يرسل اوان يستقبل المعلومات ومثال ذالك اجهزة الشرطة.

ج- نظم ارسال مزدوجة (full-duplex) :

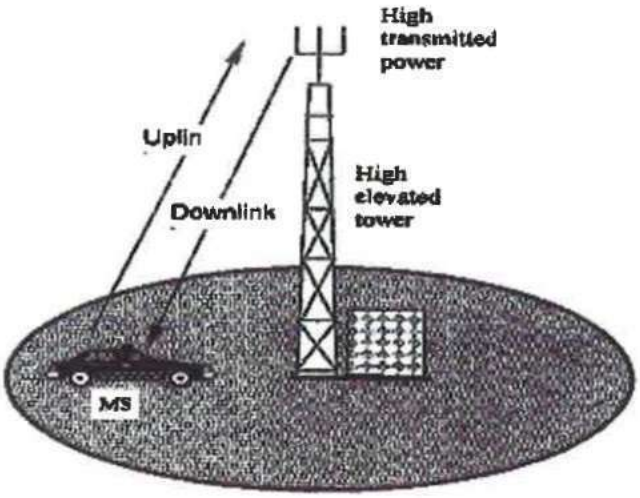
وفيها يتم الاتصال المتزامن بين المشترك والقاعدة الثابتة حيث يتم الارسال والاستقبال في نفس الوقت بأستخدام قناتين منفصلتين ولكن بينهم تزامن من والى المشترك ومثال على ذلك نظام الاتصالات المحمول ، كما موضح في الشكل (5-16).



الشكل (5-16) نظام ارسال مزدوج

3.3.5 الانظمة الاسلكية التقليدية (وحيدة الخلية)

ظهرت الانظمة اللاسلكية التقليدية بعد الحرب العالمية الثانية , وكان الهدف الاساسي لهذه الانظمة تأمين الاتصال للمركبات والاليات المتنقلة وربطها بشبكة الهاتف العمومية pstn ولاعتمادها على النظام التماثلي كانت نوعية الارسال ضعيفة , واقتصر استخدامها فى البداية على المؤسسات العسكرية والشرطة وانظمة الملاحة الجوية والبحرية , ثم انتقل الى الاستخدام الخاص وسيارات الاجرة . انظر الشكل (5-17).



الشكل (5-17)

4.3.5 فكرة عمل الهاتف الخلوي (الجوال)

فـي نظام تلفون الجوال فإن المدينة تقسم إلـى خلايـا صـغيرة cells وفـي كل خلية يوجد محطة ارسـال (هوائي ارسال) وبهذه الطريقة يمكن اعادة استخدام نفس التردد على كل المدينة وبالتالي فإن الملايين من الأفراد يمكنهم استخدام الجوال في نفس الوقت. لفهم دقيقة لفكرة عمل الجوال سوف نقوم بمقارنة الجوال مع بعض الأجهزة اللاسلكية مثل جهاز CB- radio وجهاز walkie-talkie المذكورين اعلاه .

أ- كلاً من جهازي CB radios وWalkie-Talkie يعتبران أجهزة ذات half-duplex، حيث أن في أجهزة CB Radio يتم الاتصال بين شخصين باستخدام نفس التردد، لذا فإن شخص واحد فقط يستطيع التحدث والأخر يستمع. أما الجوال فيعمل بنظام full-duplex وهذا يعني أن هناك تردد مخصص للحديث وتردد اخر مختلف للاستماع مما يعني أن كلاً الشخصين يمكنهما التحدث في نفس الوقت.

ب- يوجد في أجهزة walkie-talkie قناة واحدة للاتصال بينما في أجهزة CB radio يوجد 40 قناة للاتصال. ولكن في أجهزة الجوال يتعامل مع أكثر من 1664 قناة .

ت- يمكن لاجهزة Walie-Talkie ان تغطى مدى يصل الى 2 كيلومتر باستخدام قدرة 0.25 واط واجهزة CB-Radio تعمل على قدرة اكبر تصل الى 5 واط فان مداها يصل الى 8 كيلومتر . اجهزة الجوال تعمل ضمن الخلايا التى قسمت لها المدينة ويمكن أن تتحرك من خلية الى اخرى كلما تحركت من مكان الى اخر اثناء الاستخدام . وهذا يعني ان المدى الذي يعمل به فيه جهاز الجوال كبير جدا ويمكنك التحدث مع اي شخص وانت مسافر مئات الكيلومترات دون ان ينقطع الاتصال .

5.3.5 المفاهيم الاساسية للهاتف الخلوي Basic Cellular Concepts

أ- المبادىء الاساسية للنظام الخلوي يمكن تلخيصها كما يلي:

- التخصيص الطيفي الثابت يحدد عدد القنوات المشاركة التي يمكن ان تستعمل .
- اعادة استخدام القنوات في كافة انحاء منطقة الخدمة لدعم طلب الخدمة وزيادة عدد المشتركين.
- اضمحلال الاشارة مع المسافة يسمح باعادة استعمال القناة .

ب- الخلية Cell:

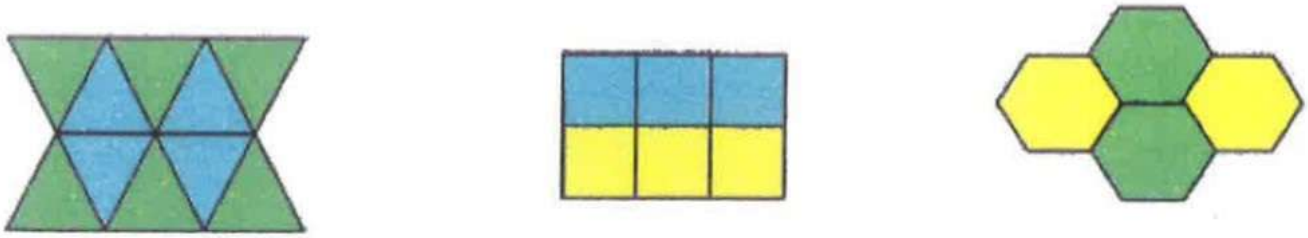
- هي الوحدة الاساسية للنظام الخلوي .
- هي المساحة التي تغطى راديويا بواسطة الهوائي لمحطة قاعدية واحدة .
- كل خلية مخصص لها رقم محدد ولها هوية خلية عالمية .
- الشكل الهندسي للخلية .

ت- الشكل الهندسى للخلية :

يتم اختيار الشكل الهندسى للخلية لاغراض شبكة الهاتف الخلوي لمعالجة مشاكل مناطق التداخل او المناطق الميتة , ويمكن استخدام الاشكال الموضحة بالشكل (5-18).

- المثلث متساوي الاضلاع .
- المربع .
- السداسي المنتظم .

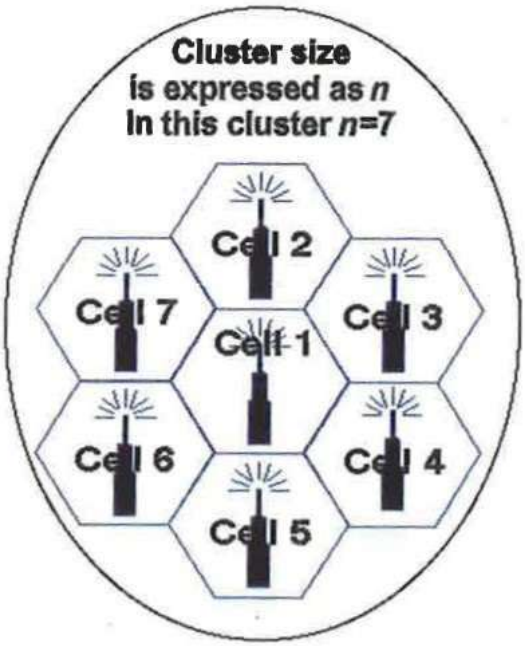
تم تبنى النظام السداسي لاسباب اقتصادية وعملية حيث يمثل التغطية الكهرومغناطيسية من اي مرسل ومن اي خلية اخرى .



الشكل (5-18) يوضح ثلاثة مضلعات منتظمة

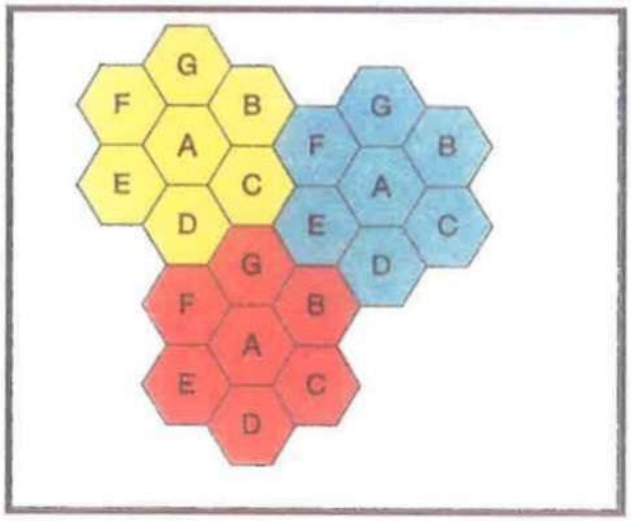
6.3.5 العنقود في الاتصالات الخلوية Cluster

وهوعبارة عن مجموعة من الخلايا المتلاصقة مع بعضها البعض تتوزع فيها قنوات الاتصال ويتم اعادة استخدام التردد فى العناقيد الاخرى ، كما موضح في الشكل (5-19) .



الشكل (5-19) العنقود

يمكن اعادة استعمال القنوات الراديوية شرط ان يكون الفاصل بين الخلايا التى تحتوى نفس مجموعة القناة كافية جدا لكى يبقى التداخل على نفس الخلية تحت مستويات القبول اغلب الوقت. الشكل (5-20) يوضح ثلاث تجمعات (عناقيد) خلايا كل تجمع يتكون من 7 خلايا ويوجد 7 مجموعات قناة من A الى G .



الشكل (5-20) اعادة استعمال القناة

7.3.5 زيادة سعة المنظومة الخلوية

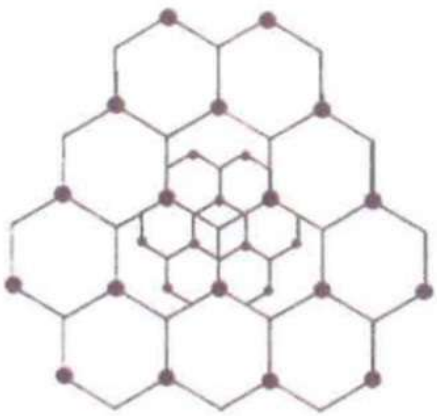
من الاستراتيجيات المتبعة لزيادة سعة النظام هي :

أ- اضافة قنوات جديدة .

ب- يمكن اضافة قنوات جديدة لخلية ما ذات كثافة عالية وذلك بتخصيص حزم ترددية اضافية لخدمة المشترك.

ت- استعارة ترددات او قنوات من خلية متجاورة .

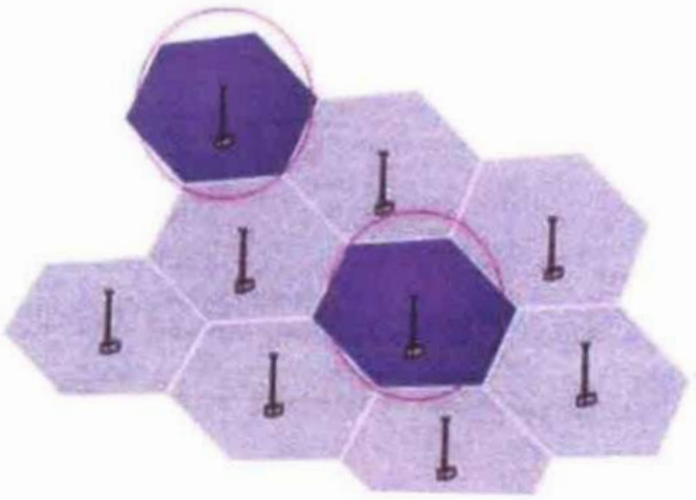
ث- قطاعات الخلية Cell Sectoring: يمكن تقسيم او تجزئة الخلية التى تتواجد فيها كثافة عالية الى خلايا اصغر (قطاعات Sectors), فالخلايا الجديدة يمكن بدورها ان تقسم وهكذا, حيث يتم الارسال في كل قطاع باستخدام هوائيات قطاعية موجهة ويكون لكل قطاع قنواته وتردداته الخاصة . فالخلية مثلا ذات قطر 13 كيلومتر تقسم لخلايا اصغر ذات قطر 1.5 كيلومتر،كما موضح بالشكل (5-21).



الشكل (5-21) قطاعات الخلية

8.3.5 مبدأ عمل الشبكة الخلوية

يقوم الهاتف الخلوي على فكرة عبقرية تستند على تقسيم المدينة إلى مناطق صغيرة (خلايا) مساحة كل منها قرابة 26 كيلومتر مربع بشكل خلايا سداسية وهذا يؤدي إلى إمكانية استخدام التردد مراراً ضمن نفس المدينة عندما تكون سعة الاشارة المرسلة لكل من الاجهزة الموجودة في الخلية وجهاز الهاتف النقال منخفضة وبالتالي يمكن اعادة استخدام نفس التردد في الخلايا الغير متجاورة . فمثلاً في الشكل (5-22) فأن الخلايا الغامقة يمكنها استخدام نفس التردد .



الشكل (5-22) مبدأ عمل الشبكة الخلوية

في نظام الهاتف الخلوي التماثلى فقد تم تخصيص قرابة الـ 832 تردد ضمن المدينة والمتكونة من سبعة خلايا سداسية وكل خلية تتضمن محطة قاعدة تتكون من برج هوائي وبناء صغير يضم معدات ارسال واستلام الخلية الواحدة من الخلايا السبعة في النظام التماثلي تستخدم نظام ارسال مزدوج full duplex وتستخدم واحدة من سبعة القنوات المتوفرة وبالتالي تملك تردداً منفرداً غير متكرر بحيث لا يحدث تداخل بين الترددات ويمكن له أن يملك اشارة حاملة ترددية يأخذ تردد ما من أصل 832 تردد متوفر يستخدم ضمن المدينة . يخصص الهاتف الخلوي ترددين للعمل ضمن المكالمة الواحدة ويتم توزيع الترددات بالشكل الآتي:

42 تردد لاشارات التحكم فى كل خلية تملك 56 قناة صوتية متوفرة بحيث يمكن لـ 56 شخص أن يتحدثوا ضمن الخلية بآن واحد في وسائل الإرسال الرقمي يتزايد عدد الأقنية الهاتفية فمثلاً في الأنظمة الرقمية يمكنها أن تستوعب سعة مضاعفة ثلاث مرات عما هو في الأنظمة التماثلية وبالتالي تملك كلي خلية 168 قناة متوفرة .

9.3.5 أجيال الهاتف الجوال

يمكن تصنيف تطور الاتصالات الراديوية الخليوية في عدة أجيال من التطور كما يلي:

أ- الجيل الأول من الاتصالات الخليوية (G1):

اعتمد الجيل الأول من الاتصالات الخلوية اللاسلكية على إشارات تماثلية حيث انتشرت ألانظمة التماثلية في أمريكا الشمالية وعُرفت بأنظمة الهواتف المحمولة التماثلية Analog Mobile Phone Systems (AMPS) في حين أن الأنظمة التي انتشرت في أوربا وبقية أنحاء العالم عرفت بأنظمة الاتصالات ذات النفاذ الشامل Total Access Communication Systems (TACS) وقد اعتمدت الأنظمة التماثلية على تقنية تعددية الارسال بالتقسيم الترددي بصورة أساسية وصممت من أجل الصوت وليس لارسال المعلومات.

ب- الجيل الثاني من الاتصالات الخليوية (G2):

يصنف الجيل الثاني من الاتصالات الخليوية ضمن الأنظمة الرقمية المدعومة من قبل معاهدات التجوال الدولي والتي تسمح بإمكانية تشغيل الهاتف النقال خارج الحدود الدولية لأي بلد. تتمتع شبكات الجيل الثاني بقدرة استيعابية أكبر بكثير من القدرة الاستيعابية لشبكات الجيل الأول والتي تم تحقيقها عن طريق تقسيم قناة الاتصال بين عدة مستخدمين وادخال تحسينات أخرى على النظام (مثل استخدام البنية الهرمية للخلايا).

هناك أربعة معايير أساسية مستخدمة في الجيل الثاني G2 هي:

1- الهاتف الخلوي الرقمي الشخصي Personal Digital Cellular (PDC)، استخدم هذا النظام فقط في اليابان وعُرف باسم النظام الخليوي الرقمي الياباني Japanese Digital Cellular System .

2- تعددية الوصول بالتقسيم الزمني Time Division Multiple Access ، استخدم بشكل أساسي في الولايات المتحدة الأمريكية.

3- النظام العالمي للاتصالات المتنقلة ، Global System for Mobile Çommunication (GSM).

ت- الجيل الثالث من شبكات الاتصال الخليوية G3:

يمثل آخر صيحة في هذا المجال حيث تصل سرعة الاتصال فيه إلى حوالي 2.5 ميغابيت في الثانية. فالجيل الأول من أنظمة االاتصال قدم خدمة اتصال صوتي بسيطة عبر إشارة تماثلية غير رقمية ، في حين أن الجيل الثاني الحالي وبفضل اعتماده نظاماً رقمياً للإشارة تمكن من إضافة بعض الخدمات المعلوماتية إلى الخدمة الصوتية كخدمات الفاكس والبريد الإلكتروني والرسائل القصيرة والواب WAP

وغيرها.أما الجيل الأحدث G3 و بفضل السرعة العالية جداً التي يمكن له أن يقدمها فقد فتح الطريق لتقديم خدمات كانت غير ممكنة مع الأجيال السابقة كخدمات الفيديو و الوسائط المتعددة ذات الدقة العالية فضلاً عن تحويل المكتب أو مكان العمل المتنقل إلى حقيقة واقعة من خلال إمكانية القيام بالمعاملات البنكية و متابعة تطورات البورصة و الأسواق المالية عبر جهازك النقال أينما و حيثما كنت فضلاً عن إمكانية تصفح الإنترنت بسرعة تصل إلى ضعف ما يمكن لشبكات الإنترنت السريعة الحالية أن تقدمه , كما أن إمكانية مشاهدة صورة من تتحدث معه عبر الهاتف النقال قد أصبحت حقيقةً واقعة مع هذا الجيل من الأجهزة و الشبكات من خلال ميزة الـ video conferencing التي أصبحت ممكنة مع السرعة العالية لهذا الجيل من الاتصالات. يعتمد الجيل الثالث على ما يعرف بنظام UMTS أو Universal Mobile Telecommunications System وهو ما يمكن أن ندعوه بالعربية النظام العالمي للاتصالات الخلوية . هذا النظام يمنح G3 العديد من المزايا التي تجعل اعتماده كنظام دولي موحد للاتصالات أمراً لا مفر منه مع الزمن , حيث أنه يشمل الكرة الأرضية بأسرها معتمداً على محطات اتصال أرضية وفضائية عاملة بالأقمار الصناعية بصرف النظر عن المكان الذي يتم الاتصال منه.

ث - تقنية الجيل الرابع 4G LTE :

هي تقنية جديدة وجاءت اختصاراً ب (LTE) لـ Long Term Evolution وتعد معياراً جديداً لشبكات الجيل الرابع 4G في الاتصالات اللاسلكية للحزمة العريضة .وهي تقنية صممت لجعل عملية الوصول إلى الإنترنت أكثر سهولة وهي تستخدم أرقام الأي بي (IP) كأساس لعناوين الأجهزة المتصلة بالشبكة، يمكن أن توفر شبكة 4G LTE سرعات تصل حتى 100 ميجابت في الثانية وحتى في ساعات الذروة تكون سرعة نقل البيانات أعلى من سرعة شبكة 3G الحالية ولكن هذه السرعات عرضة للتغيير اعتماداً على العديد من العوامل مثل الموقع وحركة البيانات عبر الانترنت والشبكة والجهاز ومصدر تنزيل البيانات وتحميلها.

يمكن أن توفر تقنية LTE الميزات التالية :

1- الاتصال الفوري وبدون انتظار.

2- خدمات بث الفيديو وبدون تخزين مؤقت للبيانات.

3- تجربة أفضل لممارسة الألعاب الإلكترونية عبر الانترنت.

4- سرعات خارقة لتنزيل البيانات وتحميلها .

10.3.5 خدمات الاتصال الشخصية
Personal Communication Services

عبارة عن خدمة هاتف لاسلكي مشابهة لخدمة الهاتف النقال و لكن مع التأكيد على الخدمات الشخصية وزيادة امكانيات التنقل. وتستخدم هذه الخدمة عادة للدلالة على أن الهاتف النقال رقمي . ولكن المعنى

الأصح هو أن الهاتف يوفر خدمات مثل مستعرض صفحات الويب و خدمة البريد الالكتروني وكاشف هوية المتصل . تستخدم في هذه الخدمات عدد كبير من الهوائيات لتغطية منطقة جغرافية معينة . وهذه الهواتف تستخدم المجال الترددي 1.85- 1.99 جيغا .

11.3.5 مكونات منظومة الهاتف الخلوي

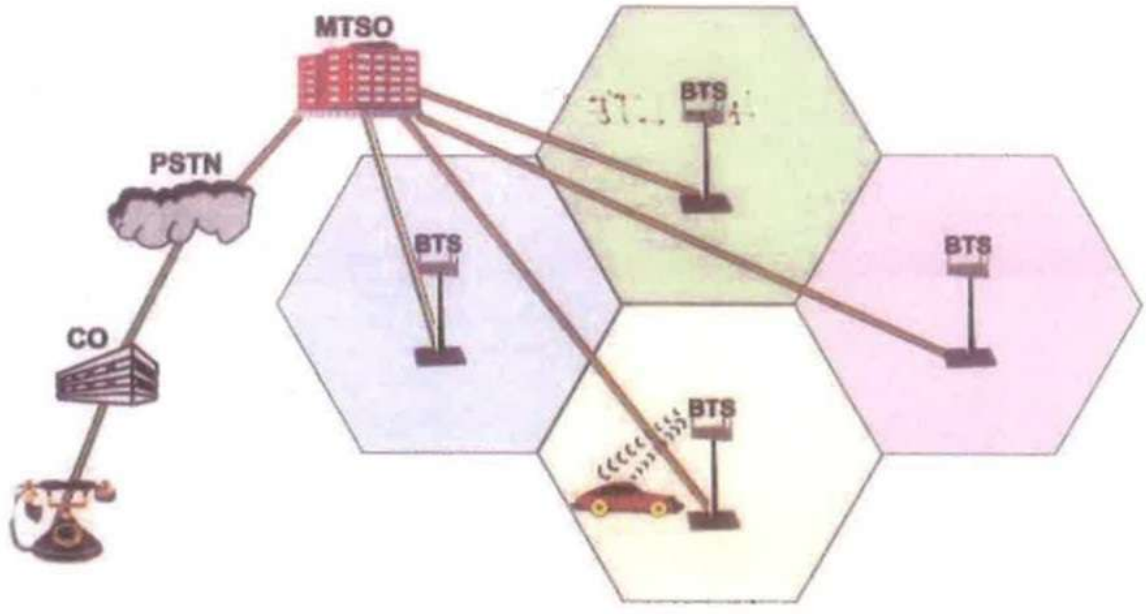
يتكون نظام الهاتف الخلوي من ثلاثة مكونات رئيسية هي:

أ- المحطة المتنقلة Mobile Station :

هي عبارة عن جهاز الجوال وشريحة الاتصال SIM Card ، ومن خلالها يستطيع أي مشترك أن يستخدم شبكة الجوال لإجراء مكالماته .تقوم هذه المحطة بتسجيل نفسها في المحطة الأرضية لكل خلية تنتقل لها وعندما تتم عملية التسجيل تظهر علامة شركة الاتصال في شاشة الهاتف ، وعندما ينتقل المستخدم إلى خلية أخرى يلغي تسجيله من الخلية السابقة ويسجل في الخلية الجديدة وهكذا.

ب- محطة الأرسال الأرضي Base Station (BTS):

تتكون هذه المحطة من عدد من أجهزة الاستقبال والارسال و أجهزة مخصصة للتحكم. ترتبط جميع الخلايا ببعض عن طريق مكتب التحويلات اللاسلكية MTSO بواسطة خطوط أرضية ، وهذا المكتب هو المسؤول عن تنقل المستخدمين بين الخلايا و كذلك يربط الشبكة المحمولة بالشبكة الأرضية الهاتف الثابت (PSTN). كما موضح في الشكل (5-23) وأيضا يقوم بإصدار فواتير الاتصالات والرسوم لمستخدمي الشبكة MTSO في الغالب شركة الاتصال المحلية.



الشكل (5-23) نموذج لمحطة الارسال الارضي

ت- مكتب التحويلات Mobile Telephone Switching Office (MTSO):

مكتب التحويلات او مركز التحكم الرئيسي يربط بين مراكز الخلايا للنظام الخلوي بأكمله ويعمل على تنظيم الاتصال بين الخلايا بحيث يمكن لاي مشترك داخل النظام الخلوي الاتصال بمشترك اخر داخل نفس النظام وكذلك يقوم المركز بربط النظام من المتحكم الرئيسي Control Office الخاص بالهواتف المتنقله مما يؤدي الى ان يصبح النظام الخلوي مترابط مع شبكة الهواتف الاخرى داخل الدوله وبالتالي بشبكة الهواتف العالميه.

ان مكتب التحويلات عبارة عن كمبيوتر يتحكم في كل نظام الجوال ويتعقبه ويقيس قوة الاشارة التي تصل للجوال ويعطي الأمر للانتقال الى خلية اخرى عندما تضعف الإشارة، كما ويربط كل محطات التقوية الموجودة في كل الخلايا التابعة للمحطة المركزية ومن مهامه ايضا حساب قيمة الفاتورة للمكالمات ، الشكل (5-24) يوضح فكرة عمل مكتب التحويلات.

الشكل (5-24) فكرة عمل مكتب التحويلات

12.3.5 كيف تتم عملية الاتصال بالهاتف الخلوي

أ- يقوم المستخدم بإدخال رقم الهاتف الذي يرغب بالاتصال به في هاتفه ثم يضغط على زر ارسال (الزر الأخضر في أغلب الجوالات).

ب- ترسل المعلومات إلى مكتب الاتصالات الجوالة MTSO و الذي بدوره يقوم بالتحقق من وضع المشترك وهل له أحقية ورصيد كافي للاتصال.

ت- يقوم MTSO بإرسال رسالة استعلام عن الرقم المراد الاتصال به إلى كل محطات الجوال الأرضية وحال تلقي رد من المحطة المسجل بها الرقم المراد الاتصال به ، يقوم MTSO بإرسال نغمة اتصال للرقم المطلوب.

ث- في حال قبول الاتصال ، يقوم MTSO بتخصيص قناة اتصال للطرفين وكذلك يبدأ بعمليات الفوترة اللازمة.

ج- في حال اغلاق الاتصال، ينهي MTSO اجراءات الفوترة ، ويقوم بتحريرحجزقناة الاتصال المخصصة مسبقا.

13.3.5 شيفرات الهاتف المحمول Cellular Codes

التلفون المحمول يمتلك شيفرات خاصة مرتبطة به ويعمل من خلالها. تستخدم هذه الشيفرات والمذكورة ادناه لتعريف جهاز الجوال، ومالكه، ومزود الخدمة او الشركة التابع لها .

شيفرات الجوال Mobile Codes

الرقم التسلسلي الإلكتروني Electronic Serial Number والمعروف بـ ESN وهو عبارة عن رقم من 32-bit مبرمج في جوالك مسبقاً عند تصنيعه.

رقم تعريف الجوال Mobile Identification Number والمعروف بـ MIN وهو عبارة عن رقم من 10 خانات يشتق من رقم جوالك.

نظام تعريف الشيفرات System Identification Code والمعروف بـ SID وهو عبارة عن رقم من 5 خانات مخصص لكل محطة ارسال من قبل مؤسسة الاتصالات الدولية FCC Federal Communications Commission.

بينما يعتبر ESN جزء رئيسي ودائم في جوالك إلا أن كلا من شيفرة MIN و SID تبرمجان في جوالك عند الشراء والاشتراك في خدمة الجوال.

دعنا نفترض عزيزي الطالب أنك تمتلك جهاز جوال وقمت بتشغيله ثم حاول صديق لك الاتصال بك فماذا يحدث حتى يتم الاتصال بك؟

تبدأ الخطوة الأولى بتشغيل الجوال واثناء التشغيل التي تستغرق من 25-40 ثانية لكي يكون الجوال جاهزاً للاستخدام فإنه خلال مرحلة التشغيل يستقبل اشارة تسمى بشيفرة نظام التعريف SID وهي اختصار لـ (System Identification Code). وهنا يتم التعرف بين جهاز الجوال ومحطة الارسال، وذلك باستخدام قناة تحكم (وهي عبارة عن تردد محدد ليتمكن الجوال من التقاط اشارة الخدمة من محطة الارسال في الخلية القريبة منه تذكر من ما ورد اعلاه أن المدينة تقسم إلى خلايا سداسية الشكل وفي كل خلية محطة ارسال وتحديد محطة الارسال التي في منطقة تواجده. واذا لم يجد الجوال قناة التحكم هذه يعطيك اشارة انه خارج منطقة الخدمة .

ثم تبدأ الخطوة الثانية بعد استقبال اشارةSID ، يقوم الجوال بمقارنة شيفرة نظام التعريف الخاصة التي استقبلها ومقارنتها بتلك المخزونة بالجهاز. فإذا ما تمت المقارنة وتبين أنها نفس الشيفرة المتعارف عليها بين الجوال والمحطة فإن الجوال يتعرف على الخلية التي سيتعامل معها.

يقوم الجوال في الخطوة الثالثة بارسال طلب تسجيل إلى مكتب التحويلات Mobile Telephone Switching Office (MTSO) التي تمكن محطة الارسال من تعقب مكان تواجد الجوال وتخزن بيانات الموقع في قاعدة بيانات لاستخدامها في اللحظة التي يأتيك فيها اتصال وذلك لانها تراقب دوما مكان الجوال والخلية التي تغطي الخدمة لتلك المنطقة المتواجد فيها الجوال.

14.3.5 التجوال ROAMING

في حال استقبال معلومات SID (شفرة تعريف جهاز الخلوي) المحمولة على قناة التحكم لم تتطابق مع المعلومات المخزونة ضمن هاتفك فإن ذلك يعني أنك تتجول ضمن منطقة خارجة عن مجال عمل الشبكة التي أنت مشترك ضمنها و تابعة لشبكة أخرى .

وهنا يقوم مركز الـ MTSO للخلية التي أنت واقع ضمن تأثيرها بالاتصال مع مركز الـ MTSO للشبكة التي أنت مسجل معها و إعلامها بذلك و هكذا يمكن بحال السماح لك بذلك (الخدمة متوفرة) أن تقوم الشبكة الثانية بتخديمك دون مشكلة. والمميز في الأمر أن كل ذلك يتم خلال ثوان معدودة.

15.3.5 تقنيات الوصول المتعدد للهاتف النقال Multiple Accesses Techniques

تعتبر من أهم المفاهيم لأي نظام نقال. وتعني مشاركة المستخدمين في آن واحد أو عدد كبير من المشتركين يتشاركون في مساحة مشتركة من قناة راديو بدون حدوث تداخل.

إن الهدف من تقنيات تعدد الوصولية هو تركيب الإشارات الصادرة من مصادر مختلفة على وسط بحيث يمكن فصل هذه الإشارات بدون تداخل عند النهاية.

يسمح نظام الاتصال الهواتف النقالة باستعمال النظام الذي يسمح للمشتركين ب اقامة اتصال وارسالها في نفس اللحظة ,يوجد ثلاثة طرق لعمل هذا:

التقسيم الترددي - متعدد الوصول FDMA

التقسيم الزمني - متعدد الوصول TDMA

التقسيم الترميزي - متعدد الوصول CDMA

والمصطلح الإنجليزي لكل تقنية من التقنيات الثلاث يشرح نفسه فهذه التسمية العلمية اشتقت من فكرة عملها. فمثلا لو اخذنا الكلمة الاولى من كل تقنية وهي Frequency و Time و Code فنجد انها تشير إلى التقنية المستخدمة لطريقة الدخول إلى الشبكة في تناقل المعلومات، فالاولى يعتمد على التردد والثانية تعتمد على الزمن والثالثة تعتمد على الشيفرة. أما الكلمة الثانية division فهي تشير إلى أن طريقة فصل

المكالمات يعتمد على طريقة الدخول الى الشبكة، ونستنتج من ذلك اننا من خلال فهمنا للمصطلح الانجليزي يمكننا أن نوصف كل تقنية على النحو التالي:

أ- تقنية الوصول المتعدد بتقسيم التردد FDMA :

FDMA اختصار لعبارة Frequency Division Multiple Access تستخدم في شبكات الأمن العامة والشبكات اللاسلكية التجارية لاستغلال الطيف الترددي بالشكل الأمثل حيث يتم تقسيم الحزمة الترددية إلى قنوات ذات ترددات صغيرة, كل قناة تمنح لمشترك واحد وبين هذه القنوات الترددية يوجد ما يسمى بحزمة أمان "Guard band" لمنع تقليل التداخل بين القنوات المتجاورة . وهذايتطلب وجود مر شحات عالية الجودة والدقة في النظام لتحقيق هذا العزل. إن حجم الحيز الترددي يتعلق بنوع الإشارة التي سترسل على هذا الحيز و عند استخدام المحطة اللاسلكية لحيز ما لا يمكن لمحطة ثانية في نفس المنطقة استخدام نفس الحيز.

ب- تقنية الوصول المتعدد بتقسيم الزمن TDMA:

TDMAاختصار لعبارة Time Division Multiple Access وتستخدم هذه التقنية في الأنظمة الرقمية وفي شبكات الهواتف النقالة، حيث تقسم القناة إلى حيزات زمنية، فعند تسجيل المشترك في المحطة اللاسلكية فإن المحطة تعطي المشترك قناتين واحدة للإرسال والأخرى للإستقبال وعندها يأخذ المشترك حيز زمني واحد حسب ما هو متوفر في القناة فالطرفية لا ترسل كل الوقت، وإنما ترسل وتستقبل في حيز زمني محدد من القناة ضمن ما يسمى بالرشقات وهذه الرشقات يعاد تجميعها في المستقبل فنحصل على صوت متواصل لان هذه العملية سريعة.

ت- تقنية الوصول المتعدد بتقسيم الترميز CDMA :

CDMA اختصار لعبارة Code Division Multiple Access وهي إحدى أنواع تقنيات الطيف المنتشر وتستخدم لزيادة كفاءة الطيف الترددي باستخدام أنظمة TDMA و FDMA وتعتمد على دخول كافة المشتركين بنفس الوقت وبتردد مشترك ولكن لكل مشترك ترميز خاص به، وهذا الترميز يكون مشترك بين الطرفيه والمحطة اللاسلكية. تعمل هذه التقنية على حزمتين من الطيف الترددي :

- عريضة المجال: WCDMA تعمل بعرض مجال 5 . MHz .
- ضيقة المجال: وتعمل بعرض مجال 1.25 . MHz .

إن أهم استخدامات هذه التقنية هي في الجيل الثالث للهواتف النقالة UMTS وكذلك في التطبيقات العسكرية حيث تمتاز هذه التقنية بأنها ذات ممانعة عالية للتعرض للتشويش والتداخل. إلا أنها تتطلب دقة كبيرة جداً في ضبط استطاعة أجهزة المشتركين حسب بعدها عن المحطة اللاسلكية.

16.3.5 النظام الشامل الاتصالات المتنقلة GSM

كلمة GSM أختصار لـ Global System for Mobile Communication وإذا اردنا ان نترجمها حرفيا الى العربي فهي تعني النظام العالمي للأتصال المتحرك (الجوال) وهي الشبكة الحالية المتوافقة المواصفات في جميع بلدان العالم . ويعرف ايضا بالنظام الموحد للاتصالات المتنقلة وهو الجيل الثاني من نظم الاتصالات الرقمية الخليوية الذي بدأ التخطيط له سنة 1982 وذلك مع تطور التقنية الرقمية والطلب المتزايد عليها. ويمتاز هذا الجيل بسعة أو قدرة للنظام أعلى بعدة مرات من النظام التماثلي كما أنه يقدم ميزات خدماتية أكثر وبنوعية عالية الجودة وتكلفة منخفضة. وقد بدأت أوروبا العمل بهذا النظام سنة 1991 بعرض ترددي جديد وهو 900 MHz لخدمة الهاتف الخليوي.

أ- مواصفات الـ GSM:

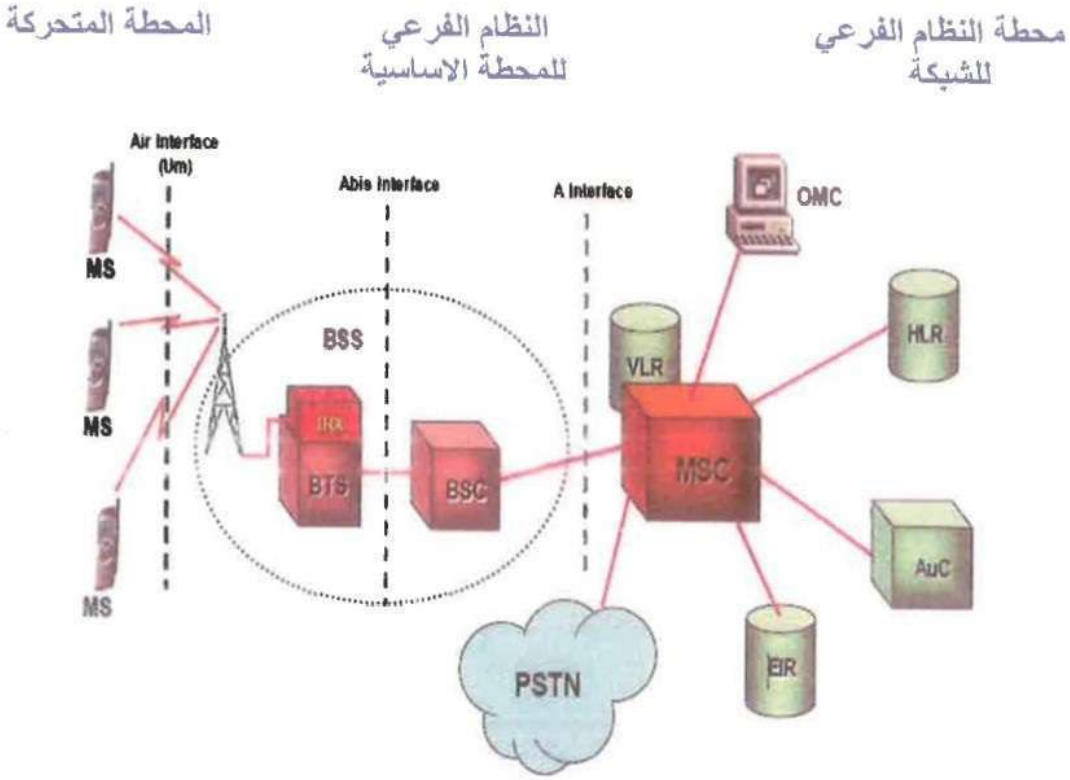
- حزمة الارسال من محطة الارسال الثابتة (هوائي الإرسال): 935 MHz - 960 MHz .
- حزمة الارسال من محطة الارسال المتنقلة (الهاتف): 890 MHz - 915 MHz .
- أقصى قدرة إرسال : 3-20 وات .
- عدد القنوات من النوع المزدوج (125 قناة) .
- عرض الحزمة الترددية للقناة: 200 kHz .

طريقة النقل: تعدد الوصول بتقسيمات الزمن .

عدد المشتركين في الاطار الواحد : ثمانية لكل اطار frame/8 .

ب- أجزاء شبكة GSM:

لكي تفهم كيفية عمل شبكة الـ GSM من الضروري عليك ان تعرف مكونات الشبكة , والتي تتكون من عدة أجزاءتعمل مع بعضها , الشكل (5-25) يوضح هيكلية نظام GSM.



الشكل (5-25) هيكلية نظام GSM

وفيما يلي مكونات شبكة GSM :

1- المحطة المتحركة Mobile station :

وتتكون من جزئين ، كما موضح في الشكل (5-26) :

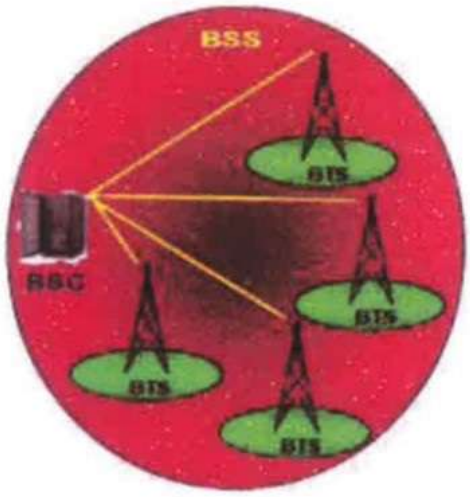
- الهاتف المتحرك (الجوال) ويسمى Mobile Equipment (ME) .
- البطاقة الذكيه (الشريحة) وتسمى Subscriber Identity Module (SIM).

الشكل (5-26) المحطة المتحركة

2- النظام الفرعي للمحطة أساسية Base Station Subsystem : وتتكون من :

• المحطات الفرعية Base Terminal Station (BTS): المحطات الفرعية وتسمى أيضا Base Transceiver Station او ما يعرف بالهوائيات والقنوات المتواجدة في الميدان , الـ BTS يحتوي على جهاز الارسال/الاستقبال الذي يعرف لنا الخلية التي سوف تعطي جهاز الموبايل إشارة الراديو التي سوف يرسل و يستقبل عليها الـ BTS مربوط مع الـ BSC ,يجب علينا أن نرتب الـ BTS's بشكل يمكننا من تكوين خلايا حيث كل BTS يخدم خلية أي مكان على سطح الارض يمكن ان يغطى بخلية أو عدة خلايا ان ابعد نقطة تستطيع أن تغطيها وحدة الـ BTS تقريبا 8 كم وتكون عادة في الأماكن الخارجية الغير مزحومة مثل القرى أو ضواحي المدن الـ BTS النموذجي يغطي زاوية قدرها 120 درجة إذا نحتاج الى ثلاثة من الـ BTS's لتغطية 360 درجة .

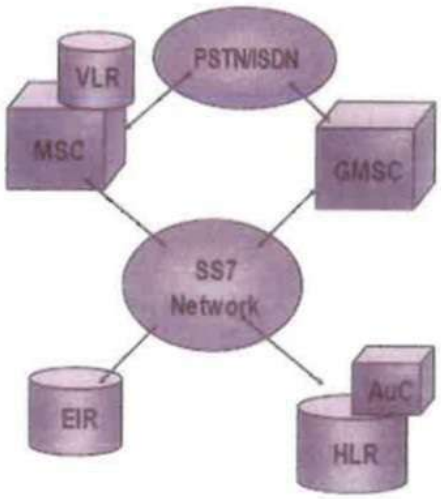
• مراقب المحطات الفرعية Base Station Controllers (BSC): وهي التي تدير موارد اتصال الراديو لـ BTS واحد أوعدة BTS's تتعامل مع اعداد أو موقعه في اكثر الاحيان سوف تجد BSC وعدة BTS's في نفس الموقع كما موضح في الشكل (5-27).



الشكل (5-27) مراقب المحطات الفرعية

3- محطة النظام الفرعي للشبكة Network Station Sub-System (NSS):

وهو يعتبر العقل للشبكة وتكمن فيه أنظمة الفواتير وخدمة توجيه الاتصال إلى الشبكات المراد تحقيق الاتصال معها ويتكون أيضا من أجزاء أخرى وهي، كما موضح في الشكل (5-28).



الشكل (5-28) محطة النظام الفرعي للشبكة

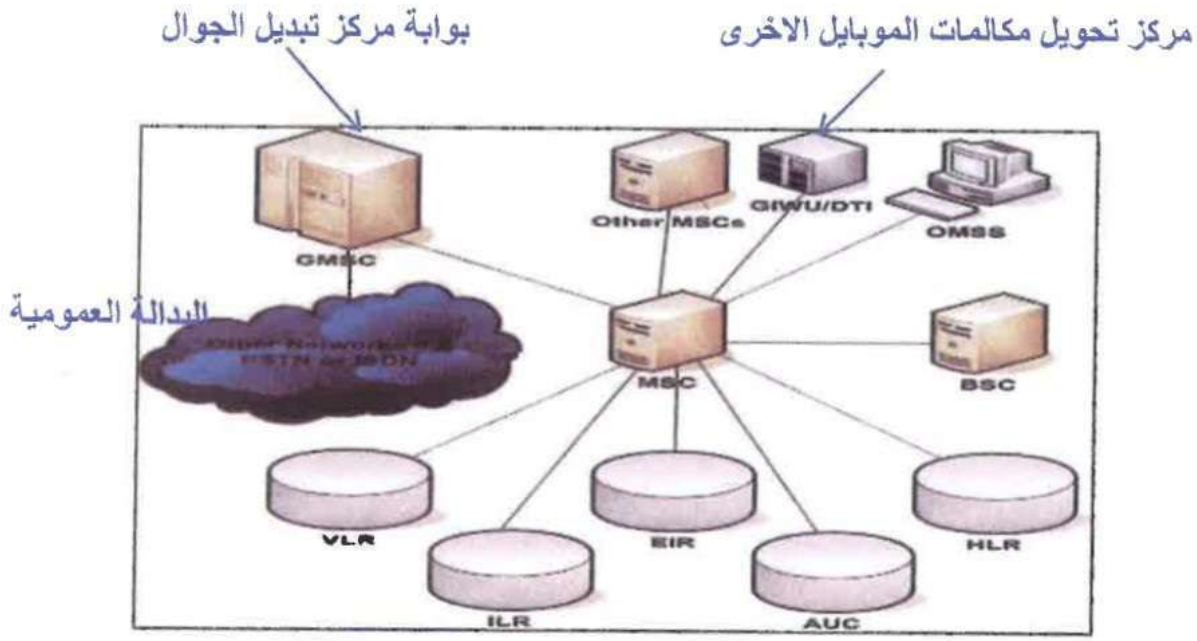
أ- مركز تحويل مكالمات الموبايل Mobile Switching Center (MSC):

ويعمل كبدالة اعتيادية مثل المتواجدة في نظام الهواتف السلكية بالاضافة الى ان المركز يوفر جميع الوظائف التي يحتاجها الموبايل مثل :

هل الموبايل مسجل مع الشبكة او ما يعرف بالـ Registration وأيضا التخويل وهل الموبايل مصرح له باستخدام الشبكة أوما يسمى بالـ Authentication أيضا يقدم وظيفة تحديث موقع الموبايل في الشبكة أو ما يعرف بالـ Location Updating والتسليم بين الـ BTS's و ما يعرف بالـ Hand-Over's ويقدم لنا وظيفة توجيه أوتحويل الاتصال للمشتركين المتجولين roaming subscriber الـ MSC يقدم لنا الاتصال والربط مع الشبكات المحلية الثابتة مثل شبكة مقسم الهواتف السلكي PTSN أوالشبكة الرقمية للخدمات المتكاملة ISDN لغة التخاطب بين هذه الخدمات في الشبكة هي النظام الاشاري رقم سبعة أو مايعرف بالـ Signaling System number SS7 7.وهي أيضا في الشبكات السلكية كمقسم الهاتف هذا المركز هو النظام الذي تتحدث اليه جميع الـBSC's ،على ضوء ماورد اعلاه يتلخص مجمل عملها بالاتي:

- التسجيل والتوثيق .
- تحديث موقع الموبايل باستمرار.
- الاشراف المباشر على عمليات التسليم والتجوال .
- الاتصال مع الشبكات الاخرى مثل الشبكة الارضية.
- الاتصال مع مراكز التحويل الاخرى المتواجدة فى المناطق المختلفة .

الشكل (5-29) يبين الاجزاء المرتبطة مع الـ (MSC) .



الشكل (5-29) يبين الاجزاء المرتبطة مع الـ (MSC)

ب- سجل المقر الرئيسي Home Location Register (HLR) :

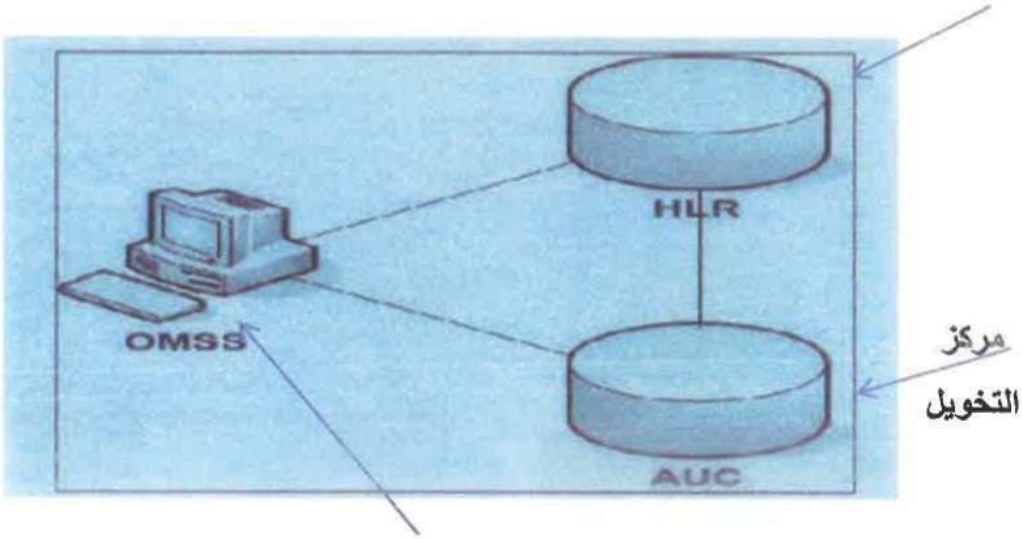
وهو عبارة عن سجل دائم تحفظ فيه الاعدادات الخاصة لكل مشترك لتمكين الشبكة من التحكم في الاتصال الخاص للمشترك مثلا هل المشترك محول مكالماته أو هل عنده خدمة الانتظار أو ... الخ .وأيضا يوفر سجل مخزن فيه مكان الموبايل الحالي ، الشبكة تحتوي على HLR واحد ولكن يمكن ان نوزع عدة HLR's بمعنى انهن متماثلات .

ت- سجل مقر الزوار Visitor Location Register (VLR):

وهو عبارة عن سجل مؤقت تحفظ فيه الاعدادت الضرورية لتشغيل الموبايل دائما يتحدث إلى الـ VLR كل MSC يحتوي على VLR.

ث- مركز التخويل Authentication Center (AuC):

هو مركز الأمن للشبكة الذي يعطي الأوامر بالتخويل للموبايل بإستخدام الشبكة , وهو عبارة عن قاعدة بيانات خاصة ومحمية بشكل امني عالي الدرجة ومرتبط مباشرة مع الـ HLR وهو المسؤول المباشر عن الامن المعلوماتى فى شبكة GSM وبذلك يتم حماية المشتركين من النشاطات الاحتيالية لحسابهم .ويقوم الـ AUC بالاضافة الى ذلك بدور هام فى عمليتي التجفير والتخويل من خلال الرموز الخاصة المحفوضة في قاعدة بيانات الـ AUC ومقارنتها مع الرموز الخاصة المخزونة في الـ كارد ذاكرة الموبايل SIM card . الشكل (5-30) يوضح الاجزاء المرتبط معها الـ (AUC).



النظام الفرعي للتشغيل والصيانة

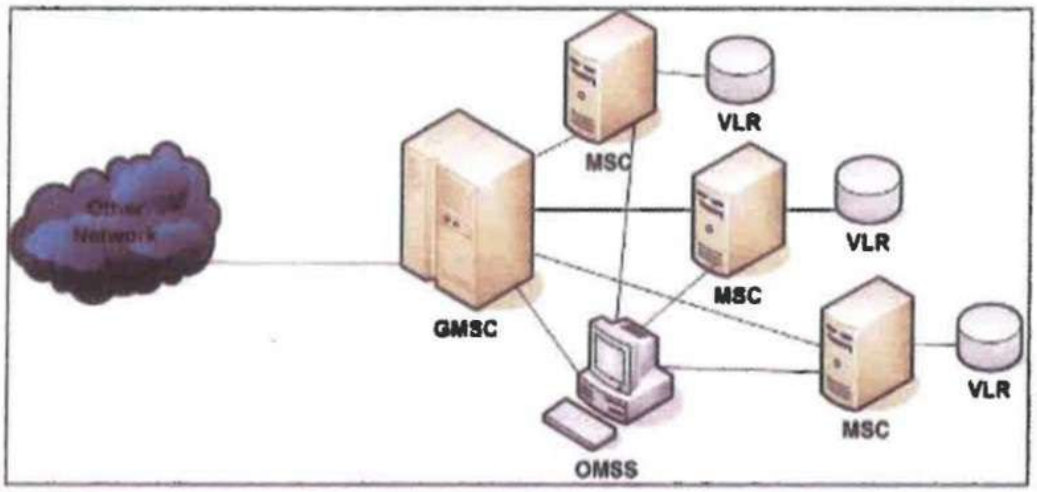
الشكل (5-30)

ج- سجل تعريف الاجهزة Equipment Identity Register (EIR):

وهو عبارة عن قاعدة معلومات لكل ارقام التعريف لجهاز الموبايل (الجوال) وهو عبارة عن رقم يوضع داخل الجهاز من قبل الشركة المصنعه له وكل جهاز في العالم له رقم خاص به وهو ما يسمى بـ تعريف جهاز المتحرك العالمي International Mobile Equipment Identity IMEI. هذا الرقم يرسل مع كل اتصال يعمله الموبايل (الجوال) الى الشبكة وهو عادة يكتب خلف بطارية الجهاز.

ح- بوابة مركز التبديل الجوال Gateway Mobile Switching Center (GMSC):

التابع للشبكة المعنية MSC وهو عبارة عن كيان مادي يعتبرنقطة الوصل بين المركز الرئيسي وباقي الشبكات الاخرى مثل شبكة التلفون الارضي وهو المسؤول الاول عن معالجة وتوجيه وادارة المكالمات مـن الشبكة الخلويـة والى الشبكات الاخـرى وبالعكس الشكل (5-31) يوضح الاجـزاء المرتبطة مع الـ (GMSC) .

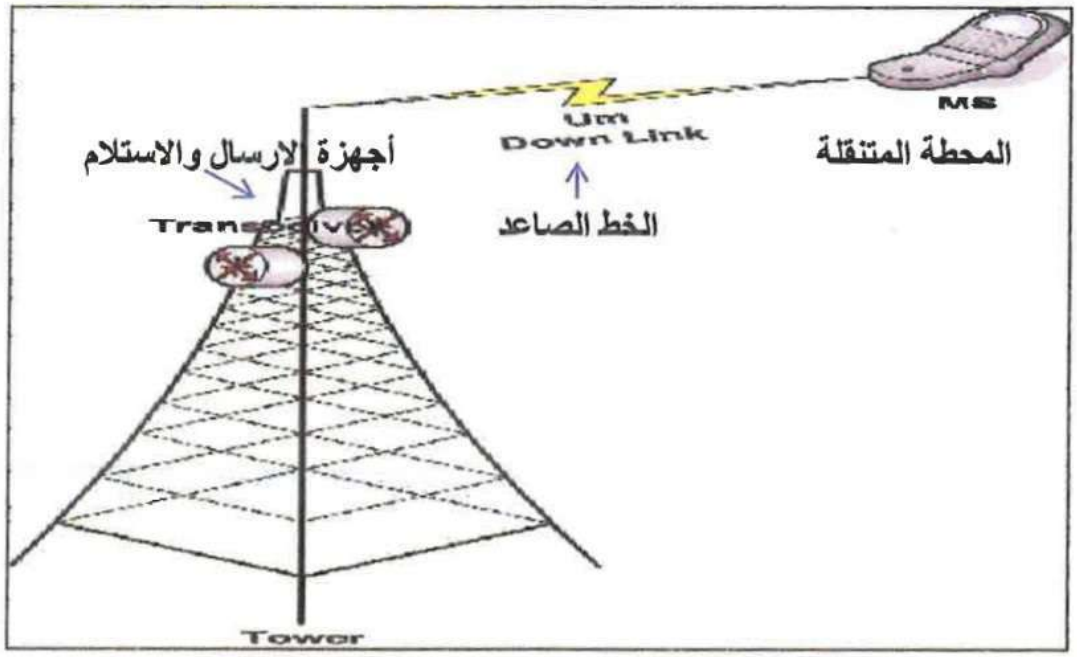


الشكل (5-31) يوضح الاجزاء المرتبطة مع الـ (GMSC)

خ- البرج Tower:

عبارة عن برج هوائي يقوم بارسال واستلام الموجات الراديوية من والى المحطة المتنقلة (MS) وذلك من خلال المرسلات والمستقبلات التى يحملها وهذه الاجهزة مجتمعة يطلق عليها الـ Transceiver .

الشكل (5-32) يوضح برج الاتصالات .



الشكل (5-32) برج الاتصالات

د- كيف تعمل شبكة الـ GSM:

عندما نقوم بتشغيل الموبايل MS فإنه يحاول الاتصال بالشبكة على أمل أن تسمح له أوتخوله الشبكة من استخدام مواردها وهذا يمكن ان يحدث بالنسبه لشبكتك الام اوحتى اذا كنت في حالة تجوال roaming وتستخدم خدمات شبكه غير شبكتك الام ان جهاز الموبايل MS يعمل هذا الشى بالاتصال مع الـ BTS الموجود في نفس المكان أو بمعنى آخر الـBTS المغطي لهذه المنطقة المتواجد بها الموبايل تقوم الـ BTS's بشكل اعتيادي ببث (ارسال) الترددات وذلك لتمكين الموبايل MS من التقاط الاشارة الاقوى وهذا التغيير في الـ BTS لايحدث هكذا وانما الموبايل MS يقيس قوة الاشارة فاذا وجد اشارة افضل من التي هـو عليها يرسل القياس الى الـ BTS والـ BTS بدوره يرسلها الى الـ BSC الذي هو مراقب للـ BTS's ويرى إذا كان هذا التغيير في الـ BTS ممكن يحوله أو يسلم الموبايل الى الـ BTS الجديد, هذه الطريقة تسمى الـHandover . ولكن اذا الـ BTS الجديد لايتبع الـ BSC الحالي فإنه يرفع الامر الى MSC لأخذ الاجراء المناسب وهو بالاتصال بالـ BSC الجديد وتسليم الموبايل الـ BTS الجديد لان الـ BSC لا يستطيع التحدث مع BSC اخر اذا الموبايل غير BSC وغير الـ BTS وهذه عادة تحصل عندما نكون في وسيلة من وسائل النقل كالسيارة فنغير الاثنين معا في كلتا الحالتين الموبايل MS والـ BSC/MSC يعملون مع بعض لعمل التسليم Handover بشكل سلس،الشبكة تعمل على حجز قناة في الـ BTS الجديد لتمكين التسليم Handover وحتى إن كنا اثناء مكالمة للاتصال القادم علينا بمعنى إذا أراد أحد أن يتصل عليك من الضروري أن تعرف الشبكة أين يتواجد الموبايل وتحت اى MSC وأى BSC وأى BTS لكى تتمكن الشبكة من ايصال المكالمه إليك هنا نتعرف على اهمية الـ HLR سجل الموطن والـ VLR سجل الزوار. إن الـ HLR يخبرنا عن الـ VLR و ماذا يعرف ؟ اين الموبايل MS ؟ ان الـ VLR يحتوي على ما يسمى بالـ LAC Location Area Code كود المناطق وهو عبارة عن كود للمناطق التي تغطيها كل خلية أومجموعة من الخلايا الـ VLR ينشأ صفحة تحتوي معلومات عن الموبايل MS ويرسلها الى MSC وهذا يحدث عندما يغير الموبايل موقعه من مكان إلى آخر والـ MSC يحدث الـ HLR بأخر موقع للموبايل الموبايل دائما يكون على اتصال مع الـ PCH Paging channel لذلك الموبايل دائما يحصل على مكالمات و يستقبلها إذا الاتصال القادم الى الموبايل MS يبدأ دائما من عند HLR هذا الاتصال يحدث بسهوله لان كل شبكه تعرف أين HLR الخاص بها، وأيضا تعرف رقم الموبايل المشترك لديها ولهذا لانهتم إلا بهم فالاتصال يذهب إليهم أولا ولا يهتم في البداية بموقع الموبايل MS الحالي للأن التبديل أوتحويل المكالمة سوف يتم عن طريق . MSC.

مثال: على ذلك شخص يتصل من بغداد على رقم موبايل في مصر وهذا الموبايل حاليا ليس في مصر بل هو متواجد في أسبانيا كيف يتم الاتصال .؟؟؟؟ كالتالي :

الشخص الذي في بغداد سوف يتصل على رقم الموبايل في مصر الاتصال سوف يذهب لـ شبكة الموبايل في مصر وبالتحديد الى MSC و الـ MSC سوف يخاطب الـ HLR ماهو آخر تحديث لديك عن موقع الموبايل ؟ الـ HLR سوف يخبره ان آخر معلومات لديه أنه متواجد في اسبانيا على الشبكة الاسبانية ياترى كيف عــرف الـ HLR ؟ لان الـ VLR أسبانيا التقط إشارة الموبايل المصرى و حولها الى الـ MSC إلى الاسباني وبدوره حول المعلومات عن موقع الموبايل الى شبكته الأم في مصر والشبكة حفظت المعلومات الجديده في الـ HLR بينما الـ MSC سوف يحول الاتصال الى الشبكة الاسبانية وفي الشبكة الاسبانيه سوف يستلم الـ MSC الاتصال ويحوله إلى الموبايل المصري المتواجد في أسبانيا اذا من هنا اتضح لنا فائدة الـ HLR والـVLR .

اسئلة الفصل الخامس

س1: ماهي أهم استخدامات التقنيات الرقمية الحديثة ؟

س2: عدد اهم مميزات استخدام الإشارات الرقمية والتضمين الرقمي.

س3: عدد مدارات الاقمار الصناعية وفي اي مدار تدور اقمار الاتصالات .

س4: لماذا يجب ان يكون داخل القمر الصناعي ذو حرارة ثابتة ؟

س5: ماهي مكونات قمر الاتصالات اشرحها بصورة مختصرة ؟

س6: اذكر ترددات أقمار الاتصالات .

س7: الى كم قسم تقسم نظم أقمار الاتصالات حسب منطقة التغطية اشرحها باختصار.

س8: ما المقصود بالـ الإنتلسات والإنترسبوتنيك ؟

س9 : ماهي تصنيفات نظام الارسال الراديوية المتنقلة؟

س10: ماهي الانظمة الاسلكية التقليدية (وحيدة الخلية) ؟

س11: عدد أجيال الهاتف الجوال وماهي اوجه المقارنة بينهم .

س12: ماهى المعايير الأشهر فى الاتصالات الخلوية والأكثر نجاحاً في فترة الثمانينات من القرن الماضي؟

س13: ماهي المعايير ألاساسية المستخدمة في الجيل الثاني للاتصالات الخلوية ؟

س14: بماذا يمتاز جوال الجيل الثالث للاتصالات الخلوية عن باقي الاجيال.

س15: اشرح مكونات منظومة الهاتف الخلوية .

س16: كيف تتم عملية الاتصال للهاتف الخلوي ؟

س17: اشرح شيفرات الهاتف المحمول .

س18: ما المقصود بالتجوال في النظام الخلوي ؟

س19: ما المقصود برقم التعريف الدولى لجهاز الهاتف المتحرك (IMEI) ؟

س20: فى اى نظام من انظمة تعددية الوصول يستخدمه الهاتف GSM وماهي عدد المكالمات التي يجريها على نفس التردد الاسلكي ؟

س21: ماهي فوائد استخدام GSM في الهاتف الخلوي ؟

س22: ما المقصود بذاكرة بطاقة SIM ؟

س23:عدد تقنيات الوصول المتعدد للهاتف النقال واشرحها بصورة مختصرة .

س24: ماهي مواصفات الـ GSM ؟

س25: ماهي أجزاء شبكة GSM عددها واشرحها باختصار ؟

س28: ماهو مركز التخويل في نظام GSM ؟

س29: كيف تعمل شبكة GSM اشرحها باختصار.

س30: هل يمكنك الاتصال وانت بغداد على رقم موبايل في مصر وهو متواجد في أسبانيا مثلا ؟

المصـادر العربية:

1. السليفاني وآخرون: د. سامي محمد طاهر عبدالموجود، د. خليل حسن سيد مرعي، د. بايز خورشيد السليفاني، "أساسيات الاتصالات"، من إصدارات وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، جامعة الموصل، 1989.

2. مكي ومحمد: د. عبدالقادر مكي، د. موسى محمد موسى، "نظم هندسة الاتصالات: أسس ومبادئ"، الطبعة الأولى 1996، مركز البحوث العلمية، تاجوراء، ليبيا.

3. كتاب: نظم هندسة الاتصالات - الجزء الأول- أسس ومبادئ ، الطبعة الأولى 1996 / تاجوراء - ليبيا
تأليف: د.عبد القادر عكي/ د.موسى محمد موسى

4.كتاب الاتصالات / الطبعة الأولى 2007 / وزارة التربية والتعليم العالي / فلسطين - مركز المناهج .

5. جمهورية مصر العربية - وزارة التربية والتعليم - قطاع الكتب - كتاب اتصالات إلكترونية / تخصص: إلكترونيات / تأليف : م. مصطفى السيد مصطفى ، م. عبد القادر هلال عبد القادر/ مراجعة الدكتور. محمد مصطفى عبد العزيز مصطفى / أكاديمية أخبار اليوم.

المصادر الانكليزية:

1.Bernard Sklar, "*Digital Communication Fundamentals and Applications*", Second Edition, Prentice Hall P T R, Upper Saddle River, New Jersey.

2. Edward A. Lee and David G. Messer Schmitt, "*Digital Communications*", Second Edition, Kluwer Academic Publishers, Boston/Dordrecht/London.

3.George J. Miao, "*Signal Processing in Digital Communications*", First Edition, 2007, Artech House.

4. SCHAUM'S OUTLINES OF Theory and Problems of Signals and Systems.

5. Telecommunication Demystified - A Streamlined Course in Digital communications for EE Students and Practicing Engineers- by Carl R. Nassar, Ph.D. Copyright © 2001 by LLH Technology Publishing.

6. Lessons In Electric Circuits, Volume II – AC- By Tony R. Kuphaldt / Sixth Edition, last update July 25, 2007 .

تم بعونه تعالی