جمهوريــة العــراق
وزارة التربية
المديرية العامة للتعليم المهني

تقنيات الأجهزة الخلوية

فرع الحاسوب وتقنية المعلومات

اختصاص أجهزة الهاتف والحاسوب المحمولة

الصف الثاني

تأليف

د. محمد نجم عبدالله السلام
فاديــة نــوري حمـــاد
عمــار طعمـــة نمـــل

د. حيدر هادي عباس
سهى صبــري سالــم
محمد حسين عايـــز

الطبعــة السادسة
1446 هـ - 2024م

المقدمـــة

مع تطور أجهزة الهاتف الخلوي أصبحت الأجهزة أكثر من مجرد وسيلة إتصال صوتي بحيث أصبحت تستخدم كأجهزة الحاسوب الكفيّ للمواعيد وإستقبال البريد الصوتي وتصفح المواقع الإلكترونية, والأجهزة الجديدة يمكنها التصوير بنفس نقاء ووضوح الكاميرات الرقمية. كما أصبحت الهواتف النقالة أحد وسائل الإعلان كذلك وبسبب التنافس الشديد بين مشغلي أجهزة الهاتف النقال أصبحت تكلفة المكالمات وتبادل المعطيات في متناول جميع فئات المجتمع. لذا فإن عدد مستخدمي هذه الأجهزة في العالم الغربي والعالم العربي يتزايد بشكل يومي ليحل محل أجهزة الإتصال الثابتة.

وإذ نضع في الأعتبار الدور الحاسم الذي تؤديه الإتصالات الإلكترونية في المجتمع الرقمي اليوم، وإذ ندرك الحاجة الى تكييف تنظيم تكنولوجيا المعلومات والإتصالات للإستجابة بكفاءة وفي الوقت المناسب لتوقعات السوق المتغيرة، التي تعزى الى تقارب الخدمات والشبكات وسلوكيات المستهلكين، مع تحسين الشمول الأجتماعي والتنمية الأجتماعية، فقد وضعت وزارة التربية، المديرية العامة للتعليم المهني في مقدمة مهامها تطوير المناهج كأحد الأهداف الأستراتيجية لعملها، ومن هنا تم تكليف لجنة متخصصة في مجال الحوسبة المتنقلة لوضع منهج علمي يواكب المفاهيم والتطورات الحديثة في مجال أجهزة الهاتف والحاسوب المحمول، لكي يكتسب الطالب أحدث المفاهيم المعرفية والمهاراتية في الأجهزة الخلوية وتطبيقاتها.

لقد تطورت المناهج والتقنيات المتعلقة ببناء نماذج للأجهزة الخلوية، وقد أسهمت هذه المناهج والتقنيات في تضخيم دور الاجهزة الخلوية بشكل ملموس داخل المؤسسات والمجتمع، ويأتي هذا الكتاب الذي يقع في خمسة فصول دراسية لتعريف الطالب بأهم تقنيات الأجهزة الخلوية وتصميمها ونمذجتها كمراحل هامة في سياق عملية حوسبة الأتصالات، وإننا إذ نضع كتابنا هذا بين أيدي الجميع نتمنى أن يجد الإستحسان ونسأل الله التوفيق والسداد.

المؤلفون

المحتويـات

الموضـــــــــــوع	رقم الصفحــة
المقدمـــــة	3
المحتويات	4
الفصل الأول - مقدمة في الاتصالات المتنقلة	6
1-1 تمهيد	7
2-1 المراحل التأريخية للإتصالات المتنقلة	8
3-1 أنظمة الهواتف المحمولة	10
4-1 نظم الإرسال الراديوية المتنقلة	15
5-1 مساوئ النظام الراديوي التقليدي	17
6-1 بنية النظام الخلوي	18
7-1 المعايير الخلوية	31
8-1 تطورات الإتصالات المتنقلة	33
9-1 بطاقة الذاكرة	35
أسئلة الفصل الأول	37
الفصل الثاني - معطيات الاتصالات اللاسلكية	39
1-2 تمهيد	40
2-2 أساسيات الاتصالات اللاسلكية	40
3-2 طرق التضمين الرقمي	43
4-2 التقسيم المتعدد المسار	61
5-2 الإرسال التماثلي والرقمي	63
6-2 مشاكل الإرسال	65
7-2 حلول مشاكل الإرسال	69
أسئلة الفصل الثاني	72
الفصل الثالث - النظام العالمي للاتصالات المتنقلة GSM	73
1-3 تمهيد	74
2-3 مكونات النظام العالمي للاتصالات المتنقلة GSM	75
3-3 الهويات والأرقام في نظام GSM	81
4-3 التركيبة الجغرافية لنظام GSM	83

الموضـــــــــــوع	رقم الصفحــة
5-3 خطوات الإرسال في نظام GSM	89
6-3 خطوات أجراء المكالمة والاتصال في نظام GSM	93
7-3 التحزيم الداخلي في نظام GSM	93
8-3 تمويه الإشارة بالتشفير Encryption	94
9-3 التعديل والإرسال في نظام GSM	95
10-3 الخدمات في نظام GSM	96
أسئلة الفصل الثالث	101
الفصل الرابع - معطيات القنوات في الاتصالات المتحركة	102
1-4 تمهيد	103
2-4 أنواع قنوات نظام GSM	104
3-4 القنوات المنطقية	104
4-4 متطلبات جودة الخدمة QoS في نظام GSM	114
أسئلة الفصل الرابع	119
الفصل الخامس - تقنيات المايكروويف والأقمار الاصطناعية	120
1-5 تمهيد	121
2-5 موجات المايكروويف	122
3-5 خطوط النقل في المايكروويف	123
4-5 دليل الموجة Waveguide	135
5-5 صمامات ومولدات الموجات الدقيقة	147
6-5 مخطط سميث Smith Chart	150
7-5 مسارات موجات المايكروويف	154
أسئلة الفصل الخامس	157

الفصل الأول

مقدمة في الإتصالات المتنقلة

أهداف الفصل الأول:

أن يتعرف الطالب على أنظمة الهواتف المتنقلة والمراحل التاريخية التي مرت بها مع الاطلاع على نظم الإرسال الراديوية المتنقلة وبنية النظام الخلوي بالإضافة الى المعايير الخلوية.

محتويات الفصل الأول:

1-1 تمهيد

2-1 المراحل التأريخية للإتصالات المتنقلة

3-1 أنظمة الهواتف المحمولة

1-3-1 الجيل الاول للانظمة المتنقلة 1G

2-3-1 الجيل الثاني للانظمة المتنقلة 2G

3-3-1 الجيل الثالث للانظمة المتنقلة 3G

4-1 نظم الارسال الراديوية المتنقلة

1-4-1 نظم ارسال بسيطة Simplex

2-4-1 نظم ارسال نصف مزدوجة Half – duplex

3-4-1 نظم ارسال مزدوجة Full – duplex

5-1 مساوئ النظام الراديوي

6-1 بنية النظام الخلوي

1-6-1 إعادة أستخدام التردد Frequency Reuse

2-6-1 ضبط التحكم في القوة Adaptive Power Control

3-6-1 مقطع الخلية Cell Sectorization

4-6-1 تقسيم أو أنشطار الخلية Cell Splitting

5-6-1 التسليم أو المناولة Handover

7-1 المعايير الخلوية

1-7-1 المعيار الخلوي الرقمي الأوربي

2-7-1 المعيار الخلوي الأمريكي Electronic asocial Interim Standard (IS-54)

1-2-7-1 المعيار الخلوي الامريكي Electronic asocial Interim Standard (IS-95)

3-7-1 المعيار الياباني الخلوي الرقمي

8-1 تطورات الإتصالات المتنقلة

9-1 بطاقة الذاكرة

الفصل الأول

مقدمة في الاتصالات المتنقلة

1-1 تمهيـــــد

منذ بداية إستخدام الإتصالات الراديوية والمتخصصون في الإتصالات اللاسلكية يحلمون بتوفير خدمة هاتفية لكل مشترك على حدة، وذلك بإستخدام جهاز هاتف شخصي ذي رقم يخص المشترك الذي يحمله، وهذه الأجهزة تتصل بمراكز الهواتف داخل المدن وبالتالي بشبكة الهواتف العالمية وهذا ما يطلق عليه الإتصالات الشخصية ويمثل الهاتف المحمول الحلقة الاولى في الطريق للوصول لهذا الحلم.

يستخدم نظام الإتصالات المتنقلة الخلوية مستوى منخفض من الطاقة لأجهزة الإرسال اللاسلكية وذلك لخلق خلايا منطقة الخدمة الجغرافية الأساسية. يمتلك نظام الإتصالات اللاسلكية مستويات طاقة متغيرة بحيث أن حجم الخلايا يكون وفقاً لكثافة المشتركين والطلب داخل منطقة معينة.كما يمكن لمستخدمي الهواتف المحمولة التنقل من خلية إلى أخرى، وتبادل الحديث بين الخلايا من أجل الحفاظ على خدمة مستمرة للقنوات (الترددات) المستخدمة ويمكن إعادة استخدام الترددات في خلية أخرى تقع في مكان بعيد.أن الخلايا يمكن أن تضاف لكي يتم استيعاب النمو، وخلق خلايا جديدة في المناطق غير المخدومة أو خلايا تتراكب في المناطق القائمة. قبل سبعينات هذا القرن لم يكن الهاتف الخلوي ممكن التحقيق لسببين:

أولاً: عدم استيعاب الطيفي الترددي الراديوي بحيث يسمح بحيز ترددي لكل مشترك.

ثانيا: إن الاجهزة الالكترونية التي كان يجب أن يستخدمها المشترك لتحقيق نظام الهاتف اللاسلكي كانت ثقيلة الوزن وباهظة التكاليف.

مع بداية السبعينات والتطور المذهل في تقنية وهندسة دوائر أشباه الموصلات المتكاملة تمكن المصنعين من أنتاج أجهزة لاسلكية صغير الحجم والوزن وذات أداء فائق بالإضافة الى معقولية سعرها. ولتلك الأجهزة القابلية على استخدام عدد من القنوات اللاسلكية التي تعمل بنظام تعدد الوصولية بتقسيـــــم التردد **(Frequency Division Multiple Access)** ومعنى تعدد الوصولية هو أنه يتواجد عدد كبير من المشتركين الا أن عدد صغير منهم هو الذي يستطيع الكلام في اللحظة ذاتها وبالتالي فأن النظام لا ينشغل بهم إلا إذا طلب أحدهم المكالمة وعندئذ يقوم نظام **(FDMA)** بالبحث عن قناة غير مستخدمة أو خالية ليوفرها للمشترك ويتم هذا البحث عن طريق معالج بيانات دقيقة **(Microprocessor)** يستخدم بروتوكول رياضي محدد لتنظيم هذه العملية كما هو الحال بالنسبة لنظام الهاتف اللاسلكي وفيه:

أ- يتم إستخدام محطات إرسال ذات قيم قدرة عالية لتمكين كل قناة من القنوات من تغطية المدينة أو المقاطعة بأكملها، وعند استخدام قناة معينة من قبل أحد المشتركين تصبح هذه القناة غير متاحة للمشتركين الآخرين داخل المدينة او المقاطعة نفسها. ولمعالجة هذه المشكلة فقد تم تعديل هذا النظام وذلك بإشراك عدد من المشتركين في قناة واحدة في نفس الوقت باستخدام عدد من محطات الإرسال بدلا من محطة واحدة مع تصغير المساحة التي تغطيها كل محطة ويطلق على كل مساحة خلية **(Cell)** بحيث لا تتداخل هذه الخلايا، وبالتالي يمكن إعادة

استخدام المدى الطيفي الترددي للخلية ذاتها لقنوات كثيرة يقع كل منها في خلية منفصلة عن الخلايا الأخرى وهو ما يسمى بنظام الهاتف الخلوي **(Cellular telephone system)**.

ب- يجب استخدام قناة واحدة لكل محمول ويمكن للقنوات استخدام زوج من الترددات ضمن الخلية الواحدة.

ج- أن للخلية موقع لتلقي المكالمات من المستخدمين بحيث أن هناك تبدد للطاقة الراديوية عبر المسافة ولذلك فإن الأجهزة الخلوية يجب أن تبقى بالقرب من محطة قاعدة للحفاظ على الإتصالات.

يتناول هذا الفصل دراسة أنظمة الهواتف المحمولة وفيه سوف يتم استعراض نبذة تاريخية عن الإتصالات المتنقلة والمعايير الخلوية المستخدمة **(Standards)** ودراسة تطورات الإتصالات المتنقلة.

2-1 المراحل التاريخية للإتصالات المتنقلة History of Mobile Communication

يتعامل أكثر الناس مع عدد من أنظمة الإتصالات الراديوية المتنقلة المستعملة في الحياة اليومية العادية والأمثلة على ذلك كثيرة ومتعددة منها اجهزة التحكم عن بعد **(Remote controllers)** لأجهزة الترفيه المنزلية **(Remote controllers for home entertainment)** والهواتف اللاسلكية**cordless telephones** وأجهزة البيجر **(pagers)** والهواتف الخلوية **cellular (telephones)** وعلى اية حال فإن التكلفة والتعقيد والأداء وأنواع الخدمات المعروضة بكل هذه الأنظمة تكون متفاوتة جداً. أن التعبير متنقل **(mobile)** من الناحية التاريخية يستعمل لتصنيف اي محطة طرفية اذاعية يمكن أن تتحرك اثناء التشغيل ومؤخرا يستعمل هذا التعبير لوصف المحطة الطرفية الإذاعية التي ترتبط بمنصة متحركة عالية السرعة مثل الهاتف الخليوي في السيارة السريعة بينما المصطلح محمول **(portable)** يصف المحطة الطرفية الاذاعية التي يمكن أن تكون محمولة باليد ومستعملة من قبل شخص متحرك.

أما التعبير مشترك **(subscriber)** فيستعمل في أغلب الأحيان لوصف المشترك الجوال أو المحمول لأنه في اكثر أنظمة الاتصال المتنقلة كل مشترك يدفع أجر الاشتراك لإستعمال النظام وكل اداة اتصال للمشترك تسمى وحدة مشترك **(subscriber unit)** وعموما أن مجموعة المشتركين في النظام اللاسلكي تسمى المشتركين او المتحركين بالرغم من أن العديد من المشتركين في الحقيقة يستعملون محطات طرفية محمولة تتصل فيها الهواتف بالقواعد الثابتة التي توصل الى المصدر الكهربائي التجاري أو الشبكة الاساسية الثابتة والجدول (1-1) يبين نبذة تاريخية لمراحل تطور النظام العالمي للاتصالات المتنقلة **(GSM)**.

جدول 1-1 نبذة تاريخية لمراحل تطور النظام العالمي للاتصالات المتنقلة (GSM)

السنـــة	التطـــــــور
1982	تأسس نظام المجموعة الخاصة بالهاتف المحمول بدراسة (**GSM**) من قبل هيئة الإتصالات والبريد الاوربية (**CEPT**).
1987	تم تحديد العناصر الضرورية للإرسال اللاسلكي.
1989	أخذ معهد معايير الاتصال الاوربي على عاتقه مسؤولية مواصفات تقنية المعياري نظام (**GSM**).
1990	المرحلة الاولى وقد تم فيها تثبيت مواصفات نظام الاتصالات الرقمية 900(**GSM**) (نظام البرج).
1991	تم تدشين اول شبكات نظام المتنقلة (**GSM**).
1992	تم تغيير اسم (**GSM**) الى النظام الموحد للاتصالات المتنقلة لأسباب تسويقية ومعظم شبكات نظام (**GSM**) الأوربية أصبحت تجارية.
1993	تم أنجاز اتفاقيات التجوال الدولي. وأصبحت الشبكات جاهزة للتشغيل من قبل 18 دولة في نهاية العام 1993.
1994	تم نقل البيانات بكفاءة وارتفع عدد الشبكات الى 69 في 43 دولة مختلفة مع نهاية العام 1994.
1995	تدشين اول شبكة (**BCS1900**) في الولايات المتحدة الأمريكية وبداية التجوال لكل من (**SMS**) والبيانات الفاكس عبر البريد الالكتروني **faxmail** ولقد تم نقل إشارات الصورة عن طريق نظام (**GSM**) لأغراض العرض وتم أنشاء 50000 محطة قاعدة لـ نظام (**GSM**) قيد الاستعمال في جميع أنحاء العالم.
1996	تم أنشاء 133 شبكة في 81 دولة وأصبحت جاهزة للتشغيل.
1997	تم أنشاء 200 شبكة (**GSM**) في 109 دولة جاهزة للتشغيل مع 44 مليون مشترك حول العالم.
1998	320 شبكة (**GSM**) في 118 دولة جاهزة مع 135 مليون مشترك حول العالم.
1999	تم بناء نظام تطبيق لاسلكي في 130 دولة مع 260 مليون مشترك.
2000	اصبح عدد المشتركين 362 مليون مشترك في خدمات الحزمة الراديوية العامة.
2001	تدشين اول شبكة من نوع **3GSM** ذات تقنية (**W-CDMA**) وأرتفع عدد مشتركي شبكة **GSM** الى اكثر من 500 مليون مشترك.
2003	تم انتاج اكثر من نصف مليار جهاز موبايل في السنة و شبكات **GSM** تنتشر في اكثر من 200 دولة.

السنـــة	التطـــــــور
2005	تغطي شبكة الجيل الثالث 80٪ من القارة الأوربية.
2008	عدد عملاء شبكات **GSM** يتجاوز ثلاثة مليارات.
2009	اطلاق نظام الجيل الرابع **4G** المسمّى التطوّر طويل الامد او(على مدى فترة طويلة).
2011	تطوير تقنيات الجيل الرابع **4G** الحقيقية منها تكنولوجيا **LTE Advanced** الخاصـــة بشـــبكات الهواتـــف المحمولـــة وتكنولوجيـــا **Wireless MAN-Advanced** المطورة لتقنية الـ **WIMAX** المشهورة.
2020	سيتم بإذن الله اطلاق نظام الجيل الخامس **5G** وسيكون الجيل الخامس داعم لكل بروتوكلات الشبكات بل ربما سنصل الى مرحلة لن يكون هناك فرق بين شبكات الكمبيوتر وشبكات الإتصالات اللاسلكية وسيتم عمل دمج كامل أو كبير بينهم بشكل اكبر مما نراه في شبكات الجيل الرابع.

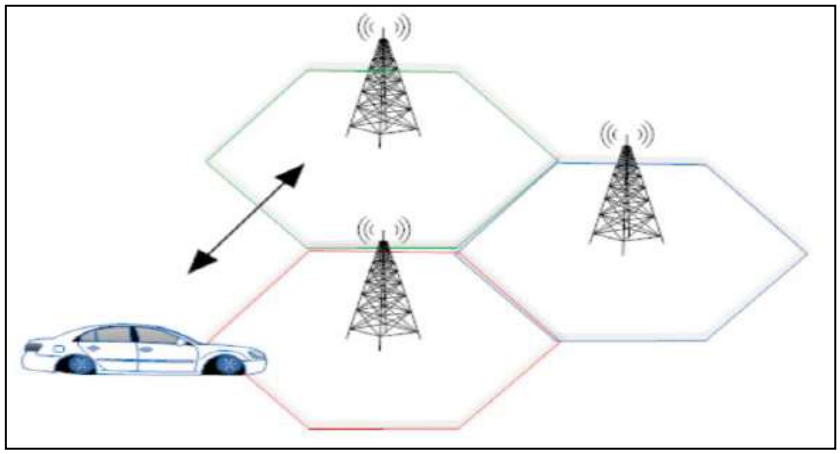
3-1 أنظمة الهواتف المحمولة Mobile Telephone Systems

هنالك أجيال لأنظمة الهواتف المحمولة والمقصود بأجيال النظام هي تلك الفترات الزمنية بين أصداراً وآخر بسبب الزيادات التي تحدث مع الإصدار الجديد الذي يتوافق مع متطلبات المشتركين والتزامن مع الإضافات التي تتوافق مع الأجهزة النقالة ويمكن تلخيص هذه الأجيال كالتالي:

1-3-1 الجيل الأول للأنظمة المتنقلة The First Generation of Mobile Systems (1G)

إن تزايد الطلب العام للخدمات الراديوية المتنقلة على مر السنين مع استمرار محدودية طيف التردد المخصص لها أدى الى ظهور تقنية جديدة لضبط هذا الوضع وهي الأنظمة الراديوية الخلوية المتنقلة كما موضح في الشكل (1-1) والتي يمكن أن تستوعب العديد من المشتركين حيث يتم بناء اتصال راديوي خلوي افتراضي ضمن منطقة جغرافية معينة باستخدام التقنية التماثلية في مثل هذه الأنظمة. بدأت الأنظمة الراديوية الخلوية المتنقلة بالظهور في نهاية السبعينات والثمانينات من القرن الماضي وأزداد الطلب عليها بصورة كبيرة وسريعة وذلك لتوفيرها خدمات الاتصال بشكل سريع وكذلك لإنخفاض أسعارها. يتم بناء النظام الخلوي من الجيل الأول (**Cellular system**) بإستخدام التقنيات التالية:

1. إعادة استخدام التردد **(Frequency reuse)**.
2. ضبط التحكم في قوة الاشارة المرسلة بناءً على الظروف المحيطة **(Adaptive power control)**.
3. تقسيم القطاعات الخلوية **(Cell sectorization)**.
4. تقسيم أو انشطار الخلوية **(Cell splitting)**.
5. التسليم او الانتقال **(Handover)**.



الشكل 1-1 النظام الراديوي الخلوي المتنقل

ويمكن تلخيص مواصفات هذا الجيل من الأنظمة المتنقلة بالنقاط التالية:

1- الإعتماد على التقنية التماثلية **Depending on analog technology**.

2- إستخدام نطاقات تردد التشغيل مختلفة **Using different operating frequency ranges**.

3- إستخدام أنظمة غير متوافقة **Using incompatible systems**.

4- المعاناة من التشبع بالسعة **Suffering from capacity saturation**.

5- محدودية الاستخدام للخدمة **Limited to use servic.**

6- جودة الإرسال غير كافية فيها **Insufficient transmission quality**

7- ليس هناك وجود للتشفير **No encryption**.

8- إستخدام التعديل الترددي **Frequency modulation FM**.

9- إستخدام تقنية إرسال الوصول المتعدد بتقسيم التردد **FDMA.**

2-3-1 الجيل الثاني للأنظمة المتنقلة (2G) The Second Generation of Mobile Systems

مع تطور التقنية الرقمية والطلب المتزايد على خدمة الهاتف الجوال تم أنتاج تقنيات رقمية لإرسال البيانات بسرعات عالية مع جودة عالية بالخدمة وتحكم مرن في النظام.

تم بناء الجيل الثاني للأنظمة المتنقلة باستخدام التقنية الرقمية في أواخر الثمانينات وأوائل التسعينات ويمتاز هذا الجيل بسعة أو قدرة للأنظمة عدة مرات أعلى من النظام التماثلي كما أنه يقدم ميزات خدمية اكثر بنوعية عالية الجودة وتكلفة منخفضة وقد تم أنتاج الأنظمة اللاسلكية لأنماط تمتلك قابلية الحركة المختلفة. وبالتزامن مع ظهور أنظمة (الجيل الثاني **2G**) كان الإتجاه نحو هواتف ذات وزن أقل (100_200) غرام وكان هذا التغيير ممكن ليس فقط من خلال التحسينات التكنولوجية مثل البطاريات الأكثر تقدما والإلكترونيات الأكثر كفاءة في استخدام الطاقة ولكن أيضاً بسبب كثافة أعلى في خلية الموقع لاستيعاب الزيادة في الاستخدام. قدم الجيل الثاني متغيراً جديداً في الإتصالات يسمى (**SMS**) أو خدمة الرسائل النصية حيث أن هذه التقنية كانت متاحة في

البداية فقط في شبكات الأنظمة العالمية المتنقلة (**GSM**) ولكن في نهاية المطاف انتشرت في جميع الشبكات الرقمية.

أضاف (**2G**) أيضا قابلية الوصول إلى محتوى الوسائط على الهواتف الجوالة ففي عام 1998 تمت أول عمليه تحميل للمحتوى بيعت للهواتف المحمولة وهي نغمة الرنين التي أطلقتها **(Radiolinja)** في فنلندا إن الإعلانات على الهاتف المحمول ظهرت للمرة الأولى في فنلندا ايضا وذلك عندما تم إطلاق خدمة **(SMS)** لعناوين الأخبار اليومية المجانية في عام 2000.

يمكن تلخيص أهداف الجيل الثاني من الأنظمة المتنقلة كما يلي:

1. المقياس الموحد (Common standard).
2. التجول الدولي (International roaming)**.**
3. السعة الضخمة (Huge capacity).
4. تقنيات التشفير الرقمية (Digital encryption techniques).
5. تأثير الضوضاء والتداخل الأقل (Robust noise and interference).
6. المدى المحسن للخدمات (Enhanced range of services)**.**
7. استخدام اجهزة بتكلفة منخفضة (Low cost equipment**)**.
8. يكون استهلاك الطاقة منخفض (Low power consumption**)**.
9. يتم استخدام محطات طرفية ذات وزن خفيف، متينة، وبحجم الجيب (Lightweight, Compact, Pocket size terminals).
10. إستخدام الإرسال الرقمي المتعدد الوصول بتقسيم الزمن (TDMA digital transmission).
11. متوافقة مع الشبكة الرقمية متكاملة الخدمات Integrated Services Digital Network Compatibility.

1-2-3-1 الجيل الثاني والنصف ذو خدمة الحزم الراديوية العامة (2.5G) (GPRS)

ظهر هذا الجيل (**2.5G**) بعد الجيل الثاني (**2G**) وذلك بسبب إزدياد الحاجة الى نقل البيانات بشكل متنقل لذا تم تطوير الجيل الثاني (**2G**) بإضافة حزمة (**Packet**) حيث أضيفت إليه خدمة الحزم الراديوية (**General Packet Radio Services GPRS**) وهذه الخدمة مكنت المشترك من تمرير البيانات عبر شبكة الخلوي وتعتمد هذه التقنية على تبديل حزم البيانات (**Packets Switched Data**) عوضاً عن تبديل البيانات بالدوائر (**Circuit Switched Data**) أي إن البيانات تقسم الى حزم تحمل عنوان المرسل والمرسل اليه لكي يتم توجيهها في الشبكة عن طريق بروتوكول الإنترنت (**Internet Protocol**) ومنها يتم إستغلال موارد الشبكة بشكل أفضل حيث لا تخصص دائرة أو مسار لكل إتصال بل تشترك الحزم لأكثر من

مشترك في المسارات والقنوات بحيث يمكن نقل حزم بيانات مشتركة على عدة قنوات في نفس الوقت وبذلك تزداد سرعة نقل البيانات وتصل الى (**40 kbps**).

تنويـــــــــه:

1. الجيل (**2.5G**) يختلف عن الجيل (**2G**) بسرعة نقل البيانات فقط أما سرعة انتقال الصوت فهي متساوية في الأثنين.
2. سرعة انتقال البيانات تقاس بـ (**Kilobit per second Kbps**).

1-3-2-2 الجيل (2.75 G) ذو خدمة تسريع البيانات للتطور العالمي

ظهر هذا الجيل ليعالج ازدياد طلب الحاجة الى نقل البيانات حيث تم أدخال تحسين على الجيل الثاني والنصف وذلك بتحسين طريقة التعديل الرقمي (**8 PSK**) لتتضاعف سرعة نقل البيانات الى (**384 Kb/s**) مما أدى الى أمكانية نقل البيانات المتعددة الوسائط (**Multimedia**) وقد سميت هذه التقنية بـ معدلات البيانات المحسنة للتطور العالمي **EDRGE** (**Enhanced Data Rate for Global Evolution**).

1-3-3 الجيل الثالث للأنظمة المتنقلة The Third Generation of Mobile System

يلعب الجيل الثالث لأنظمة الإتصالات المتنقلة دوراً هاماً في تزويد المستخدمين بالخدمات التي تقدمها شبكات الإتصالات اللاسلكية مثل الشبكة العامة لتحويلات الهاتف (**PSTN**) **Public System Telephone Network** والشبكة الرقمية متكاملة الخدمات (**ISDN**) وتشمل هذه الخدمات نقل الصوت والبيانات الرقمية والصور الثابتة والمتحركة والبريد الالكتروني. أن التوجه الجاري في الشركات العالمية المتخصصة هو التحرك نحو دمج كل تطبيقات اللاسلكي المتنقل مثل النظم الرقمية الخلوية والهواتف اللاسلكية والتي تضم النداء ونظم الاقمار الصناعية للمتنقلات في نظام عالمي موحد. وأن الهيئات العالمية حاليا تقوم بوضع المواصفات القياسية الخاصة بتعريف الجيل الثالث حيث بدا تطوير الجيل الثالث عندما قام الاتحاد الدولي للاتصالات بعيدة المدى بوضع تعريف لمتطلبات الجيل الثالث للأنظمة الراديوية المتنقلة.

وقد اطلق على هذا الجيل في البداية تسمية **FPLMTS** (**Future Public Land Mobile Telecommunication System**).

حيث أدى هذا الى تحديد نطاقات الطيف الترددي الاساسي حول العالم وهي النطاق الاول من 1885 الى 2025 ميكاهرتز والنطاق الثاني من 2110 الى 2200 ميكا هيرتز وبالتوازي مع هذا يعمل المعهد الأوربي للمواصفات القياسية للاتصالات (**ETSI**) على تعريف النظام العالمي لاتصالات المتنقلات **UMTS** (**Universal Mobile Telecommunication System**) ويتوقع أن يكون النظامان متوائمين او متطابقين واخيراً تمت تسمية هذا الجيل **IMT200** بواسطة الاتحاد العالمي للاتصالات **ITU**. (**International Mobile Telecommunication system in year 2000**)

يمكن تلخيص أهداف الجيل الثالث للاتصالات المتنقلة بما يلي:

1. المقياس او المعيار الموحد **Global standard**.
2. التجوال الموحد **Global roaming**.
3. خدمات الوسائط المتعددة **Multimedia services**.
4. المجموعة العالمية الموحدة للأجهزة المحمولة باليد **Unique universal handset**.
5. خدمات نمط تحويل حزم البيانات **Packet switching mode of services**.

وقد اعتمد المقياس المستخدم في الجيل الثالث **(3 G)** لنظم الإتصالات المتنقلة على:

1. نمط التسلسل المباشر الذي يستند على تعدد الوصول العريض النطاق بالتقسيم الشفري:

Direct Sequence Mode Based On Wide-Band Code Division Multiple Access (WCDMA).

2. نمط متعدد النقل أو الحمل يستند على تعدد الوصول بالتقسيم الشفري:

Multi-carrier mode based on CDMA2000.2000.

3. نمط تقسيم الزمن المزدوج يعتمد على تقسيم الزمن وتعدد الوصول بالتقسيم الشفري:

Time division duplex (TDD) mode based on TD-CDMA.

4. المجموعة العالمية الموحدة للأجهزة المحمولة باليد **Unique universal handset**.
5. البيئة المتعددة **Multiple environment**.

4-3-1 الجيل الرابع للأنظمة المتنقلة The Fourth Generation of Mobile Systems

هو الجيل الأخير لحد الأن والذي يدل على سرعة نقل البيانات في أنظمة الإتصالات المتنقلة حيث يعمل هذا النظام على نقلة نوعية للمستخدمين مقارنة مع الأجيال السابقة من نقل الخدمات الصوتية ونقل المعطيات والوسائط المتعددة ومن مميزات هذا النظام:

1. سرعات أعلى بكثير من الأجيال السابقة تصل الى **(100 Mbps)** للأوساط الثابتة و **(1Gbps)** للأوساط المتنقلة.
2. مستويات أمان عالية تتيح لأي نوع من الخدمات في أي وقت وأي مكان وبتكلفة مقبولة.
3. التعامل مع تطبيقات وتقنيات لاسلكية أخرى مثل **(Wi-Fi)**.
4. تكلفة البنية التحتية لهذا الجيل أقل من تكلفة البنية التحتية للجيل الثالث.
5. تغطية تشمل مناطق واسعة.
6. التنوع الكبير في الخدمات التي يمكن لمزودي الخدمة تأمينها لزبائنهم.
7. تعتمد على بنية بروتوكول الإنترنت **(IP)** بشكل كامل.

4-1 نظم الإرسال الراديوية المتنقلة

يمكن تصنيف نظم الإرسال الراديوية المتنقلة الى ما يلي:

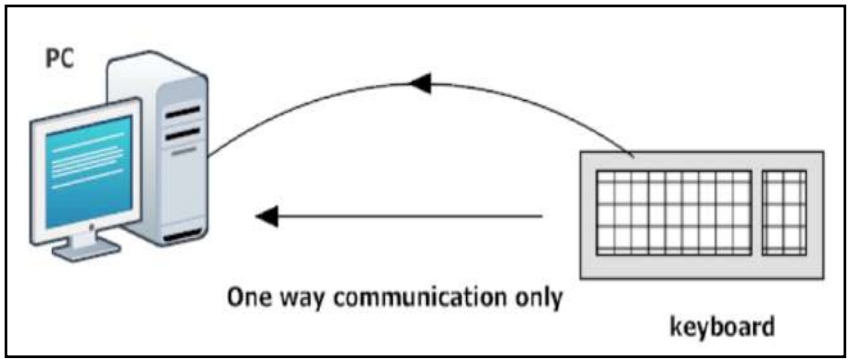
1-4-1 نظم إرسال بسيطة Simplex

يكون الاتصال باتجاه واحد بنظام الإرسال الراديوي البسيط وكمثال على ذلك استقبال الرسائل دون الرد عليها أو استقبال البث التلفزيون أو الراديوي والشكل (1-2) يوضح ذلك.

الشكل 1-2 رسم لنظام الاتصال البسيط

أن عملية إرسال المعلومات عبر نظام الإرسال البسيط تتم من خلال المرسل عبر قناة خاصة للاتصال ثم الى المستلم، أن معظم الإتصالات باستخدام الألياف البصرية تتم بإستخدام الإرسال البسيط نتيجة استخدام كيبل واحد لإرسال البيانات في أتجاه واحد ولكن هذا قد لا يكون واضحا إذا تم الجمع بين زوج من الألياف في كابل واحد.

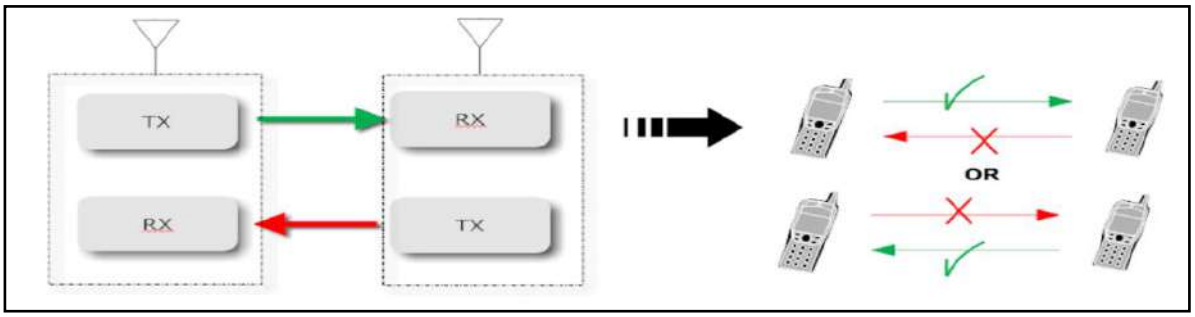
يتم إستخدام نظام الاتصال البسيط في أنواع خاصة من التكنولوجيات، وخاصة تلك التي تكون غير متماثلة وكمثال يستخدم نوع واحد من وصلات الإنترنت لإرسال البيانات عبر الأقمار الاصطناعية فقط عند تنزيل المعلومات بينما يستخدم مودم الطلب الهاتفي العادي لتحميلها على مزود الخدمة وفي هذه الحالة فأن كلا من الأقمار الصناعية واتصال الطلب الهاتفي يعملان في وضع الاتصال البسيط وكمثال اخر على الاتصال عملية نقل المعلومات من لوحة المفاتيح الى الحاسوب الشخصي (باتجاه واحد) وكما موضح بالشكل (1-3).



الشكل 1-3 مثال لنظام اتصال بسيط (ذو أتجاه واحد)

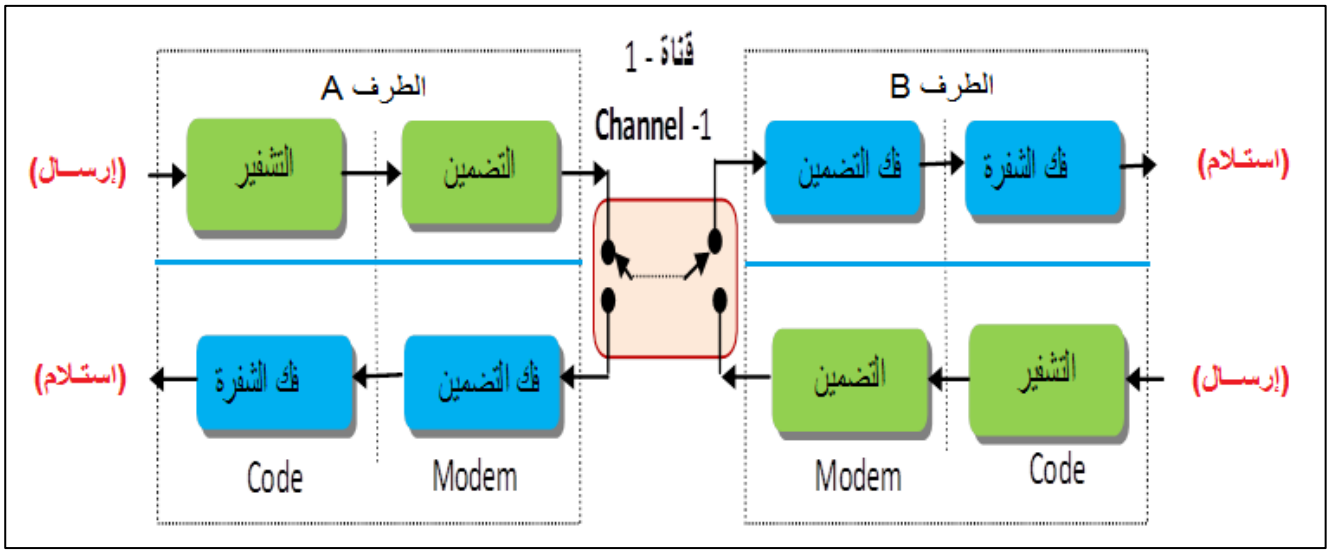
2-4-1 نظم إرسال نصف مزدوجة Half-duplex

إن إستخدام الإرسال بتقنية نصف مزدوجة توفر أمكانية الإرسال والإستقبال بقناة واحدة ولكن ليس بنفس الوقت حيث يتم الاتصال في أتجاهين وكما موضح بالشكل (1-4). ففي هذه الأنظمة تستخدم قناة راديوية واحدة للإرسال والإستقبال وهذا يعني أنه في أي وقت يستطيع المشترك أما أن يرسل أو أن يستقبل المعلومة والاوامر مثل الضغط للكلام **(Push to Talk)** والتخلي للاستماع **(Releas Listen)** هي من المزايا الاساسية للأنظمة نصف مزدوجة ومثال على ذلك اجهزة الشرطة **(Police Terminals)** والتي يطلـــــق عليـــها تجاريـــاً الـ **(Walki-Talki)**.



الشكل 1-4 مخطط مبسط لنظام نصف مزدوج

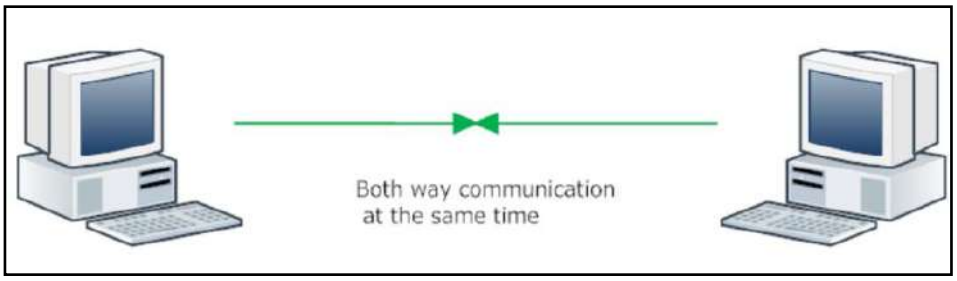
إن الشكل (1-5) يوضح كيفية عمل نظام الإرسال نصف مزدوج من الطرف **A** الى الطرف **B** من خلال قناة واحدة وامكانية عكس أتجاه الإرسال من الطرف **B** الى الطرف **A**. توفر هذه الأنظمة امكانية الكشف عن خطأ تسليم الرسائل حيث يتم الطلب من المرسل بإعادة إرسال المعلومات التي تصل تألفة.



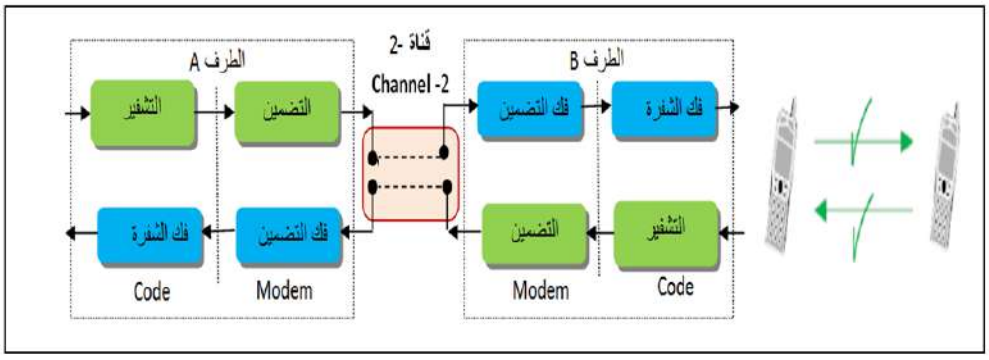
الشكل1-5 الإرسال نصف مزدوج (Half-duplex)

3-4-1 نظم إرسال مزدوجة full-duplex

يتم الاتصال المتزامن بين المشترك والقاعدة الثابتة باستخدام نظم إرسال مزدوجة حيث يتم الإرسال والإستقبال في نفس الوقت باستخدام قناتين منفصلتين ولكن بينهما تزامن من والى المشترك ومثال ذلك خط الهاتف الأرضي للشبكات ثنائية الاتجاه الذي يوفر لكلا الطرفين أمكانية التحدث والاستماع في وقت واحد وكذلك نظام **(GSM)** أن الشكل (1- 6-أ، ب) يعطي مثال ويوضح المخطط الكتلوي لنظام إرسال مزدوج.



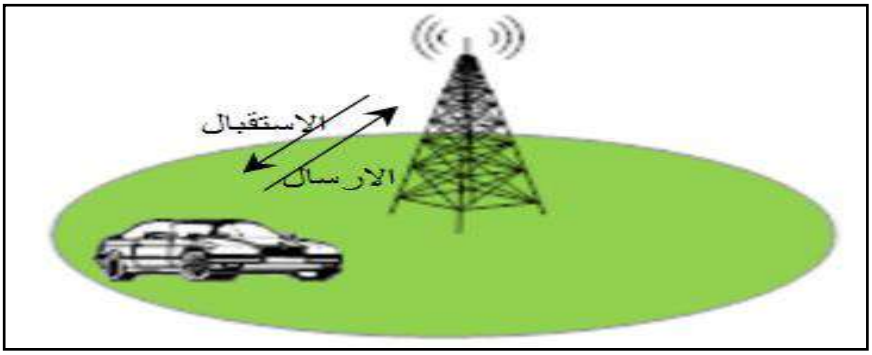
الشكل 1-6-أ مثال لنظام إرسال مزدوج



الشكل 1-6-ب المخطط الكتلوي لنظام إرسال مزدوج

1-5 مساوئ النظام الراديوي التقليدي

ظهرت الانظمة المتنقلة لأول مرة بعد الحرب العالمية الثانية وتمتد هذه المرحلة من الخمسينات الى الستينيات من القرن الماضي، وكانت التطبيقات الرئيسية الاولى للاتصالات الراديوية المتنقلة مقتصرة على الجيش وشركات الطيران والشرطة والدفاع المدني وسيارات الإسعاف وشركات صيد السمك والشحن وسيارات الأجرة وراديو ملاحة السفن والطائرات بالإضافة الى الهاتف الراديوي المحمول لساحة المعركة، ففي هذه المرحلة كانت اجهزة الإرسال والإستقبال ضخمة وغالية ويمكن توضيح هذا النظام الراديوي التقليدي كما في الشكل (1-7).



الشكل 1-7 خلية أحادية لنظام راديوي تقليدي

ومن مساوئ النظام الراديوي التقليدي:

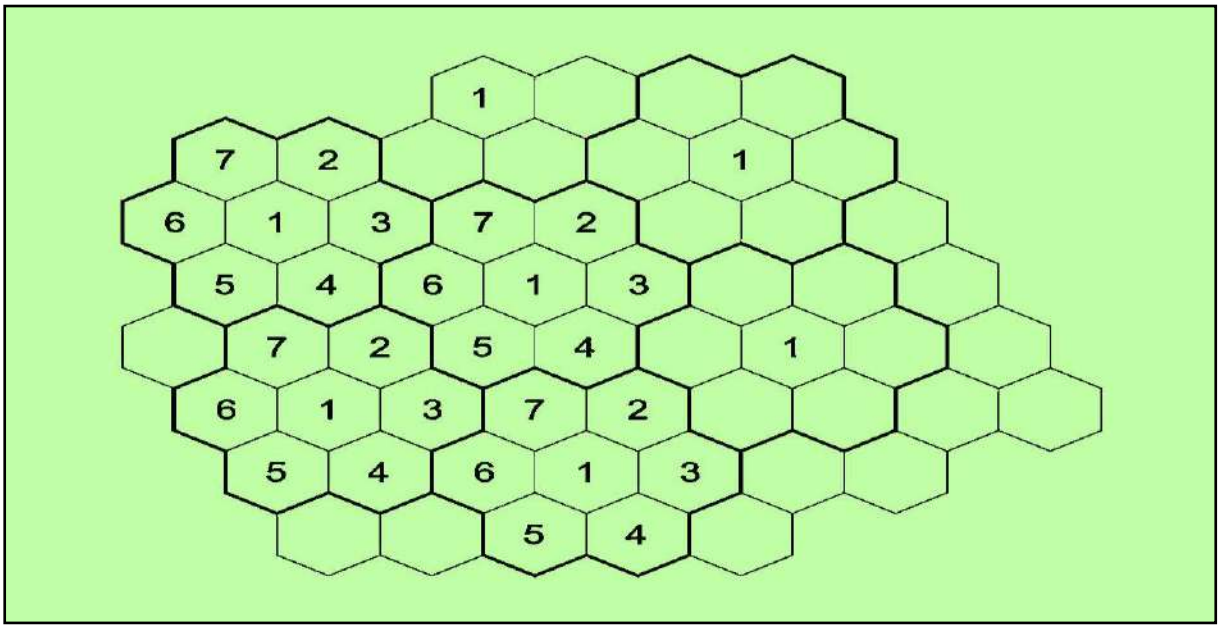
1- خدمة هاتف سيارة واحدة.
2- الأجهزة غالية وضخمة وثقيلة.
3- لا تجد قابلية للمناولة أو التسليم.
4- نوعية الخدمة رديئة.
5- جودة الكلام أو التخاطب منخفضة.
6- استهلاك كمية من الطاقة اثناء الارسال.
7- محدودة التفعلية والمدى.
8- النظام الراديوي ليس آمنا.
9- ضعف في جودة الإرسال والإستقبال.
10- تأثر الاداء بالتداخل والتشويش.

1-6 بنية النظام الخلوي

إن الخلية هي الوحدة الجغرافية الأساسية لنظام الهاتف الخلوي وأن الشبكة الخلوية مصطلح ناتج من شكل خلية النحل (الشكل السداسي). تنقسم منطقة التغطية بين جميع الخلايا ولكل خلية محطة إرسال تبعا للمناطق الجغرافية التي يتم تمثيلها بالشكل السداسي. أن حجم الخلية يتغير اعتمادا على الطبيعة وسبب القيود التي تفرضها التضاريس الطبيعية ونتيجة تأثير الأنسان والتمثيل الحقيقي لمجموعة خلايا ليس شكل سداسي كامل بل عنقودي حيث من الممكن إعادة استخدام أي قناة داخل الخلية ويوضح الشكل (1-8) عنقود لسبع خلايا.

يمكن تلخيص المبدأ الأساسي للنظام الخلوي بالتخصيص الطيفي الثابت حيث يحدد عدد القنوات المشاركة والتي يمكن أن تستعمل وكما يجب إعادة استعمال القنوات في كافة أنحاء منطقة الخدمة لتدعيم طلب الخدمة حيث أن اضمحلال الإشارة مع المسافة يسمح بإعادة استعمال القناة. ويهدف اختيار البنية الخلوية إلى السماح بإعادة

استخدام الترددات حيث يمكن للخلايا غير المتجاورة والتي تفصلها مسافة معينة إعادة استخدام الترددات ذاتها مما يؤمن استخداما فعالاً للموارد الراديوية المتاحة والمحدودة.

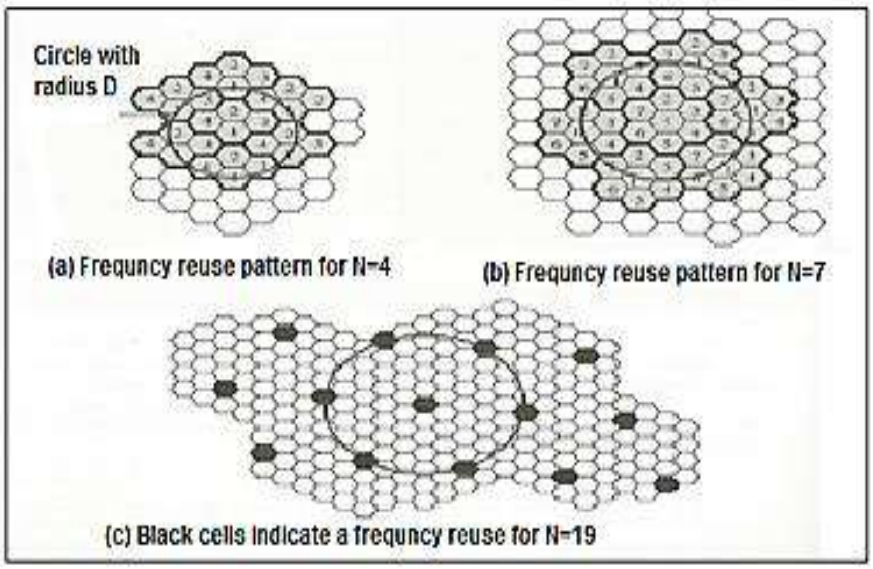


الشكل 1-8 مثال لشبكة خلوية مكونة من سبع خلايا في كل عنقود

1-6-1 إعادة استخدام التردد Frequency Reuse

تمتلك كل خلية في نظام الهاتف الخلوي جهاز إرسال واستقبال أساسي. ويتم التحكم قوة او شدة الإرسال بعناية فائقة وذلك للسماح بالاتصال داخل الخلية باستخدام نطاق ترددي معين مع الحد من القدرة المرسلة عند ذلك التردد حالما يتم الانتقال الى الخلايا المجاورة، رغم ذلك فأنه ليس من العملي محاولة استخدام نفس النطاق الترددي في خليتين متجاورتين، وبدلا من ذلك، فأن الهدف هو استخدام نفس النطاق الترددي في خلايا متعددة تبعد بمسافات عن بعضها البعض بهذه الطريقة يمكن استخدام نفس النطاق الترددي لعدد من المحادثات المتزامنة في خلايا مختلفة.

في أي خلية معينة يتم تعيين عدة نطاقات ترددية ويكون عدد النطاقات معتمدا على عدد عمليات الإرسال والإستقبال المتوقعة. أن الغاية الأساسية من تصميم إعادة استخدام التردد هي لتحديد الحد الأدنى للفصل (العزل) بين خليتين تستخدمان نفس النطاق الترددي بحيث أنه ليس هناك تداخل بين الخليتين وبناء عليه فأن هناك أنماط مختلفة من إعادة استخدام الترددات وأن الشكل (1-9-أ) يوضح بعض الأمثلة حول أنماط إعادة استخدام الترددات وهو أقل نمط يمكن توفيره لتحقيق العزل بين خليتين تستخدمان نفس التردد اذا كان النمط يتكون من **N** من الخلايا وتم ضبط كل الخلايا لكي تستخدم نفس العدد من الترددات وبذلك فأن كل خلية تمتلك $\frac{K}{N}$ من الترددات، حيث أن **K** هو العدد الإجمالي للترددات المخصصة للنظام. أن النظام **(Advanced Mobile Phone System AMPS)** فيه **K = 395** و**N = 7** هو أقل نمط يمكن أن يوفر ما يكفي من العزلة بين خليتين تستخدمان نفس التردد.



الشكل 1-9-أ بعض أنماط أعاده استخدام الترددات

وهذا يعني أن كل خلية تمتلك في المتوسط 57 تردداً من الترددات المختلفة. عند دراسة إعادة استخدام الترددات.

يتم إستخدام المتغيرات التالية:

D= أقل مسافة بين مراكز الخلايا التي تستخدم نفس نطاق الترددات (وتسمى القنوات المشتركة **co-channels**)

R = نصف قطر الخلية.

d = المسافة بين مراكز الخلايا المتجاورة (**$d = \sqrt{3}R$**).

N = عدد الخلايا في العنقود (**Cluster size**) حيث تستخدم كل خلية في النمط حزمة وحيدة من الترددات يشار اليها بمعامل إعادة الاستخدام (**Frequency reuse**) في نموذج الخلية السداسية ومن العلاقة التالية يمكن حساب عدد الخلايا في العنقود كما يلي:

$$N = i^2 + ij + j^2 \qquad i, j \geq 0$$

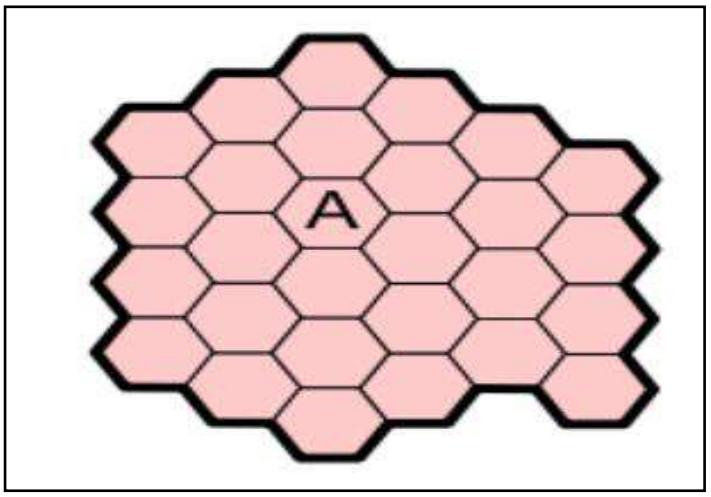
وبتطبيق المعادلة أعلاه لقيم $0 \leq i \leq 12$ وقيم $0 \leq j \leq 12$ فأن عدد الخلايا في نمط التكرار هي (**Cluster size**) وبالتالي فأن القيم الممكنة لـ **N** هي:

1,3,4,7,9,12,13,16,19,21,……

ويمكن إستنتاج العلاقة الرياضية بين خليتين متجاورتين وعدد الخلايا في نمط التكرار كما يلي:

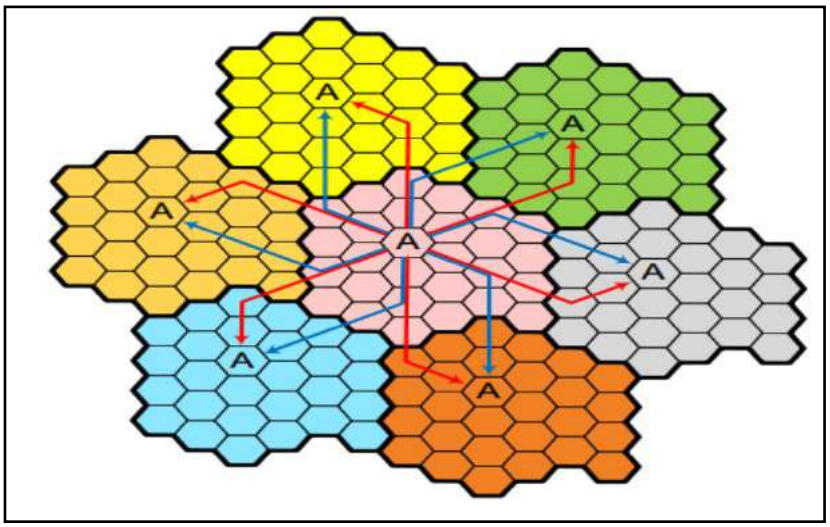
$$\frac{D}{R} = \sqrt{3N}$$

ولتوضيح العلاقة بين j,i و **N** سوف نفرض أن عدد الخلايا في العنقود هي 28، وذلك ناتج عن $i=2$ و $j=4$ وكذلك سوف نفرض أن مجموعة من الخلايا قد تم جمعها لتكون المجموعة **A** وكما موضح بالشكل (1-9-ب) ادناه:



الشكل 1-9-ب مجموعة من الخلايا جمعت لتكون قناة واحدة

في حالة إعادة النمط السابق ست مرات حول النمط الرئيسي **A**، سوف ينتج التركيب التالي، وكما في الشكل (1-10).



الشكل 1-10 تركيب مكون من إعادة نمط رئيسي سبع مرات

نلاحظ من الشكل أعلاه أن الخلايا القريبة لنفس المجموعة **A** يمكن تحديدها بواسطة:

1- الحركة عمودياً الى احد السطوح الستة للخلية الأصلية وصولاً الى الخلية **i=4** وبعدها يتم الدوران بزاوية مقدارها **60°** باتجاه عقارب الساعة ولغاية الخلية **j=2** وذلك لتغطية كل الخلايا المؤشر عليها بالخط الاحمر في الشكل أعلاه.

2- الحركة عمودياً الى احد السطوح الستة للخلية الاصلية وصولاً الى الخلية **j=2** وبعدها يتم الدوران بزاوية مقدارها **60°** باتجاه عكس عقارب الساعة ولغاية الخلية **i=4** وذلك لتغطية كل الخلايا المؤشر عليها بالخط الازرق في الشكل اعلاه.

مثال (1-1):

أوجد العلاقة الرياضية بين خليتين مشتركتين في قناة واحدة وعدد الخلايا في نمط التكرار.

الحل:

أن المسافة بين مركزي خليتين متجاورتين في حالة خلايا الشكل السداسي هي $\sqrt{3}\mathbf{R}$ ، حيث أن **R** هو نصف قطر الخلية.

يمكن حساب المسافة القياسية بين خليتين في قناة واحدة بقطع مسافة مقدارها **(i)** من الخلايا في أتجاه معين ثم قطع مسافة **(j)** من الخلايا بزاوية مقدارها **120°** مع الأتجاه الاولي باستخدام قانون جمع المتجهات نحصل على:

$$D_n^2 = j^2 cos^2(30^\circ) + (i + jsin(30^\circ))^2$$

وبعد تبسيط المعادلة نحصل على:

$$D_n = \sqrt{i^2 + ij + j^2} = \sqrt{N}$$

وبضرب المعادلة أعلاه بالمسافة الحقيقية $(\sqrt{3}R)$ وهي المسافة بين خليتين متجاورتين نحصل على:

$$D = D_n\sqrt{3}R = \sqrt{3N}R$$

حيث أن **N** هو عدد الخلايا في العنقود.

مثال (1-2):

نظام يمتلك 32 خلية, حيث أن نصف قطر الخلية الكلي هو **1.6 Km**, عدد القنوات هو 336 قناة مرور ومعامل إعادة الاستخدام **N** يساوي 7. أذا كان هنالك 32 خلية فكم تكون المساحة الجغرافية المغطاة وكم عدد القنوات في كل خلية وكم يكون العدد الإجمالي للمكالمات المتزامنة التي يمكن التعامل معها. كرر ذلك لنظام بنصف قطر للخلية هو **0.8 Km** وله 128 خلية.

الحل:

تبلغ مساحة الشكل السداسي (مساحة الخلية) الذي نصف قطره **R**: $1.5\sqrt{3}R^2$ وعليه فأنه أذا كان نصف قطر الشكل السداسي **1.6 Km** فأن المساحة تساوي **6.65 Km²** للخلية الواحدة.

ولذلك فأن المساحة الكلية المغطاة = مساحة الشكل السداسي **x** عدد الخلايا في النظام

32 **x** 6.65 =

213 Km² =

وبما أن N=7, فأن: عدد القنوات لكل خلية $=$ $\frac{\text{عرض حزمة الترددات الكلية}}{\text{معامل اعادة الاستخدام}}$

$$= \frac{336}{7} = 48 \text{ قناة لكل خلية}$$

ويمكن حساب السعة الكلية لنظام كما يلي:

= 48 x 32 = 1536 قناة

أن المساحة الكلية المغطاة لنظام بنصف قطر للخلية هو **0.8 Km** وله 128 خلية هي:

المساحة الكلية = **1.66** x 128 = **212.83 Km^2**

وعدد القنوات لكل خلية $= \frac{336}{7} = 48$ قناة لكل خلية

والسعة الكلية للنظام = 48 x 128 = 6144 قناة.

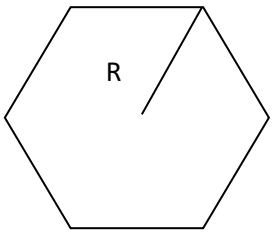
مثال (1-3):

إذا كانت المساحة الكلية المغطاة لنظام تبلغ **262.4 Km^2**, عرض حزمة الترددات الكلية هي 1000 قناة ونصف قطر الخلية هو **1 Km** إحسب السعة الكلية للنظام اذا كان **N = 4** و **N = 7**.

الحل:

يتم حساب مساحة الشكل السداسي **(A)** من المعادلة التالية:

$$A = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2 = 2.6\, R^2$$



المساحة الكلية المغطاة = مساحة الشكل السداسي **x** عدد الخلايا في النظام

262.4 Km^2 = **$2.6R^2$ Km^2** x عدد الخلايا في النظام

أي أن عدد الخلايا في النظام= 100 خلية

عددالقنوات لكل خلية $(N = 4) = \frac{\text{عرض حزمة الترددات الكلية}}{\text{معامل إعادة الاستخدام}} = \frac{1000}{4} = 250$ قناة لكل خلية

أن عددالقنوات لكل خلية $(N = 7) = \frac{\text{عرض حزمة الترددات الكلية}}{\text{معامل إعادة الاستخدام}} = \frac{1000}{7} = 142$ قناة لكل خلية

إن السعة الكلية للنظام **(N = 4)** = عدد القنوات لكل خلية **x** عدد الخلايا في النظام

= 250 x 100 = **25000** قناة

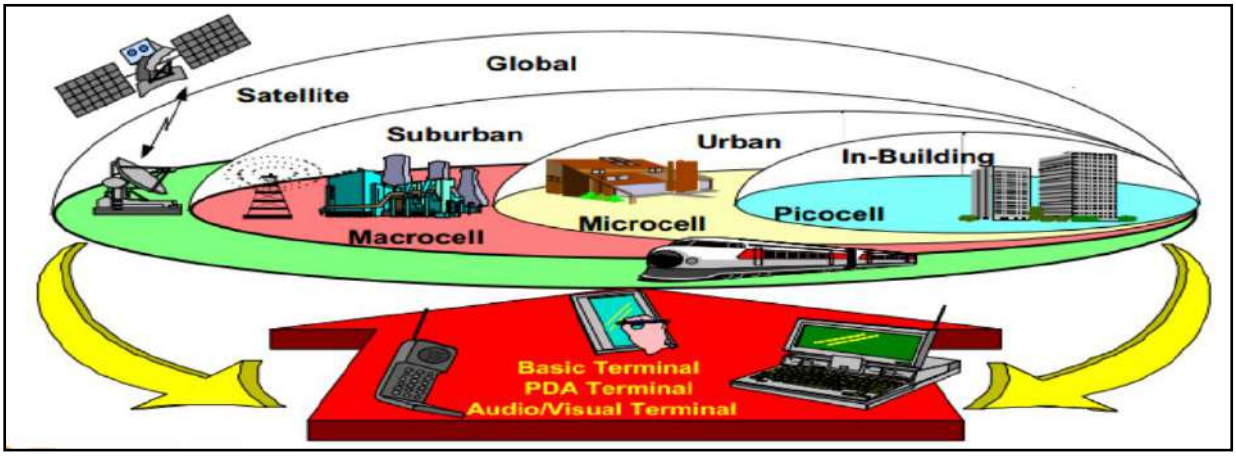
والسعة الكلية للنظام **(N = 7)** = عدد القنوات لكل خلية **x** عدد الخلايا في النظام

= 142 x 100 = **14200** قناة

زيادة سعة الوقت (Increasing capacity in time):

عند إستخدام الكثير من المشتركين للنظام في أن واحد تتراكم عمليات الإرسال والإستقبال (المرور) بحيث لا توجد نطاقات تردد تكفي للخلية للعمل بها وكما موضح بالشكل (1-11). للتعامل مع هذا الوضع تم استخدام عدد من الأساليب منها:

1. فتح قنوات جديدة .
2. إستعارة التردد.
3. تجزئة الخلية.
4. تقطيع الخلية أو الخلايا الميكروية.



الشكل 1-11 أحد أنواع الإتصالات اللاسلكية الدولية IMT-2000

يوضح الجدول (1-2) المتغيرات النموذجية في الخلايا التقليدية والتي يطلق عليها **(Macrocells)** وهذه الخلايا تستخدم الآن في تقنية المعلومات. أن معدل تأخير الانتشار للمستقبل مرتبط بتعدد مسارات الإنتشار، حيث أن نفس الاشارة المرسلة تسلك مسارات مختلفة، ولذلك فأن هناك فرق في الفترات الزمنية للإشارات الواصلة للمستقبل. وكما يلاحظ من الجدول فإن إستخدام خلايا صغيرة **(Microcell)** يؤدي إلى إستهلاك طاقة أقل وبذلك تتوفر ظروف أنتشار مثالية.

جدول 1-2 المتغيرات النموذجية للخلايا الماكروية والميكروية

	الخلية الماكروية **Macrocell**	الخلية الميكروية **Microcell**
نصف قطر الخلية **Cell radius**	**1 to 20 Km**	**0.1 to 1 Km**
القدرة المرسلة **Transmission power**	**1 to 10 Watt**	**0.1 to 1 Watt**
معدل تأخير الانتشار **Average delay spread**	**0.1 to 10 µs**	**10 to 100 ns**
أقصى معدل للبت **Maximum bit rate**	**0.3 Mbps**	**1 Mbps**

2-6-1 ضبط التحكم في قوة الاشارة المرسلة بناءً على الظروف المحيطة Adaptive power control

إن الأنظمة الخلوية تستخدم نوعين من ضبط التحكم في القدرة. يدعى النوع الاول بالسيطرة على القوة ذو الحلقة المفتوحة (**Open-loop power control**) والذي يعتمد فقط على الوحدة الخلوية نفسها بدون الرجوع الى محطة الإرسال، وهذا النوع يستخدم في بعض اجهزة (**Sprad Spectrum (SS)** الطيف المتشر مثل الهواتف اللاسلكية)، أما النوع الثاني من ضبط القدرة فيدعى بالسيطرة على القوة ذو الحلقة المغلقة (**Closed-loop power control**) حيث يتم ضبط قوة الإشارة في القناة بشكل عكسي (الوحدة الخلوية الى المحطة) استنادا الى بعض قياسات الاداء في تلك القناة، مثل مستوى الطاقة للإشارة المستقبلة، نسبة الاشارة المستقبلة الى الضوضاء (**S/N**) أو معدل الخطأ في البيانات المستقبلة (**BER**). أن الجدول (1-3) يوضح مستويات القوة المستخدمة في **(GSM)** القياسي حيث أن هذا النظام معرف بثمانية مستويات لقنوات المحطة الرئيسية وخمسة مستويات للوحدة الخلوية بناءا على مقدار قوة الاشارة المرسلة. أن عملية التوافق أو ضبط القدرة في كلا الاتجاهين تم باستخدام ضبط التحكم في القوة ذو الحلقة المغلقة.

هناك عدد من الامور المتعلقة بتصميم الاجهزة الخلوية مما جعلها مرغوبة جداً ومن الأمور المهمة ذات العلاقة بالقدرة في نظام الجهاز الخلوي نذكر:

1- يجب أن تكون قوة الإشارة المستقبلة أعلى من مستوى الضوضاء وذلك لتأمين إتصال فعال مشروط بأرسال القوة المطلوبة وحالما تتحرك الوحدة الخلوية بعيداً عن مركز الإرسال فإن قدرة الإشارة المستقبلة تنخفض بسبب التوهين.

2- يمكن أن يؤدي إنعكاس الاشارة وحيودها وتشتتها الى تغيرات سريعة في مستويات القوة المستقبلة عبر مسافات صغيرة وذلك لأن مستوى الطاقة هو مجموع الإشارات القادمة من عدد من المسارات والاطوار المختلفة وبشكل عشوائي حيث يتم أضافة الاشارات الى بعضها في بعض الأحيان او طرحها من بعضها في أحيان أخرى.

3- يجب تقليل قوة الاشارة المرسلة من وحدة المحمول، وذلك للحد من التداخل (تداخل مع قنوات تعمل بنفس التردد في الخلايا)، والتخفيف من المخاوف الصحية وتوفير طاقة البطارية.

4- في أنظمة الطيف المنتشر **Spread Spectrum (SS)** وبإستخدام رمز تقنية تعدد الوصول بالتقسيم الشفري (**CDMA**) من المستحسن تحقيق المساواة في مستوى القوة المستقبلة من جميع الوحدات الخلوية في المحطة (**BS**). أن هذا أمر بالغ الأهمية لأداء النظام لأن جميع المستخدمين لديهم نفس التردد المخصص. مثال , الهواتف الاسلكية و نظام الملاحة **GPS**

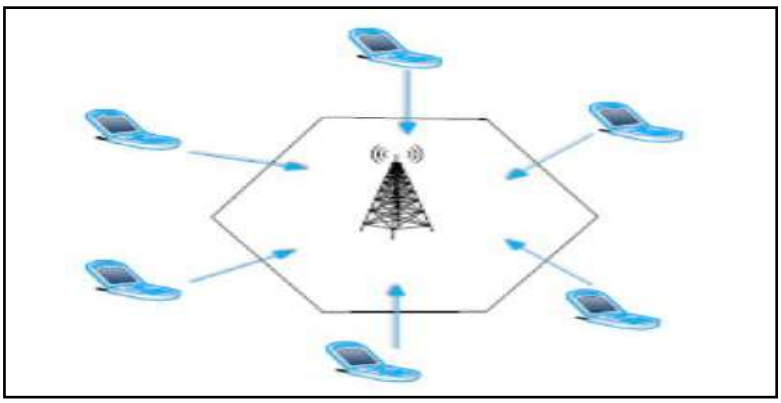
جدول 1-3 مستويات قدرة الإرسال لنظام (GSM) في وحدة الطاقة

تصنيف فئة الطاقة **Power class**	قدرة المحطة الرئيسية في وحدة الطاقة **Base station power (watt)**	قدرة المحطة المتنقلة في وحدة الطاقة **Mobile Station Power (watt)**
1	**320**	**20**
2	**160**	**8**
3	**80**	**5**
4	**40**	**2**
5	**20**	**0.8**
6	**10**	**-**
7	**5**	**-**
8	**2.5**	**-**

1-6-3 تقطيع الخلية Cell Sectorization

إن أحدى الطرق المستخدمة لزيادة عدد المشتركين بالشبكة الخلوية تكون بتبديل هوائي البث بجميع الاتجاهات لكل محطة رئيسية (**BS**) بثلاثة أو ستة قطاعات هوائية موجهة بزاوية تغطية مقدارها **120°** او **(60°)**.

يتم تقسيم الخلية الى عدد من القطاعات بشكل أوتاد وكل قطاع تكون له مع مجموعته الخاصة من القنوات، وعادة يكون عدد القطاعات من 3 الى 6 للخلية الواحدة. يكلف كل قطاع بمجموعة فرعية منفصلة من قنوات الخلية، وتستخدم هوائيات موجهة في المحطة الرئيسية لتركيز الإتصال مع كل قطاع. إن الشكـل (1-12) يمثل خلية ذات 6 قطاعات ومحطة رئيسية واحدة ولها ستة هوائيات (هوائي لكل قطاع) في المستوى الافقي وبذلك فإن المحطة الرئيسية تستطيع أن تغطي كامل الخلية.



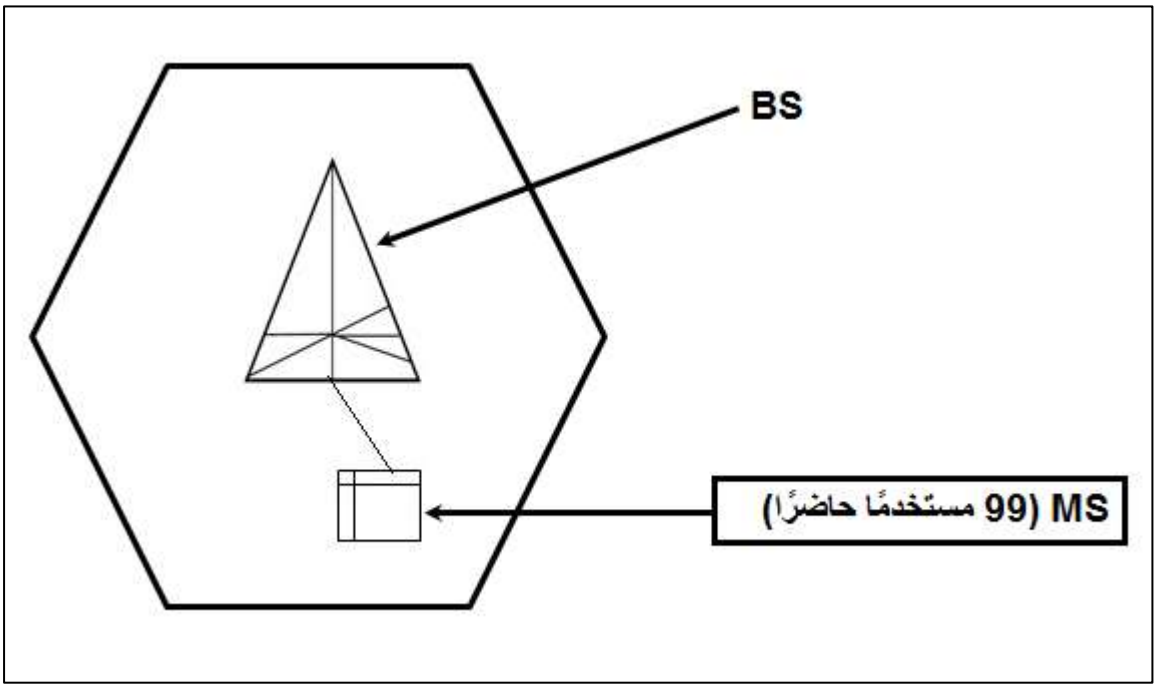
الشكل 1-12 نموذج لخلية ذات ستة قطاعات

وكان بورتر هو الذي إقترح إستخدام أبراج تحمل هوائيات اتجاهية للحد من التداخل وزيادة معامل إعادة استخدام القناة كما أخترع بورتر الطلب الهاتفي والإرسال بالطريقة المستخدمة من قبل جميع الهواتف المحمولة للحد من ضياع وقت القناة ويوضح الشكل (1-13) هوائيات باتجاهات متعددة.

الشكل 1-13 هوائي شبكة متعدد الاتجاهات

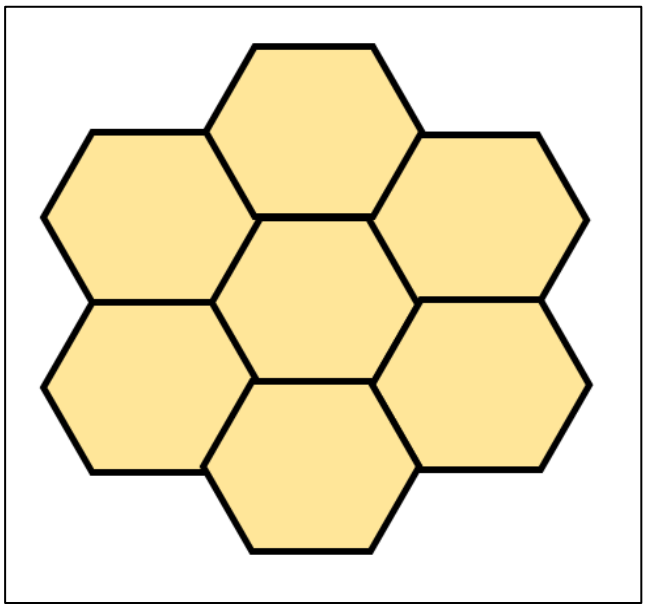
1-6-4 تقسيم او انشطار الخلية Cell Splitting

إن مفهوم تقسيم الخلية يعني تقسيم الخلايا إلى خلايا أصغر وذلك لزيادة القدرات (عدد القنوات) في نظام الإتصالات المتنقلة عند نمو الشبكة ووجود عدد كبير جداً من مستخدمي الهواتف المحمولة في منطقة معينة. وكمثال على ذلك اذا كان هناك 100 شخص في منطقة محددة كل منهم يملك هاتفا محمولا (**MS**) لكي يتم التواصل بينهم فيجب أن يكون هناك تحكم بجميع من لهم إتصال لتحقيق التواصل مع بعضهم البعض واذا فرضنا أن هناك فقط (100) مستخدم ومحطة قاعدة واحدة (**BS**) مصممة في منتصف المنطقة وترتبط بجميع هؤلاء المستخدمين (**MS**) فأنه يجب ضمان الاتصال بين المستخدمين الـ(100) في منطقة التغطية لمحطة قاعدة واحدة وهذا ما يسمى بمنطقة التغطية للخلية وكما مبين في الشكل (1-14).



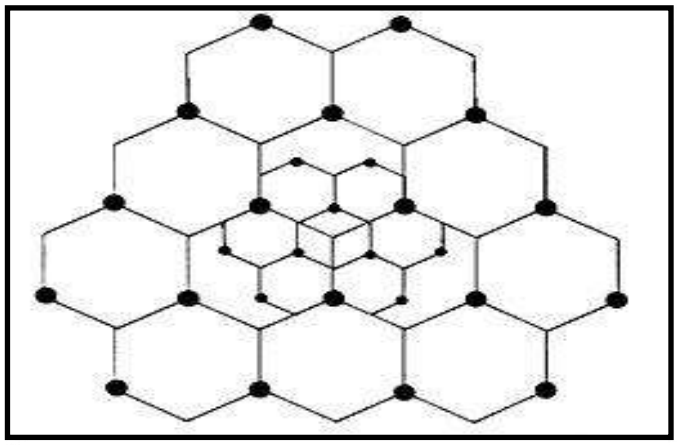
الشكل 1-14 قاعدة رئيسية (BS) واحدة تخدم مائة مستخدم (MS)

مع مرور الوقت ازداد عدد مستخدمي الهواتف المحمولة في المنطقة نفسها من (100) **MS** إلى (700)**MS** فإذا كانت هناك محطة رئيسية **(BS)** واحدة تخدم جميع هؤلاء المستخدمين ضمن الطبيعي أن ذلك سوف يؤثر على قدرة المحطة. إن من غير العملي استخدام محطة مصممة اساسا لتخدم (100) مستخدم لكي تخدم (700) مستخدم. ولأجل حل هذه المشكلة حظيت تقنية تقسيم الخلية باهتمام كبير وعندئذ يتم تقليل الحمل على المحطة الرئيسة (**BS**). حيث يتم تقسيم الخلية الواحدة أعلاه الى 7 خلايا متجاورة منفصلة وبوجود محطة رئيسة لكل خلية وكما موضح بالشكل (1-15).



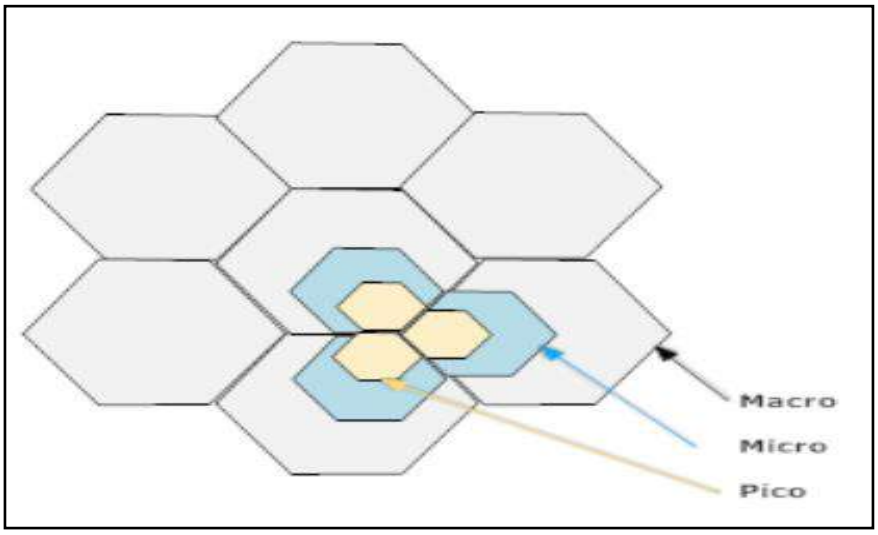
الشكل 1-15 الخلية واحدة تنقسم الى سبعة خلايا كل خلية لها محطة قاعدة

بعد مناقشة تقسيم الخلايا في منطقة صغيرة فأنه من الممكن استخدام المفهوم نفسه للتعامل مع شبكة كبيرة ولكن ليس من الضروري تقسيم جميع الخلايا في جميع المجموعات. حيث أن بعض **(BS)** تستطيع التعامل مع حركة المرور بشكل جيد إذا تم تقسيم خلاياها (مناطق التغطية) وأن تلك الخلايا هي فقط مثالية لتقسيم الخلية. أن الشكل (1-16) يبين بنية الشبكة مع عدد قليل من الخلايا تم تقسيمها إلى خلايا أصغر دون التأثير على الخلايا الأخرى في الشبكة.



الشكل 1-16 تقسيم الخلية الى خلايا اصغر في الشبكة الكبيرة

ويمكن المضي في تطبيق مفهوم تقسيم الخلية في التقسيم إلى خلايا الانقسام أيضا حيث يمكن تقسيمها إلى عدد من الخلايا الصغيرة لتحسين كفاءة **(BS)** إن الشكل (1-17) يوضح التسلسل الهرمي لتقسيم الخلية ويمكن للخلايا الرئيسة الماكروية **(Macr cells)** أن تنقسم إلى خلايا أصغر تسمى بالخلايا المايكروية **(microcell)** وبدورها تنقسم هذه الخلايا الى خلايا متناهية الصغر تسمى خلايا البيكو **(Pico cells)**.



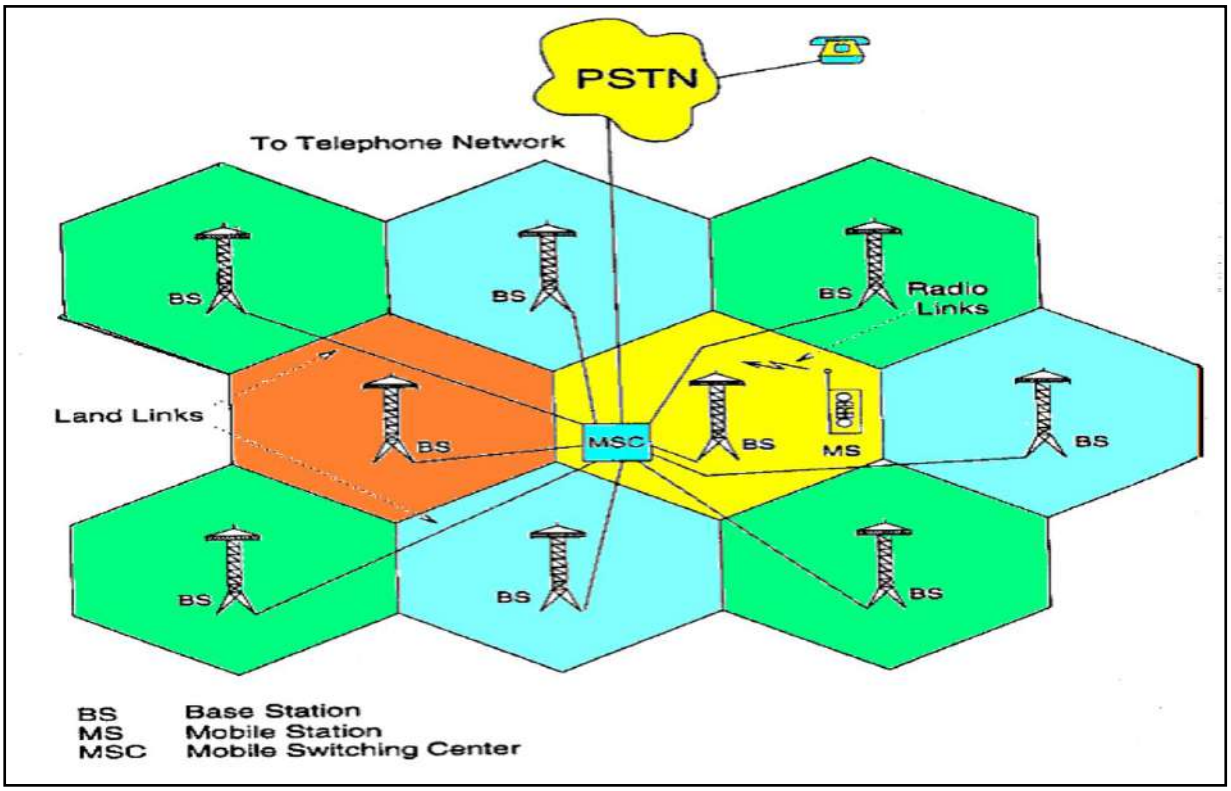
الشكل 1-17 التسلسل الهرمي لتقسيم الخلية

عملياً أن عملية تجزئة الخلية تولد توزيعاً غير متجانس حيث يمكن أن تقسم الخلايا ذات الاستخدام العالي الى خلايا اصغر حجما. وعموماً فأن حجم الخلايا الرئيسية يتراوح بين 5.6 كم الى 13 كم ويمكن أن يتم التقسيم للخلايا الصغيرة ايضاً ويتم تقسيم الخلايا عملياً بمقدار **0.5** كم.

عند إستخدام خلية أصغر يجب أن يتم خفض مستوى الطاقة المستخدمة للحفاظ على الإشارة داخل الخلية. وكذلك، عندما تتحرك الوحدات المحمولة (**Mobile unites**) بين خلية واخرى الأمر الذي يتطلب نقل المكالمات من جهاز (إرسال-إستقبال) واحد الى آخر وتسمى هذه العملية بالتسليم أو التحويل (**Handover**) والتي اصبحت اكثر شيوعا في الإتصالات اللاسلكية. أن الشكل (1-17) يبين كيفية تقسيم الخلايا لتوفير المزيد من سعة القنوات. إن تقليل نصف القطر الخلية الى **(0.5 R)** يؤدي الى تقليل مساحة منطقة التغطية وزيادة العدد المطلوب من محطات الهواتف الخلوية الى أربعة أمثال عددها.

5-6-1 التسليم أو المناولة Handoff or Handover

إن عملية التسليم او المناولة هي طريقة لتغيير إتصال الوحدة الخلوية من محطة (**BS**) الى أخرى طالما تتحرك هذه الوحدة الخلوية بين خلية واخرى وتتم عملية التسليم أو المناولة بين محطة اتصال وأخرى بطرق مختلفة وبأنظمة مختلفة وتتضمن عدد من العوامل والشكل (1-18) يوضح تركيب النظام الخلوي.



الشكل 1-18 تركيب النظام الخلوي

إن عملية التسليم تخضع لمجموعه من القواعد في شبكة الإتصالات، حيث يتم فيها أتخاذ القرار بالتسليم أو المناولة من محطة الى أخرى بواسطة قياسات الشبكة للإشارة المستقبلة من الوحدة الخلوية. وكذلك هناك مساعدة باتخاذ قرار التسليم عن طريق الوحدة الخلوية بناء على مقدار الإشارة التي يتم استلامها من هذه الوحدة والتي بدورها ترسلها الى الشبكة وكما موضح بالشكل (1-19). في كلتا الحالتين هناك عدد من مقاييس الاداء المختلفة التي يمكن استخدامها لاتخاذ قرار التحويل من محطة الى أخرى وكما يلي:

1- إحتمالية حجب الخلية (**Cell blocking probability**).

2- إحتمالية فقدان الاتصال (**Call dropping probability**).

3- إحتمالية اتمام الاتصال (**Call completion probability**).

4- إحتمالية عدم نجاح عملية التسليم (**Probability of unsuccessful handoff**).

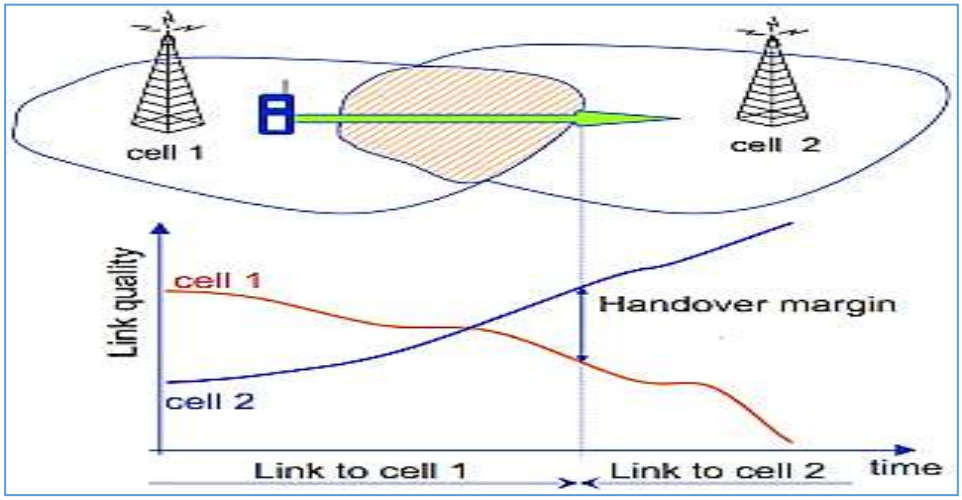
5- إحتمال حجب عملية التسليم (**Handoff blocking probability**).

6- إحتمال عملية التسليم (**Handoff probability**).

7- معدل التسليم (**Rate of handoff**).

8- مدة الانقطاع (**Interruption duration**).

9- تأخير عملية التسليم (**Handoff delay**).



الشكل 1-19 عمليتي التسليم أو المناولة في الإتصالات الخليوية

1-7 المعايير الخلوية

1-7-1 المعيار الخلوي الرقمي الاوربي European digital cellular standard (GSM)

إن القدرة الاستيعابية المحدودة لنظام الاتصال الخلوي تواجه صعوبات مع النمو السريع لعدد المشتركين. وكان الحل للتغلب على المحدودية هو الانتقال إلى النظام الرقمي **(Digital system)** بدلاً من النظام التماثلي **(Analog system)** المستخدم آنذاك ولقد بدأ هذا النظام العمل في كل أوربا سنة 1991م بعرض نطاق ترددي جديد وهو 900 ميكاهيرتز لخدمة الهاتف الخلوي ومنذ ذلك الحين نال معيار **Group Special (Mobile) (GSM)** القبول العالمي على أنه النظام الرقمي الخلوي العالمي الأول بميزات الشبكة الحديثة التي تمتد الى كل مستخدم للهاتف الجوال. أضافة الى ذلك فأن الخدمة اللاسلكية في أوربا هي **CT-2** و **DECT**.

2-7-1 المعيار الخلوي الامريكي Electronic association interim standard (IS-54)

في أواخر سنة 1991م تم تركيب أجهزة نظام رقمي خلوي (**IS-54**) في معظم المدن الأمريكية حيث يسمح المعيار الخلوي الرقمي الامريكي لمشغلي الخلوي باستبدال بعض القنوات التماثلية ذات المشترك الوحيد بالقنوات الرقمية التي تدعم ثلاثة مشتركين في نفس عرض النطاق الترددي30 كيلوهيرتز للقناة الواحدة وتمت إعادة تسمية النظام بالرقمي (**AMPS**) أو (**DAMPS**) مع إستخدام تقنية تعدد الوصول بتقسيم الزمن (**TDMA**) بدلاً من التقنية التماثلية تعدد الوصول بتقسيم التردد (**FDMA**).

1-2-7-1 المعيار الخلوي الامريكي Electronic association Interim Standard (IS-95)

تم تطوير النظام الرقمي الخلوي لكي يعتمد على تقنية تعدد الوصول بالتقسيم الشفـــــري (**CDMA**) من قبل شركة كوالكوم والذي أعتمد من (**Telecommunications IndustryAssociation**) كمعيار مرحلي أو مؤقت وسمي (**IS-95**) وأن الشكل (1-20) يوضح المخطط الكتلوي لهذا النظام.

الشكل 1-20 مخطط للنظام الرقمي الخليوي الذي يعتمد على تقنية تعدد الوصول بالتقسيم الشفري (CDMA)

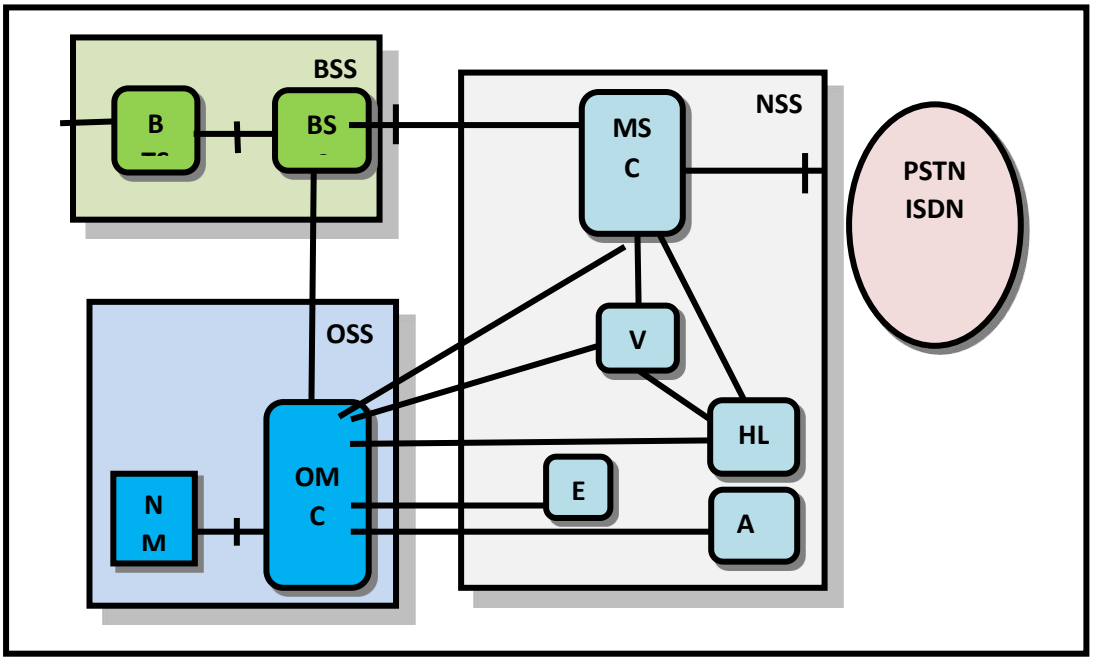
3-7-1 المعيار الياباني الخلوي الرقمي Japanese Digital Cellular System

إستخدم النظام الخلوي الرقمي الشخصي (**Personal Digital Cellular) (PDC**) فقط في اليابان وعُرف باسم النظام الخلوي الرقمي الياباني (**Japanese Digital Cellular System)** او نظام الهاتف اليدوي الشخصي (**Personal Handy System**) **(PHS)** تم تطوير نظام الهاتف الخلوي الرقمي على أساس الخلوية الرقمية القيـاسية اليابـانية (**Japanese Digital Cellular**) وإدخالها في منطقة طوكيو وتم إحراز تقدم سريع في توحيد وتطوير جيل نظام الهاتف اللاسلكي الرقمي الثاني. وتقدم هذه الأنظمة مواصفات خاصة لأنظمة الإتصالات المتنقلة حيث توفر ثلاث قنوات من الوصول المتعدد بتقسيـــم

الوقـــت ((**Time-Division Multiple -Access (TDMA**)) لنظام الهاتف الخلوي الرقمي على أساس المعيار الياباني وسيتم ربط النظام وفقا لنموذج ترابط الأنظمة المفتوحة (**Open (OSI) Interconnection) Systems**) الشبكة الرقمية للخدمات المتكاملة (**Integrated (ISDN) Services Digital Network**) لتحقيق المرونة اللازمة لتقديم خدمات مدعومة. النظام المقترح يحقق كفاءة استخدام الطيف من خلال توظيف التشكيل الرقمي الضيق حيث يؤدي تقسيم الخلية الى تعزيز رقابة الوصلة اللاسلكية بمساعدة تقنية (**TDMA**). وبالإضافة إلى ذلك، يؤدي استخدام بنية إشارات الطبقات في (**OSI**) الى الحفاظ على مرونة النظام ولتعزيز الرقابة للرابط وتقديم خدمات جديدة.

8-1 تطورات الإتصالات المتنقلة

لقد تطور دور الشبكات الخلوية من توفير الإتصال الهاتفي ليشمل نقل المعطيات والصور والربط بالإنترنت وإلى غير ذلك من الخدمات الحديثة. لقد تم تصميم الراديو الخلوي بدايةً بهدف تقديم المكالمات الصوتية إلى المركبات المتنقلة في الشوارع والطرق السريعة. وظهرت في الخمسينيات والستينيات من القرن العشرين شبكات راديوية نقالة خاصة ومتنوعة مثل الراديو النقال الذي يستخدم الحزمة العامة (**CB**) والمنظومة الهاتفية النقالة المحسنة **IMT (Interaction Mobile Telecommunication)**) إلا أن قلة الترددات التي كانت متوفرة أنذاك وضعف التقنيات حد كثيراً من عدد المستخدمين. وفي السبعينيات من القرن العشرين طرحت شركة إريكسون **Ericsson** منظـومة الهاتف النقال الشمالية (**NMT**)، وطرحت مختبرات **AT&T Bell** المنظومة الهاتفية النقالة المتقدمة (**AMPS**) وظهرت في اليابان منظومة (**MCS-L1**) ومن ثم ظهرت منظومات وطنية في كل من المانيا وإيطاليا وفرنسا وغيرها. وقدمت هيئة الإتصالات والبريد الأوربية (**CEPT**) في عام 1982م مجموعة خاصة بالهواتف النقالة بهدف وضع معايير للراديو الخلوي الأوربي المستقبلي الذي عُرف باسم المنظومة الشاملة للاتصالات النقالة (**GSM**)(**Global System for Mobile Communication**). وتعد تلك المنظومة من أكثر المنظومات الراديويـة النقالة نجاحـاً وتوسعاً. الشكل (1-21) يوضح بناء شبكة **GSM** وبعد شيوع استخدام منظومة (**GSM**) في كثير من البلدان فقد اعتمدت هذه المنظومة في بناء البنية الهرمية للشبكة الخلوية وذلك بربط المكونات الرئيسة الآتية:



الشكل 1-21 بنية الشبكة الخلوية (GSM)

1- محطة محمولة (**MS**): وهي جهاز يُستخدم لتحقيق الاتصال عبر الشبكة الخلوية، وهو الهاتف الذي يحمله المشترك.

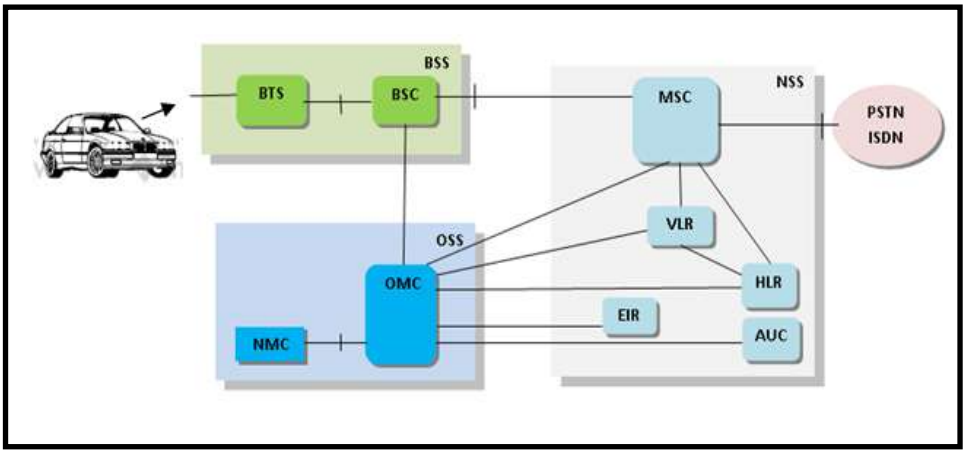
2- محطة قاعدة (**BS**): وتتألف من مرسل ومستقبل راديوي يُستخدم لإرسال الإشارات واستقبالها من المحطات المحمولة وإليها.

3- مركز التحويل النقال (**MSC**): ويمثل قلب الشبكة، وهو الذي يقوم بإدارة المكالمات التي تُتم عبر الشبكة ويحافظ عليها.

4- مراقب المحطات القاعدية (**BSC**): ويقوم بمراقبة الإتصالات بين مجموعة من المحطات القاعدية ومركز التحويل المحمول الوحيد.

5- الشبكة الهاتفية التحويلية العامة (**PSTN**): وتمثل المقطع الأرضي من الشبكة.

ولبيان كيفية عمل الشبكة الخلوية وبيان أهمية ومهام كل جزء منها يمكن ملاحظة الشكل التالي والذي يوضح مخطط شبكة خلوية تعتمد منظومة **GSM**.



الشكل 1-22 مخطط شبكة خلوية تعتمد على منظومة GSM

كما هو مبين من الشكل (1-22) من محطات محمولة (محمولة باليد أو مثبتة على متن مركبة) تتخاطب مع منظومة جزئية للمحطات القاعدية (**BSS**) تشتمل على عدة محطات إرسال ـ استقبال قاعدية **(BTS)** وعلى مراقب محطات قاعدية. ويتم ربط المحطات القاعدية بمراقباتها عبر وصلات مايكروية أو كيبلات. وتُربط منظومات المحطات القاعدية الجزئية بمركز التبديل الخلوي الذي يتحكم بحركة النقل في عدد من الخلايا المختلفة. ويملك كل مركز تبديل خلوي سجلاً لمواقع الزوار (**VLR**) تُسجل فيه المحطات النقالة الزائرة بحيث يمكن للمنظومة العثور عليهم أذا اقتضت الضرورة. كما يُربط مركز التبديل الخلوي بسجل مواقع المقيمين(**HLR**) وبمركز التوثق (**AUC**) وبسجل هوية التجهيزات (**EIR**) الذي يسمح للمنظومة بالتأكد من شرعية المستخدمين والتجهيزات ويضع حداً لاستخدام الأجهزة المسروقة أو غير المرخصة. وتشتمل المنظومة أيضاً على مركز التشغيل والصيانة (**OMC**) ومركز إدارة الشبكة (**NMC**).

ويمكن للمنظومة الاتصال بالشبكات الأخرى مثل الشبكات الأرضية، الشبكات النقالة الأخرى، الشبكة الهاتفية العامة (**PSTN**) والشبكة الرقمية للخدمات المتكاملة (**ISDN**).

1-9 بطاقة الذاكرة SIM CARD

إن أهم ما يميز تقنية (**GSM**) هو استخدامها لبطاقات الذاكرة المعروفة بـأسم (**SIM CARD**) أو وحدة تعريف المشترك وهي عبارة عن بطاقة صغيرة سهلة التثبيت والإزالة في الهاتف ويقوم المستخدم بتخزين بعض المعلومات والملفات الهامة عليها ولايحتاج المستخدم الى التعامل مع شركة الهاتف عند رغبته في إزالة الشريحة وتغييرها بأخرى وكذلك يمكنه وضع الشريحة في هاتف آخر يرغب في استخدامه وبالطبع سيجد شريحة **card** محتفظة بجميع بياناته المخزنة عليها. أن تقنية (**GSM**) إنتشرت بسرعة كبيرة وأثبتت نجاحا حقيقيا مع المستخدمين. أن خدمات (**GSM**) هي آمنة للغاية حيث أنها يمكن أن تحمي ضد كل من التنصت وقرصنة الخدمة.

إن خدمة (**GSM**) متاحة في أكثر من 200 دولة وأن الزبائن قادرين على التجوال دولياً دون تغيير أجهزتهم أو خطط خدمات الرسائل او خدمات متقدمة أخرى مثل البيانات وتظل هذه الخدمات متاحة أيضاً. لقد أبرمت شركات الخلوي اتفاقات بحيث تمكن المشتركين من التجوال دولياً بأسعار مخفضة. أن تقنية **(GSM)** لها حصة كبيرة من السوق الخلوي وبالتالي فهي قادرة على توفير مجموعة كبيرة ومتنوعة من الأجهزة والخدمات بأسعار معقولة أن المصنعين قادرين على توفير أنواع مختلفة من الأجهزة لأن زيادة كمية المشتريات يساعد على خفض تكاليف التصنيع.

إن تكنولوجيا (**GSM**) تستخدم خمسة نطاقات ترددية وهي (1900، 1800، 900، 850، 450) ميغاهيرتز(**MHZ**)، حيث من الممكن أنتاج الأجهزة التي يمكن أن تلتقط أثنين أو ثلاثة نطاقات ترددية مختلفة. ويمكن لهذه الهواتف التنقل بين هذه الترددات تلقائيا حسب الحاجة. ومن أجل الحفاظ على الاتصال بالشبكة في أي مكان تقريباً. الإشارات المتوفرة مع خدمة (**GSM**) تتسم بالكفاءة، وهذا يعني أن قدراً كبيراً من البيانات يمكن أن تنقل

عبر النطاقات الترددية دون التقليل من فعالية الإشارات. وهنالك أيضاً عدداً من الميزات والفوائد لنظام **(GSM)** منها:

1. التجوال الدولي (**Roaming**) استخدام خدمات الهاتف المحمول أثناء السفر الى بلد أخر دون الحاجة الى تغير رقه الهاتف.
2. الترويج للأجهزة المتنقلة ذات القدرة المنخفضة.
3. تنوع الخدمات الجديدة والتسهيلات المتوفرة في الشبكة.
4. تمييز هوية المتصل.
5. خدمة الانتظار.
6. خدمة تعليق المكالمة.
7. معدلات نقل بيانات تتراوح من (2400 – 9600) بايت في الثانية.
8. جودة نقل الكلام العالية.
9. توفير أجهزة تشغيل وخدمات ذات تكلفة منخفضة.
10. هناك مستوى عالي من السرية.

أسئلة الفصل الأول

س1: مع بداية السبعينات والتطور المذهل في تقنية وهندسة دوائر اشباه الموصلات المتكاملة تمكنت الصناعة من أنتاج اجهزة لاسلكية تستخدم عدد من القنوات اللاسلكية التي تعمل بنظام تعدد الوصولية بتقسيم التردد (**FDMA**)، ما المقصود بتعدد الوصولية؟

س2: عدد البروتوكولات الرياضية التي يستخدمها نظام (**FDMA**) في تنظيم عمليات إتصال المستخدمين.

س3: قارن بين الجيل الثالث والثاني لنظم الإتصالات المتنقلة.

س4: وضح مراحل تطور الإتصالات اللاسلكية.

س5: عرف نظام الهاتف الخلوي.

س6: تبنى النظام الخلوي للجيل الأول عدد من التقنيات، إذكرها.

س7: أذكر مواصفات الجيل الاول من النظم المتنقلة.

س8: متى تم إدخال التقنية الرقمية الى النظام الخليوي المتنقل؟ وضح ذلك.

س9: ماهي أهداف الجيل الثاني من النظم المتنقلة؟

س10: أذكر التقنيات المعتمدة من قبل المقياس المستخدم في الجيل الثالث لنظم الإتصالات المتنقلة.

س11: ماهي أهداف الجيل الثالث من النظم المتنقلة؟

س12: تكلم عن المراحل التاريخية لنظم الإتصالات المتنقلة.

س13: ما المقصود بالتعبير مشترك **(subscriber)** في نظم الإتصالات المتنقلة؟ ولأي غرض يستعمل؟

س14: عدد نظم الإرسال الراديوية المتنقلة، وإشرح واحدة منها.

س15: ماذا نعني بنظام اتصال بسيط؟ إدعم إجابتك بمثال.

س16: ماهي الميزة الأساسية للأنظمة نصف المزدوجة؟

س17: لأي نوع من تقنيات الإتصالات يمكن أن تصنف اجهزة الشرطة **(Police Terminals)**؟ ولماذا؟

س18: إرسم شكلاً يوضح كيفية عمل النظام المزدوج في الإتصالات الخلوية.

س19: وضح نظام الإرسال المزدوج في الإتصالات الخلوية مدعماً اجابتك بالرسم.

س20: ماهي مساوئ النظام الراديوي التقليدي؟

س21: قارن بين أنظمة الإرسال الراديوية المتنقلة.

س22: أرسم مخطط لنظام إرسال خلوي مزدوج.

س23: إشرح بنية الإرسال الخلوي.

س24: أذكر طريقتان ممكن تطبيقهما لبناء اتصالات متحركة.

س25: ما الغرض من تطوير الإتصالات الخلوية؟

س26: ماهي الخلية في نظم الإتصالات؟

س27: أذكر مبادئ الإتصالات الخلوية.

س28: هل يمكن تقسيم حجم الخلية؟ وضح ذلك مستعيناً بالرسم.

س29: ما هو شكل الخلية؟

س30: لماذا تم استخدام الشكل السداسي لتمثيل الخلية في نظم الإتصالات الخلوية؟

س31: برهن على أن المسافة بين مركزي خليتين سداسيتين متجاورتين تساوي $\sqrt{3}\mathbf{R}$ حيث أن **R** يمثل نصف القطر للخلية.

س32: ما المقصود بإعادة استخدام التردد؟ ماهي نتائج اعادة استخدام التردد؟

س33: ما المقصود بمعامل إعادة استخدام التردد (**N**)؟ وما المقصود بعدد الخلايا في العنقود (**Cluster size**)؟

س34: ارسم شكل لأنماط التردد لـ **N= 4,7**.

س35: كيف يتم تحديد الترددات المخصصة لكل خلية؟

س36: برهن أن القيم التالية ممكنة لمعامل اعادة استخدام التردد**N**:

1, 3, 4, 7, 9,12, 13,16,19,21

س37 **:** برهن أن $\frac{\mathbf{D}}{\mathbf{R}} = \sqrt{3N}$ حيث أن **D** هي المسافة بين خليتين تستخدمان نفس التردد و **R** هو نصف قطر الخلية.

س38: يعتمد ضبط القدرة باستخدام السيطرة على القدرة ذو الحلقة المغلقة على قياس بعض البارامترات في القناة، ماهي تلك البارميترات؟

س39: ما المقصود بعملية التسليم (**Handoff**) في الأنظمة الخلوية؟ وما هو شرط التحويل؟

س40: هناك عدد من مقاييس الاداء المختلفة التي يمكن إستخدامها لإتخاذ قرار التحويل من محطة الى أخرى في نظم الإتصالات الخليوية. عددها.

س41: نظام يمتلك 32 خلية، حيث أن نصف قطر الخلية هو **1.6 Km**، عرض حزمة الترددات الكلية تدعم 336 قناة مرور ومعامل أعادة الاستخدام **N** يساوي 7. اذا كان هنالك 32 خلية فكم تكون المساحة الجغرافية المغطاة وكم عدد القنوات في كل خلية. وكم يكون العدد الاجمالي للمكالمات المتزامنة التي يمكن التعامل معها. كرر ذلك لنظام له خلية نصف قطرها **0.8Km** ويمتلك 128 خلية.

الفصل الثاني

معطيات الإتصالات اللاسلكية

أهداف الفصل الثاني:

أن يتعرف الطالب على معرفة أساسيات الإتصالات اللاسلكية وطرق التعديل الرقمي والتقسيم المتعدد المسالك في الإتصالات الرقمية وأنواعها التي تشمل أتصالات **TDMA** و **CDMA** و **FDMA** كما سيتعرف الطالب على الإرسال التماثلي والرقمي ومشاكل الإرسال المحتملة.

محتويات الفصل الثاني

2-1 تمهيد.

2-2 أساسيات الإتصالات اللاسلكية.

2-3 طرق التضمين الرقمي.

2-4 التقسيم المتعدد المسارات.

2-5 الإرسال التماثلي والرقمي.

2-6 مشاكل الإرسال.

2-7 حلول مشاكل الإرسال.

الفصل الثاني

معطيات الإتصالات اللاسلكية

1-2 تمهيد

تعتبر الإتصالات من العلوم المهمة التي تطورت بشكل كبير في السنوات الأخيرة وبدأت تزداد التقنيات الحديثة المتحققة في هذا المجال، فبعد أن كانت هذه التقنيات عبارة عن تقنيات سلكية تقليدية أتجهت التقنيات الحديثة الى أستخدام الوسائل اللاسلكية في الإتصالات، كما تم أستحداث العديد من الوسائل كأستخدام الشبكات اللاسلكية في نظم الإتصالات والتي كانت المحفز الرئيسي لظهور أنظمة الإتصالات الخلوية التي تعتمد مبدأ الشبكات اللاسلكية في طريقة الإرسال والإستقبال.

كما أشرنا سابقا فأن هذا الفصل سيتناول المبادئ الأساسية للإتصالات اللاسلكية وطرق التضمين الرقمي والتقسيم المتعدد المسارات والأنواع الشائعة لها التي تشمل إتصالات **TDMA** وإتصالات **CDMA** وإتصالات **FDMA**، كما سيتم التطرق الى مبادئ الإرسال التماثلي والرقمي ومشاكل الإرسال وماهي الحلول المقترحة لحل هذه المشاكل، كما سيتضمن هذا الفصل العديد من الأمثلة والأشكال التوضيحية التي تسهل فهم هذه المبادئ المذكورة.

2-2 أساسيات الإتصالات اللاسلكية

قبل شرح المبادئ الأساسية للأتصالات اللاسلكية لابد لنا من التعرف على أهم المعطيات والمصطلحات المستخدمة في هذا المجال والتي تشمل التعرف على:

2-2-1 التردد Frequency

يمكننا تعريف التردد على أنه عـدد مـرات تكرار الموجة في الثانية الواحدة ويرمز له عادة بالرمـــز (**f**) ووحدة القياس المستخدمة لقياس التردد هي (الهرتز **Hertz**) ويرمز له بالرمز المختصر (**Hz**). ومن المعطيات الأخرى التي ترتبط بمقدار تردد الموجة هو طول الموجة والذي يرمز له بالرمز (λ) وكذلك سرعة الضوء والتي يرمز لها بالرمز (**C**) وهو ذو قيمة ثابتة في الفراغ يساوي المقدار (**$3x10^8$**) م/ثا، من الممكن أن ترتبط كافة المعطيات السابقة الذكر بالعلاقة الرياضية التالية:

$$f = C/\lambda \qquad .....(2-1)$$

من خلال هذه العلاقة يتضح لنا أن الموجة ذات التردد المنخفض تتميز بطول موجي كبير وهذا يساعد في إنتشار الموجة ووصولها الى مسافات بعيدة، أما الموجات ذات الترددات العالية فتتميز بطولها الموجي القصير جداً وهذا لايساعد على الإنتشار والوصول الى المسافات البعيدة وذلك لتأثرها بالعوائق مثل الغباروقطرات

المطر والعوائق الطبيعية الأخرى كالجبال أو التلال أو الأشجار والتي تسبب في أرتدادها وتشتتها وأنحرافها عن مسارها لهذا السبب تستخدم في الإرسال لمسافات قصيرة.

2-2-2 الطيف الترددي Frequency Spectrum

إن المقصود بالطيف الترددي للموجات الراديوية هو النطاق الترددي الذي يستخدم في تراسل المعلومات لاسلكيا حيث يمتد هذا النطاق من التردد **Hz** 300 الى التردد **GHz** 300، يوضح الشكل (2-1) جدول بالحدود المخصصة للطيف الترددي والأستخدامات المقابلة له.

النطاق الترددي	طول الموجة	الحزمة الترددية	بعض الاستخدامات
0.3-30 KHz	1Mm-10Km	VLF	التلغراف والملاحة
30-300KHz	10Km-1Km	LF	اتصالات الغواصات وإذاعات الراديو **LW**
0.3-3MHz	1Km-100m	MF	إذاعات الراديو **MW**
3-30MHz	100m-10m	HF	إذاعات الراديو **SW** و **FM**
30-300MHz	10m-1m	VHF	التلفزيون **VHF**
0.3-3GHz	1m-10cm	UHF	التلفزيون **UHF** والهواتف المحمولة
3-30GHz	10cm-1cm	SHF	أنظمة الميكروويف والأقمار الصناعية
30-300GHz	1cm-1mm	EHF	للاستعمال المستقبلي

الشكل 2-1 جدول بالنطاق الترددي والطول الموجي للطيف الترددي للموجات الراديوية

2-2-3 عرض النطاق Bandwidth

عرض النطاق هو المجال الترددي المخصص لأي نظام من أنظمة الإتصالات، حيث يتعين للنطاق الترددي بأن يكون له حد أدنى يسمى بالتردد الأدنى (f_{min}) وحد ترددي أعلى يسمى بالتردد الأعظم (f_{max})، أن الفرق بين الحد الأعلى للتردد والحد الأدنى له يعرف بالنطاق الترددي يرمز له عادة بالرمز (**BW**) ووحدة قياسه (الهرتز **Hz**) ويمكن تمثيله بالمعادلة التالية:

$$BW = f_{max} - f_{min} \qquad \text{.....(2.2)}$$

أما في الإرسال التماثلي يعرف النطاق الترددي بكونه المجال الترددي الذي لاتقل فيه قيمة تردد الموجة عن الحد الأدنى لتردد النطاق وذلك للمحافظة على جودة الأشارة المرسلة أو المستقبلة، أما في أنظمة الإرسال الرقمية فيمكن تعريف النطاق الترددي بكونه كمية المعلومات المنقولة المقاسة بالـ (بت **Bits**) في وحدة الزمن المقاس بالثانية حيث تكون وحدته في هذه الحالة (**Bits/Sec**).

4-2-2 القناة Channel

يمكن تعريف الوسط الذي يتم فيه نقل المعلومات بين جهاز الإرسال والإستقبال بالقناة، حيث يتوجب أن يكون لكل قناة نطاق ترددي يرمز له بالرمز (BW_{ch})، كما يتوجب ترك فاصل ترددي بين القنوات المتقاربة تفاديا للتداخل. يمكن تقسيم قنوات الأتصال لأنظمة الأتصال الراديوية الى ثلاثة أنواع هي قنوات الأتصال البسيطة (**Simplex Channels**) وقنوات أتصال نصف مزدوجة (**Half Duplex Channels**) وقنوات الأتصال المزدوجة القصوى او الكاملة (**Full Duplex Channels**) حيث يعتبر النوع الأخير من القنوات من أهم وأكثر الأنواع شيوعاً في أنظمة الإتصالات الحديثة وذلك لقابليته على أرسال وأستقبال الحزم المعلوماتية المنقولة خلال القناة في نفس الوقت ودون أنتظارحيث يؤدي ذلك الى سرعة الإرسال والإستقبال في نقل المعلومات.

5-2-2 سرعة الإرسال Propagation Velocity

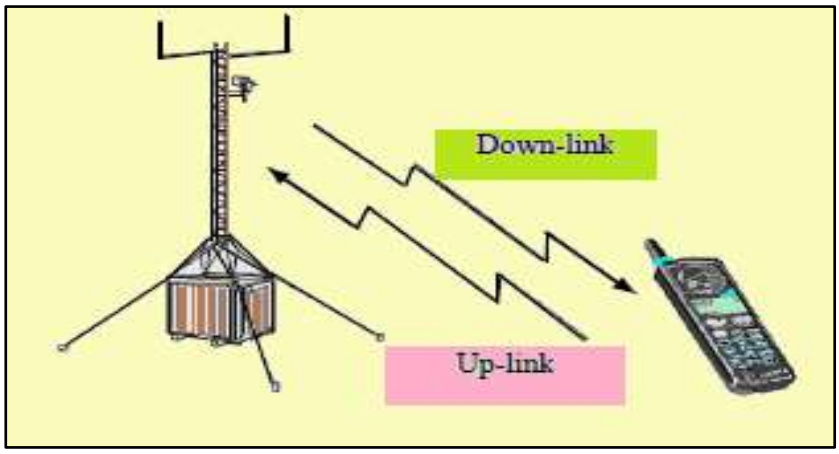
تنتشر الموجات الراديوية في الوسيط الناقل بسرع مختلفة تعتمد على نوع أو طبيعة الوسيط الناقل حيث يرمز لسرعة الموجة الراديوية بالرمز (**V**) التي من الممكن حسابها من خلال التمثيل الرياضي التالي:

$$\mathbf{v} = \frac{\mathbf{c}}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad \text{.....(3.2)}$$

حيث يمثل الرمز ε_r قيمة السماحية النسبية للوسيط (ثابت العزل **Dielectric Constant**) الذي تنتقل فيه الموجة الراديوية، تكون قيمة هذا المقدار مساوية للمقدار (1) بالنسبة للهواء ولذلك تكون سرعة أرسال الموجة الراديوية في الهواء مساوية لسرعة الضوء أما سرعتها في الوسائط الناقلة الأخرى فإن قيمتها تعتمد على مقدار السماحية النسبية حيث أن مقدار سرعة الضوء هو مقدار ثابت.

6-2-2 المسافة المزدوجة Duplex Distance

تتكون أنظمة الإتصالات المتنقلة من محطة قاعدية وعدة محطات متنقلة حيث يتم نقل الحزم المعلوماتية في الوسيط الناقل بينهما خلال قنوات الإتصال المزدوجة، وهذه الظاهرة الفنية تعتمد مبدأ الإرسال والإستقبال بإستخدام قناتين منفصلتين، يسمى الوسيط الرابط الذي ترسل من خلاله الحزمة المعلوماتية من المحطة القاعدية الى المحطة المتنقلة بالوسيط الرابط السفلي (**Down Link**) في حين يطلق على الوسيط الرابط الذي ينقل الحزم المعلوماتية من المحطة المتنقلة الى المحطة القاعدية بالوسيط الرابط العلوي (**Up Link**) كما هو واضح في الشكل (2-2)، وحتى لايحدث أي نوع من التداخلات بين هاتين القناتين لابد من توفر مسافة مناسبة بينهما، تعرف هذه المسافة بالمسافة المزدوجة.

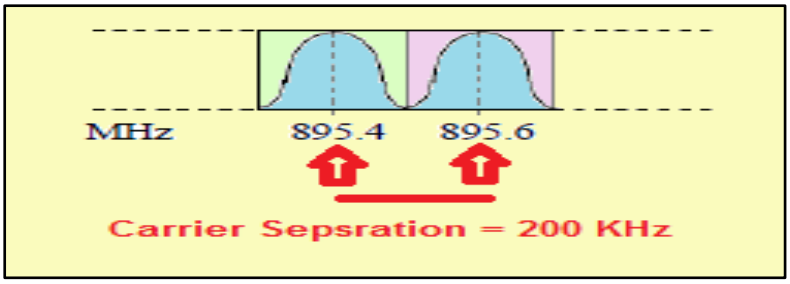


الشكل 2-2 يوضح آلية Down Link و Up Link في أنظمة الإتصالات المتنقلة

2-2-7 العرض النطاق للحامل Carrier Bandwidth

مثلما تطرقنا الى إن هناك مسافة مزدوجة بين القناة للموجة المرسلة والقناة للموجة المستقبلة في أنظمة الإتصالات المتنقلة، لابد من التطرق الى أنه يجب أن تكون هناك مسافة ترددية مناسبة تفصل بين حاملين متجاورين يحملان الموجة الأصلية تسمى هذه المسافة الترددية بعرض النطاق للحامل وهو يمثل النطاق الترددي للحامل وهو يكون بين قناتين ترسلان بإتجاه واحد، هذه المسافة تكون مهمة جداً لتجنب إختلاط وتراكب المعلومات المنقولة خلال القنوات المتجاورة.

كما لابد من الذكر الى أن عرض النطاق للحامل يعتمد على كمية المعلومات المراد أرسالها أو أستقبالها خلال القناة فكلما كانت كمية المعلومات كبيرة كلما أحتجنا الى عرض النطاق للحامل أكبر في نظام الـ **GSM** يكون هذا العرض بمقدار (**200 kHz**) كما هو واضح في الشكل (2-3).



الشكل 2-3 العرض النطاق للأشارات الحاملة

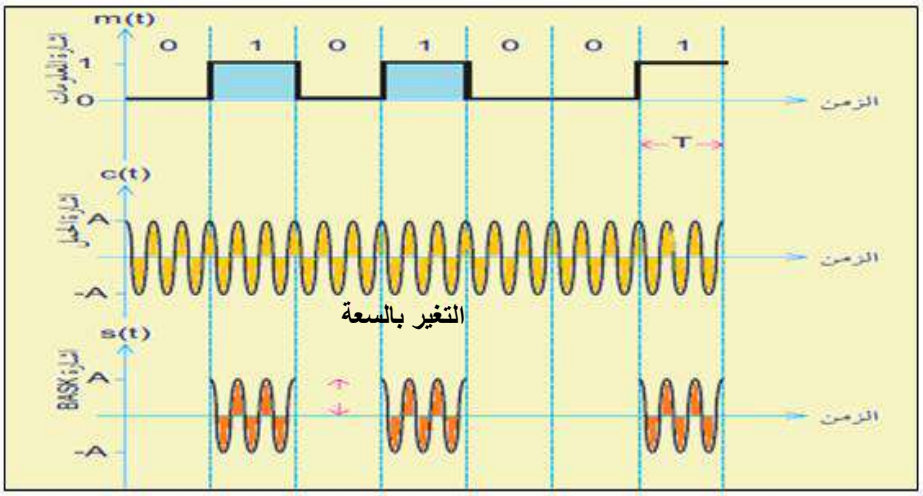
3-2 طرق التضمين الرقمي

تتصف أنظمة الإتصالات بأنها ترسل وتستقبل الاشارات بترددات مختلفة حسب نوع النظام المتبع ففي أنظمة الإتصالات المتنقلة تستخدم الأشارات ذات الترددات العالية، هذه الأشارات أيضاً تجرى عليها عمليات تضمين مختلفة، إذ تشمل عمليات التضمين هذه إحدى مكونات الإشارة الحاملة (**Carrier Signal**)، كتضمين سعة الإشارة (**Amplitude of Signal**)، أو تضمين تردد الإشارة (**Frequency of Signal**)، أو

تضمين طور الإشارة (**Phase of Signal**)، لابد من الذكر أن التقنيات المستخدمة في عمليات التضمين هذه هي تقنيات رقمية حديثة**.** ويمكن إجمال طرق التضمين الرقمية بما يلي:

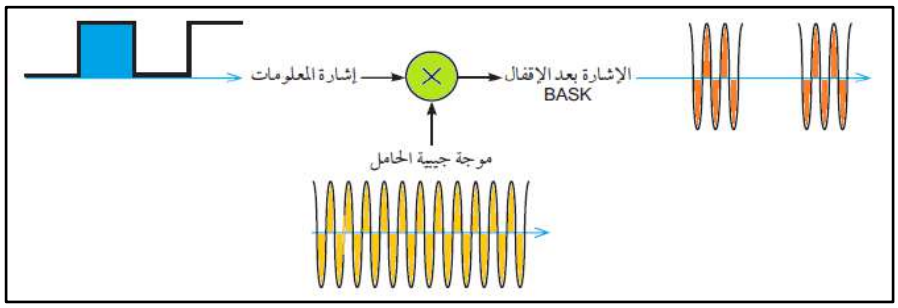
1-3-2 مفتاح الإزاحة السعوية Amplitude Shift Keying (ASK)

يتم في هذا النوع من التضمين تغيير سعة الموجة الحاملة، وذلك بتحميل إشارة المعلومات الرقمية على إشارة الحامل التماثلية. يبين الشكل (2-4) طريقة المفتاح بإزاحة السعة لإشارة ثنائية (**Binary**)، نلاحظ أيضاً أن شكل الإشارة الناتجة عن عملية التضمين تحتمل إما وجود موجة (في أثناء فترة القيمة المنطقية 1)، أو تكون مساوية للصفر عندما تأخذ إشارة المعلومات القيمة المنطقية (0) يطلق على هذا النوع من التضمين اسم تضمين السعة (**BASK**)، وذلك لأن إشارة المعلومات ثنائية (**Binary**).



الشكل 2-4 التضمين بأستخدام مفتاح الإزاحة السعوية (ASK)

من خلال الشكل (2-4) يتضح لنا أن إشارات المعلومات الرقمية يتم ضربها بالإشارة الحاملة الجيبية كما هو مبين في الشكل (2-5).

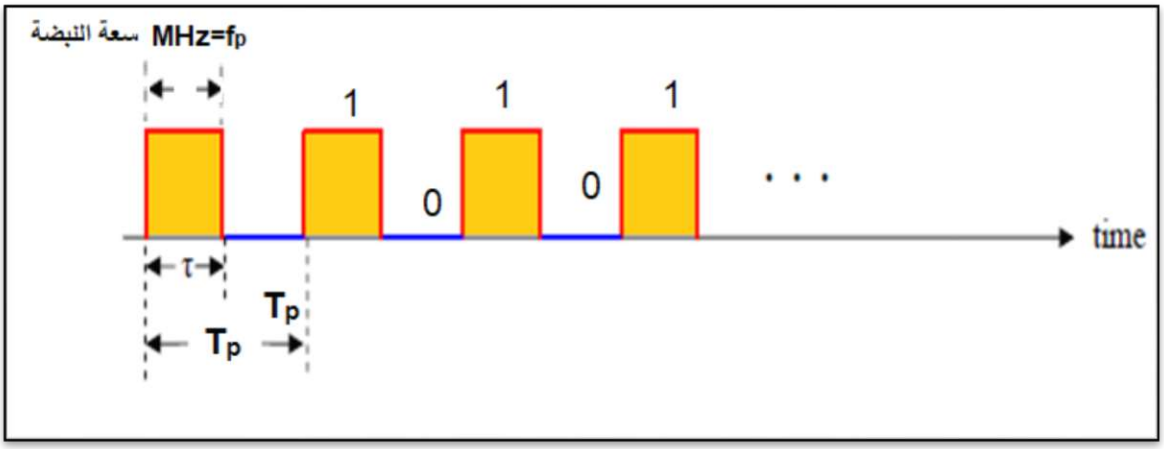


الشكل 2-5 آلية ضرب إشارة المعلومات بالإشارة الحاملة الجيبية

لغرض حساب عرض النطاق الترددي B_T المطلوب لإرسال إشارة **ASK** لابد من إستخدام العلاقة الرياضية الآتية:

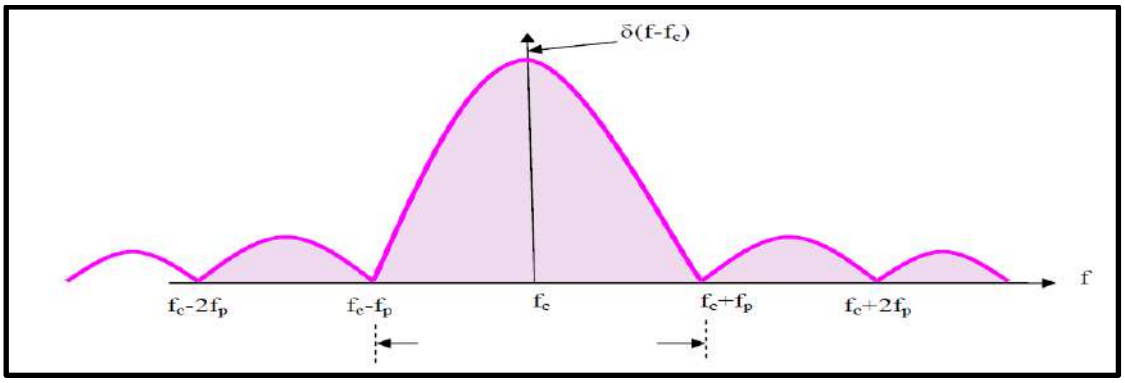
$$B_T = 2\,f_p \quad \text{.....(4.2)}$$

حيث يرمز f_p إلى تردد النبضات المربعة $(f_p = \frac{1}{T_p})$ كما واضح في الشكل (2-6)، بينما ترمز T_p إلى الزمن الدوري للنبضات المربعة، لا بد من الذكر إلى أن أعلى قيمة للتردد تكون عندما يأتي بشكل دوري بعد قيمة (1) قيمة (0)، ويأتي بعد قيمة (0) قيمة (1) مما يتطلب أعلى قيمة عرض للنطاق الترددي.



الشكل 2-6 تسلسل النبضات الرقمية

لابد من الذكر أيضاً أن الطيف الترددي للنبضة المربعة يكون على شكل دالة **Sinc** كما هو موضح في الشكل (2-7)، إذ يتضح من الشكل أن مايقارب 95% من قدرة الإشارة تتركز في الجزء الأوسط من الرسم بين الترددين $f_o - f_p$ و $f_o + f_p$، ولذلك نكتفي بقيمة الترددات بين الترددين السابقين لتحديد عرض النطاق الترددي المطلوب لإرسال إشارة **ASK** والذي يتمركز حول تردد الحامل f_c.



الشكل 2-7 الطيف الترددي لإشارة ASK

يتضح لنا من الشكل أعلاه أن سرعة إرسال البيانات (**Data Rate**)، التي سنرمز لها (**R**) تساوي:

$$R = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{T_p/2} = \frac{2}{T_p} = 2f_p \quad \text{.....(5.2)}$$

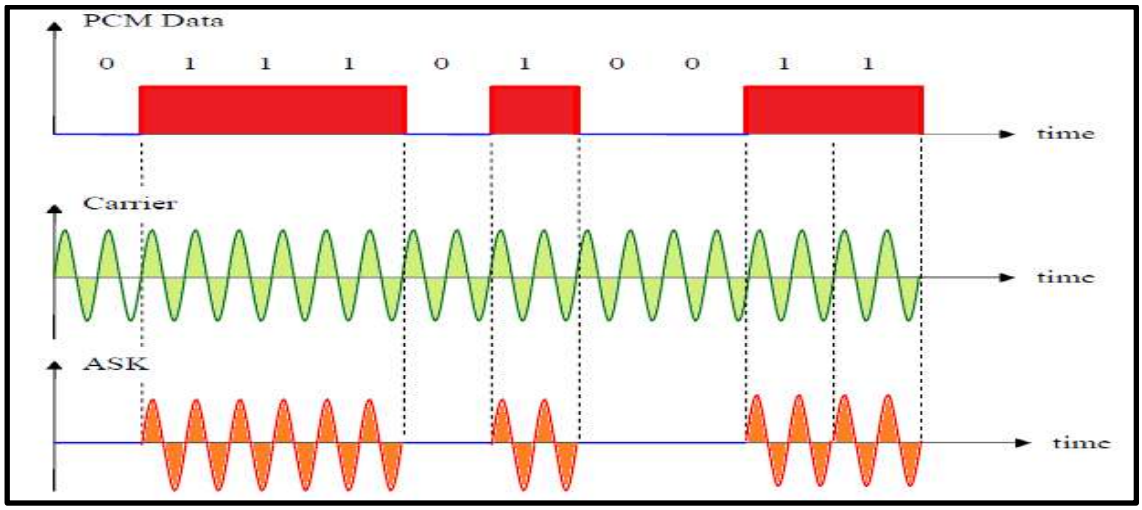
حيث تقاس **R** بعدد النبضات في الثانية (**bits/ second**) ويرمز لها إختصاراً (**b/s**).

مثال (2-1):

لديك إشارة ثنائية صادرة من نظام **PCM** على التسلسل التالي **(0111010011)** ويراد إرسالها بإستخدام نظام التضمين **ASK**، إرسم شكل إشارة **ASK** الناتجة.

الحل:

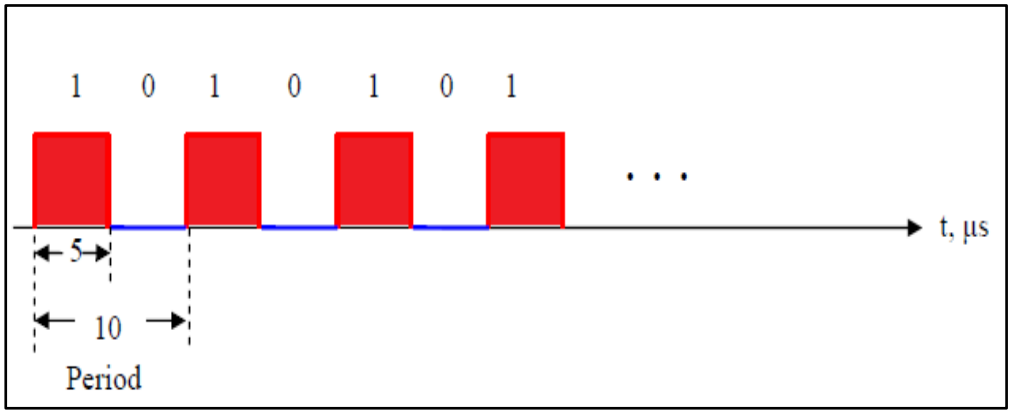
من خلال المعلومات المقدمة في المثال، ومن خلال معرفة آلية عمل نظام **ASK** نستطيع رسم إشارة **ASK** الناتجة، لاحظ الشكل (2-8)



الشكل 2-8 إشارة ASK الناتجة حسب معلومات المثال (2-1)

مثال (2-2):

لديك إشارة ثنائية صادرة من نظام **PCM**, تسلسل نبضاتها موضح في الشكل (2-9) الآتي:



الشكل 2-9 إشارة PCM الواردة في المثال (2-2)

أوجد المطاليب التالية:

أ- سرعة إرسال البيانات **R**.

ب- عرض النطاق الترددي المطلوب لإرسال هذه الإشارة بإستخدام نظام **ASK**.

ت- ارسم الطيف الترددي لإشارة **ASK**، إذا كان التردد f_c **= 900 kHz**.

الحل:

بتطبيق المعادلة الرياضية (5.2) ينتج لنا:

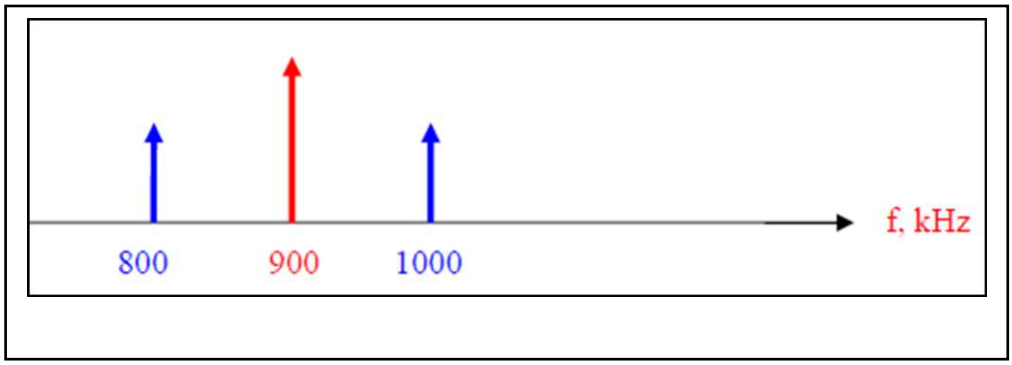
$$R = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{5\mu s} = 0.2\,Mb/s = 200\,kb/s$$

وبتطبيق المعادلة الرياضية (4.2) ينتج لنا:

$$f_p = \frac{1}{T_p} = \frac{1}{10\,\mu s} = 100\,kHz$$

$$B_T = 2\,f_p = 2\times 100\,kHz = 200\,kHz$$

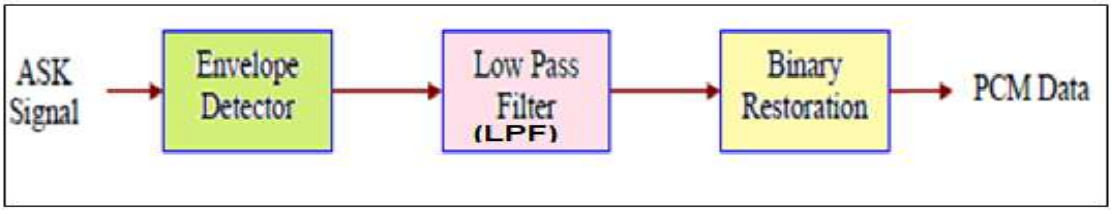
ومن خلال الشكل (2-7) يمكننا رسم الطيف الترددي، لاحظ الشكل (2-10).



الشكل 2-10 الطيف الترددي لإشارة ASK للمثال (2-2)

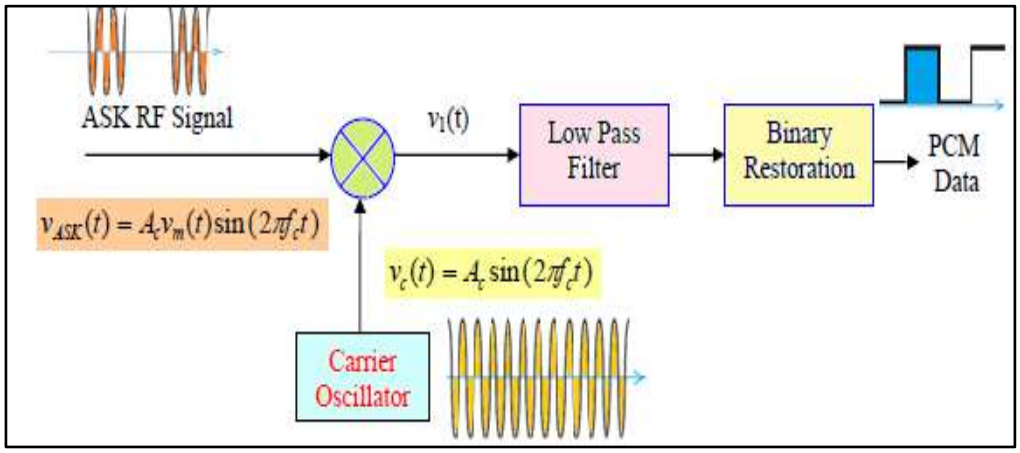
ولغرض الحصول على إشارة المعلومات واستخلاصها من إشارة التردد العالي، يتم إستخدام الكاشف حسب إحدى الطريقتين الآتيتين:

1.الكشف غير المتزامن (**Synchronous Detector**): حيث يتم كشف إشارة الغلاف كما هو الحال في تضمين السعة، إذ لايتطلب وجود ومعرفة تردد الإشارة الحاملة لغرض الكشف، كما هو واضح في الشكـــل (2-11) فأن الإشارة القادمة من المرسل تدخل أولاً على دائرة الضرب (**Multiplier**)، بعدها يتم ترشيحها بواسطة مرشح الترددات المنخفضة (**LPF**)، ثم يتم توليد النبضات الأصلية بواسطة دائرة الاسترجاع الثنائية (**Binary Restoration**).



الشكل 2-11 الكشف غير المتزامن لإشارة ASK

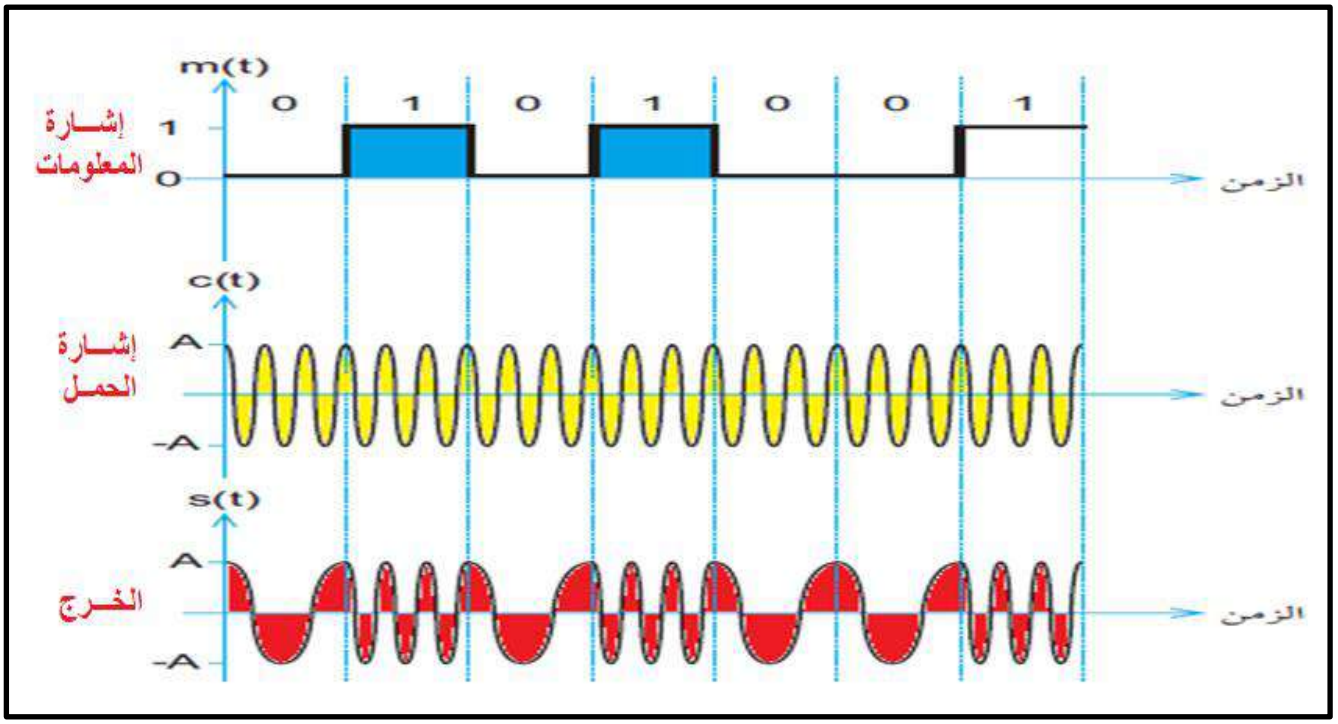
2.الكشف المتزامن (**Asynchronous Detector**): يمتازالكشف المتزامن بضرورة معرفة تردد الإشارة الحاملة في المستقبل، كما يتطلب وجود تزامن بين المرسل والمستقبل فيتم توليد إشارة تتوافق وتتزامن مع الإشارة الحاملة المولدة في المرسل لتستخدم في عملية إستعادة إشارة المعلومات الأصلية عن طريق دائرة الإسترجاع (**Binary Restoration**) لاحظ الشكل (2-12).



الشكل 2-12 الكشف المتزامن لإشارة ASK

2-3-2 مفتاح الإزاحة الترددية Frequency Shift Keying (FSK)

يتم في هذا النوع من التضمين، تحميل إشارة المعلومات الرقمية (الثنائية) على إشارة التردد العالي (الإشارة الحاملة) بحيث يتم تغيير التردد تبعاً لإشارة المعلومات (0 أو 1)، وبذلك تكون إشارة الخرج ذات ترددين مختلفين تبعاً لإشارة المعلومات كما هو واضح في الشكل (2-13).



الشكل 2-13 تضمين الإزاحة الترددية

إن من الصعب حساب عرض النطاق الترددي المطلوب B_T لإرسال إشارة **FSK** بشكل دقيق، لكننا وبإستخدام قاعدة كارسون (**Carson's Rule**) يمكننا حساب عرض النطاق الترددي B_T المطلوب لإرسال إشارة **FSK** التي تم تعديلها بواسطة الإشارة الثنائية ذات التردد **fp**، من خلال تطبيق العلاقات الرياضية التالية:

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

$$\Delta f = \frac{f_1 - f_0}{2} \qquad \text{.....(6.2)}$$

$$f_m = f_p = 0.5R$$

$$B_T = f_1 - f_0 + R$$

حيث ترمز **Δf** إلى الإزاحة الترددية، والتردد **fm** يشير إلى تردد الإشارة المطلوب إرسالها (في هذه الحالة **fm = fc**) و **R** تمثل سرعة إرسال البيانات (في هذه الحالة **R = 2fp**)، يكون عرض النطاق الترددي متمركزاً حول قيمة التردد (**Center Frequency**).

$$f_C = \frac{f_1 + f_0}{2} \qquad \text{.....(7.2)}$$

مثال (2-3):

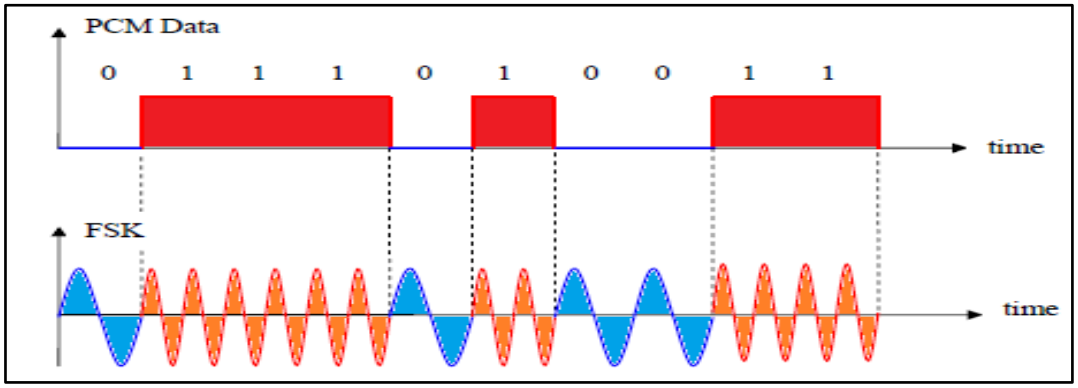
لديك إشارة ثنائية مرسلة من قبل نظام **PCM** بالهيئة التسلسلية التالية (**0111010011**).

أ- إرسم شكل إشارة **FSK** الناتجة.

ب- جد عرض النطاق الترددي المطلوب، علماً بأن الترددات المستخدمة في ذلك تبلغ (**f1 = 4 MHz, f0 = 3 MHz**)، وسرعة إرسال البيانات (**R = 400 Kb/s**).

الحل:

أ- يوضح الشكل الآتي (2-14) الرسم المطلوب لإشارة **FSK** الناتجة.

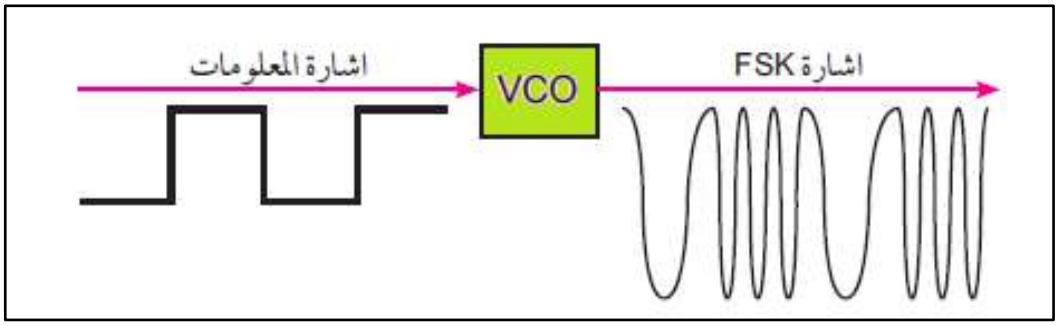


الشكل 2-14 إشارة **FSK** الناتجة حسب المعلومات الواردة للمثال (2-3)

ب- وبتطبيق العلاقة (6.2) ينتج لنا:

$$B_T = f_1 - f_0 + R = 4MHz - 3MHz + 400KHz = 1.4MHz$$

يتم الحصول على إزاحة التردد مفتاحياً بإستعمال جهاز المذبذب **VCO**، وهو عبارة عن دائرة متكاملة في شريحة الكترونية واحدة، إذ عندما تكون قيمة الإشارة (1) تكون النبضة ذات جهد معين مما ينتج تردد معين (**f1**)، وعندما تكون قيمة الإشارة (0) يكون الجهد صفراً مما ينتج تردد آخر (**f0**)، إذ يعتمد خرج التردد للدائرة على جهد الدخل كما هو موضح في الشكل (2-15).

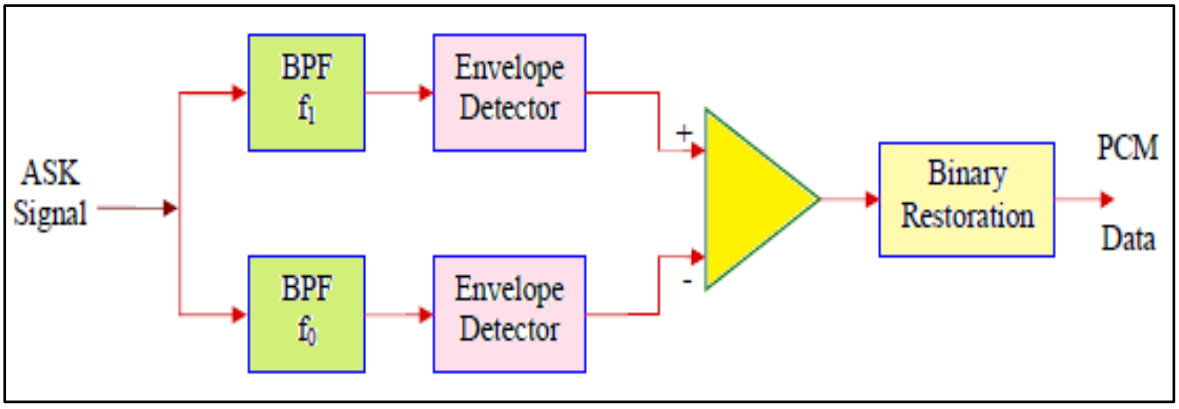


الشكل 2-15 دائرة توليد إشارة FSK

في جهة الإستقبال، يمكن اعتماد طريقتان للكشف عن إشارة **FSK** وإسترجاع إشارة البيانات الثنائية.

1. طريقة الكشف غيرالمترابط **(Non Coherent Detection)**:

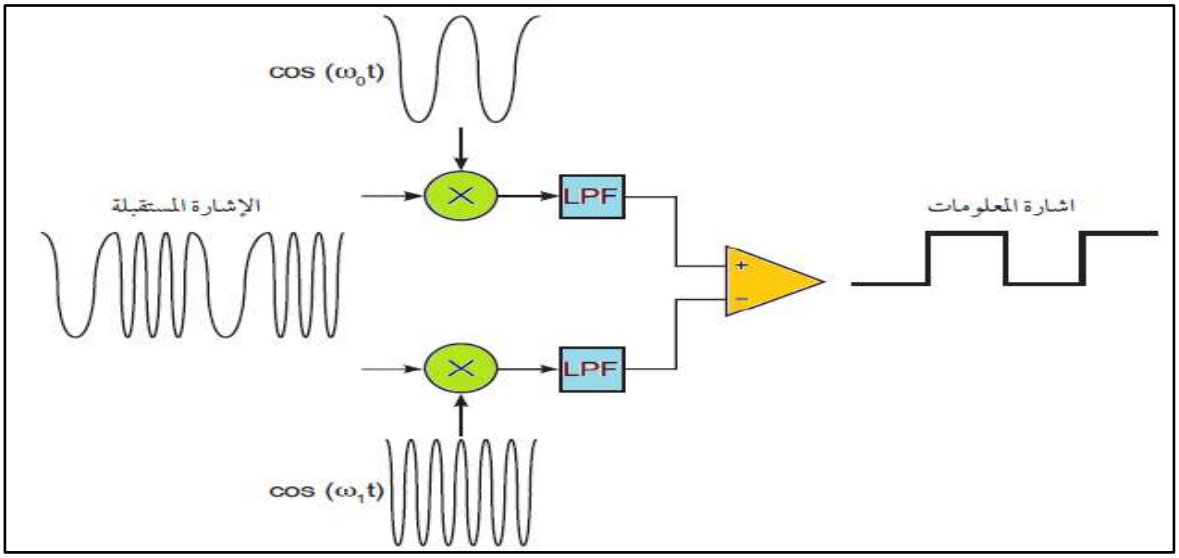
إن هذا النوع من الكشف لايتطلب وجود ومعرفة تردد الإشارة الحاملة، يبين الشكل (2-16) آلية عمل طريقة الكشف غير المترابط، إذ تنقسم الإشارة القادمة من جهاز الإرسال إلى قسمين، إذ عندما يكون التردد f_1 يتم تمرير الإشارة خلال المرشح العلوي **(Band-Pass Filter)(BPF)** فقط ومن ثم تجرى عملية الكشف عبر كاشف الغلاف ومن ثم تدخل على مكبر العمليات **(Op-Amp)**، أما إذا كان التردد **f0** فأنه يتم تمرير الإشارة خلال المرشح السفلي **(BPF)** فقط، ومن ثم تجرى نفس العمليات السابقة، يتم توليد النبضات الأصلية عن طريق دائرة الاسترجاع الثنائية **(Binary Restoration)**.



الشكل 2-16 الكشف غير المترابط لإشارة FSK

2. طريقة الكشف المترابط (Coherent Detection):

لتطبيق هذا النوع من الكشف، فأنه لا بد من وجود ومعرفة تردد الإشارة الحاملة في المستقبل، كما هو موضح في الشكل (2-17)، تدخل الإشارة القادمة من جهاز الإرسال (**FSK**) أولاً على دائرتي الضرب، ثم تدخل الإشارة الخارجة من دائرة الضرب على مرشح (**LPF**) الذي يقوم بدوره بإزالة الترددات العالية، أخيراً يتم الحصول على النبضات الأصلية لإشارة المعلومات عن طريق دائرة الاسترجاع الثنائية.



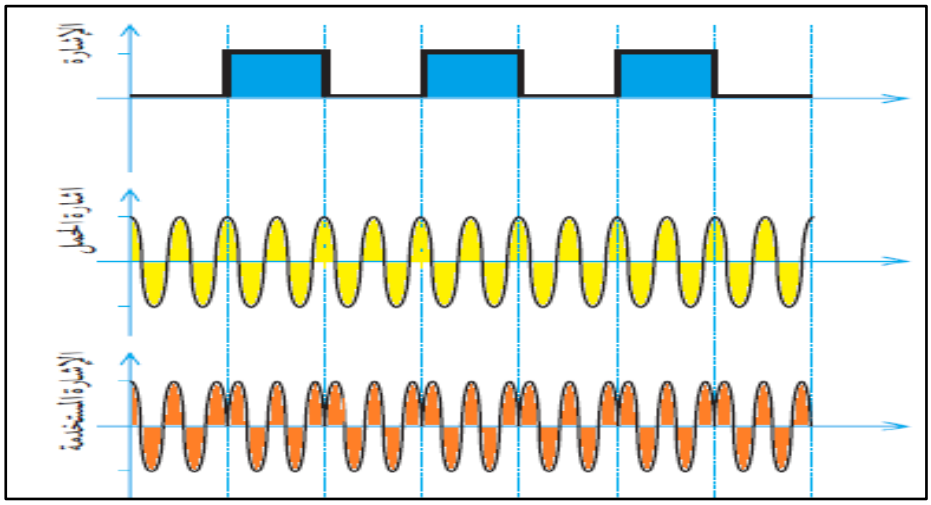
الشكل 2-17 آلية عمل الكشف المترابط لإشارة FSK

إذ يتم توليد موجة حاملة في جهاز المستقبل تمتلك نفس خصائص ومواصفات الموجة المضغوطة من المرسل من حيث الطور والتردد للقيم المنطقية (0 و1)، ثم تمرر على مرشح الترددات المنخفضة، إذ تقوم هذه المرشحات على ترشيح وإخراج إشارة المعلومات فقط، إذ يتم مقارنة سعتها مع الإشارات الأخرى التي قد تنتج عن الضجيج والتداخل.

2-3-3 مفتاح الإزاحة الزاوية Phase Shift Keying (PSK)

يمتاز هذا النوع من التضمين بصغر عرض النطاق لأنه لايستخدم أكثر من تردد كما هو الحال في **FSK**، يتميز هذا النوع من التضمين بالجودة العالية لهذا يستخدم في أنظمة الإتصالات الرقمية بكثرة.

يتم الحصول على هذا النوع من التضمين بتغيير طور الإشارة الحاملة فتعطي القيمة المنطقية (0) طوراً يختلف عن الطور المتحقق من القيمة المنطقية (1)، وعادة يكون الطوران متعامدان أي أن فرق الطور بينهما 90 درجة، كما هو موضح في الشكل (2-18).



الشكل 2-18 التضمين بإستخدام مفتاح الإزاحة الزاوية

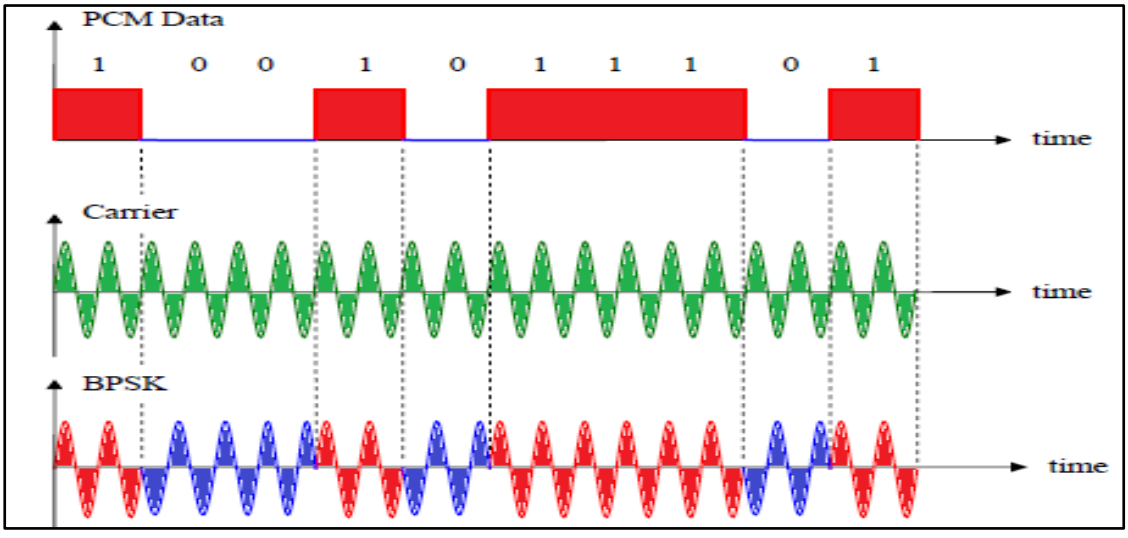
سنتناول في هذا الموضوع نوعين من هذا التضمين:

1. مفتاح إزاحة الطور الثنائي **Binary Phase Shift Keying (BPSK)**.
2. مفتاح إزاحة الطور التفاضلي **Differential Phase Shift Keying (DPSK)**.

في أدناه أهم التفاصيل والمواصفات الفنية الخاصة بكل نوع من هذه الأنواع:

1. مفتاح إزاحة الطور الثنائي **Binary Phase Shift Keying (BPSK)**:

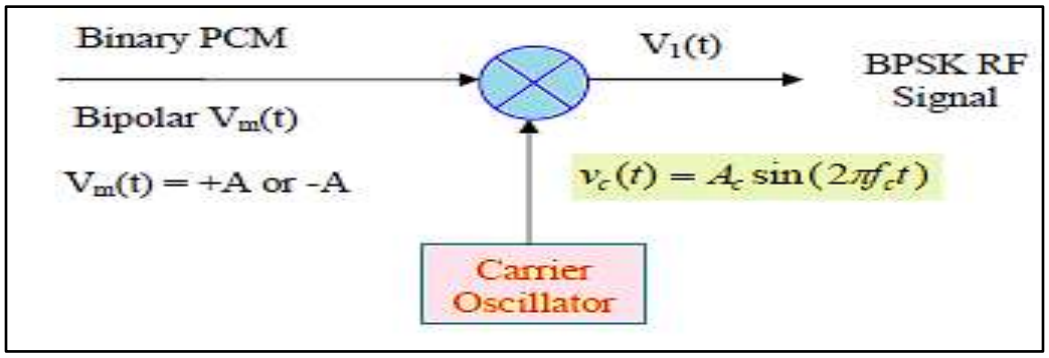
يمتاز هذا النوع من التضمين بكونه أبسط أنواع تضمين إزاحة الطور، إذ تتغير قيمة الطور لتأخذ قيمتين أما (0) درجة، أو (180) درجة، ومن الملاحظ في هذا النوع أن قيمة الطور تتغير بمقدار (180) درجة في حالة تغير قيمة الإشارة من (0) إلى (1) أو العكس، في حين تبقى قيمة الطور دون تغيير (0) درجة في حالة تكرار الإشارة، يمثل الشكل(2-19) كيفية تكوين إشارة **(BPSK)**.



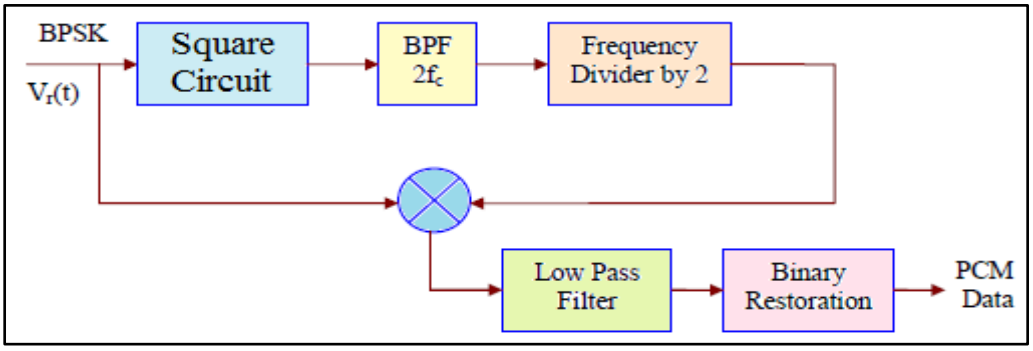
الشكل 2-19 تكوين إشارة (BPSK)

لابد من الذكر أن من أهم المواصفات الفنية التي تمتاز بها هذه الإشارة، هي أن عرض النطاق الترددي اللازم لإرسال إشارة **(BPSK)** يكون مساوٍ لسرعة إرسال البيانات. لغرض توليد إشارة **(BPSK)** نستعمل

الدائرة الموضحة في الشكل (2-20)، إذ نلاحظ أنه لغرض توليد هذه الإشارة لا بد في البداية تحويل إشارة (**PCM**) أحادية القطبية (**Unipolar**) إلى ثنائية القطبية (**Bipolar**)، إذ يمثل (1) بنبضة ذات جهد موجب القطبية (**+A**)، أما قيمة (0) فتمثل بنبضة ذات جهد سالب (**-A**) أما في الإستقبال يتم الكشف عن إشارة (**BPSK**) والحصول على إشارة (**PCM**) بإستعمال طريقة الكشف المترابط (**Coherent Detection**) المبينة في الشكل (2-21).



الشكل 2-20 دائرة توليد إشارة (BPSK)



الشكل 2-21 طريقة الكشف المترابط عن إشارة (BPSK)

من خلال الشكل (2-21) يتضح لنا أن الإشارة المستقبلة (**BPSK**) المتمثلة بالإشارة **$V_T(t)$** ستدخل على دائرة التربيع (**Square Circuit**)، إذ يتم تربيع هذه الإشارة وإنتاج إشارة جديدة ذات تردد مضاعف (**2fc**)، إذ تمر هذه الإشارة في المرشح (**BPF**) المصمم على هذا التردد، بعد ذلك يتم إدخال الإشارة الناتجة على دائرة مقسم التردد (**Frequency Divider**)، إذ تتم قسمة تردد الإشارة على (2) وإسترجاع التردد الأصلي للإشارة الحاملة (**fc**)، بعد ذلك يتم ضرب الإشارة مع الإشارة المستقبلة الأصلية، ومن ثم يتم تمرير الإشارة الناتجة من عملية الضرب خلال مرشح منخفض التردد (**LPF**) والذي يمرر الإشارة الناتجة الى دائرة إسترجاع النبضات.

مثال (2-4):

إذا كانت الإشارة المتولدة من نظام (**PCM**) تتخذ الشكل (**1101100001**)، فأجب عن الآتي:

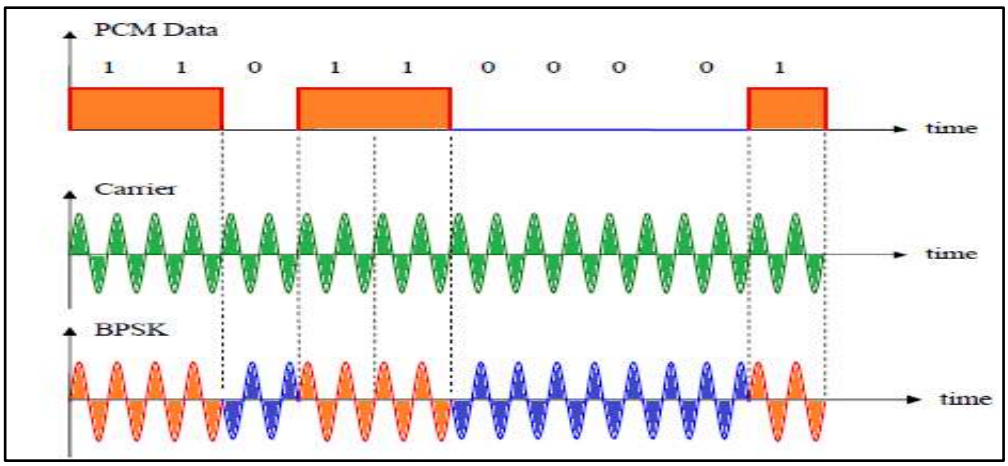
أ- ارسم الإشارة **BPSK** الناتجة.

ب- جد عرض النطاق الترددي المطلوب، علماً أن تردد الحامل (**3 MHz**)، وسرعة إرسال البيانـات هي (**R = 200 Kb/s**).

ج- إرسم الطيف الترددي.

الحل:

أ- الشكل الآتي (2-22) يمثل شكل الإشـارة (**BPSK**) الناتجة، حسب المعلومات الواردة في المثال (2-4).

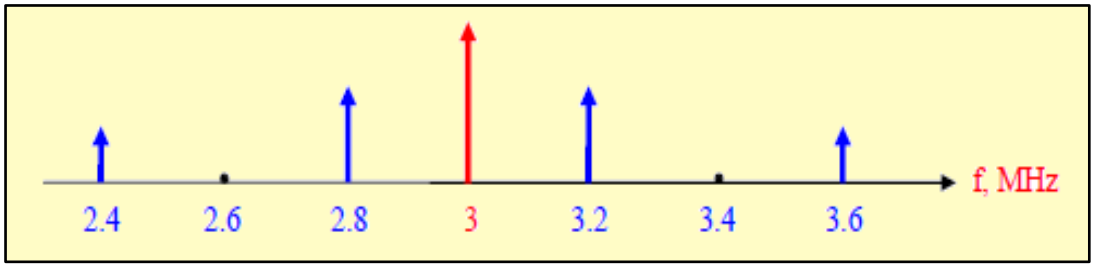


الشكل 2-22 إشارة BPSK الناتجة

ب- لغرض حساب عرض حزمة النطاق الترددي، نستعمل نفس العلاقة الرياضية التي طبقت في حالة الإشارة **ASK**:

$$B_T = 2R = 2 \times 200\,K = 400\,KHz$$

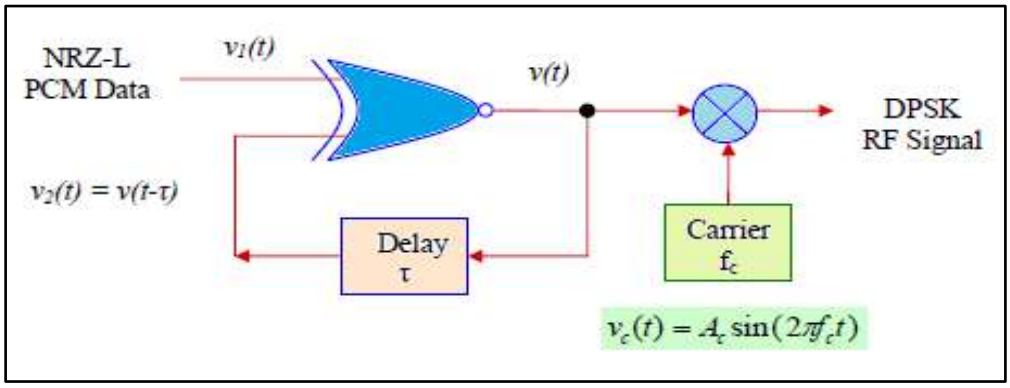
ج - لغرض رسم الطيف الترددي للإشارة، نتبع نفس الطريقة التي رسمت بها إشارة **ASK**.



الشكل 2-23 الطيف الترددي

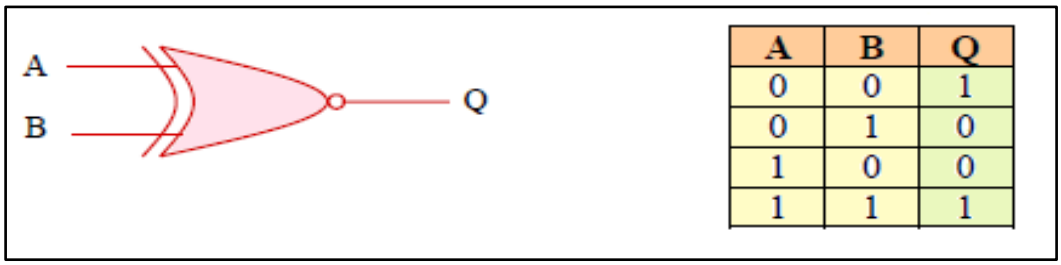
2. مفتاح إزاحة الطور التفاضلي (DPSK) Differential Phase Shift Keying:

يتم الحصول على هذا النوع من تضمين الطور من تحويل الترميز الأساسي (**NRZ-L**) **NON RETURN TO ZERO – LEVEL** إلى أحد النوعين أما (**NRZ-S**) أو (**NRZ-M**)، إذ تسبق عملية الترميز هذه عملية تضمين الطور للإشارة الحاملة، يبين الشكل (2-24) الدائرة الخاصة بتضمين الطور التفاضلي.



الشكل 2-24 دائرة توليد إشارة (DPSK)

لغرض تحويل الترميز من نوع (**NRZ-L**) الى النوع (**NRZ-S**) نستعمل البوابة المنطقية (**EX-NOR**) الموضح رمزها وجدول حقيقتها في الشكل (2-25).



A	B	Q
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

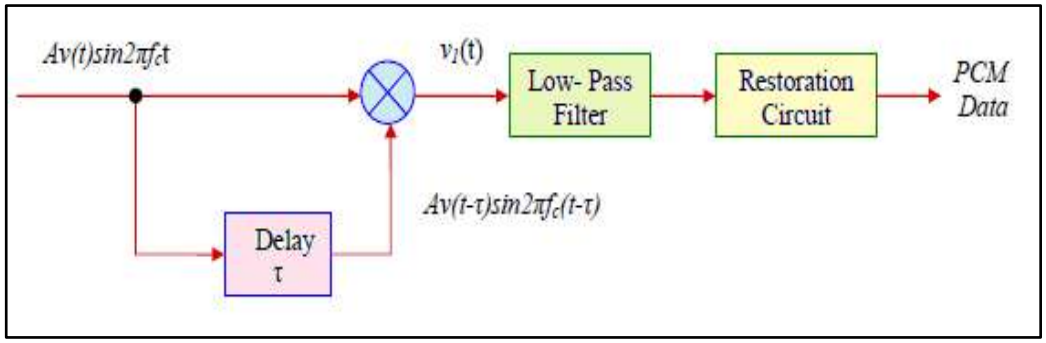
الشكل 2-25 الرمز المنطقي وجدول الحقيقة للبوابة (EX-NOR)

ولتوضيح عمل الدائرة الواردة في الشكل (2-24)، لاحظ الجدول الآتي:

جدول 2-1 القيم المقابلة للجهود والأطوار لدائرة الشكل 2-24

$V_1(t)$		1	0	1	1	0	1	0	0	1	0
$V_2(t)$		1	1	0	0	0	1	1	0	1	1
V(t)	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0
Phase	0°	0°	180°	180°	180°	0°	0°	180°	0°	0°	180°

ولغرض الكشف عن إشارة (**DPSK**)، نستعمل نوع الكشف غير المترابط (**Noncoherent**) حيث لايتطلب وجود الاشارة الحاملة في جهاز الإستقبال بنفس التردد والطور, يبين الشكل (2-26) دائرة الكشف عن إشارة (**DPSK**).



الشكل 2-26 دائرة الكشف عن إشارة (DPSK)

مثال (2-5):

أكمل الجدول الآتي:

$V_1(t)$		0	0	1	0	1	1	1	1	0	1
$V_2(t)$											
V(t)	0										
Phase											

الحل:

الجدول الآتي يمثل الحل الرياضي للجدول الوارد في المثال (2-5).

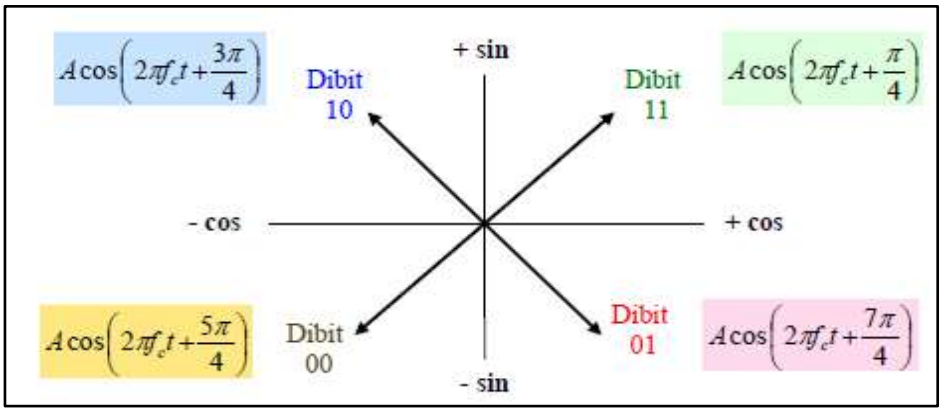
$V_1(t)$		0	0	1	0	1	1	1	1	0	1
$V_2(t)$		0	1	0	0	1	1	1	1	1	0
V(t)	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0
Phase	180°	0°	180°	180°	0°	0°	0°	0°	0°	180°	180°

لابد من الإشارة إن لنظام تضمين إزاحة الطور نوع ثالث مهم وكثير الأستعمال في العديد من دوائر الإتصالات المتقدمة، يعرف هذا النوع من التضمين بتضمين إزاحة الطور المتعامد (**QPSK**) وهو مختصر لكلمات (**Quadrature Phase Shift Keying**)، في أدناه شرحاً مفصلاً لأهم خصائص هذا التضمين.

3. مفتاح إزاحة الطور المتعامد (QPSK) Quadrature Phase Shift Keying:

يعتبر تضمين إزاحة الطورالمتعامد من أقدم وأهم أنواع التضمين متعدد المستويات (**M-ary Modulation**) أن تسمية تعدد المستويات تأتي من المميزات التي يمتاز بها هذا النوع من التعديل، إذ يمتاز بإستعمال أربع قيم للطور (0^0, 90^0, 180^0, 270^0) في الإشارة الحاملة، أن استعمال اربع قيم للطور(**M=4**) يتيح لنا استعمال عدد خانات (**N=2**) مما يؤدي الى إعطاء الإحتمالات (00، 01، 10، 11) والتي تسمى الحالات المميزة (**Distinct States**) ولا بد من الذكر أن زيادة عدد الخانات (البتات) تؤدي إلى

زيادة سرعة الإرسال وبالتالي تؤدي الى زيادة نطاق حزمة المعلومات (**Information Capacity**)، كما في الشكل (2-27).



الشكل 2-27 الحالات التي يمتاز بها نظام التضمين (QPSK)

لابد من الذكر أن كل واحدة من الحالات أعلاه تسمى (**Dibit**)، أما الصيغ الرياضية التي يمكن كتابتها للموجة الحاملة فيمكن أن تمثل بالتالي:

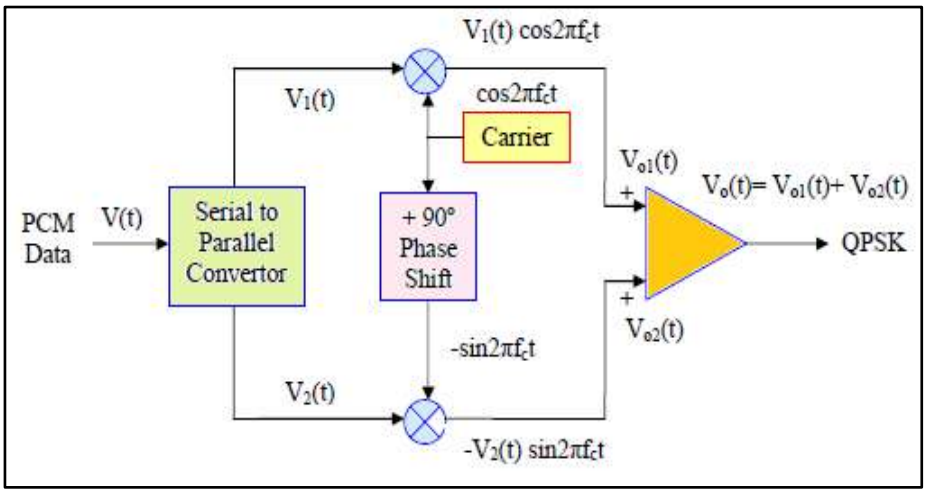
$$s_1(t)=A\cos\left(2\pi f_c t+\frac{\pi}{4}\right),\ phase=\frac{\pi}{4}=45^\circ \rightarrow Dibit\ 10$$

$$s_2(t)=A\cos\left(2\pi f_c t+\frac{3\pi}{4}\right),\ phase=3\pi/4=135^\circ \rightarrow Dibit\ 10$$

$$s_3(t)=A\cos\left(2\pi f_c t+\frac{5\pi}{4}\right),\ phase=5\pi/4=225^\circ \rightarrow Dibit\ 00$$

$$s_4(t)=A\cos\left(2\pi f_c t+\frac{7\pi}{4}\right),\ phase=7\pi/4=315^\circ \rightarrow Dibit\ 11$$

ولغرض توليد إشارة التضمين (**QPSK**) نستعمل الدائرة المبينة بالشكل (2-28).



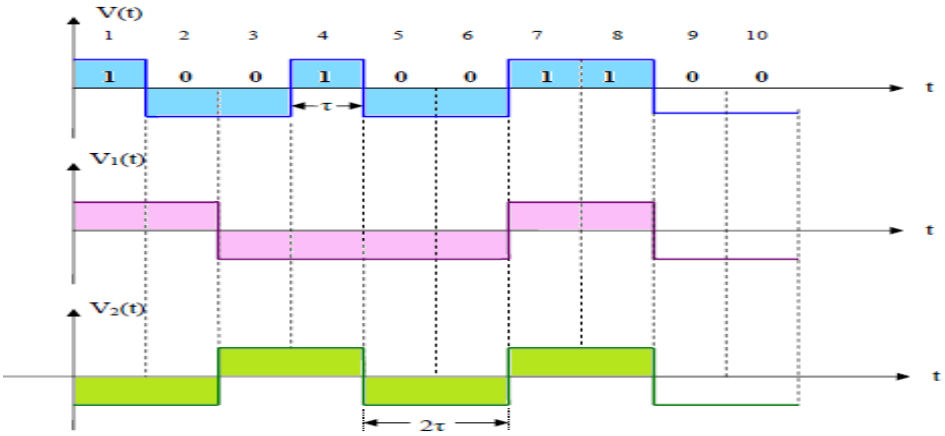
شكل 2-28 دائرة توليد إشارة QPSK

من الملاحظ أنه عندما تدخل إشارة البيانات (**PCM Data**) على دائرة التحويل الخاصة بتحويل نمط الإرسال من التوالي الى التوازي، سيتم تولد إشارتين هما **$V_1(t)$** و **$V_2(t)$** كما هو مبيـــن في الشكـــل (2-29)، بعد ذلك تدخل كلتا الإشارتين على دوائر ضرب مع إشارة حاملة (**$\cos 2\pi fct$**)، أن الإشارة الحاملة بعد إزاحتها بمقدار طور (**90^0**) ستتحول الى إشارة جيبية (**$-\sin 2\pi fct$**). أن الإشارات المتولدة بعد عمليات الضرب يتم جمعها بأستعمال مكبر العمليات مما يولد إشارة **QPSK**، نلاحظ من خلال مراحل توليد الإشارتين **$V_1(t)$** و **$V_2(t)$** مايلي:

1- توليد الإشارة **$V_1(t)$** من النبضات ذات الأرقام الفردية من الإشارة **V (t)**.

2- توليد الإشارة **$V_2(t)$** من النبضات ذات الأرقام الزوجية من الإشارة **V (t)**.

3- عرض النبضة الجديدة المتولدة يساوي ضعف النبضة الأصلية (T).



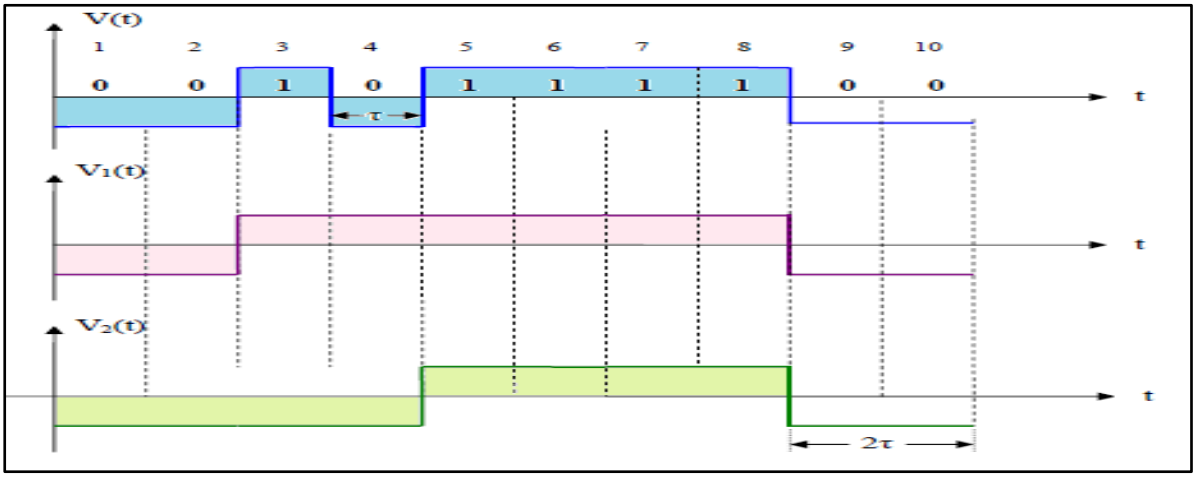
الشكل 2-29 توليد الإشارات بعد التحويل من نمط الإرسال المتوالي إلى المتوازي

مثال (2-6):

مثل بواسطة الرسم الإشارات **$V_1(t)$** و **$V_2(t)$** للبيانات الثنائية (**0010111100**).

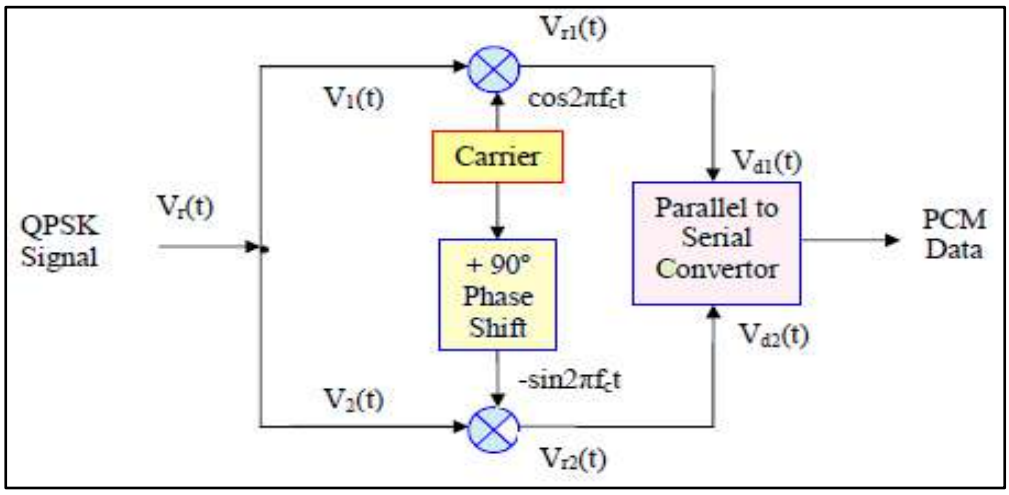
الحل:

من خلال المعلومات الواردة في أعلاه نستطيع رسم الإشارات **$V_1(t)$** و **$V_2(t)$** بالشكل الآتي:



الشكل 2-30 إشارات $V_1(t)$ و $V_2(t)$ حسب البيانات الواردة في المثال (2-6)

ولغرض الكشف عن إشارة **QPSK** في دائرة الإستقبال نستعمل الدائرة المبينة في الشكل (2-31).



الشكل 2-31 دائرة الكشف عن إشارة QPSK

من الملاحظ في الدائرة الواردة في الشكل (2-31) أعلاه أن إشارة **QPSK** يتم استقبالها وتوزيعها إلى قسمين، القسم الأول **V1(t)** الذي يدخل على دائرة الضرب مع الإشارة الحاملة لتتولد الإشارة **Vr1(t)** التي تدخل بدورها على دائرة التحويل من المتوازي الى النمط المتوالي، أما القسم الثاني **V2(t)** فإنه يدخل على دائرة الضرب مع الإشارة الحاملة بعد إدخالها على دائرة إزاحة الطور **(90)**, مما يولد الإشارة **Vr2(t)** التي تدخل على دائرة التحويل من المتوازي الى المتوالي، لا بد من الإشارة أيضاً أن عرض النطاق الترددي اللازم لإشارة **QPSK** يساوي نصف عرض النطاق الترددي اللازم لإشارة **BPSK** أي أن **(BW = R / 2)**.

مثال (2-7):

إذا كانت دائرة تعديل **QPSK** تمتاز بالمواصفات التالية:

سرعة البيانات الداخلة تساوي **(10 Mb/s)**، وتردد الإشارة الحاملة يساوي **(50 MHz)**، جد:

أ- عرض النطاق الترددي اللازم.

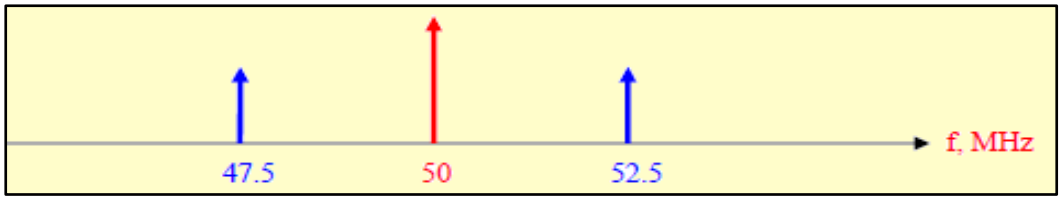
ب-ارسم الطيف الترددي.

الحل:

أ- أن عرض النطاق الترددي يمكن حسابه من خلال المعادلة التالية:

$$BW = R/2 = \tfrac{1}{2}\,(10\ Mb/s) = 5\ MHz$$

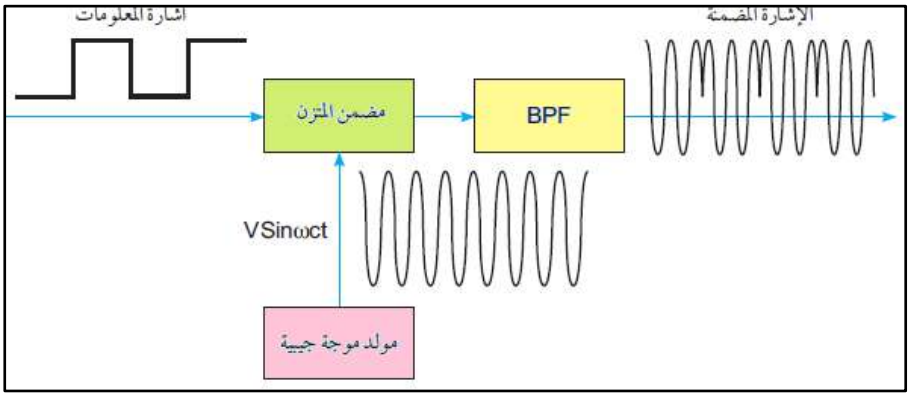
ب-أما الطيف الترددي فيمكن تمثيله بالشكل (2-32):



الشكل 2-32 الطيف الترددي

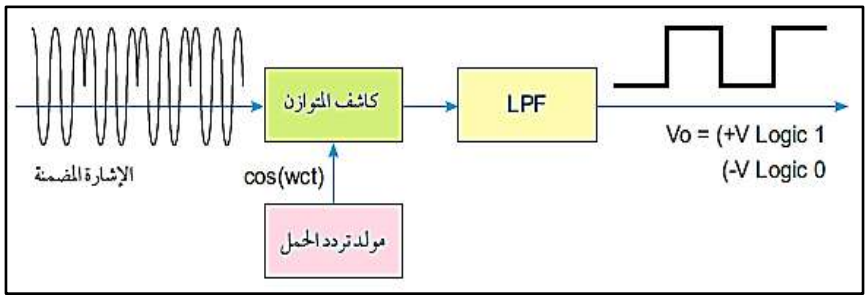
وهناك أنواع أخرى من تضمين إزاحة الطور متعددة المستويات تستعمل أطوار مختلفة من مضاعفات الرقم (2)، وأن أعلى رقم يمكن استعماله هو (8)، إذ يعرف هذا التضمين بـ (**8-PSK**) ونستعمل في هذا التضمين ثلاث خانات لترميز قيم الطور الثمانية, أن جهاز الإرسال لهذا النوع يقوم بتقسيم سرعة إرسال البيانات الداخلة على ثلاثة.

بعد أن تطرقنا الى الأنواع الثلاثة للتضمين **PSK** يمكننا وبأختصار توضيح عملية توليد إشارة **PSK** وذلك بإستخدام جهاز مضمن متوازن حيث يتم إعطاء طور خاص من خلال ضرب إشارة الدخل مع إشارة الحمل، فإما أن تكون النتيجة موجبة، أو سالبة لإشارة الحمل إعتماداً على طبيعة الإشارة الداخلة. أن الشكل (2-33) يوضح آلية الحصول على إشارة **PSK**.



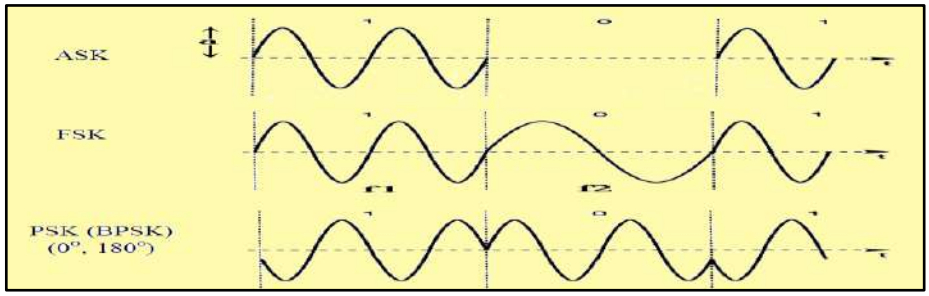
الشكل 2-33 آلية الحصول إشارة PSK

وفي جهاز المستقبل يتم الكشف وتحديد إشارة المعلومات بنفس طريقة الإرسال، وذلك بضرب الموجة المضمنة مع الإشارة الحاملة، فإما تكون النتيجة نفس قيمة الإشارة الحاملة، أوعكس قيمتها وبالتالي يتم تحديد القيم المنطقية (0 و1) المرسلة مسبقاً. أن الشكل (2-34) يمثل المخطط الكتلي لمبدأ كشف إشارة المعلومات من إشارة التضمين **PSK**.



الشكل 2-34 المخطط الكتلي لمبدأ عمل كشف إشارة المعلومات من إشارة التضمين PSK

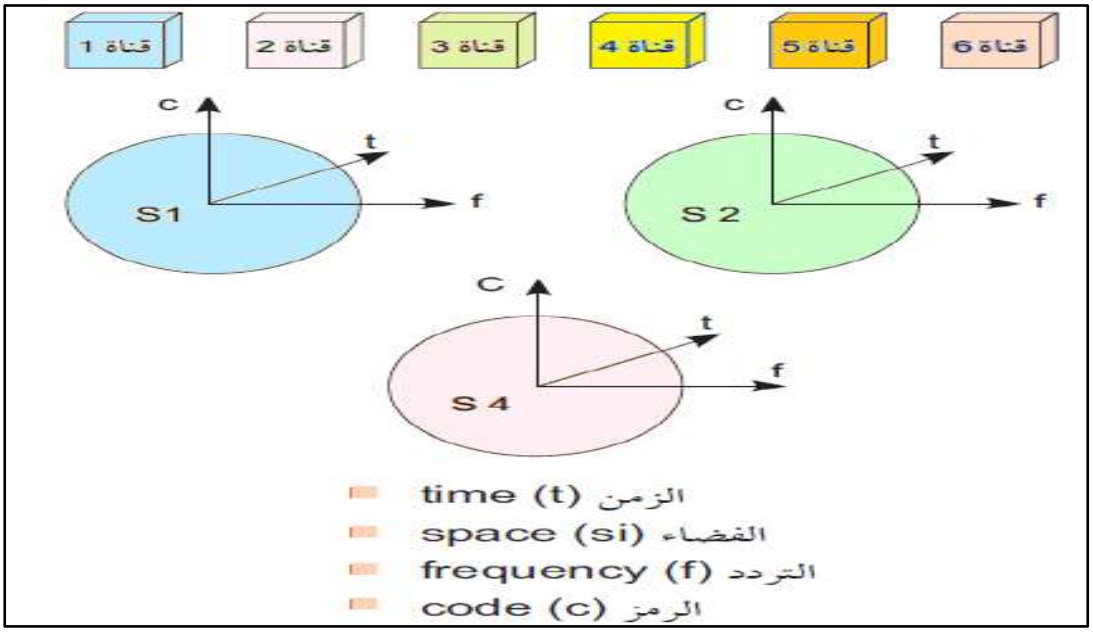
لغرض معرفة الفوارق الحاصلة في طرق التضمين الثلاثة التي تطرقنا اليها، لا بد لنا من إجراء رسم توضيحي يبين الأشكال الموجية الخاصة بطرق التضمين الثلاثة، حيث يبين الشكل (2-35) طرق التضمين الرقمية الأساسية الثلاثة. من خلال الشكل نلاحظ أن طريقة التضمين السعوي (**ASK**) تعتمد في عملها على السعة، في حين تعتمد طريقة التضمين الترددي (**FSK**) على قيمة التردد، أما طريقة التضمين الزاوي أو الطوري (**PSK**) فأنها تعتمد على قيمة زاوية الطور.



الشكل 2-35 طرق التضمين الرقمية الثلاثة

4-2 التقسيم المتعدد المسار Multiple Access

تستعمل تقنية التقسيم المتعدد المسار لإرسال إشارات متعددة على نفس القناة، إذ تتسم هذه التقنية بالإستعمال الكامل لعرض النطاق الترددي لقناة الأتصال، فمثلاً في الإتصالات الهاتفية تستعمل عمليات الإرسال المتعدد لإرسال عدد كبير من المكالمات الهاتفية بين المقاسم على نفس قناة الأتصال وفي الإتصالات اللاسلكية فيعتبر الفضاء هو قناة الإتصال وعندها لابد من استخدام الإرسال المتعدد لكي يمكن نقل أكثر من إشارة في نفس الوقت، كما مبين في الشكل (2-36).



الشكل 2-36 التقسيم المتعدد المسالك

1-4-2 الإرسال متعدد المسار بإستعمال تقنية التقسيم الزمني TDMA

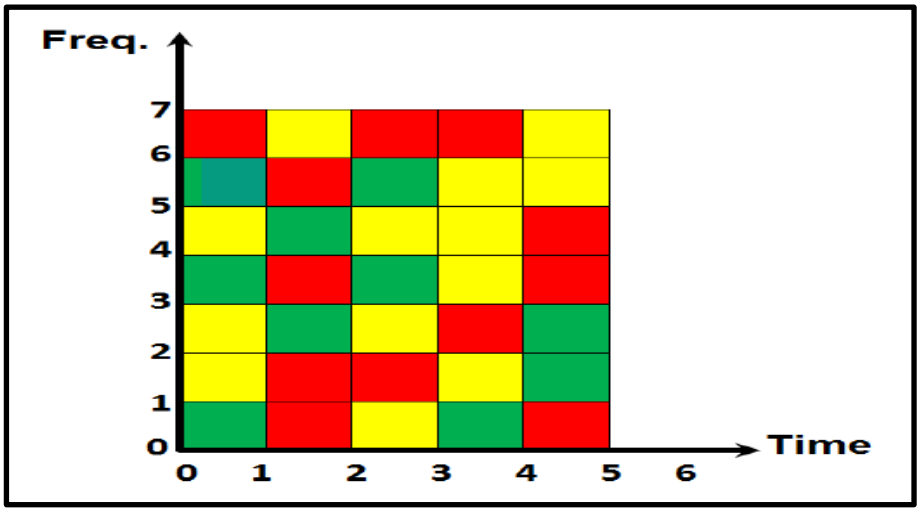
يعتمد مبدأ عمل هذا النوع من الإرسال على إستعمال تقنية الإرسال المتعدد المسار بإعتماد تقسيم الزمن بين أجهزة الإرسال في خط إتصال واحد، وذلك بالاستفادة من الفترات الزمنية الخالية، وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة سعة أنظمة الإتصالات، ومن أهم الأمورالفنية الواجب توافرها في هذا النظام هي توافر المزامنة بين أجهزة الإرسال والإستقبال، إذ يجب أن يكون جهاز الإستقبال قادراً على إستقبال كافة حزم المعلومات المرسلة من جهاز

الإرسال ويجب أن يكون هناك فترات زمنية صغيرة جداً بين هذه الحزم لغرض تجنب تصادمها مع بعضها البعض ومن ثم حدوث حالة الخطأ وفقدان البيانات التي تحتويها لاحظ الشكل (2-37).

الشكل 2-37 الإرسال المتعدد المسار باعتماد تقسيم الزمن TDMA

2-4-2 الإرسال متعدد المسار بإستعمال تقنية التقسيم الرمزي CDMA

في هذا النوع من الإرسال المتعدد المسار يتم إستعمال واستغلال كافة القنوات المتاحة في عملية الإرسال، وذلك بإعطاء كل جهاز أرسال رمزاً خاصاً، ومن ثم إستعمال كامل النطاق المتاح للإرسال، وفي جهاز الإستقبال يمكن التعرف على إشارات كل جهاز بناءاً على رمزه، وهذا يؤدي إلى زيادة سعة الأنظمة التي تستخدمه مقارنة بأنظمة الإتصالات الأخرى، كما أنه لايحتاج إلى مزامنة بين جهاز الإرسال والإستقبال، لاحظ الشكل (2-38).

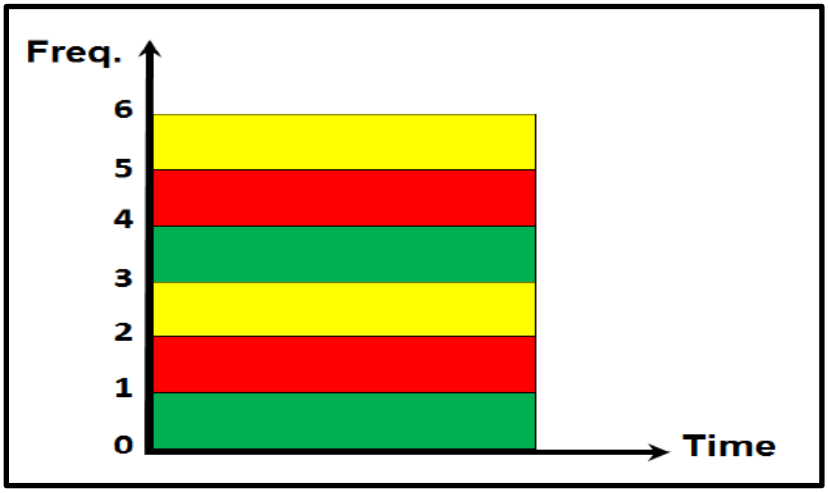


الشكل 2-38 المتعدد المسار بإعتماد التقسيم الرمزي CDMA

2-4-3 الإرسال متعدد المسار بإستعمال تقنية التقسيم الترددي FDMA

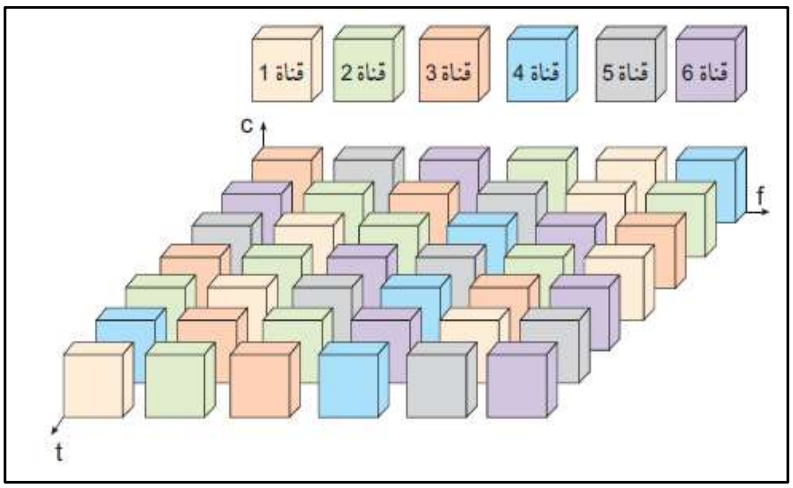
يعتمد عمل هذا النوع من الإرسال المتعدد المسار على فصل ترددات الإشارات المرسلة وذلك بتخصيص نطاق ترددي معين لكل جهاز إرسال ويتم ذلك بتعديل ترددات إشارة المعلومات بإشارات حاملة

للحصـــول علـــى نطاقـــات ترددية منفصـــلة وإرســـالها معـــاً فـــي نفـــس الوقـــت علـــى نفـــس قنـــاة الإتصال، لاحظ الشـكل (2-39).



الشكل 2-39 الارسال المتعدد المسار باعتماد التقسيم الترددي FDMA

لابد من الذكر هنا بأنه يمكن إستعمال نوعين من الإرسال المتعدد المسار معاً في آن واحد، فمثلاً بالإمكان إستعمال الإرسال المتعدد بالتقسيم الزمني والترددي **TDMA** و **FDMA**، وذلك بتخصيص أكثر من نطاق ترددي للإرسال وتقسيم هذه النطاقات زمنياً بين أجهزة الإستقبال والإرسال، لكن هذا النوع يحتاج إلى مزامنة وتنسيق كبير بين أجهزة الإستقبال والإرسال، لاحظ الشكل (2-40).



الشكل 2-40 الإرسال المتعدد المسار بإعتماد التقسيمين FDMA و TDMA

2-5 الإرسال التماثلي والرقمي

لابد من الذكر هنا أن عملية الإرسال الرقمي للمعلومـات قد بدأت منذ عام 1970، إذ كان التركيز في ذلك الوقت على إرسال البيانات الرقمية لكونها الإشارات المناسبة للإرسال المباشر خلال النظام الرقمي في حين يتطلب إرسال الإشارات التماثلية عبر الأنظمة الرقمية تحويل هذه الإشارات من هيئتها التماثلية الى الرقمية ومن الأنظمة التي أعتمدت هذه التقنية حينها هي الأنظمة الصوتية والأنظمة الرقمية ويبين الشكـــل (2-41) حالات الإرسال المختلفة. تقسم الإشارات المستخدمة في أنظمة الإتصالات إلى نوعين أساسيين حسب طبيعتها، فالنوع

الأول يعرف بالإشارات التماثلية وتشمل إشارات الصوت والصورة، أما النوع الثاني فيعرف بالإشارات الرقمية، ويشمل الإشارات الداخلية في الحاسوب الآلي الخاصة بنقل البيانات مثل نقل الملفات والبريد الألكتروني وإشارة الإنترنت، أما عملية إرسال الإشارات فيمكن تقسيمها إلى الحالات التالية:

- إشارات تماثلية ترسل في نظام تماثلي:

حيث تقوم الإشارات التماثلية بتضمين السعة أو التردد أو طور الإشارة الحاملة الجيبية الشكل، ومن الأنظمة التي تعتمد بهذه التقنية هي أنظمة تضمين **AM, FM, M**.

- إشارات رقمية ترسل في نظام تماثلي:

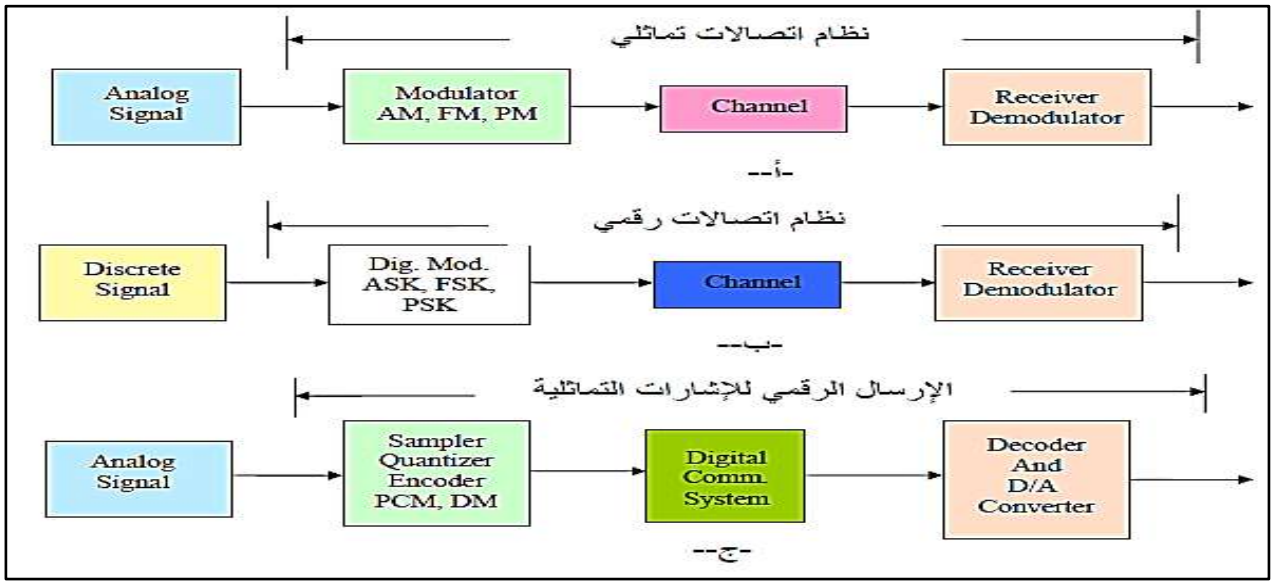
يمكن ملاحظة هذه الأنواع من الإشارات في أجهزة المودم ، إذ تقوم هذه الأجهزة بتحويل البيانات الرقمية إلى تماثلية لإرسالها عبر الخط التماثلي (خط الهاتف)، وبمعنى أوضح تقوم البيانات الرقمية بتضمين السعة، التردد أو الطور للإشارة الحاملة الجيبية (مثل أنظمة التضمين **ASK, FSK, PSK**) تمتاز هذه الأنظمة بإرسال خانة (بت) واحدة للرمز (**Symbol**) أو أكثر من خانة (أكثر من بت) للرمز وتشمل أنظمة التضمين ذات المستوى الأعلى (**QAM, QPSK**).

- إشارات رقمية ترسل في نظام رقمي:

ويتطلب في هذه الحالة نظام ترميز (**Encoding**) مناسب لإرسال تلك البيانات مثل أنظمة الشبكات المحلية السلكية وأنظمة الـ **DSL**.

- إشارات تماثلية ترسل في نظام رقمي:

ومن أنواع هذه الإشارات، إشارات الصوت أو الفيديو التي يتم تحويلها إلى إشارات رقمية (**PCM**) من أجل إرسالها خلال الأنظمة الرقمية.



الشكل 2-41 حالات الإرسال المختلفة، (أ) الإرسال التماثلي، (ب) الإرسال الرقمي، (ج) إرسال الإشارات التماثلية عبر النظام الرقمي

هناك عدة عوامل ساهمت في التطور السريع للإتصالات الرقمية، يمكن تلخيصها بالتالي:

1. الإنتشار الواسع لأجهزة الحاسوب والأنظمة المحوسبة على أختلاف أنواعها.
2. الخصائص الفنية العديدة المهمة لأنظمة الإتصالات الرقمية.
3. التحول والإنتقال الذي حصل في أنظمة الهاتف السلكية، وتحولها إلى أنظمة الهاتف الرقمية عند عملية الإرسال والإستقبال للبيانات، مع مراعاة النقاط التالية:

أ- يجب ان يكون جهاز الإستقبال قادراً على تحديد فترات التزامن بين الخانات (البتات)، إذ يجب أن يحدد وبشكل دقيق بداية ونهاية الخانة (البت).

ب- معرفة مستوى الإشارة (عالٍ أو منخفض مما يمكن من تحديد البت 1 أو 0).

ت- كلما أزداد عرض النطاق الترددي (**Bandwidth**) كلما أزداد معدل إرسال البيانات.

ث- كلما أزدادت نسبة الإشارة إلى الضوضاء (**SNR**) في النظام كلما نقص معدل الخطأ البتات (**BER**).

ج- نظام الترميز (**Encoding**) يقوم بتحويل البيانات (البتات) إلى عناصر الإشارة المخصصة للإرسال.

ح- كلما أزداد معدل إرسال البيانات كلما زاد معدل خطأ البتات (**BER**).

6-2 مشاكل الإرسال

إن عملية إرسال الإشارات تواجه العديد من المشاكل الفنية لذا ولأهمية هذا الموضوع سنتطرق بالتفصيل عن أهم هذه المشاكل ثم سنعطي لاحقاً الحلول المناسبة لها.

1-6-2 فقدان المسار (Path Loss)

تنتشر الموجات الراديوية كما ينتشر الضوء في الفراغ بخطوط مستقيمة وبسرعة الضوء ولا تعتمد هذه السرعة على التردد، ومن البديهي فنياً ولغرض تحقيق الإرسال لابد من وجود خط مستقيم مباشر بين المرسل والمستقبل يسمى بخط الرؤيا (**Line of Sight**)، وفي حالة عدم وجود عائق فإن قدرة الإشارة المرسلة (**Pr**) تضمحل مع ازدياد المسافة (**d**) الفاصلة بين المرسل والمستقبل، وتتناسب قدرة الإشارة المستقبلة تناسباً عكسياً مع مربع المسافة و تعرف هذه العلاقة بقانون التربيع العكسي التالي:

$$P_r \propto \frac{1}{d^2} \qquad \text{.....(8.2)}$$

كما أن الإشارة المرسلة تتأثر بعوامل أخرى كالطول الموجي للإشارة المرسلة، والربح (**Gain**) لهوائيات كل من المرسل والمستقبل، كما أن للعوامل الجوية كالمطر ونسبة الرطوبة والغبار والدخان والضباب

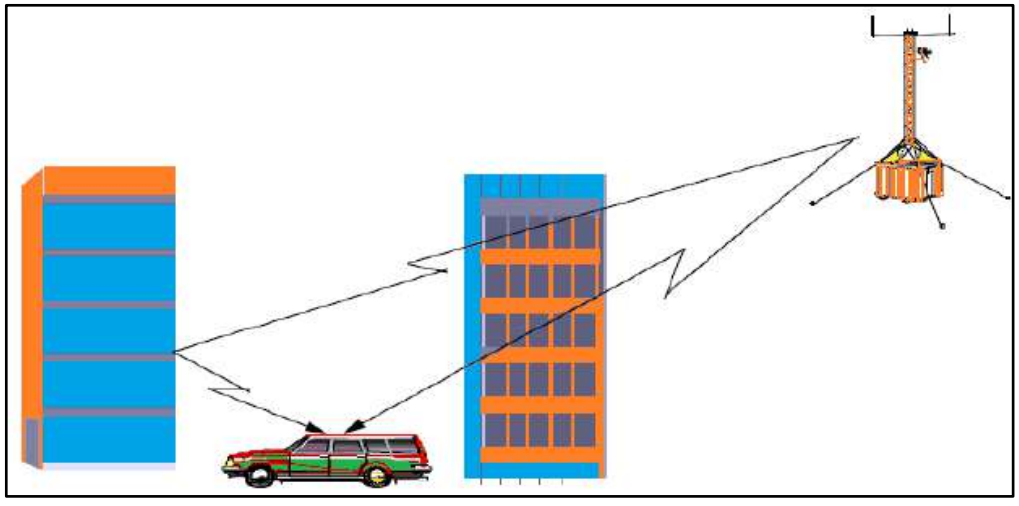
والثلوج تأثيراً سلبياً في قوة الإشارة ويزداد ضعفها مع زيادة التردد، أن مشكلة فقدان المسار نادراً ماتسبب فقدان الاتصال لأنه وقبل تفاقم المشكلة يتم أنشاء مسار جديد للإتصال من خلال محطة جديدة.

2-6-2 انتشار المسارات المتعددة (MultiPath Propagation)

أن وجود عوائق في منطقة الإرسال والإستقبال مثل وجود الأبنية والجبال يتسبب في حدوث أصعب حالات مشاكل الإرسال وهو انتشار المسارات المتعددة (**Multi-Path Propagation**) حيث تنعكس الإشارة نتيجة أصطدامها بالعوائق وبذلك تصل الى المستقبل من عدة مسارات، بمعنى آخر تصل إلى مستقبل المحطة القاعدية (**BTS**) أو المحطة المتنقلة (**MS**) أكثر من إشارة تحمل المعلومات نفسها، ومن أهم المشاكل الناجمة من تعدد المسارات هي مشكلة (ذبول رايلي **Rayleigh Fading**). ومن الملاحظ أيضاً أنه من المحتمل أن تصل الإشارة من المسار المباشر أولاً ثم تليها الإشارات المنعكسة بشكل متوالي بحسب المسافات المختلفة التي تقطعها كل إشارة، يسمى هذا التأخير بالتأخير الممتد (**Delay Spread**) وتكون قيمته بحدود (**3** مايكرو ثانية) داخل المدن ، ويتسبب هذا في وصول أكثر من نسخة من نفس الإشارة وبصورة غير متزامنة وكذلك تختلف في قدرتها ومن ثم يتسبب هذا بحصول حالة تشويه للإشارة نتيجة التداخلات الحاصلة للعديد من نسخ الإشارة المستقبلة في أوقات مختلفة. من أهم المشاكل الناتجة من تعدد المسارات نذكر المشكلتين التاليتين:

1. ذبول رايلي **Rayleigh Fading**:

إن ظاهرة ومشكلة ذبول رايلي يمكن أن تنتج بواسطة تعدد المسارات، إذ تحدث هذه المشكلة عندما لايكون هناك مسار مباشر بين المرسل والمستقبل مع وجود عوائق قريبة جدا من المستقبل فيتم إستقبال الإشارة من عدة مسارات غير مباشرة، أن الإشارة المستقبلة تكون عبارة عن حاصل جمع عدة إشارات منفردة تختلف كل منها بحسب زاوية الطور والسعة، يمثل الشكل (2-42) الرسم التوضيحي لهذه المشكلة.

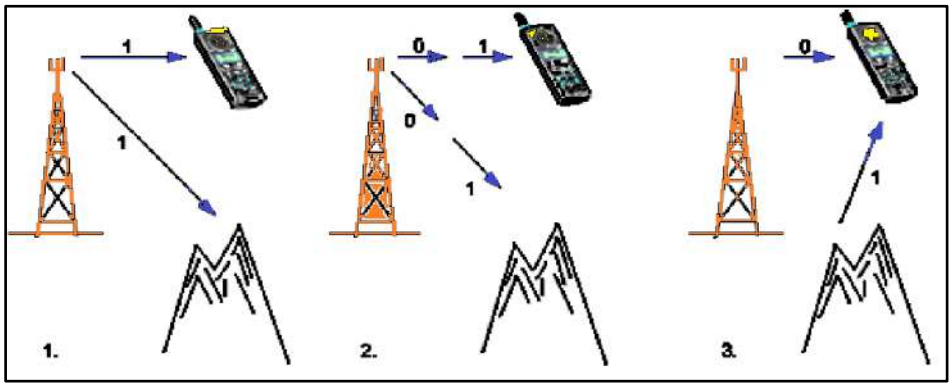


الشكل 2-42 رسم توضيحي لمشكلة ذبول رايلي Rayleigh Fading

2. التشتت الزمني Time Spread:

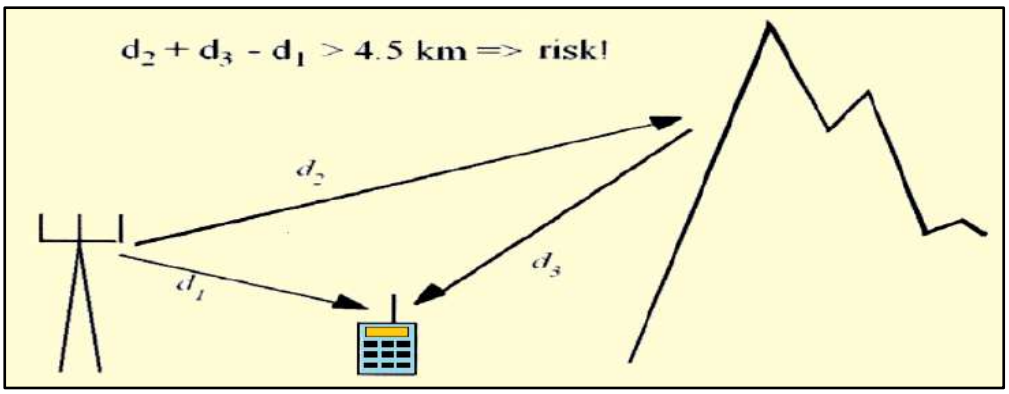
من بديهيات الإرسال والإستقبال للمعلومات الرقمية، أن الإشارات ترسل وتستقبل بترتيب زمني منتظم عند إستعمال التقسيم الزمني المتعدد المسالك (**TDMA**). تتسبب ظاهرة تعدد المسارات في حدوث مايسمى بالتشتت الزمني، التي يكون تأثيرها على مستوى الخانة الرقمية الواحدة (**One Bit**)، إذ تصل عدة نسخ من الإشارة الأصلية بصورة تتابعية في أوقات مختلفة مما يؤثر على عملية الإستقبال.

تختلف مشكلة التشتت الزمني عن مشكلة ذبول رايلي في أن مشكلة التشتت الزمني ناتجة من إرتداد الإشارات نتيجة عوائق بعيدة عن المستقبل وكذلك مع وجود مسارٍ مباشر. أذا كان التأخير محدود فمن الممكن معالجة المشكلة بفصل النسخ المتعددة للإشارة وتحسين مستوى الإشارة بالإستفادة من محتويات النسخ المختلفة، إذ يستفاد جهاز الإستقبال من هذه الظاهرة. يتسبب التشتت الزمني في مايسمى بمشكلة تداخل الرموز (**Inter-Symbol Interference (ISI**، حيث تتداخل الرموز المتتالية مع بعضها البعض مما يسبب صعوبة لجهاز الإستقبال في تحديد الرمز الصحيح كماهو واضح في الشكل (2-43).

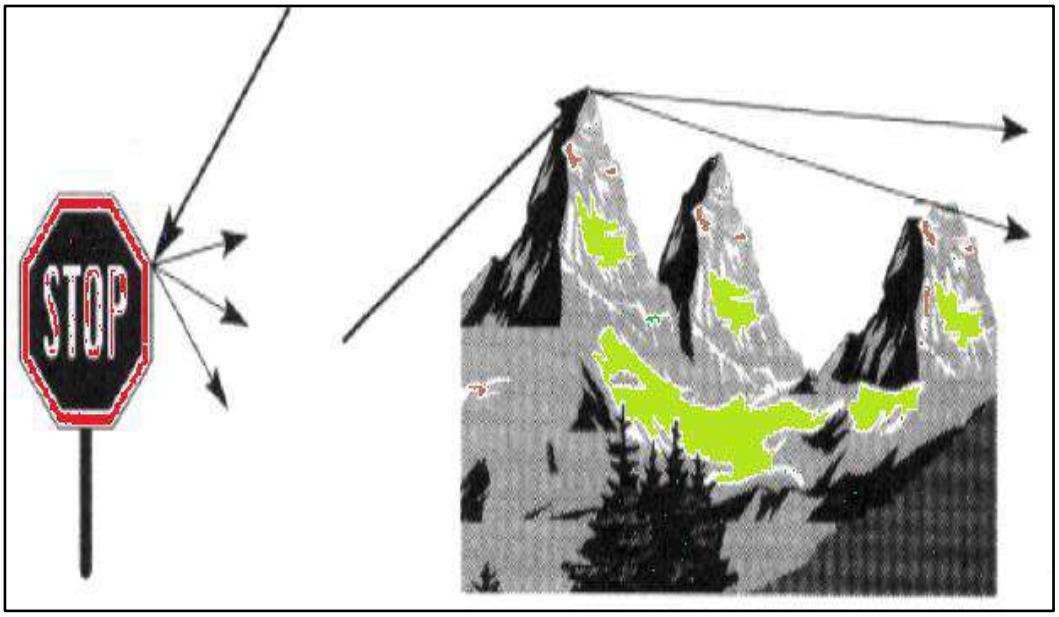


الشكل 2-43 الرسم التوضيحي لمشكلة التشتت الزمني

في نظام **GSM** وضعت معايير لتحديد مقدار التشتت ليكون بحدود (15 مايكرو ثانية) أي مايعادل مسافة (**4.5 km**) تقريبا كما هوموضح في الشكل (2-44) مما يعني أنه يمكن التعامل مع مجموعة نسخ الإشارة التي تستقبل خلال فترة زمنية قدرها (15 مايكرو ثانية) بأعتبار أن النسخ المتأخرة بأكثر من هذه الفترة الزمنية قد قطعت مسافة أكبر من (**4.5 km**)، وبذلك تكون قدرتها قد ضعفت بما فيه الكفاية فيتم تجاهلها.



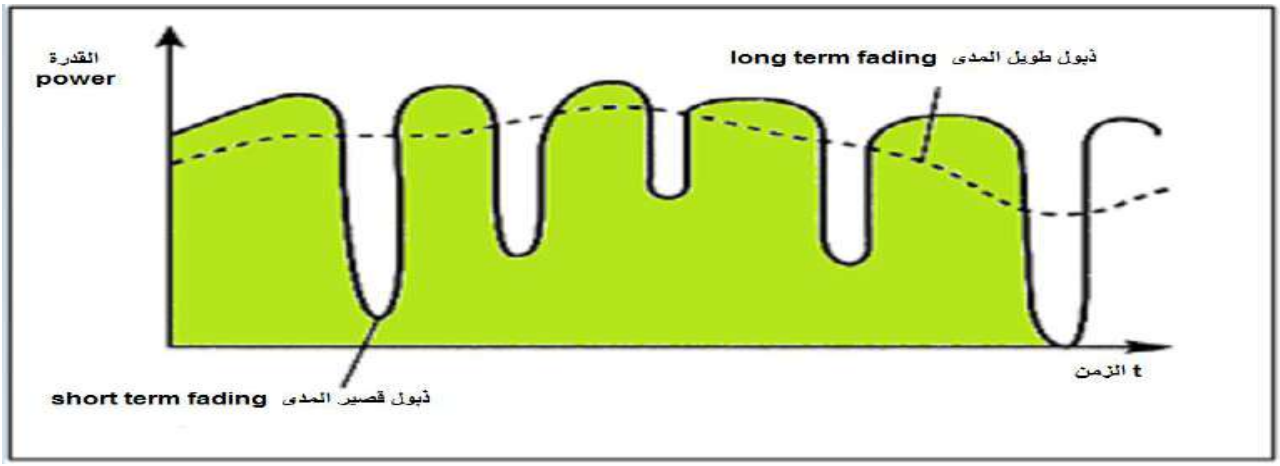
الشكل 2-44 إختلاف المسافات بين المسارات المختلفة*



الشكل 2-45 مشكلة التشتت والحيود الموجي

2-6-4 فقدان الاشارة المتعدد الاسباب (ظاهرة تداخل الرموز)

يتسبب التأخير الناتج عن الإرسال بالمسالك المتعددة في تداخل النبضات في جهة الإستقبال بأعتبار أن كل نبضة تمثل رمزاً (**Symbol**) وكل رمز أو عدة رموز تمثل معلومة رقمية (**Bit**) وعليه فأن الطاقة المحددة لرمز معين تتوزع على الرموز المجاورة، تسمى هذه الظاهرة بتداخل الرموز، ومن الملاحظ أيضاً أنه مع زيادة سرعة الترميز سيزداد تأثير هذه الظاهرة. بالرغم من وجود مشكلة التأخير الممتد ومشكلة تداخل الرموز في أنظمة الإتصالات اللاسلكية الثابتة فأن تأثيرها سيكون أكبر في الإتصالات المتنقلة، إذ يكون جهاز الإرسال والإستقبال في حالة حركة وبذلك تتغير خصائص القناة والمسارات اللتان تتبعان الإشارة مع الوقت تغيراً سريعاً، تسمى هذه المشكلة البلاش أو الاضمحلال القصير المدى (**Short Term Fading**)، يمثل الشكل (2-46) مشكلة الذبول القصير المدى إضافة الى الذبول الطويل المدى (**Long Term Fading**) المتمثل بمتوسط القدرة لفترة زمنية معينة وتحدث هذه المشكلة إما نتيجة تغير المسافة الفاصلة بين جهازي الإرسال والإستقبال أو بسبب وجود أجسام عائقة على مسافات بعيدة نسبياً، يمتاز هذا النوع من الذبول بانخفاض معدل مستوى القدرة للإشارة المستقبلة مع تغير الزمن، أي بمستوى تغير بطيء مقارنة اضمحلال أو تلاشي القصير المدى.



الشكل 2-46 الاضمحلال القصير المدى وطويل المدى

7-2 حلول مشاكل الإرسال

لاحظنا من خلال ماتقدم أن أغلب مشاكل الإرسال اللاسلكي ناتجة عن ظواهر طبيعية لايمكن إزالتها، إذ أن المطلوب كحلول لهذه المشاكل هو كيفية التكيف معها لتساعدنا على القضاء أو تقليل الأخطاء الناتجة من تأثير هذه المشاكل على جودة الأتصال. لقد تم وضع العديد من الحلول المساعدة للتغلب على الأخطاء ومعظم هذه الحلول تتطلب اتخاذ إجراءات خاصة في جهات الإرسال والإستقبال لضمان أكتشاف الأخطاء وتصحيحها، ومن هذه الأجراءات ما هو خاص بتوزيع الوقت وإدخال بعض الأساليب الخاصة بحماية المعلومات وأخذ الأحتياطات اللازمة لتجنب التداخل والتكيف مع الحالة وتشفير القنوات والتغيير المستمر للترددات المستخدمة وتوزيعها على الخلايا بطريقة تضمن عدم تكرار نفس التردد في الخلايا المتجاورة، كما أن ترتيب الهوائيات وتوزيعها الجيد سيساهم في تقليل الاضمحلال وتداخل الإشارات.

1-7-2 تنوع الهوائيات Antenna Diversity

أن تحقيق التنوع في الهوائيات يمكن تطبيقه بطرق مختلفة وهي طريقة التنوع الزمني (**Time Diversity**)، وطريقة التنوع الترددي (**Frequency Diversity**)، والتنـــوع الأتجاهـــــي (**Angle Diversity**) والتنوع المكاني (**Space Diversity**)، تستعمل هذه الطرق في أنظمة الإتصالات اللاسلكية لتحسين قدرة الإشارة المستقبلة دون الحاجة لرفع قدرة الإرسال أو زيادة نطاق الترددات. تعتمد فكرة التنوع على تركيب أكثر من هوائي وبالتالي استقبال أكثر من عينة للإشارة المستقبلة لغرض زيادة القدرة وتحسين اداء جهاز الإستقبال، فعند استعمال هوائيان تكون الإشارتان المستقبلتان في الوحدتين مستقلتان في الاضمحلال، وبما أن طول الموجة هو أقل من متر في نطاق الترددات المستخدمة في أنظمة الإتصالات المتنقلة لذلك يمكن أستعمال التنوع المكاني في الوحدات المتنقلة لأن المسافة الفاصلة ستكون بحدود (**10 cm**)، كما ان المسافة الفاصلة تعتمد على ارتفاع الهوائي عن سطح الأرض ويجب أن لاتقل عن ($\frac{1}{10}$) ارتفاع الهوائي عن سطح الأرض.

2-7-2 تشفير القناة Channel Coding

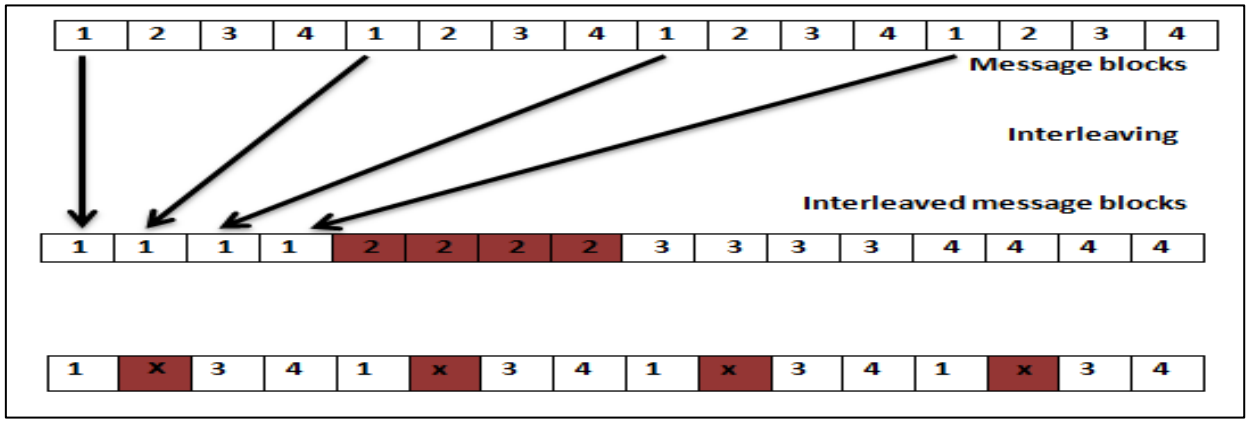
في أنظمة الإرسال الرقمية يتم التعبير عن جودة إرسال إشارة معينة بمصطلح معدل خطأ البيانات **(Bit) Error Rate** الذي يعبر عنه بصورة مختصرة **(BER)**، وهو يمثل نسبة الخانات المرسلة التي تم إكتشاف إنها خاطئة والتي يجب أن تكون قليلة جداً تقترب قيمتها من الصفر ونذكر أدناه مثالاً يوضح مفهوم الخطأ وكيفية حساب نسبته:-

خانات مرسلة (Tx bits)	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0
خانات مستقبلة (Rx bits)	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0
الخطأ (BER)		↑					↑	↑		BER= 3/10 = 30%

تستعمل طريقة تشفير القناة لغرض كشف وتصحيح الأخطاء لتدفق من الخانات (البتات) في جهة الإستقبال و تعتبر هذه الطريقة حلاً لمشكلة فقدان المسار **(Path Loss)**.

2-7-3 التحزيم الداخلي Interleaving

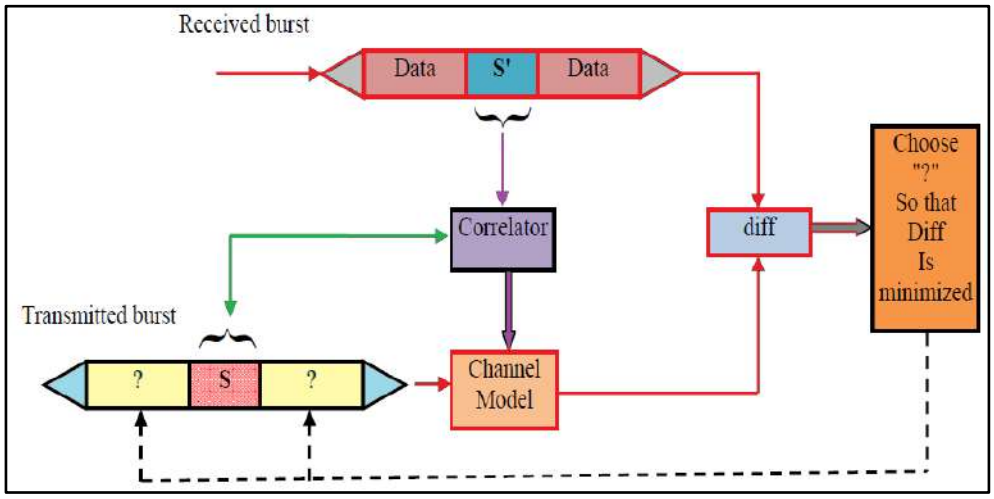
عند وجود مشكلة الضوضاء النبضية التي تحدث خلال عملية الإرسال اللاسلكي، تستعمل طريقة التحزيم الداخلي **(Interleaving)** كوسيلة لكشف وتصحيح الأخطاء الناتجة عن مشكلة الضوضاء، إذ تمتاز هذه الطريقة بفصل الخانات المتتالية للرسالة الواحدة وذلك لتجنب الأخطاء المتتالية أو المتسلسلة ويتم ذلك عن طريق أعادة توزيع المعلومات الرقمية الثنائية **(Bits)**، كما هو مبين في الشكل (2-47). عندما تحدث أخطاء محتملة في مجموعة من المعلومات الرقمية المتتالية المستلمة بواسطة جهاز الإستقبال يتم خزن هذه المعلومات أولاً ثم تتم عملية أعادة ترتيبها بعملية فك التحزيم، إذ توزع الأخطاء لتصبح أخطاء فردية يسهل اكتشافها وتصحيحها.



الشكل 2-47 مبدأ التحزيم الداخلي

4-7-2 التقويم المتكيف Adaptive Equalization

لقد تطرقنا سابقاً عن حالة التشتت الزمني التي تحدث في حالة تعدد المسار التي تنتشر فيها الأشارات، ولغرض التكيف مع خصائص مسار الإنتشار تستعمل طريقة التقويم المتكيف. تمتاز هذه الطريقة بإرسال مجموعة متوالية من الارقام الثنائية خلال خانة الوقت، بحيث تكون هذه الارقام المتسلسلة معروفة لدى جهازي الإرسال والإستقبال، يضاف الى ذلك وجود مرشح عكسي في طرف جهاز الإستقبال حيث يقوم بالتكيف مع ظروف الإرسال وتحديد سمات مسارات الإنتشار والتكيف معها، كما ويتم تعديل خواص هذا المرشح اعتماداً على نتيجة المقارنة بين الخانات التسلسلية لطريقة التدريب المستلم والخانات التسلسلية للتدريب الصحيح المخزن مسبقاً لدى جهاز الإستقبال، لاحظ الشكل (2-48).



الشكل 2-48 مقارنة خانات طريقة تسلسل التدريب

أسئلة الفصل الثاني

س1: عرف المصطلحات الآتية:

أ- التردد ب- الطيف الترددي ت- النطاق الترددي

س2: عدد طرق التضمين الرقمي، وأشرح واحدة منها.

س3: لديك إشارة ثنائية صادرة من نظام **PCM** على التسلسل التالي **(0101010111)** يراد إرسالها بإستخدام نظام التضمين **ASK**، إرسم شكل إشارة **ASK** الناتجة.

س4: أشرح مع الرسم الكشف غير المتزامن (**Non Coherent Detector**) لإشارة **ASK**.

س5: لديك إشارة ثنائية مرسلة من قبل نظام **PCM** تضمين الشفرة النبضية بالهيئة التسلسلية التالية **(0101000111)**.

أ- إرسم شكل إشارة **FSK** الناتجة.

ب- جد عرض النطاق الترددي المطلوب، علماً بأن الترددات المستخدمة في ذلك تبلغ (f_1 **= 8 MHz,** f_0 **= 6 MHz**)، وسرعة إرسال البيانات (**R = 400 Kb/s**).

س6: إذا كانت الإشارة المتولدة من نظام (**PCM**) تتخذ الشكل (**1011000111**)، فأجب التالي:

أ- إرسم الإشارة **BPSK** الناتجة.

ب- جد عرض النطاق الترددي المطلوب، علماً أن تردد الحامل (**4 MHz**)، وسرعة إرسال البيانات هي (**R = 400 Kb/s**).

ت- إرسم الطيف الترددي.

س7: إذا كانت دائرة تضمين **QPSK** تمتاز بالمواصفات التالية:

سرعة البيانات الداخلة تساوي (**5 Mb/s**)، وتردد الإشارة الحاملة يساوي (**25 MHz**)، جد:

أ- عرض النطاق الترددي اللازم.

ب- إرسم الطيف الترددي.

س8: أشرح مع الرسم الإرسال متعدد المسار بإستعمال تقنية التقسيم الرمزي **CDMA**.

س9: أشرح مع الرسم الإرسال المتعدد المسار بإعتماد التقسيمين **FDMA** و **TDMA**.

س10: عدد مع الرسم حالات الإرسال المختلفة.

الفصل الثالث

النظام الشامل للإتصالات المتنقلة GSM

أهداف الفصل الثالث:

أن يتعرف الطالب على مكونات نظام الإتصالات المتنقلة **GSM** والتركيبة الجغرافية لنظام **GSM** وخطوات الإرسال في نظام **GSM** وهيكلية التحزيم الداخلي في نظام **GSM** والتعرف على طريقة تمويه الأشارة في نظام **GSM**.

محتويات الفصل الثالث

3-1 تمهيد

3-2 مكونات النظام العالمي للإتصالات المتنقلة.**GSM**

3-3 الهويات والأرقام في نظام **GSM**.

3-4 التركيبة الجغرافية لنظام **GSM**.

3-5 خطوات الإرسال في نظام **GSM**.

3-6 خطوات إجراء المكالمة والإتصال في نظام **GSM**.

3-7 التحزيم الداخلي في نظام **GSM**.

3-8 تمويه الإشارة بالتشفير **Coding**.

3-9 التعديل والإرسال في نظام **GSM**.

3-10 الخدمات في نظام **GSM**.

الفصل الثالث

النظام العالمي للإتصالات المتنقلة GSM

(Global System For Mobile Communication)

1-3 تمهيد

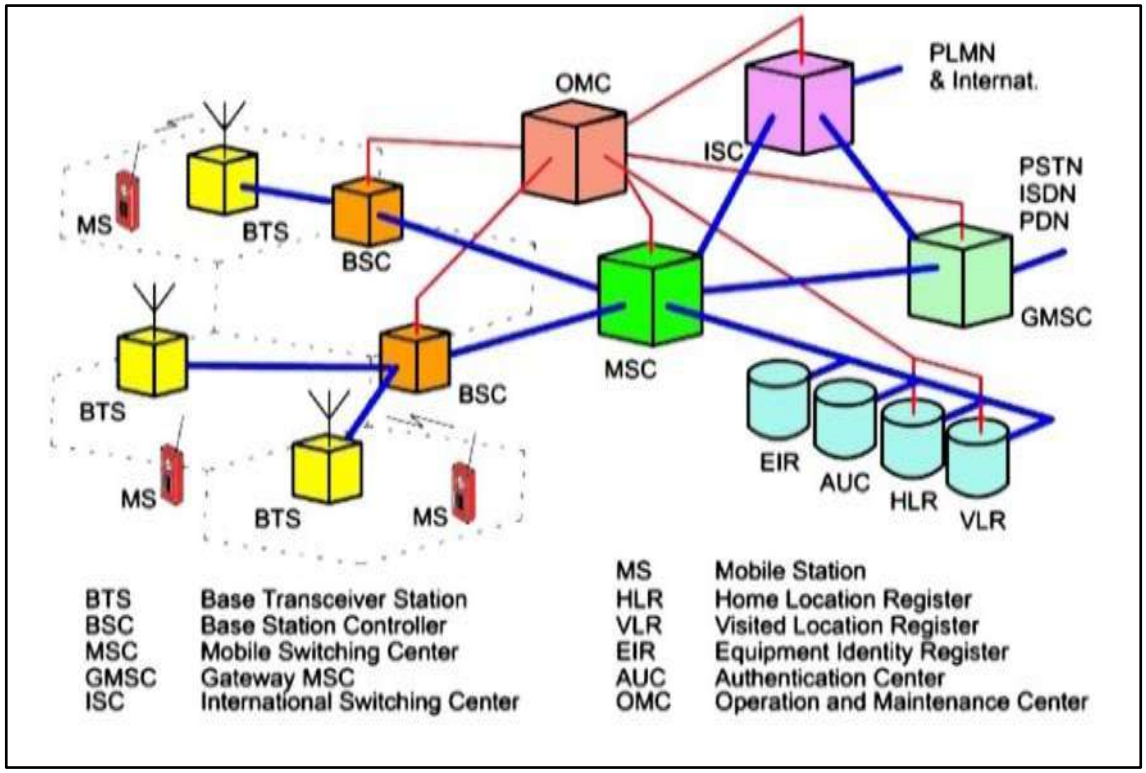
إن الرؤيا العقلية التخيلية لكل من علماء الإتصالات هي أن يستخدموا وسيلة تواصل لاسلكية بين البشر (متحركة) بعدما تم أكتشاف أمكانية أنتقال صوت الأنسان عبر الأسلاك الكهربائية في سنة 1876م من قبل العالمان جراهام بل وتوماس فدأب العلماء الى أستخدام الموجات الراديوية **(Radio Frequency) RF** في الإتصالات عام 1894م ذات الترددات التي تتراوح بين **(3 kHz – 300 GHz)** ولذلك فقد عملوا على رؤيا بتوفير خدمة هاتفية لكل مشترك على حدة بحيث يكون له جهاز هاتف شخصي ذي رقم خاص للمشترك الذي يحمله وتتصل هذه الأجهزة بمحطات فرعية تتحكم بهذه الأجهزة ويتم ربط هذه المحطات بمحطة رئيسية ومنها الى الشبكة العالمية التي تربط كل المحطات الرئيسية. وبقيت هذه الرؤيا تلازم العلماء وكان هناك عدة أسباب تمنع تطبيقها أهمها أن الهواتف اللاسلكية كانت ثقيلة الوزن وباهضة الثمن الى أن حدث التطور المذهل في عالم الألكترونيات وظهرت أشباه الموصلات **(Semiconductor)** وتوفرت أمكانية صناعة دوائر متكاملة مصغرة تعمل عمل الدوائر الكبيرة الموجودة في أجهزة الهواتف اللاسلكية القديمة فساعدت هذه الدوائر المتكاملة على صناعة أجهزة لاسلكية صغيرة الحجم وصغيرة الوزن وذات أداء أفضل بالأضافة الى أنخفاض سعرها وأصبحت هذه الأجهزة قادرة على أستخدام عدد من القنوات اللاسلكية التي تعمل بنظام الإرسال المتعدد المسار بتقسيم التردد **(FDMA)** والتي سبق وأن تطرقنا لها في الفصل السابق بالتفصيل. ومعنى الإرسال المتعدد المسار هو أن يتواجد عدد كبير من المشتركين ولكن عدد صغير منهم يستطيعون الكلام في اللحظة ذاتها لذا فان النظام لاينشغل بهم الا أذا طلب أحدهم المكالمة وعندئذ يقوم نظام **(FDMA)** بالبحث عن قناة غير مستخدمة أو خالية لكي يعطيها له وتتم عملية البحث عن طريق معالج بيانات دقيقة **(Microprocessor)** يستخدم معادلات رياضية خاصة لتنظيم هذه العملية وتبرزهنا مشكلة وهي أنه عند أستخدام القناة من قبل أحد المشتركين تصبح هذه القناة غير متاحة للمشتركين الأخرين داخل المدينة أو المنطقة نفسها ولمعالجة هذه المشكلة فقد تم تعديل النظام وذلك بأستخدام عدد من محطات الإرسال بدلاً من محطة واحدة مع تصغير المساحة التي تغطيها كل محطة ويطلق على كل مساحة من هذه المساحات أسم الخلية **(Cell)** وتأخذ شكلاً سداسياً بحيث لايحصل تداخل بين هذه المساحات وبالتالي يمكن أستخدام المدى الطيفي الترددي للخلية نفسها بواسطة قنوات كثيرة يقع كل منـها في خلية منفصلة عن الخلايا الأخرى وتسـيطر على هذه الخـلايا محطات رئيسية وقد سمي هذا النظام بـنظام الـهـاتف الخلـوي **(Cellular Telephone System)** وقد غير أسم هذا النظام الى النظام العالمي للإتصالات المتنقلة **(Global System For Mobile Communication GSM)** في عام 1992 م وذلك لأسباب تسويقية وسوف نقوم بشرح مكونات هذا النظام بالتفصيل.

2-3 مكونات النظام العالمي للإتصالات المتنقلة GSM

قبل التعرف الى مكونات النظام العالمي يجب فهم آلية الأتصال بين الشبكات وكيفية نقل الترددات لذا تم تحديد نقاط رئيسية للنظام وهي المشترك والشبكة حيث تم صنع بطاقة ذكية تعطى لكل مشترك ولها تردد خاص يتبين للشركة من خلال هذه البطاقة أسم المشترك وعنوانه والمنطقة والأبراج التي يستعملها ومنها يتم الولوج الى الشبكة لذا يمكن تقسيم هذا النظام الى أربعة أقسام رئيسية وهي:

1- المحطة المتنقلة (**Mobile Station MS**) وهي الهاتف الذي يحمله المشترك.
2- النظام الفرعي المحطات القاعدية (**Base Stations Subsystem BSS**).
3- النظام الفرعي لشبكة التبديل (**Network Switching Subsystem NSS**).
4- مركز التشغيل والصيانة (**Operation and Maintenance Center OMC**).

والشكل (3-1) يبين مكونات النظام العالمي (**GSM**) الرئيسة والفرعية.



الشكل 3-1 مكونات نظام العالمي (GSM) الرئيسة والفرعية

أولا- المحطة المتنقلة (Mobile Station MS):

وهي الأجهزة التي يستعملها المشترك ليتمكن من الولوج أو الدخول الى نظام الـ (**GSM**) ومع كثرة أنواعها الا انها جميعاً تستخدم لإرسال وأستقبال المكالمات وتتكون المحطة المتنقلة من جزئين أحدهما يكمل الأخر وهما:

1- بطاقة تعريف المشترك (**Subscriber Identity Module Card SIM Card**): تعتبر هذه البطاقة أو الشريحة من أهم مايميز نظام (**GSM**) عن أنظمة الإتصالات الأخرى وتحتوي هذه البطاقة على دائرة مطبوعة مصغرة جداً توضع داخل هذه الدائرة معلومات تخص المشترك بالأضافة الى بيانات مهمة لعملية التشفير والسرية والخصوصية ولا يمكن أجراء أي أتصال بدون هذه البطاقة والشكل (3- 2) يبين بعض أنواع بطاقات تعريف المشترك المستخدمة في العراق ومن أهم المعلومات التي تخزن في هذه البطاقة هي:

- الهوية الدولية للمشترك المتنقل (**International Mobile Subscriber Identity IMSI**).
- هوية المشترك المتنقل للخدمات الرقمية المتكاملة (**MSISDN**).
- الهوية المؤقتة للمشترك المتنقل (**Temporary Mobile Subscriber Identity IMSI**).
- هوية المنطقة المحلية أو منطقة الموقع لتوجيه النداء (**Location Area Identity LAI**).
- معلومات عن الخدمات الأضافية وقيود الخدمات.
- رقم الهوية الشخصية (**Personal Identification Number PIN**).
- مفتاح فك قفل لرقم الهوية الشخصية (**PIN Unlock Key PUK**).
- مفاتيح التوثيق (**Authentication Keys AKs**) ومفاتيح التشفير(**Ciphering Keys CKs**).
- معلومات عن الترددات المستخدمة من قبل الشبكة المشغلة (**PLMN Frequencies**).

الشكل 3-2 بعض أنواع بطاقات تعريف المشترك (SIM cards) المستخدمة في العراق

2- الأجهزة او المعدات المتنقلة (**Mobile Equipment ME**):وهي أجهزة الهواتف المتنقلة التي يستخدمها المشترك لإجراء الإتصالات والمكالمات بعد أن يقوم بوضع بطاقة السيم كارد (**SIMCard**) بداخلها, والشكل (3- 3) يبين بعض أنواع الهواتف المتنقلة الحديثة المستخدمة حالياً وتمتاز هذه الأجهزة بهوية خاصة تميز كل واحدة منها عن غيرها من الأجهزة المتنقلة وتدعى هذه الهوية بـ الهوية الدولية للأجهزة أو المعدات المتنقلة (**International Mobile Equipment Identity IMEI**).

الشكل 3-3 بعض أنواع الهواتف المتنقلة الحديثة المستخدمة حالياً

ثانياً- النظام الفرعي للمحطات القاعدية (**Base Stations Subsystem BSS**):

يقوم النظام الفرعي للمحطات القاعدية (**BSS**) بأجراء وأداء جميع الوظائف ذات العلاقة بالأتصال الراديوي (**Radio Connection**) بين أجزاء الشبكة المتصلة راديوياً وتوفير التغطية الراديوية الضرورية لربط المحطات المتنقلة فهو حلقة وصل بين نظام الـ (**GSM**) وبين الوحدات المتنقلة (**MS**) (الجهاز المتنقل + بطاقة **SIM**) ومن المهام التي يقوم بها هذا النظام الفرعي:

1- إجراء الأتصال الراديوي بالمحطات المتنقلة (**MS**).
2- إجراء عملية التسليم والمناولة (**Handover**) للمكالمات فيما بين الخلايا.
3- إدارة جميع المصادر الراديوية للشبكة وكذلك خصائص بيانات الخلايا.

ويتكون النظام الفرعي للمحطات القاعدية من جزئين رئيسيين هما:

1- وحدة تحكم المحطات القاعدية (**Base Station Controller BSC**): وهي حلقة الوصل بين المحطات القاعدية للأتصال (**BTS 's**) ومركز تبديل خدمات المتنقل (**MSC**) حيث تتحكم في محطة قاعدية واحدة أو أكثر وعادة تتحكم في تشغيل من (20– 30) محطة وتتحكم هذه الوحدة وتدير جميع الوظائف الراديوية لشبكة الـ (**GSM**) مثل أعداد النداء وتشغيل المرسل والمستقبل للمحطات القاعدية والعمليات المتعلقة بالتسليم والمناولة (**Handover**) ويمكن أن يرتبط عدد من وحدات التحكم (**BSCs**) بمركز تبديل خدمات واحد (**MSC**) ويطلق على الوصلة التي تربط بين وحدة التحكم (**BSC**) والمحطة القاعدية (**BTS**) بوصلـــة (**A-bis**)، أن وحدة التحكم في محطات القاعدة مسؤولة عن:

أ - تخصيص القناة **Channel Allocation**.
ب - التحكم في جودة التوصيل **Link Quality**.
ت - السيطرة على التأشير وحركة البث.
ث - قفز التردد **Frequency hopping**.
ج - بدء المناولة **Handover initiation**.
ح - أنشاء الأتصال **Call set-up**.

2- نظام المحطة القاعدية للأتصال (**Base Transceiver System BTS**): وهي عبارة عن هوائيات تحتوي على جهاز الإرسال والإستقبال وتحتوي المحطة القاعدية للأتصال (**BTS**) على جميع المعدات اللازمة لتغطية وخدمة خلية واحدة أو عدة خلايا تغطية راديوية والتي توفروتتحكم بوصلة الربط الراديوي (**Radio Interface**) للمحطات المتنقلة (**MS**) ومن مكوناتها أجهزة الإرسال والإستقبال والهوائيات ولكل محطة قاعدية رمز هوية واحد (**Base Station Identity Code BSIC**) يميزها عن المحطات الأخرى في الشبكة الواحدة ومن أهم وظائف المحطة القاعدية للأتصال:

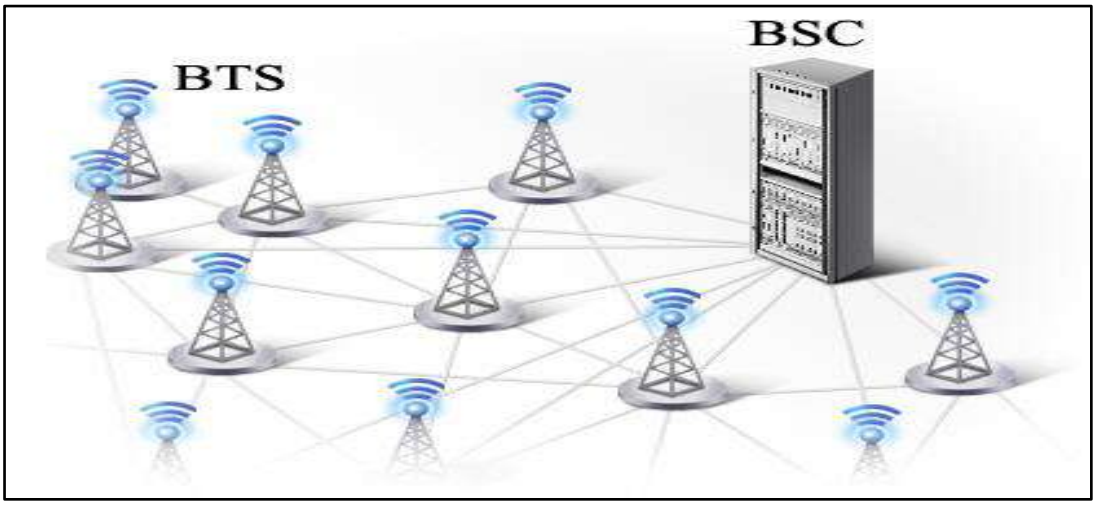
1- تحديد ترددات الإرسال وترددات الإستقبال المستخدمة.

2- تحديد أعلى قدرة يمكن أرسالها بناءاً على حجم الخلية المغطاة.

3- الإرسال والإستقبال الراديوي.

4- السيطرة على عملية القفز الترددي (**Frequency hopping**).

والشكل (3– 4) يبين النظام الفرعي للمحطات القاعدية (**BSC + BTS**)



الشكل 3-4 النظام الفرعي للمحطات القاعدية (BSC + BTS)

ثالثاً- النظام الفرعي لشبكة التبديل (**Network Switching Subsystem NSS**): هو النظام المسؤول عن العمليات الخاصة بإجراء المكالمات وكذلك جميع العمليات المتعلقة بالمشتركين ويتكون هذا النظام من عدة أجزاء وكل جزء مهم بدوره ويقوم بوظيفة تتعامل مع نظام (**GSM**) ومكونات هذا النظام الفرعي هي:

1- مركز تبديل (تحويل) خدمات المتنقل (**Mobile services Switching Center MSC**): هو أحد الأجزاء المهمة في نظام (**GSM**) ووظيفته هي السيطرة على المكالمات من والى المحطة المتنقلة (**MS**) وأن ابرز وظائف هذا المركز هي:

- عمليات تبديل وتوجيه المكالمات (**Switching and Call Routing**) أي أنه المسؤول عن أنشاء ومراقبة وإنهاء المكالمات.
- معالجة النداء (**Paging Handling**) للمحطات المتنقلة.

- عمليات الفوترة لأغراض حساب التكلفة للمكالمات (**Charging**).
- إدارة نظام التأشير (**Signaling System**) بين نظام المحطات القاعدية (**BSS**) ومركز التبديل (**MSC**).
- السيطرة على عمليات المناولة والتسليم بين أنظمة المحطات القاعدية (**BSSs**).
- الإتصال بمسجل الموقع الحالي (**HLR**) ومسجل موقع الزائر (**VLR**) أثناء أنشاء وأنهاء المكالمات.
- السيطرة على جميع وحدات التحكم في القاعدية (**BSCs**) المرتبطة بها والتي يتراوح عددها (15– 20) وحدة.
- معالجة تسجيل الموقع وتحديثه (**Location Updating**) والتأكد من التفاعل بين المحطات المتنقلة (**MS**) ومسجل موقع الزائر (**VLR**).
- الأتصال بمراكز تبديل خدمات المتنقل الأخرى لنفس الشبكة.
- الأتصال بالشبكات الخلوية الأخرى والشبكة الأرضية من خلال البوابة (**GMSC**).

2- سجل الموقع الحالي (**Home Location Register HLR**): وهو عبارة عن قاعدة بيانات مركزية للشبكة حيث يتم تخزين جميع البيانات الخاصة بجميع المشتركين المحليين المسجلين والتابعين لشبكة متنقلات واحدة أي شبكة مشغل واحدة (**One Operator**) وإدارة هذه البيانات ويحتوي هذا المسجل على المعلومات التالية:

أ- الهوية الدولية للمشترك (**IMSI**).

ب- دليل رقم المشترك أو رقم المشترك المتنقل للخدمات الرقمية المتكاملة (**MSISDN**).

ت- معلومات عن موقع المشترك لتوجيه النداء له.

ث- معلومات عن الخدمات الأضافية وقيود الخدمات.

ج- معلومات توثيق المشترك (**Authentication Information's**).

3- سجل موقع الزائر (**Visitor Location Register VLR**): هو عبارة عن قاعدة بيانات مؤقتة يحتوي على نسخة كاملة ومؤقتة من المعلومات الموجودة في مسجل الموقع المحلي (**HLR**) بالأضافة الى بعض المعلومات الأخرى للمحطات المتنقلة (**MSs**) المتواجدة ضمن منطقة خدمة مركز تبديل خدمة (**MSC**) معين لذلك يكون هناك موقع زائر (**VLR**) واحد لكل مركز تبديل (**MSC**).

ومن أهم المعلومات التي يحويها هذا المسجل هي:

- الهوية الدولية للمشترك (**IMSI**).
- الهوية المؤقتة لمشترك المتنقل (**TMSI**).
- دليل رقم المشترك أو رقم المشترك المتنقل للخدمات الرقمية المتكاملة (**MSISDN**).

- معلومات عن موقع المشترك لتوجيه النداء له.
- معلومات عن الخدمات الأضافية وقيود الخدمات.
- حالة المحطة المتنقلة.
- نسخة من بيانات المشتركين من مسجل الموقع المحلي.

4- سجل هوية (تعريف) الأجهزة (**Equipment Identity Register EIR**): وهي عبارة عن قاعدة معلومات تحتوي على معلومات عن هوية الوحدات المتنقلة (**IMEI**) التي تساعد في حجب المكالمات من الأجهزة المسروقة والغير موثوقة ويتم في هذا السجل التحقق من هوية هذه المحطات ومقارنتها بالهويات الخاصة بالمعدات المتنقلة المخزنة من ضمن القوائم المصنفة في هذا السجل أما القوائم المصنفة في هذا السجل فهي كالتالي:

أ- القائمة البيضاء (**White List**): وهي قائمة لهويات أجهزة المحطات المتنقلة المصرح لها بالولوج للشبكة.

ب- القائمة السوداء (**Black List**): وهي قائمة لهويات أجهزة المحطات المتنقلة الغير مصرح لها بأستخدام الشبكة (مثل الأجهزة المسروقة).

ج- القائمة الرمادية (**Gray List**): وهي قائمة لهويات أجهزة المحطات المتنقلة التي تكون تحت الاختبار أو تحت التجربة.

تتم عملية التأكد من المحطات المتنقلة (**MS's**) في كل محاولة أجراء أتصال حيث يقوم مركز التبديل (**MSC**) بطلب هوية المحطة المتنقلة (**IMEI**) ومن ثم يقوم مركز التبديل (**MSC**) بأرسال الهوية الى سجل تعريف الأجهزة (**EIR**) للتأكد من حالته والقائمة التي يتبع لها. ويكون ربط الشبكات المشغلة للهواتف النقالة مثل (شركة أسيا، شركة أثير، شركة كورك.....الخ) فيما بينها بواسطة مركز تبديل خدمات المتنقل (**MSC**) بحيث لايمكن أتصال مشترك من شركة ما الى شركة أخرى الا بالتنسيق بين مراكز تبديل خدمات المتنقل للشركتين وكما نعلم بأن مركز تبديل خدمات المتنقل (**MSC**) يسيطر على ملايين المشتركين لذا وجب نصب شبكات محوسبة عملاقة لتسيطر على الآليات والخدمات للمشتركين وهذه الشبكات المحوسبة العملاقة تنتج طاقة حرارية كبيرة جدا مما يؤدي الى تلف مركز تبديل خدمات المتنقل (**MSC**) ولمنع هذه الخسائر توضع مكيفات هواء لمراكز تبديل الخدمات (**MSC**) ولوحدة تحكم المحطات القاعدية (**BSC**) على أن لاتقل درجة الحرارة في هذه المراكز عن (**-15 º C**) تحت الصفر.

5- مركز التوثيق (**Authentication Center AUC**): هو عبارة عن مركز وظيفته الرئيسة التأكد من جميع المشتركين الذين يحاولون أستخدام الشبكة لأجراء المكالمات بحيث يتم حماية الشبكة من المستخدمين المحتالين والمتطفلين أي أنه عبارة عن قاعدة متصلة بسجل الموقع الحالي (**HLR**) وتستخدم لتخزين البيانات اللازمة لحماية المشتركين من المتطفلين وذلك عن طريق مفتاح التوثيق (**Authentication keys**) (**Aks**) ومفتاح التشفير (**Ciphering Keys**)(**cks**)الخاصة بكل مشترك يتم تخزين مفتاح التوثيق مع هوية المشترك الدولية (**IMSI**) في مركز التوثيق وفي بطاقة (**SIM**) ليستخدمها في توليد معاملات أو مؤشرات الحماية أوالأمن

(**Security Parameters**) ويرتبط عمل مركز التوثيق (**AUC**) بكل من سجل الموقع الحالي (**HLR**) والنظام الفرعي للمشغل والدعم والصيانة (**OSS**) ويمكن تلخيص عمل هذا المركز بثلاث نقاط هي:

- يحتوي على بيانات توثيق المشترك تسمى مفاتيح التوثيق ويرمز لها بالرمز (**AKs**).
- توليد بارامترات الحماية ذات العلاقة المطلوبة لتخويل الخدمة بأستخدام مفاتيح التوثيق(**AKs**).
- توليد شكل بيانات موحد يسمى مفتاح الشفرة (**AKs**) المطلوب لتشفير كلام وبيانات المشترك.

6- مركز تبديل بوابة خدمات المتنقل (**The Gateway Mobile services Switching Center**):

هي عبارة عن عقدة تربط شبكتين وهذا المركز مسؤول عن التداخل بين شبكة الهاتف المحمول وشبكة (**PSTN**) ومسؤول أيضاً عن توجيه النداء أو الأتصال من الشبكة الثابتة الى أي مستخدم من ضمن الشبكة (**GSM**) وفي أغلب الأحيان يترافق هذا المركز مع مركز تبديل خدمات المتنقل (**MSC**).

رابعاً- مركز التشغيل والصيانة (**Operation and Maintenance Center OMC**):

وهو العنصر الرئيسي والمركزي للسيطرة والمراقبة لجميع عناصر وأجزاء الشبكة ومن خلال هذا المركز الحاسوبي يزود طاقم المراقبة بمعلومات عن حالة الشبكة ومعلومات أخرى مثل نوعية الخدمة المقدمة بالشبكة وغيرها من المعلومات المهمة ويمكن ان يكون هناك أكثر من مركز تشغيل وصيانة ويعتمد هذا الشيء على حجم الشبكة ويقسم هذا المركز الى جزئين رئيسين هما:

1- مركز التشغيل والصيانة جزء التحويل (**OMC Switching Part OMCS**): وهو الجزء المسؤول عن مراقبة الوظائف والعمليات للأجزاء الخاصة بالتحويل أو التبديل في الشبكة.

2- مركز التشغيل والصيانة الجزء الراديوي (**OMC Radio Part OMCR**): وهو الجزء المسؤول عن مراقبة الوظائف والعمليات للأجزاء الخاصة بالمحطات القاعدية للشبكة أي الأجزاء المتعلقة بالعمليات الراديوية.

وهنالك قسم أخر يسمى مركز أدارة الشبكة وفي هذا القسم تتم عملية التحكم المركزي بجميع أجزاء ومكونات الشبكة ويتحكم أيضا بمراكز التشغيل والصيانة ولذلك يتطلب الأمر مركز أدارة واحد في الشبكة.

3-3 الهويات والأرقام في نظام GSM

نظرا لتعقد نظام (**GSM**) ولكثرة مشتركيه لما يمتاز به هذا النظام من توفير مساحة مستخدمين كبيرة لذا وجب ترميز المشتركين وتصنيفهم بأرقام ثابته وموقتة لكي يتم السيطرة عليهم من ضمن الأدارة والشركة المشغلة وأبرز هذه الأرقام هي:

1- رقم بطاقة تعريف المشترك (**Subscriber Identity Module CardSIMCard**): وهو عبارة عن رقم متكون من أحدى عشرة مرتبة أول ثلاثة أرقام من جهة اليسار تمثل رمز الشركة وباقي الرقم والمتكون من ثمانية أرقام تمثل تسلسل المشترك في الشركة.

2- الهوية الدولية للأجهزة المتنقلة (**International Mobile Equipment Identity IMEI**):
وهي عبارة عن رقم مكون من خمسة عشر مرتبة تخص الأجهزة أو المعدات المتنقلة وتختلف من جهاز الى آخر ويمكن تمثيلها بشكل متسلسل كما موضح بالشكل (3-5).

3- الهوية الدولية للمشترك المتنقل (**International Mobile Subscriber Identity IMSI**):وهي عبارة عن رقم متكون من خمس عشرة مرتبة تخص المشترك وتوجد لكل مشترك يختلف عن مشترك أخر ويمكن تمثيلها بشكل متسلسل كما موضح بالشكل (3-5).

IMEI

XXXXXX – XX – XXXXXX – X

TAC FAC SNR SP

TAC Type Approval Code رمز نوع الموافقة
FAC Final Assembly Code رمز الجمعية النهائي
SNR Serial Number الرقم التسلسلي
SP Spare 1 Digital decimal رقم أحتياطي واحد

IMEI = TAC + FAC + SNR + SP

IMSI

XXX – XX – XXXXXXXXXX

MCC MNC MSIN

MCC Mobile Country Code رمز بلد النقال
MNC Mobile Network Code رمز شبكة النقال
MSIN Mobile Subscriber Identification Number رقم تعريف المشترك النقال

IMSI = MCC + MNC + MSIN

MSISDN

XXX – XXX – XXXXXXXXXX

CC NDC SN

CC Country Code رمز البلد
NDC National Destination Code رمز المسافة الوطنية
SN Subscriber Number رقم المشترك

حيث أن كل (X) تمثل رقماً صحيحا

الشكل 3-5 يبين أنماط تسلسل (IMEI) و (IMSI) و (MSISDN)

4- هوية المشترك المتنقل للخدمات الرقمية المتكاملة (**Mobile Subscriber Integrated Services Digital Network Number MSISDN**): وهي عبارة عن رقم مكون من خمسة عشر أو ستة عشر مرتبة تخص المشترك وتختلف لكل مشترك عن المشترك الآخر ويمكن تمثيلها بشكل متسلسل كما موضح بالشكل (3-5).

5- الهوية المؤقتة للمشترك المتنقل (**Temporary Mobile Subscriber Identity TMSI**):
وهي نفس رقم (**IMSI**) ولكن في حالة مؤقتة وتتكون من خمسة عشر مرتبة تخص المشترك وتختلف لكل مشترك عن المشترك الآخر.

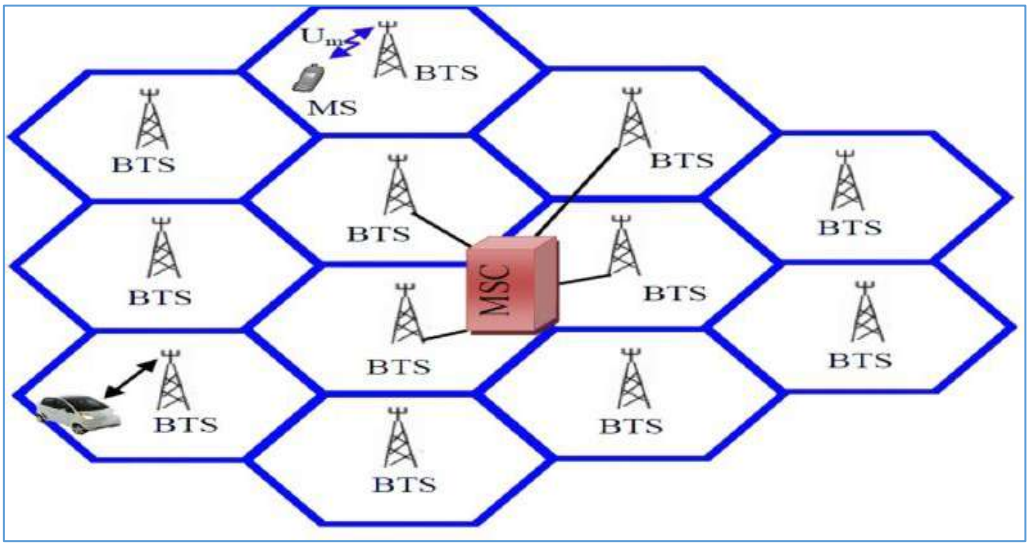
6- هوية المنطقة المحلية أومنطقة الموقع لتوجيه النداء (**Location Area Identity LAI**): وهي عبارة عن رقم مكون من خمسة مراتب تخص المنطقة المحلية للمشترك لأرسال وأستقبال المكالمات وتوجيه المكالمات.

7- هوية المشترك في برنامج الشبكة (**OMC ID**): وهي عبارة عن هوية توضع فيها المعلومات عن المشترك داخل الشركة لتدخل ضمن التصنيفات هل المشترك من ضمن الخطوط المدفوعة مسبقا، أو ضمن القوائم المفوترة، أو ضمن الشخصيات المهمة أو ضمن القائمة المدفوعة بدون رسوم للمكالمات، أو ضمن رجال الأعمال.

4-3 التركيبة الجغرافية لنظام GSM

التركيبة الجغرافية هي آلية توزيع أجزاء أو مكونات نظام (**GSM**) على مساحة محددة سواء كانت منطقة ما أو قرية أو محافظة سواء كانت مساحة صغيرة أو كبيرة وهذه الآلية تكون معلومة ومدروسة لتلبي جميع المشتركين المتنقلين بحيث يوجه النداء والخدمات الأخرى للمشترك بصورة صحيحة ومنها الى مراكز التبديل وهذا مهم بسبب طبيعة المستخدم الذي يستخدم محطة متحركة (الهاتف) ويستفاد أيضاً من هذه الآلية لمراقبة المستخدم وأمداده بالمعلومات والترددات المطلوبة منه واليه وتخصيص تردد واحد لكل مشترك وحسب موقع الهوائي أو البرج الذي يعطي تصريح ولوج المشترك للشبكة وتتكون التركيبة من التركيب الخلوي (**Cellular Structure**).

أن التركيب الخلوي هو عبارة عن أتصال بعض مكونات نظام (**GSM**) الخاصة بتضمين ودعم خدمات للمستخدم وهي المحطة المتنقلة (**MS**) والنظام الفرعي للمحطات القاعدية (**BSS**) والنظام الفرعي لشبكة التبديل (**NSS**) حيث يقوم النظام الفرعي لشبكة التبديل (**NSS**) بتضمين وخدمة والسيطرة على النظام الفرعي المحطات القاعدية (**BSS**) وبدوره السيطرة على منطقة محددة تسمى هذه المنطقة التي تغطيها محطة قاعدية واحدة بالـ (الخلية) وتكون هذه الخلية بشكل يمنع الفجوات والتركيز في جزء منها ويكون هذا الشكل سداسي الأضلاع. أن المحطة المتنقلة (المشترك) تستطيع التنقل بين خلية وأخرى لذا يكون النظام الفرعي لشبكة التبديل (**NSS**) هو المسؤول عن أرسال الترددات المطلوبة بين المحطة المتنقلة والمحطة القاعدية (الهوائي) لكي يحول لها المكالمات والشكل (3-6) يبين التركيب الخلوي.

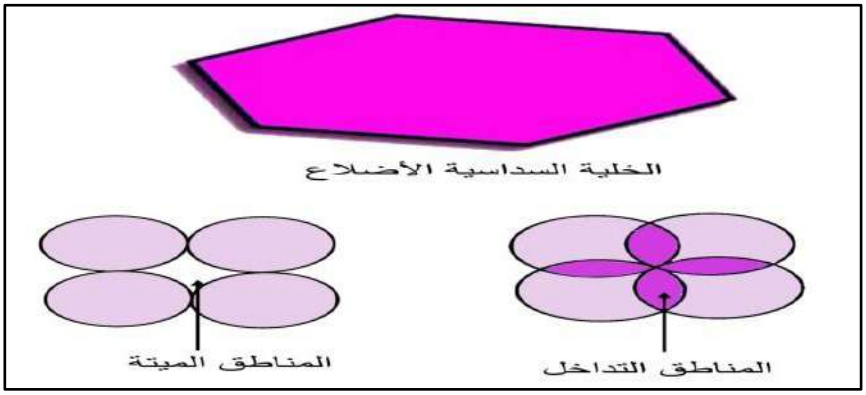


الشكل 3-6 التركيب الخلوي في نظام (GSM)

من الشكل (3- 6) أعلاه يمكن أن نبين مكونات التركيب الخلوي في نظام (**GSM**) كالتالي:

1- الخلية (**Cell**):

هي عبارة عن مساحة معروفة أبعادها ومدروسة حسب المعطيات التي تتوافق مع الهوائي أو ماتسمى علمياً بالمحطات القاعدية (**BTS**) حيث تعتبر الخلية الوحدة الأساسية في هذا النظام وكما نوهنا سابقاً يكون شكل الخلية سداسي الأضلاع لعدة أسباب أهمها وأبرزها الأسباب الأقتصادية والأسباب العلمية وتكون كل خلية مرتبطة بالأخرى فلا يمكن العمل على واحدة مع تجاوز الأخرى. لو تم أستخدام خلية ذات شكل دائري فسوف يتم أرسال الموجات من الهوائي على شكل دوائر والمسافة تكون معروفة (قطر أرسال الموجات يكون متساوي) فلا يوجد هنالك أي أشكال للخلية أو تغطية المحطة المتنقلة (الهاتف) ولكن التركيبة الجغرافية لأربعة محطات قاعدية (هوائي) لنمط الإرسال الدائري سيكون فيها أشكال كبير. حيث يوجد أحتمالان الأحتمال الأول ستكون هنالك مناطق لاتصل لها تغطية أو ترددات من الهوائيات الأربعة وتدعى هذه المنطقة بالمنطقة الميتة (**Dead Region**) والأحتمال الثاني ستكون أربع مناطق ذات ترددات متركزة نتيجة تداخل الترددات الدائرية للهوائيات الأربعة وتسمى هذه المنطقة بمنطقة التداخل (**Overlap Region**) وكمثال على الأحتمال الأول إن كان هناك مساحة مربعة ذات أبعاد (**1000mx1000m**) يتم تغطيتها بأربعة أبراج من المحطات القاعدية (**BTS** الهوائيات) فسوف تكون لدينا نسبة خسائر تقدر مساحتها (**215,000 m^2**) تقريباً من المساحة الكلية والبالغة (**1,000,000 m^2**) لا يتم تغطيتها من قبل الهوائي ولنفس المساحة للأحتمال الثاني ستكون لدينا خسائر أكبر من الأحتمال الأول وتقدر نسبة خسائر الأحتمال الثاني (**353,000m^2**) تقريباً من المساحة الكلية والشكل (3-7) يبين شكل الخلية السداسية الأضلاع ويبين المناطق الميتة ومناطق التداخل في الخلايا ذات الشكل الدائري.

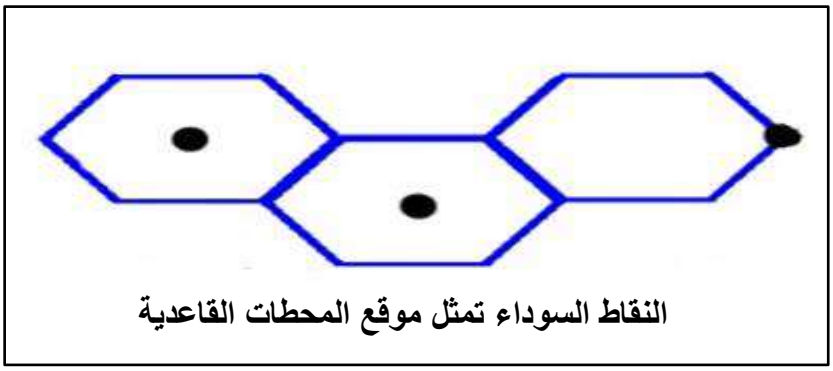


الشكل 3-7 شكل يبين الخلية السداسية الأضلاع والمناطق الميتة ومناطق التداخل في الخلايا ذات الشكل الدائري

أ- أن طريقة وضع المحطة القاعدية داخل الخلية تعتمد على مصطلح الـ (**Traffic**) والذي يعني الكثافة السكانية داخل الخلية وتوجد طريقتان لوضع المحطة القاعدية وهما:

ب- طريقة المركز (**Center**) وهي الطريقة التي توضع فيها المحطة القاعدية منتصف الخلية لأن المنطقة مكتضة بالسكان وفيها كثافة سكانية كبيرة.

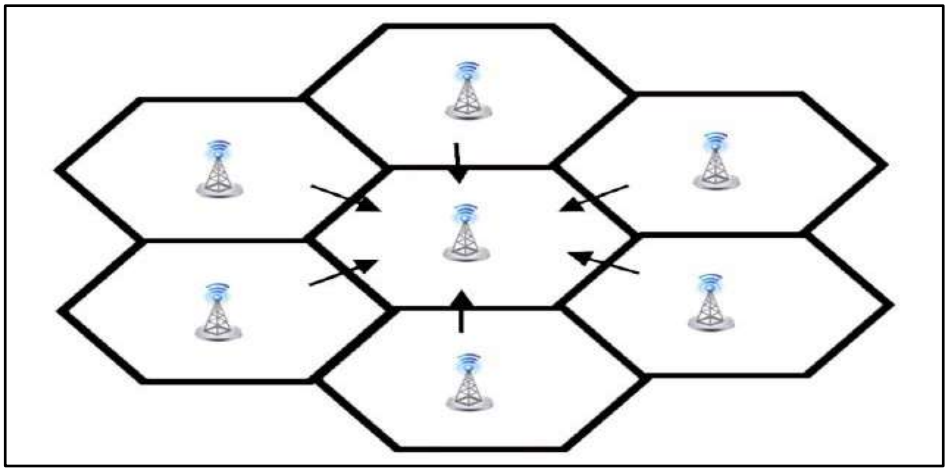
ت- الطريقة المباشرة (**Direct**) وهي الطريقة التي توضع فيها المحطة القاعدية في طرف من أطراف الخلية لعدة أسباب أهمها أسباب أقتصادية وبعضها أمنية. أن الشكل (3- 8) يبين موقع المحطة القاعدية في الخلية للحالتين أعلاه.



الشكل 3-8 موقع المحطة القاعدية بالنسبة للخلية

أما طرق أرسال الموجة الراديوية داخل الخلية الواحدة فهنالك طريقتان وهما كالتالي:

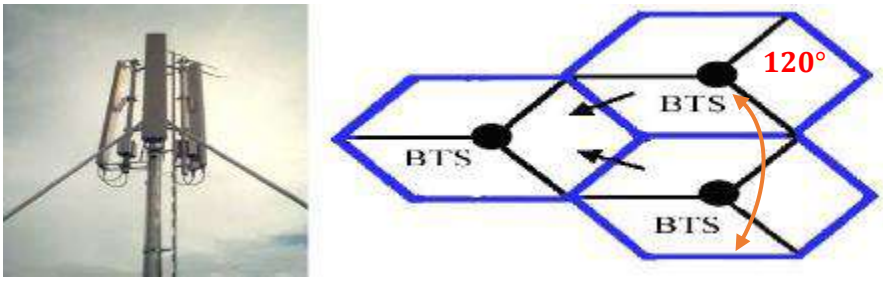
1- طريقة أرسال بزاوية **360º**: وهي طريقة تمكن الخلية من أرسال ترددات راديوية خلال محطة قاعدية واحدة أو هوائي واحد ويبث هذا الهوائي بجميع الأتجاهات وبزاوية (**360º**) وبذلك يكون الهوائي في منتصف الخلية ولا يمكن الأعتماد على محطة قاعدية واحدة في هذا النوع من الإرسال وأنما يكون هناك تداخل بسيط بين هذه المحطة القاعدية والمحطات القاعدية المجاورة لها وبما أن الخلية سداسية الأضلاع لذا يتوجب تعزيز ستة خلايا مجاورة لكل محطة قاعدية من هذا النوع والشكل (3-9) يبين طريقة أرسال بزاوية **360º**.



الشكل 3-9 طريقة أرسال بزاوية 360º

2- طريقة أرسال بزاوية **120º**: وهي طريقة تمكن الخلية من أرسال ترددات راديوية خلال محطة قاعدية واحدة أو هوائي واحد من خلال ثلاثة أجزاء وكل جزء يبث بزاوية (**120º**) ويكون أيضاً في منتصف الخلية ويمكن

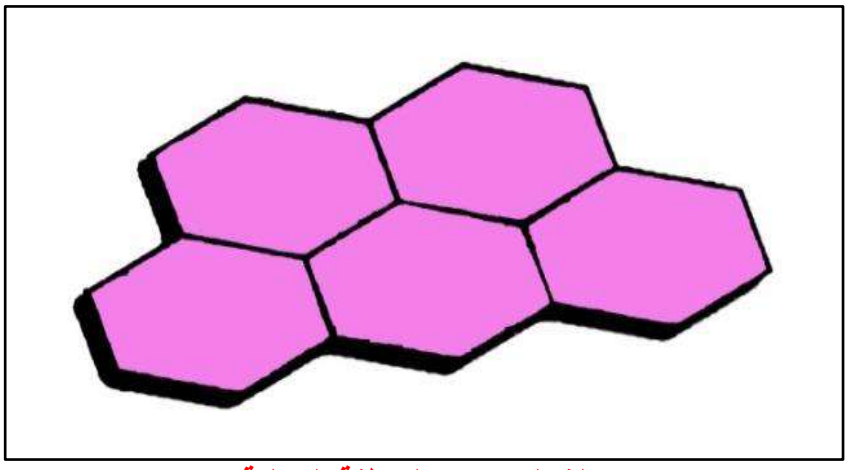
الأعتماد على محطة قاعدية واحدة في هذا النوع من الإرسال ولا بأس بتداخل بسيط بين هذه المحطة القاعدية والمحطات القاعدية المجاورة وذلك لأن المحطات القاعدية توضع فوق البنايات كما موجود حالياً في العراق ولا يمكن الجزم بوضع المحطة القاعدية دون مشاكل المساحة المقررة لها والشكل (3-10) يبين طريقة أرسال بزاوية **120º**.



الشكل 3-10 طريقة أرسال بزاوية 120º

2- المنطقة المحلية (Location AreaLLA):

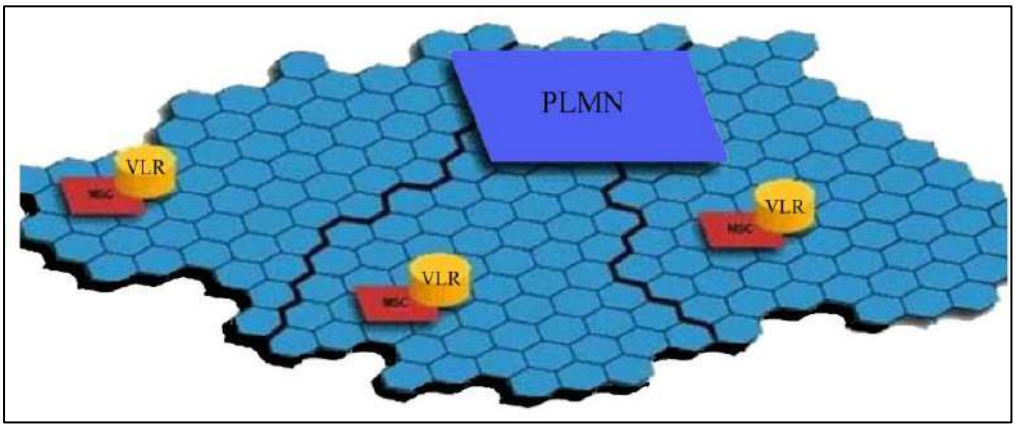
هي مجموعة من الخلايا ذات محطات قاعدية متجاورة ومرتبطة الواحدة مع الأخرى وترتبط خلال مركز تبديل خدمات المتنقل (**MSC**) وتأخذ هذه المنطقة على عاتقها تحديد مكان تواجد المحطة المتنقلة (الهاتف) حيث تحفظ وتخزن ملفات موقع الزائر (**VLR**) لأنها قابلة للتحديث حتى لو أنتقلت المحطة المتنقلة من خلية قاعدية ما الى خلية قاعدية أخرى فيتم توجيه الخدمات (المكالمات والرسائل..... الخ) الى المحطة المتنقلة دون البحث في الخلايا القاعدية الأخرى. ويتم ذلك عن طريق آلية ثابتة ومبرمجة وهي أن يقوم الجهاز النقال أو المتنقل بأرسال تردد من الهاتف متضمن رقم الجهاز (**IMEI**) ورقم الشريحة (**SIMCard**) الى المحطة القاعدية فترسل المحطة القاعدية بدورها الى مركز تبديل خدمات المتنقل (**MSC**) فيستجيب المركز ويخصص تردد لهذا المشترك ويرسله بدوره الى المحطة القاعدية ومنها الى المحطة المتنقلة وتتم هذه العملية خلال أجزاء من الثانية لكل دقيقة لذلك لا يوجد أنقطاع في المكالمات (الأتصال) حتى وأن كانت المحطة المتنقلة داخل مكان متحرك (كالسيارة مثلاً) وحتى لو أنتقل المستخدم من منطقة الى أخرى. ويمكن لمركز تبديل خدمات المتنقل (**MSC**) أن يسيطر على أكثر من عشرة مناطق محلية (**LA**) حتى ولو كانت المنطقة المحلية مكونة من سبع خلايا (سبع محطات قاعدية) والشكل (3-11) يوضح المنطقة المحلية (**LA**).



الشكل 3-11 المنطقة المحلية

3- منطقة خدمة مركز تبديل خدمات المتنقل وسجل موقع الزائر (MSC/VLR ServiceArea):

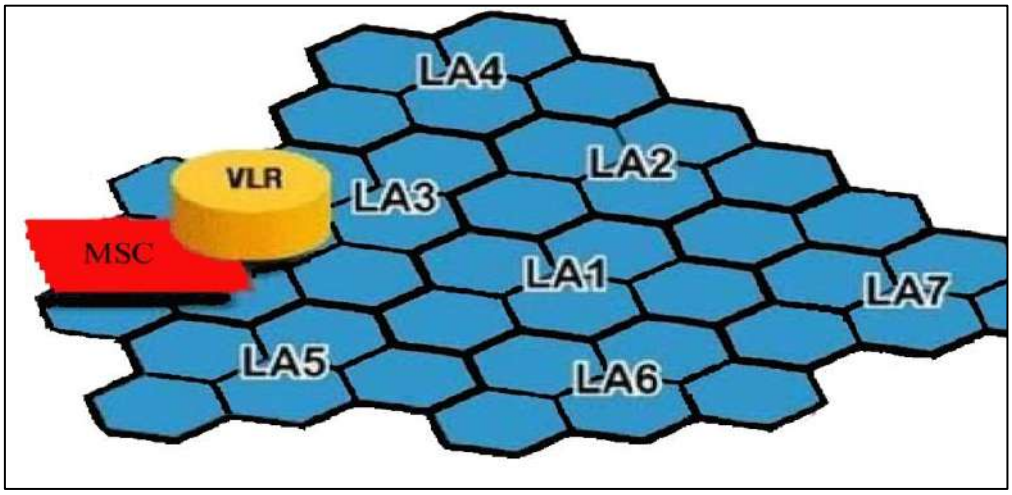
هي المنطقة المسؤولة عن مجموعة من المناطق المحلية التي يمكن السيطرة عليها وعلى جميع خلاياها من قبل مركز تبديل خدمات المتنقل (**MSC**) وسجل موقع الزائر (**VLR**) والفائدة منها توجيه الترددات الخاصة بالمحطة المتنقلة لتمرير المكالمات والرسائل وباقي الخدمات الأخرى وتسجيل وتحديث الموقع الحالي للمحطة المتنقلة من خلال سجل الموقع الحالي (**HLR**)، وكما موضح بالشكل (3-12).



الشكل 3-12 يوضح منطقة خدمة (MSC/VLR)

4- منطقة خدمة شبكة المتنقل الأرضية العامة (Public LandMobile Network Servic Area):

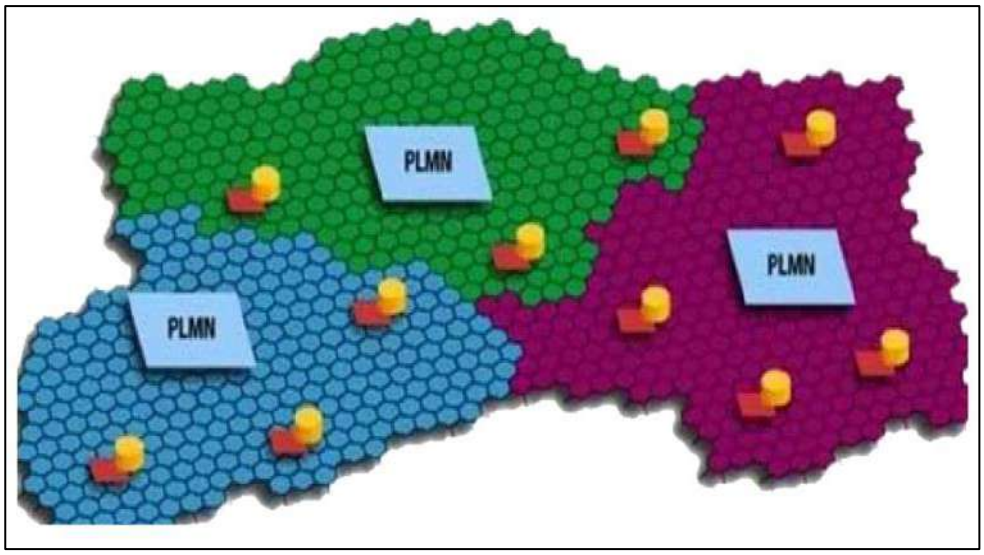
وهي المنطقة المسؤولة عن مجموعة من المناطق المحلية (**LA**) والتي تتم خدمتها من قبل مشغل واحد ويمكن أن توجد في الدولة الواحدة أكثر من شبكة متنقل أرضية عامة (**PLMN**) ويكون لكل واحد منها مشغلها الخاص كما هي الحال في الشبكات الموجودة في العراق (شبكة أسيا سيل، شبكة زين، شبكة كورك.....الخ) والشكل (3-**13**) يبين منطقة خدمة شبكة المتنقل الأرضية العامة (**PLMN**).



الشكل 3-13 منطقة خدمة شبكة المتنقل الأرضية العامة (PLMN)

5- منطقة خدمة GSM:

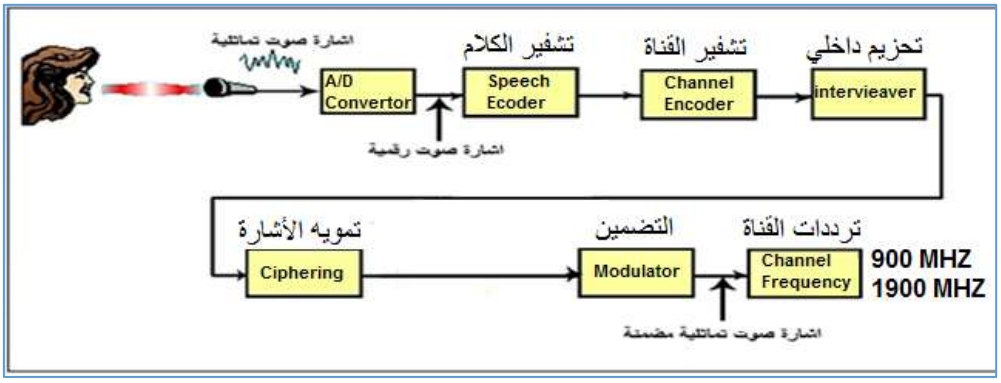
وهي المنطقة التي تتمكن فيها المحطة المتنقلة (المشترك) بالتجوال بحرية من منطقة خدمة شبكة متنقل أرضية عامة (**PLMN**) في بلد الى منطقة خدمة شبكة متنقل (**PLMN**) في بلد آخر وتدعى هذه الحالة بالتجوال الدولي (**International Roaming**) للمشتركين ويمكن شرح هذه الحالة بمثال بسيط لمحطة متنقلة تنتقل من دولة العراق الى بلد أخر ولنفرض دولة مصر العربية مع العلم أن المشترك سوف ينتقل بواسطة الطائرة حيث يتم تغطية المشترك بالأشارة المطلوبة والمتوافقة مع المحطة القاعدية (**BTS**) الهوائي) والمحطة المتنقلة أو المتحركة وتستمر التغطية حتى أقلاع الطائرة من المطار وعند وصول الطائرة الى أرتفاع محدد تنقطع الأشارة عن المحطة المتنقلة ' وتبقى هذه الأشارة مقطوعة عن المحطة المتنقلة حتى وأن كان المشترك لازال داخل حدود العراق أو البلدان المجاورة وعند نزول الطائرة في مطارمصر فأن المحطة المتنقلة ترسل تردد متكون من (**IMEI+IMSI+SIMCard number**إلى المحطات القاعدية (**BTS**) الهوائي) وبدورها تعطي التردد الى (**MSC**) ومنها الى مشغل الشبكة ومن ثـم الى مركز التبديـــــل الدولـــــي (**International Switching Center ISC**) ويظهر أسم الشبكة المستضيفة بدل الشبكـة الأصليـة (مثلا تظهر شبكة **Vodaphone** بدل شبكة **Asiacell**) وهذا المركز الأخير يعطي تردد تصريح الوصول الى الشبكة مع الأخذ بالأعتبار أنه لا يعطي التصريح بالدخول للشبكة الا بعد قيامه بمقارنة التردد القادم من المحطة المتحركة وتحديد المعلومات الضرورية من سجل موقع الزائر (**VLR**) ومن ثم فأن شبكة المشغل بدوره يعطي تصريح الدخول وتحويل الخدمات للمحطة المتنقلة (المكالمات، الرسائل، سجل الأسماء، القائمة السوداء، تحويل المكالمات، أنتظار المكالمات.... الخ) ولكن مع الأخذ بالحسبان أن المشغل المستضيف يستقطع من المحطة المتنقلة رسوم (مبالغ) في حالة المكالمات الصادرة والمستقبلة تعرف برسوم التجوال الدولي والشكل (3-14) يبين منطقة خدمة (**GSM**).



الشكل 3-14 منطقة خدمة GSM

5-3 خطوات الإرسال في نظام GSM

يمكن تفصيل وشرح خطوات الإرسال في نظام الـ (**GSM**) حسب الشكل (3-15), وكما نوهنا فيما سبق يبدأ الإرسال في المرحلة الأولى من المحطة المتحركة (الهاتف) من خلال إرسال التردد الذي يتضمن (**IMEI+IMSI+SIM Card Number**) ولكن قبل الولوج الى هذه المرحلة يجب أن نعرف المراحل الداخلية التي تنجز داخل المحطة المتحركة (**MS**) فمبدئياً المحطة المتحركة تستقبل صوت المشترك بشكل عام وتحوله الى أشارات داخلية ومن ثم ترسل الأشارات الى المحطات القاعدية (**BTS**) ولكن يمكن تبسيط العملية بالخطوات التالية:

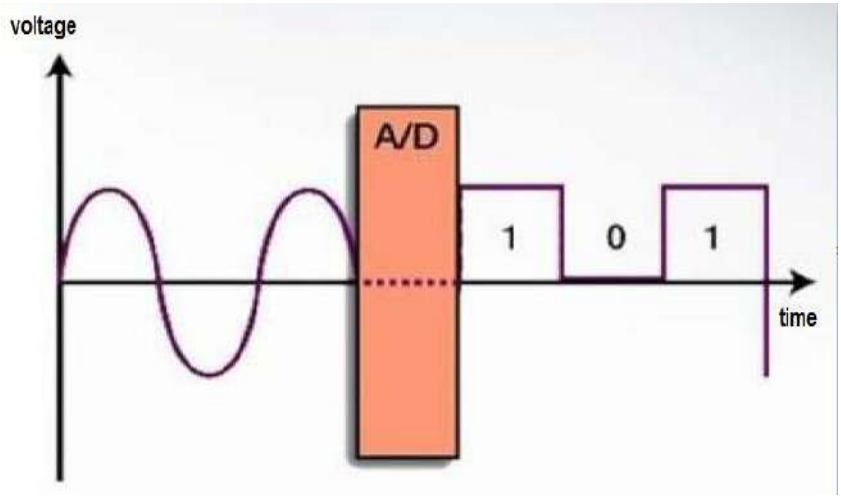


الشكل 3-15 شكل يوضح خطوات الإرسال في نظام الـ (GSM)

1- مرحلة تحويل الأشارة التماثلية الى أشارة رقمية (A/D Convertor):

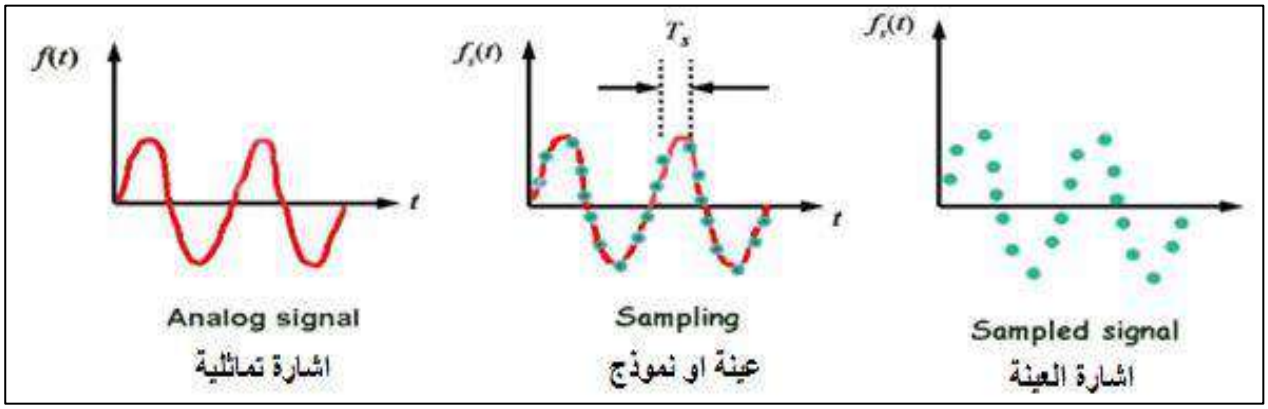
تعتبر هذه المرحلة مهمة جداً في أجهزة الإرسال المتنقلة كونها تتعامل مع أشارات تماثلية وأشارات رقمية في نفس الوقت وكما نعلم أن الأشارات التماثلية هي عبارة عن أشارات متناوبة تتغير من الصفر الى القسم الموجب وتنعكس بزاوية فرق طور (**180º**) للقسم السالب أما الأشارة الرقمية فهي عبارة عن إشارات ثابتة (**0 or 1**)كما في الشكل (3-16). تتم عملية تحويل الأشارات من خلال دائرة مطبوعة (**IC**) تزرع في المحطة

المتنقلة (**MS**) و وظيفتها هي توليد أشارة وتدعى هذه الأشارة بتضميـــن شفـــرة النبضـــة (**Pulse Code Modulation**) ويمكن أن نلخص عملية توليد هذه الأشارة بالخطوات التالية:



الشكل 3-16 تحويل الاشارة التماثلية الى اشارة رقمية

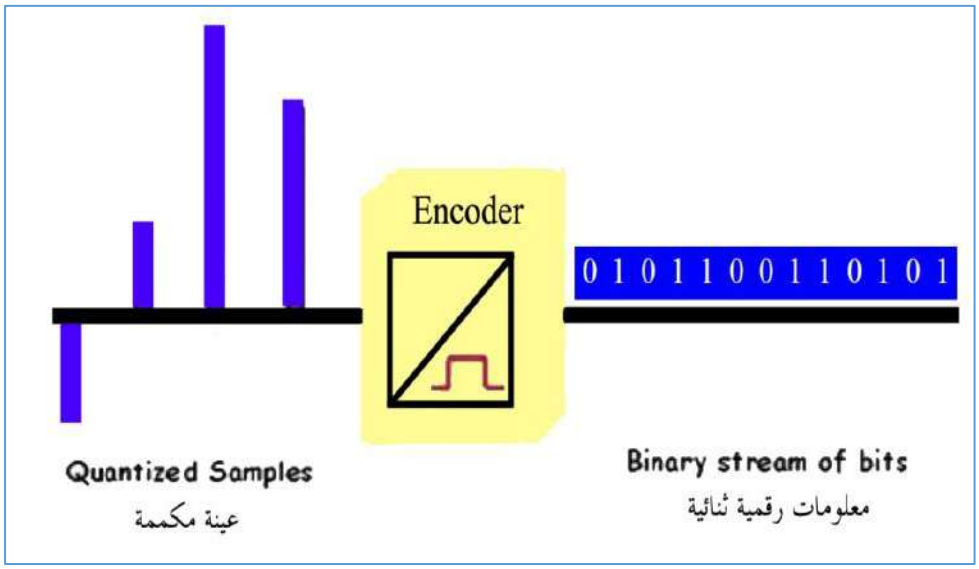
أ- عملية أخذ العينات: أن عملية أخذ العينات تتم من خلال لاقطة الصوت الغشائي التماثلـــــي (**Mic.Diaphram**) وبتردد مقداره (**8 kHz**) وهذا التردد يعتبر اكثر من ضعف تردد الكلام الطبيعي والشكل (3-17) يبين عملية أخذ العينات.



الشكل 3-17عملية أخذ العينات في نظام GSM

ب- عملية التكميم: هي عملية وضع قياس لسعة كل عينة من العينات الناتجة من العملية السابقة ويتم ذلك بأخذ العينات ومن ثم تقريبها الى مستويات ويكون عدد هذه المستويات (**8192**) مستوى وهذا الرقـــم يعـــادل (**13 bit/sample**)

ت-عملية التشفير: هي تحويل مستويات التكميم والبالغ عددها (**8192**) الى أشارة رقمية مكونة من مجموعة من البتات (**bits**) ويتم أخذ كل مستوى وتمثيله بشفرة مكونة من (**13 bits**) والشكل (3-18) يوضح عملية التشفير.

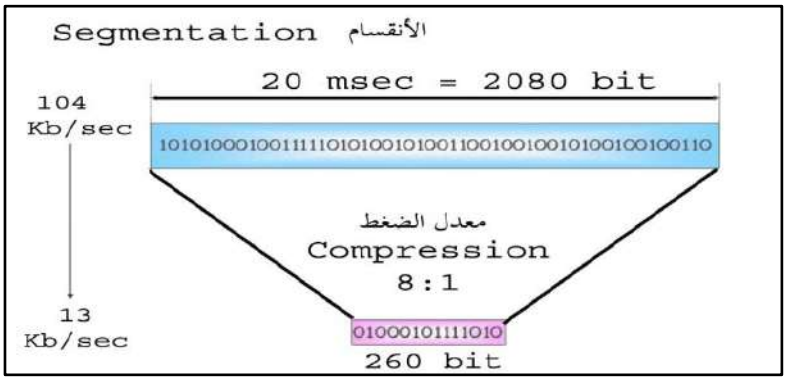


18-3 عملية التشفير في نظام GSM

2- مرحلة أخذ المقاطع وتشفير الكلام (Segmentation):

وهي مرحلة تأتي بعد مرحلة تحويل الأشارة التماثلية الى رقمية وتتم هذه المرحلة بخطوات يمكن تلخيصها كالتالي:

أ- عملية أخذ المقاطع: هي عبارة عن عملية تقليل معدل المعلومات الرقمية في مرحلة التشفير وتتم هذه الطريقة بأرسال معلومات عن اشارة الكلام بدلا من ارسال الاشارة نفسها وهذه العملية تشبه عملية أخذ العينات ولكن بكمية أصغر من العينات حيث يصبح معدل أخذ العينات **(50 sample/second)** بدلاً من **(8000sample/second)** والشكل (3-19) يبين عملية أخذ المقاطع وتشفيرها.



الشكل 3-19 عملية أخذ المقاطع وتشفيرها في نظام GSM

ت- عملية تشفير الكلام: تتم مرحلة تشفير الكلام بمشفرات خاصة حيث تستخدم **(260 bits)** بدلا من **(13 bits)** ومن مميزات هذه المشفرات تخفيض وضغط خانات الكلام مما يزيد من جودة أرسال الترددات وبمعدل **(13 kb/s)**.

3- مرحلة تشفير القناة (Channel Coding):

تتم هذه المرحلة بتشفير قناة الإرسال لضمان الحماية والخصوصية للمشترك حيث تعالج معلومات الكلام القادمة من مرحلة أخذ المقاطع وتشفير الكلام وهي عبارة عن معلومات ثنائية يبلغ عددها (**260 bits**) ولفترة زمنية مقدارها (**20 ms**) تضاف الى المجموعات مجموعة من البتات (**bits**) لكي يكون الناتج النهائي لهذه المرحلة (**456 bits**) والتي تمثل عينة كلام مدتها (**20 ms**).

4- مرحلة التحزيم الداخلي (Interleaving):

وهي عبارة عن مرحلة يتم فيها أعادة توزيع وترتيب الأخطاء التي حدثت أو قد تحدث في عملية الإرسال لذا يجب توزيع الأخطاء لكي يتم ترتيبها على صورتها الأصلية على شكل معلومات رقمية ثابتة.

5- تمويه الأشارة بالتشفير (Coding):

أن الغرض الأساسي من التشفير وتمويه الأشارة هو الحماية الأمنية وذلك بأستخدام دوائر منطقية نـــوع (**X-OR**).

6- التضمين (Modulation):

عند أكتمال المراحل السابقة من مرحلة التقاط الصوت الى مرحلة تهيئة الرشقة يتم تضمين المعلومات وأرسالها عبر وحدة الإرسال (**TX**) الموجودة حسب نوع المحطة المتنقلة (**MS**) وتضخم الأشارة لكي تعمل مع نطاق الترددات المخصصة للمنطقة وكما ذكر سابقاً فأن الترددات المعتمدة في المنطقة الأسيوية هي (**900 MHz**) أما الترددات المعتمدة في المنطقة الأوربية فهي (**1900 MHz**) وتوجد في بعض الأجهزة المتنقلة دائرة مطبوعة تعمل على تضخيم الأشارة وتصفيتها تدعى (**Power Filter PF**) وتأتي بعدها دائرة مطبوعة أخرى تدعى (**Antenna Switch AS**) والذي يعمل كهوائي للمحطة المتنقلة. وعند أنعكاس آلية الإرسال فأن عملية الإرسال تنعكس وتعمل كمرحلة أستقبال وبنفس الخواص والمراحل السابقة عدا المرحلة النهائية أي بدل لاقطة الصوت تصبح سماعة أو مجهر الصوت وآلية عمل السماعة عكس آلية عمل لاقطة الصوت. يمكن تلخيص عمل السماعة كالتالي: تتكون السماعة من مجال مغناطيسي ثابت وملف ملفوف على أحد طرفي المغناطيس ومرتبط هذا الملف بقطعة ورقية تكون أما مصنوعة من البلاستك الرقيق أو من الكارتون المعالج فعند مرور تيار كهربائي في الملف يتولد فيض مغناطيسي حول الملف وكثرة تولد هذا الفيض المغناطيسي تنتج عمليات تنافر و تجاذب مابين الملف والقطعة الورقية وهذا يولد حركة وهذه الحركة تولد موجات طولية ناتجة من التضاغط والتخلخل ومن ثم فأن هذه الموجات تدخل الأذن وتفهم على أنها كلام وأن الصوت الناعم يكون عند الطرف القريب الى الملف أما الصوت الخشن فيكون عند الطرف البعيد عن الملف.

6-3 خطوات أجراء المكالمة والأتصال في نظام GSM

بعدما تمت دراسة مكونات نظام (**GSM**) وخطوات الإرسال فيه وأنواع الهوائيات فيه فأنه من الواجب شرح كيفية أجراء مكالمة صوتية أو مكالمة فيديو أو مكالمة مشتركة (**Business call**) مع العلم أن مبدأ

أجراء المكالمات الصوتية أو المكالمات الفيديوية هو واحد لأن المشترك يطلب تردد واحد لأجراء الأتصال معه أي يخصص الأتصال من محطة قاعدية واحدة الى محطة قاعدية أخرى وفي بعض الأحيان يكون الأتصال بين شخصين من نفس المحطة القاعدية ولكن مبدأ مكالمة مشتركة يختلف لأن المشترك يطلب أكثر من مشترك لأجراء الأتصال معه أي يطلب أكثر من تردد وبالتالي يكون التوصيل من محطة قاعدية واحدة الى عدة محطات قاعدية وقد تكون هذه المحطات في نفس الخلية أو في نفس منطقة الخدمة المحلية **(LA)** أو منطقة خدمة شبكات المتنقل الأرضية العامة **(PLMN)** أو منطقة خدمة **(GSM)** وبالتالي يجب أن يتم التوصيل بين المشتركين لأجراء هذه المكالمة علماً أن المحطة القاعدية ترسل ترددات لتغطية المحطات المتحركة الموجودة داخل الخلية نفسها ويدعى هذا التردد بالهوية العالمية للخليـــة **(Global Cell Identity (GCI))**.

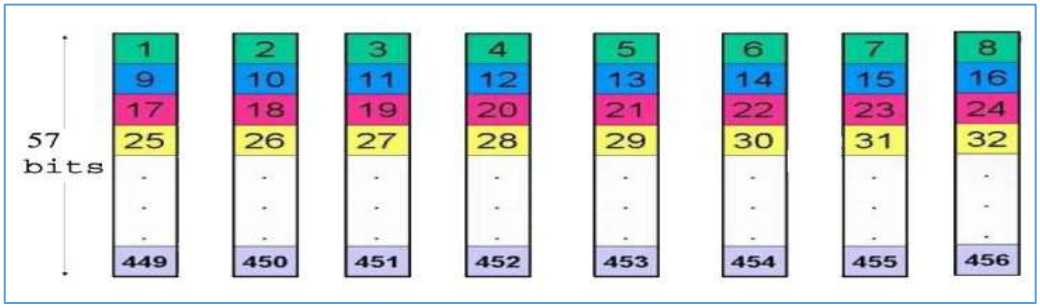
سوف نوضح طريقة أجراء مكالمة صوتية بين الشخص الذي يريد أجراء الأتصال **(X)** والشخص المستقبل للأتصال **(Y)** وكما يلي:

1- أن المحطة المتحركة **(MS)** قبل أجراء الأتصال يجب أن تكون داخل تغطية محطة قاعدية **(BTS)** وبالتالي يكون سجل موقع المشترك **(HLR)** عنده معلومات كافية عن المحطة المتحركة **(MS)**.
2- المحطة القاعدية **(BTS)** ترسل بأستمرار تردد الـ **(GCI)**.
3- يدخل المشترك **(X)** الى قائمة الأسماء لغرض الأتصال بالمشترك **(Y)**.
4- هنا يتم أرسال الـ **(GCI)** من المحطة القاعدية **(BTS)** الى مركز تبديل خدمات المتنقل **(MSC)** ومنه الى سجل المشترك الحالي**(HLR)** لمعرفة مكان المشترك **(Y)**.
5- يتم مقارنة المكان المخزون في الجهاز مع المكان الذي تعطيه المحطة القاعدية.

7-3 التحزيم الداخلي في نظام GSM

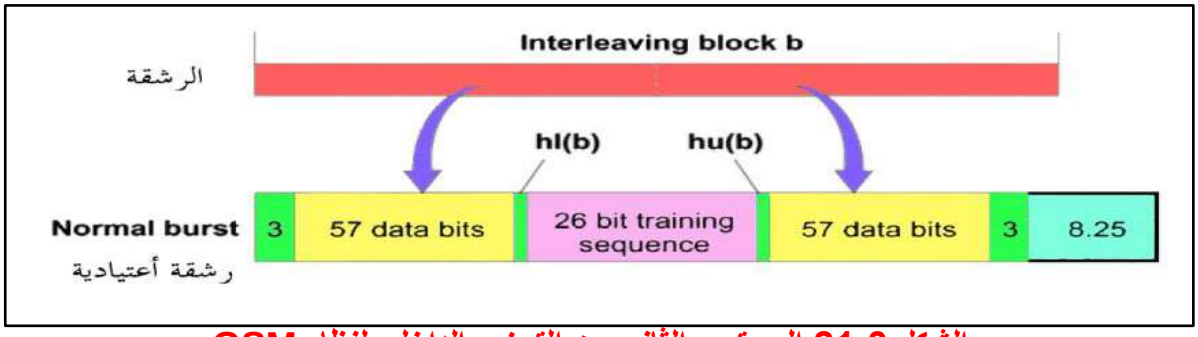
كما ذكرنا سابقاً أن التحزيم الداخلي هو عملية أعادة ترتيب الأخطاء ويكون التحزيم بشكل عام بمستويين:

1- المستوى الأول: في هذا المستوى يتم توزيع الأخطاء التي تحدث خلال عملية الإرسال وذلك عن طريق توزيع المعلومات الناتجة من عملية التشفير عند الإرسال وترتيبها بصورة صحيحة عند الإستقبال فعند الإرسال يتم سحب نموذج من عينة الكلام الخارج من مرحلة تشفير الكلام خلال فترة طولها **(20 ms)** حيث تحتوي هذه المساحة على **(456 bit)** ثم تخزن في الذاكرة على شكل معلومات رقمية وتصنف هذه المجموعة من البتات في ثمان مجموعات أو جداول وكل جدول يحتوي على **(57 bits)** وترسل هذه الجداول بصورة عمودية حيث يمثل كل جدول فترة زمنية للمعلومات الرقمية وكما موضح بالشكل (3-20) والذي يبين المستوى الأول من التحزيم الداخلي لنظام **(GSM)**.



الشكل 3-20 المستوى الأول من التحزيم الداخلي لنظام GSM

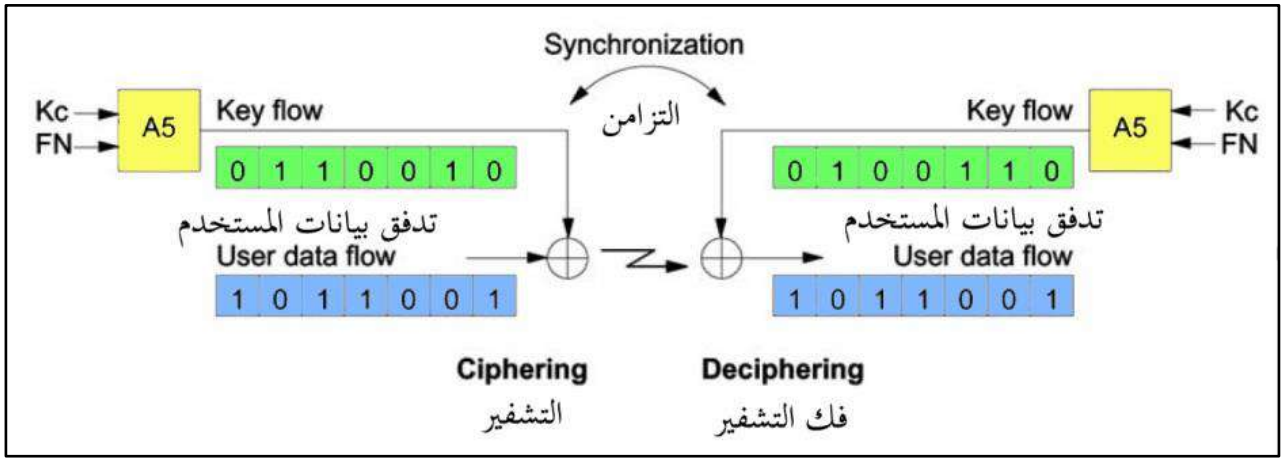
2- المستوى الثاني: في هذا المستوى تدمج شريحة زمنية جديدة مع شريحة زمنية سابقة من عينة كلام مشفر خلال فترة (**20 ms**) في رشقة واحدة ولكن ليست كل الجداول الرقمية يتم تشفيرها ولذلك يتم أختيار أربع شرائح زمنية جديدة مع أربع شرائح من العينة السابقة وبما أن الإرسال يتكون من ثمانية جداول لذا وجب الأختيار والتوزيع على التوالي مابين الشرائح الثمانية وكما موضح بالشكل (3- 21) والذي يبين المستوى الثاني من التحزيم الداخلي لنظام (**GSM**).



الشكل 3-21 المستوى الثاني من التحزيم الداخلي لنظام GSM

3-8 تمويه الأشارة بالتشفير Encryption

كما ذكرنا سابقاً أن الغرض من تمويه الأشارة هو الحماية وذلك بإستخدام جمع ثنائي دائـــرة منطقيـــة (**X-OR**) ومفتاح التوثيق (**AKS**) والأطار المرقم أو رقم الأطار (**FrameNumber FN**) وتتم هذه العملية عبر دمج مقطع بطول (**114 bits**) يمثل المعلومات الرقمية التي تعطى مع كل شريحة زمنية مع شفرة تشتق من رقم الأطار (**FN**) بحيث تصبح الأشارة الناتجة أشارة جيدة محمية من التنصت والتعدي على المعلومات المضمنة داخل المكالمة. أما مرحلة الإستقبال فيمكن أعتبارها عملية معاكسة لمرحلة الإرسال وفيها يتم تكوين شفرة تشتق أيضاً من نفس رقم الأطار (**FN**) وتجمع أيضاً مع المعلومات المستقبلة في دائـــرة منطقيـــة (**X-OR**) فيتولد لدينا مقطع بطول (**114 bit**) والذي يمثل المعلومات الرقمية. ولا تؤثر عملية تشفير المعلومات وأرسالها أو إستقبال المعلومـــات وفك تشفيرها على المعلومات نفسها أو على معدل أرســـال المعلومـات والشكل (3- 22) يوضح عملية تمويه الأشارة.



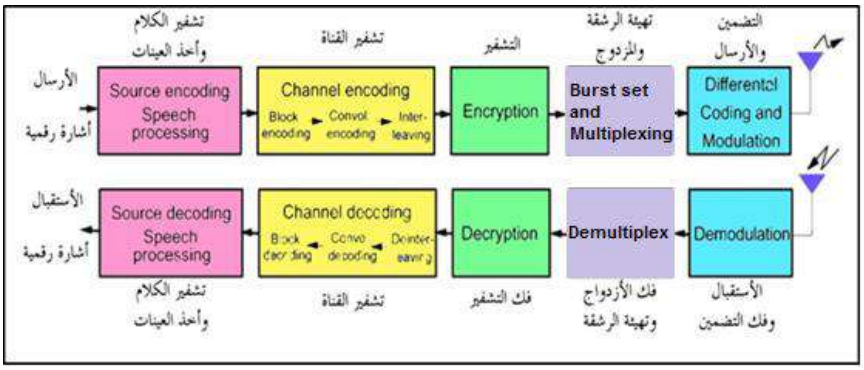
الشكل 3-22 عملية تمويه الإشارة

3-9 التعديل والإرسال في نظام GSM

إن التعديل (التضمين) يطبق على الأشارة السمعية التماثلية المرسلة بحيث أن الأشارة قبل الإرسال تمر بمراحل متعددة أولها مرحلة التقاط الصوت من ثم تحويل الاشارة التماثلية الى اشارة رقمية (مرحلة أخذ العينات) أي المعلومات الرقمية الثنائية كما شرحناها سابقاً وبعدها تشفير القناة ومن ثم أجراء التحزيم الداخلي عليها بمستوييه الأول والثاني ومن ثم أرسالها الى المضمن الرقمي (**Digital Modulator**) حيث تحول الأشارة من رقمية الى تماثلية لكي يمكن أرسالها علماً أن نوع التضمين هو تضمين الأزاحة الديتا الجاوسي (**GMSK**) ومن فوائد هذا النوع من التضمين:

1- يحقق قدرة منخفضة في القناة حيث تقل القدرة الى مستوى (**60 dB**) وبالتالي يقلل من التداخل بين القنوات المتقاربة في التردد والمكان.
2- ينقل المعلومات بمعدل أرسال قدره (**270 kbit/s**) في نطاق تردد (**200 kHz**).
3- يعطي كفاءة طيفية تقدر بـ (**1.35 bit/sec/Hz**).

بعد خروج الأشارة من المضمن الرقمي تدخل الأشارة التماثلية الى المزدوج (**Multiplexing**) ثم الى الهوائي لأرسالها وأن وظيفة المزدوج هي الفصل بين الأشارة المستقبلة وبين الأشارة المرسلة. أما عند الإستقبال فهنا تسير الأمور بعكس طريقة الإرسال فعند أستقبال الأشارة يلتقط الهوائي الأشارة ثم يبدأ المزدوج بفصل الأشارة المستقبلة عن المرسلة وتتقدم الأشارة المستقبلة الى مرحلة المضمن الرقمي الذي يحول الأشارة التماثلية الى أشارة رقمية ومن بعدها تأتي مرحلة فك شفرة القناة وبعدها مرحلة التحزيم الداخلي والذي يعمل على تصحيح الأخطاء التي تحدث في الإرسال ومن بعدها تأتي مرحلة أزالة تشفير الكلام ومن ثم مرحلة معالجة المعلومات الرقمية وأرسالها الى السماعة لكي تحولها الى كلام كما تم شرح عمل السماعة فيما سبق. والشكل (3-23) يبين آلية التعديل والإرسال في نظام (**GSM**).



الشكل 3-23 آلية التعديل والإرسال في نظام GSM

3-10 الخدمات في نظام GSM

نظرا لأزدياد اقبال المشتركين على نظام (**GSM**) والتطور العلمي الحاصل في عالم الإتصالات وكما ذكرنا في الفصل الأول وبالتفصيل أجيال النظام العالمي للأتصالات المتنقلة وخواصها ومميزاتها ومساوئها وهي (**1 G, 2 G, 2.5 G, 2.75 G, 3 G, 3.5 G, 3.75 G, 4 G**) يمكن تلخيص الخدمات في نظام (**GSM**) كما يلي:

1. خدمة نقل الصوت (Voice Services):

وهي أول خدمة قدمت من قبل نظام (**GSM**) وقد ظهرت في الجيل الثاني (**2G**) من أجيال النظام العالمي للأتصال المتنقل (**GSM**) في عام 1991م لأنها تحتاج الى أشارة رقمية (**0,1**) لإرسال الأشارة وأستقبالها وقد تميزت هذه الخدمة بتخصيص ترددين ثابتين التردد الأول للأتصالات بين المشتركين وسمي بخدمة الهواتف المنتظمة (**Regular Telephone ServiceTS11**) والتردد الثاني للطوارئ وسمي بخدمة الطوارئ (**Emergency Service TS12**) وأن أرقام الطوارئ تخصص لكل دولة فمثلا في الولايات المتحدة الأمريكية يكون رقم الطوارئ هو (**911**) وأما في العراق فلدينا ترددين لخدمة الطوارئ هما (**112** و**119**).

2. خدمة نقل المستندات أو الفاكس (Fax Services):

وهي ثاني خدمة قدمت من قبل نظام (**GSM**) وهذه الخدمة تقوم بنقل صورة طبق الأصل من المستندات أو الخرائط والرسوميات وإحتاجت هذه الخدمة الى أنتقال الترددات الى طور أعلى من الجيل الثاني (**2G**) من أجيال النظام العالمي للأتصال المتنقل (**GSM**) وقد خصص لهذه الخدمة تردد خاص أطلق عليه (**Telephone Service TS61**).

3. خدمة الرسائل القصيرة (Short Message Services SMS):

وهي خدمة من أهم الخدمات المقدمة من قبل النظام العالمي للأتصالات المتنقلة (**GSM**) ولازمت أغلب أجياله حيث تطورت جيل بعد جيل ففي أول الأمر ظهرت في الجيل (**2.5**) في عام (**1995** م) وتتضمن الرسالة القصيرة نص فقط وذات حجم (**160 Bytes**) أما في الجيل (**2.75**) أصبحت الرسالة القصيرة ذات حجم (**1kByte**) وخصص لها ترددين هما:

(**Telephone ServiceTS21**) و(**Telephone ServiceTS22**) وأعتبر التردد (**TS22**) كخيار ثانوي ويستعمل حالياً لوسائل الترويجات الأعلانية للشركات التي تصل للمشتركين والتي يتم السيطرة عليها من قبل الشركة المشغلة للشريحة (**SIMCard**) أما في الجيل (**3G**) فقد خصص تردد خاص بالبث الخلوي للرسائل القصيرة:

(**Short Message Service Cell Broadcast SMSCB**) وقد أطلق عليه إسم (**Telephone Service TS23**).

4. خدمة الرسائل المحسنة (Enhanced Messaging Service EMS):

وهي خدمة ظهرت بعد خدمة الرسائل القصيرة وأعتبرت أمتداد لخدمة الرسائل القصيرة ولكن الفرق بينهما هو أن الرسائل القصيرة أعتمدت على النصوص فقط أما خدمة الرسائل المحسنة (**EMS**) فمكنت المشترك من أرسال صور ونغمات برسالة وأمتازت أيضاً بأن الصور ذات دقتين الأولى (**16 X16**) بكسل والثانية (**32X32**) بكسل وبأمكان المشترك أرسال ستة صور وهذه الصورعلى شكل نقاط وذات لون واحد فقط (**Unicolor**) هو الأسود أما النغمات فهي عبارة عن نغمات هارمونكس تصل الى (**80**) نوتة من السُلم الموسيقي والزمن لهذه النغمات يكون كالتالي (**msec, 225 msec, 300 msec, 450 msec 150**) وأعتمدت هذا الخدمة عام (**2000** م) وأبرز الأجهزة التي تدعم هذه الخدمة هي أجهزة من ضمن مجموعة (**DigitalCommunicationTechnology3and4**) وخاصة جهاز نوكيا موديل (**3310, 3410, 1100**).

5. خدمة الرسائل متعددة الوسائط (Multimedia Messaging Service MMS):

وهي خدمة وضعت كأمتداد لخدمة الرسائل القصيرة (**SMS**) وخدمة الرسائل المحسنة (**EMS**) وأمتازت هذه الخدمة بما يلي:

أ- بإمكان المشترك أرسال رسالة تتضمن (نص, ملف صوتي, ملف فديو, صورة, صورة شخصية).

ب- حجم الرسالة أكبر بكثير من مثيلاتها (**100 kByte**) تقريباً.

ت- يمكن للمشترك أدراج أنواع من الصور وذات أمتدادات مختلفة مثل (**GIF** و **JPEG**).

ث- يمكن للمشترك أدراج أنواع من ملفات الصوت وذات إمتدادات مختلفة مثل (**AMR** و**WAVE** و **MP3**).

ج- يمكن للمشترك أدراج أنواع من ملفات الفديو وذات إمتدادات مختلفة مثل (**2GP** و **3GP** و **MP4**).

ح- يستطيع المشترك تغيير حجم الرسالة المتعددة الوسائط (**MMS**) حسب الحجم الذي يرغب به.

6. خدمة الحزم الراديوية (General Packet Radio Services GPRS):

وهي خدمة مكنت المشترك من تمرير البيانات عبر شبكة الخلوي وتعتمد هذه التقنية على تبديل حزم البيانات (**Packets Switched Data**) عوضا عن تبديل البيانات بالدوائر (**Circuit Switched Data**) أي أن البيانات تقسم الى حزم تحمل عنوان المرسل والمرسل اليه لكي يتم توجيهها في الشبكة عن طريق بروتوكول الإنترنت (**Internet Protocol**) ومن ثم يتم أستغلال موارد الشبكة بشكل أفضل حيث لا تخصص دائرة أو مسار لكل أتصال وظهرت هذه الخدمة في الجيل (**2.5 G**) حيث وصلت سرعة نقل البيانات في هذا الجيل الى (**40 kbps**) وقد تطورت هذه الخدمة لكي تواكب أجيال نظام (**GSM**).

7. خدمة مكالمة الفيديو (Video Call Services):

وهي خدمة تميزت عن سابقتها بإمكانية نقل الصوت والصورة بين المتصلين وهذه الخدمة تحتاج الى جهاز (هاتف) ذو معالج بيانات سريع وكاميرا أمامية وهذه الخاصيتين وجدت في أجهزة الجيل الثالث وأجهزة الجيل الرابع وأجهزة الجيل الخامس ومن متطلبات هذه الخدمة أنها تحتاج الى سرعة نقل بيانات أكبر من (**3 Mbps**) وبالتالي لايمكن تشغيلها إذا كانت التغطية ضعيفة مثل سرعة نقل البيانات في الجيل (**2.5 G**).

8. خدمة أنتظار المكالمات (Call Waiting Services):

وهي أحدى خدمات نظام (**GSM**) الخاصة بالمكالمات وكما ذكرنا سابقاً كيفية أجراء الأتصال في نظام (**GSM**) فأن مركز تبديل خدمات المتنقل (**MSC**) يعطي تردد خاص لفتح محادثة بين شخص يطلب من الشركة إجراء الإتصال مع شخص أخر وفي حالة كون الشخص المستلم للأتصال مشغول بمكالمة أخرى فأن مركز تبديل خدمات المتنقل (**MSC**) سوف يولد تلقائيا تردد خاص للشخص الطالب للأتصال ومفاد هذا التردد أشارة صوت يسمعها وتكون (المشترك مشغول حالياً) أما أذا كان الشخص الذي يستلم المكالمة قد قام بتفعيل هذه الخدمة فأن مركز تبديل خدمات المتنقل (**MSC**) سوف يأخر أرسال هذا التردد مقدار زمني دقيقة واحدة تقريباً وبنفس الوقت يرسل الى الشخص الذي يريد الأتصال تردد خاص يفسر على أنه رسالة نصية مفادها (جار الأنتظار) وبالتالي فأن هذه الخدمة تجهز ترددين التردد الأول في حالة أن المستلم المشغول بمكالمة مع شخص ما والتردد الثاني بين الشخص المستلم للمكالمة والشخص الطالب للأتصال أو أجراء المكالمة.

9. خدمة تحويل المكالمات (Call Divert Services):

وهي أيضا أحدى خدمات نظام (**GSM**) الخاصة بالمكالمات وتتم بتخصيص رقم شخصي آخر لتحويل المكالمات الواردة له في حالات هي كالتالي:

أ. كل المكالمات الصوتية.

ب. عند أنشغال الخط.

ج. في حالة عدم الرد أو الأجابة.

د. في حالة كون المشترك خارج نطاق الخدمة.

ويمكن المشترك تفعيل الخدمة في أي وقت أما المكالمات التي يمكن تحويلها فهي:

أ. المكالمات الصوتية.

ب. مكالمة البيانات أو الفديو.

ج. مكالمات الفاكس.

أما آلية تحويل المكالمة فهي أنه عندما يريد مشترك (**X**) الأتصال بالمشترك (**Y**) بحيث أن الأخير قد فعل خدمة تحويل المكالمات الصوتية الى رقم أخر لإن المشترك (**Y**) قد قدم طلب الى مركز تبديل الخدمات (**MSC**) الذي سوف يبحث عن أخر تحديث للمشترك (**Y**) في سجل موقع الزائر (**VLR**) فيعطي السجل أخر موقع للمشترك وبنفس الوقت يبلغه أنه قد قام بتفعيل خدمة تحويل المكالمات الى رقم أخر وبالتالي يقوم مركز تبديل الخدمات (**MSC**) بالبحث عن مكان الرقم الأخر ويقوم من خلال الخلية القاعدية بتخصيص ترددين للمحادثة مابين المشترك (**X**) وبين الرقم الأخر الذي قام المشترك (**Y**) بتحويل المكالمات له.

10. خدمة القائمة السوداء (Black List Services):

وهي خدمة يقدمها نظام (**GSM**) وهي خاصة بالمكالمات وتتم بتخصيص أرقام لاتستطيع الأتصال بك وهذه الخدمة تنجز في مركز تبديل خدمات المتنقل (**MSC**) وتكون الأرقام مخزونة في موقع سجل المشترك الحالي (**HLR**) وعندما يطلب الـ(**MSC**) معلومات عن المشترك المستلم للمكالمة يعطي السجل (**HLR**) كل المعلومات عن المشترك ومن ضمنها قائمة بأسماء أو بأرقام مشتركين غير مسموح لهم بأجراء المحادثة وبالتالي يرسل الـ(**MSC**) تردد الى الشخص الذي يريد إجراء الإتصال وهو تردد إشارة صوتية مفادهـــا (أن المشترك خارج نطاق التغطية أو مغلق حالياً).

11. خدمة تحويل الرصيد في خطوط الدفع المسبق:

وهي خدمة تقدم من الشركات التي تستخدم نظام (**GSM**) وتتم هذه العملية من خلال برنامج ضمن البرنامج التشغيلي في الشبكات والذي من خلال معطيات ثابتة يقوم بأحتساب الرصيد بعد كل مكالمة وزمن أنتهاء الرصيد والخدمات المقدمة من الشبكة لهذا الرقم وكل شبكة لها نظام لأحتساب وتحويل الرصيد وأي خطأ فيها ينتج رسالة أن العملية غير صحيحة.

12. خدمة أتصال جماعي أو أتصال مؤتمر (Conference Call Services):

وهي خدمة تشبه كثيراً خدمة المكالمة الصوتية الأعتيادية ولكن المكالمة لاتكون بين شخصين أثنين فقط بل تصل الى عدة مشتركين لنفس الوقت وتتم هذه العملية بأجراء أتصال من قبل المشترك (**X**) الى المشترك (**Y**) وبعد قبول المكالمة يتصل مشترك ثالث (**Z**) مع المشترك (**Y**) ويقبل المشترك (**Y**) المكالمة وفي هذه الحالة يكون المشترك (**X**) في حالة تعليق والمشترك (**Z**) في حالة مكالمة نشطة ثم يقوم المشترك (**Y**) بالضغط على المفاتيح وأختيار مكالمة جماعية ومن ثم يتم تخصيص تردد واحد مشترك للجميع وتتم هذه العملية في مركز تبديل خدمات المتنقل (**MSC**) للمشترك (**X**).

أسئلة الفصل الثالث

س1: ماهو سجل هوية أو تعريف الأجهزة (**EIR**), وما هي أنواع القوائم في هذا السجل.

س2: أذكر وظيفة كل من (**IMEI**) و (**IMSI**) و (**MSISDN**).

س3: عدد وسائل التواصل بين مكونات النظام **GSM**.

س**4**: ماهي الخدمات في نظام **GSM**.

س**5**: أذكر المكونات الرئيسية للنظام العالمي للأتصالات المتنقلة (**GSM**) مع الشرح.

س6: عدد كل مما يأتي:

أ- المعلومات التي تخزن في بطاقة تعريف المشترك (**SIM Card**).

ب- وظيفة (**MSC**) ووظيفة (**BTS**).

ج- محتويات (**HLR**) ومحتويات (**VLR**).

س7: لماذا توزع الخلايا على شكل سداسي الأضلاع وليس على شكل الدائري؟

س8: ما الفائدة من تحويل الأشارة التماثلية الى أشارة رقمية ومنها الى أشارة تماثلية مرة أخرى في المحطة المتحركة (الهاتف).

س9: إذكر خطوات الإرسال في نظام (**GSM**) مع الرسم.

الفصل الرابع

معطيات القنوات في الإتصالات المتحركة

أهداف الفصل الرابع:

أن يتعرف الطالب على أنواع قنوات نظام **GSM** والقنوات المنطقية مع طريقة رسمها وأنواعها بالأضافة الى متطلبات جودة الخدمة.

محتويات الفصل الرابع

4-1 تمهيد.

4-2 أنواع قنوات نظام **GSM**.

4-3 القنوات المنطقية.

4-4 متطلبات جودة الخدمة **QoS** في نظام **GSM**.

الفصل الرابع

معطيات القنوات في الإتصالات المتحركة

1-4 تمهيد

لقد تبين سابقاً أن نظام **GSM** يستخدم طريقة تقسيم النطاق الترددي **(FDMA)** ومزيج من طريقة التقسيم الزمني **(TDMA)** وطريقة التقسيم الكودي **(CDMA)** لكي يمكن المحطة القاعدية من توفير الخدمة لعدة مشتركين في نفس الوقت. أن حزم ترددات الوصلة الصاعدة والنازلة تقسم الى قنوات بعرض **200 kHz** وتسمى مجموعة قنوات التردد الراديوية المطلقة **(ARFCNs)** وهذه المجموعة تعين أزواج قنوات الوصلة الصاعدة والنازلة والتي تكون معزولة في التردد بقيمة **45 MHz** وكل قناة تكون مشتركة زمنياً **(time shared)** بين ثمانية مشتركين بأستخدام طريقة التقسيم الزمني **(TDMA)**.

أن كل مشترك من المشتركين الثمانية يستخدم نفس **(ARFCN)** ويشغل خانة زمنية **(time slot)** وحيدة تخصص له. إن الإرسال الراديوي في كلا الوصلتين الصاعدة والنازلة يكون بمعدل تدفق بيانات **270.833 kbps** أي **1625.0/6.0 kbps** وبإستخدام تضمين زحزحة التبديل الدنيا الجاوسية **GMSK** ولذلك تكون مدة بث البت الواحد **3.692 µs** ومعدل إرسال القناة الفعال للمشترك الواحد يكون **33.854)kbps** أي **(270.833 kbps)** لثمانية مشتركين.

باستخدام نظام **GSM** (الموضح في ما بعد) فإن بيانات المشترك في الحقيقة ترسل بأعلى معدل تدفق بمقدار **24.7 kbps**. أن كل خانة زمنية **(time slot)** يخصص لها فترة زمنية متكافئة مع باقي الفترات لقناة ذات **156.25 bits**، ولكن من ضمنها فترة زمنية للحماية **(guard time)** بطول **8.25 bits**, يوضح الجدول (4-1) خلاصة مواصفات الإتصالات لنظام **GSM**.

جدول 4-1 خلاصة مواصفات الإتصالات لنظام GSM

المواصفة	الوصف
تردد الوصلة النازلة (نطاق الإرسال من المحطة المتنقلة)	**890-915 MHz**
تردد الوصلة الصاعدة (نطاق الإرسال من المحطة القاعدية)	**935-960 MHz**
عدد قنوات التردد الراديوية المطلقة **ARFCNS** (القنوات من النوع المزدوج)	(**0-123**) ومن (**975-1024**)
مباعدة التردد للإرسال والاستلام	**45 MHz**
مباعدة الخانات الزمنية للإرسال والاستلام	ثلاث خانات زمنية
معدل تدفق بيانات التضمين	**270.8333 kbps**
مدة الإطار الواحد	**4.615 ms**
عدد المشتركين في الإطار الواحد	ثمانية مشتركين لكل إطار
مدة كل خانة زمنية	**576.9 µs**
مدة البت الواحد	**3.692 µs**
طريقة التضمين المستخدمة	زحزحة التبديل الدنيا الجاوسية **GMSk**
المباعدة بين قنوات التردد الراديوية المطلقة **ARFCNS**	**200 kHz**
الترك البيني **interleaving** (أقصى تأخير)	**40 ms**
معدل تشفير الكلمات	**13.4 kbps** للمشترك

2-4 أنواع قنوات نظام GSM

بشكل عام يمكن تقسيم القنوات في نظام **GSM** إلى قسمين:

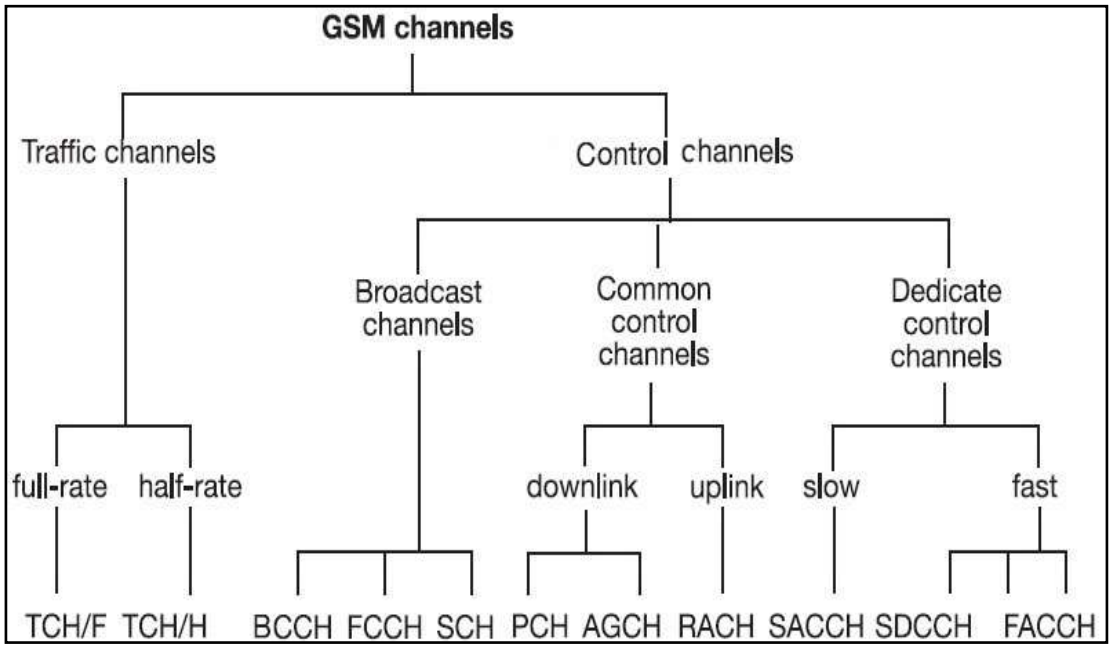
أ- قنوات مخصصة **(Dedicated Channels)**: وهي عبارة عن مجموعة القنوات التي تخصص للمحطة المتنقلة **MS (Mobile Station)**.

ب- قنوات مشتركة **(Common Channels)**: وهي عبارة عن مجموعة القنوات التي يمكن أستعمالها في المحطات المتنقلة في حالة الراحة **Idle mode**.

3-4 القنوات المنطقية

يوجد نوعان من القنوات المنطقية في نظام **GSM**، يسمى النوع الأول بأسم قنوات الحركة **(Traffic channels)** ويرمز لها **TCH**، والنوع الثاني يسمى قنوات التحكم **(control hannels)** ويرمز لها **CCH** كما مبين في الشكل (4-1), أن قنوات الحركة تحمل مكالمة المشترك وبياناته في صيغتها المشفرة وهذه القنوات لها نفس الدور والشكل في الوصلة الصاعدة أو النازلة, أما قنوات التحكم فهي التي تحمل أوامر التأشير والتزامن بين المحطة القاعدية **Base station** والمحطة المتنقلة.**Mobile station** أن بعض قنوات التحكم تكون خاصة بالوصلة الصاعدة وهناك قنوات تحكم أخرى تكون خاصة بالوصلة النازلة.

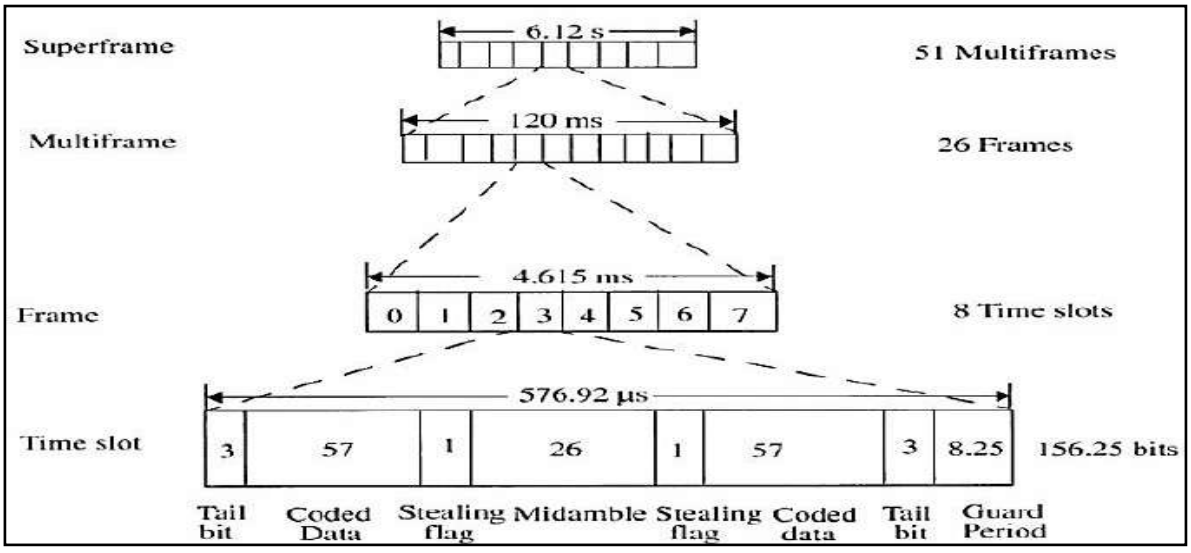
في نظام **GSM** يوجد ستة أنواع من قنوات الحركة **TCHs** وهناك عدد اكبرمن ذلك بالنسبة لقنوات التحكم وسنقوم بتفصيلها فيما يأتي:



الشكل 4-1 القنوات المنطقية لنظام GSM

4-3-1 قنوات الحركة TCHs

تم تحديد قنوات الحركة بأستعمال إطار متعدد **Multi-frame** ذي **26** إطار **(26 TDMA-frame)** ولذلك يكون طول الإطار المتعدد **120 ms**. في هذا الإطار المتعدد يستخدم فقط 24 إطار للحركة **traffic** أي للمحادثة ومعلومات المشتركين من مجموعة **26** أطار الكلية، ويتبقى لدينا إطاران أحدهما يستعمل لقناة التحكم المصاحبة البطيئة **(SACCH) Slow Associated Control Channel** والإطار الأخر يبقى شاغراً في هذه الأثناء كمافي الشكل (4-2).



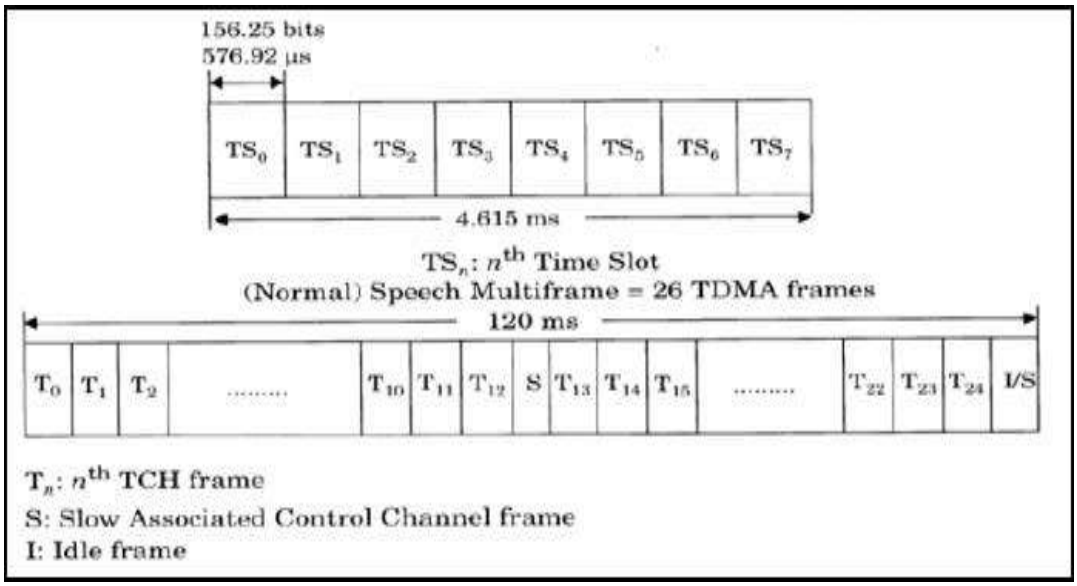
الشكل 4-2 هيكلة إطارات قنوات الحركة

تكون قنوات الحركة **TCHs** في الوصلة الصاعدة وفي الوصلة النازلة مزاحة في تزامنها بمعدل ثلاثة مرات زمن الرشقة الواحدة وسبب ذلك هو لكي لا تحتاج المحطة المتنقلة (جهاز الجوال) للإرسال والإستقبال في نفس الوقت وهذا يقلل من تعقيد الكترونيات الجهاز.

بالإضافة إلى القنوات ذات معدل التدفق الكامل **full rate TCHs (13.4 kbps)** يتوفر هناك أيضاً قنوات ذات معدل التدفق النصفي **Half Rate TCHs (7 kbps)**. أن هذه القنوات قد حددت مواصفاتها إلا أنها لحد الآن لم تستعمل في نظام **GSM** الحالي ومن ميزاتها إنها ستضاعف سعة النظام نتيجة لأستعمال مشفر الكلام ذي معدل التدفق النصفي فيزداد بذلك عدد المشتركين والمستخدمين الذين يمكن خدمتهم في نفس الوقت.

عند النقل على قنوات الحركة من نوع معدل التدفق الكامل **TCH/F** فان بيانات المشترك (المكالمة) تحمل في خانة زمنية واحدة **Time Slot (TS)** في الإطار. أما عند النقل على قنوات من نوع معدل التدفق النصفي **TCH/H** فان بيانات المشترك (المكالمة) تحمل على نفس الخانة الزمنية ولكن بشكل إطارات متباينة بدلاً من أن تكون متتالية.أن هذا يعني أن كل أثنين من المشتركين في قناة ذات معدل تدفق نصفي سيستعملان نفس الخانة ولكن النقل يتم بالتناوب في الإطار.

عند النظر في مواصفات نظام **GSM** فان الخانة الأولى ذات الرقم صفر **TS0** في قنوات الحركة لا تستخدم لنقل بيانات المشتركين بل تستخدم كمحطة إذاعية **Broadcast station** لكل خلية أي أنها تستخدم في كل إطار لنقل رشقات قناة التحكم. أما بيانات إطارات قناة الحركة **TCH-data** فأنه يتم قطعها عند الإطار الثالث عشر لنقل أما بيانات قناة التحكم المصاحبة البطيئة **SACCH** أو لنقل إطار شاغر كما هو موضح في الشكل (4-3).



الشكل 4-3 كيفية نقل قنوات الحركة في الإطار

4-1-3-1 قنوات الحركة ذات معدل التدفق الكامل TCH/F

من أجل نقل المحادثة والبيانات الرقمية يحتوي نظام **GSM** على القنوات ذات التدفق الكامل التالية:

1- قناة المحادثة ذات معدل تدفق كامل **Full Rate Speech Channel (TCH/FS)** تستخدم لنقل مكالمة المشترك التي تم تحويلها إلى رقمية بمعدل تدفق خام بمقدار **13 kbps** مع إضافة تشفير القناة الخاص بنظام **GSM** أي يصبح معدل تدفق هذه القناة الكلي هو **22.8 kbps**.

2- قناة البيانات ذات معدل تدفق كامل بمقدار **9600 bps** **Full Rate Data Channel (TCH/F 9.6)** تستخدم هذه القناة لنقل بيانات المشترك بمعدل تدفق خام بمقدار **9600 bps** مع إضافة تشفير تصحيح الخطأ حسب مواصفات نظام **GSM** لذلك يصبح معدل تدفق هذه القناة الكلي هو **22.8kbps**.

3- قناة البيانات ذات معدل تدفق كامل بمقدار **4800 bps** **Full Rate Data Channel (TCH/F 4.8)** تستخدم هذه القناة لنقل بيانات المشترك بمعدل تدفق خام بمقدار **4800 bps** مع إضافة تشفير تصحيح الخطأ حسب مواصفات نظام **GSM** لذلك يصبح معدل تدفق هذه القناة الكلي هو **22.8 kbps**.

4- قناة البيانات ذات معدل تدفق كامل بمقدار **2400 bps** **Full Rate Data Channel (TCH/F 2.4)** تستخدم هذه القناة لنقل بيانات المشترك بمعدل تدفق خام بمقدار **2400 bps** مع إضافة تشفير تصحيح الخطأ حسب مواصفات نظام **GSM** لذلك يصبح معدل تدفق هذه القناة الكلي هو **22.8 kbps**.

4-1-3-2 قنوات الحركة ذات معدل التدفق النصفي TCH/H

يحتوي نظام **GSM** على القنوات ذات التدفق النصفي التالية:

1- قناة المحادثة ذات معدل تدفق نصفي **Half Rate Speech Channel (TCH/HS)**: وتستخدم لنقل المحادثة الرقمية التي تكون بنصف معدل تدفق قناة **TCH/F** وبذلك تكون مواصفات نظام **GSM** قد سبقت إيجاد مشفرات للمحادثة والتي تساعد في ترقيم الصوت بمستوى تدفق حوالي **7 kbps**. يضاف إلى ذلك تشفير القناة الخاص بنظام **GSM** فيكون معدل تدفق القناة الكلي **11.4 kbps**.

2- قناة البيانات ذات معدل تدفق نصفي بمقدار **4800 bps** **Half Rate Channel (TCH/H 4.8) Data**: تستخدم هذه القناة لنقل بيانات المشترك بمعدل تدفق خام بمقدار **4800 bps** مضافاً إليه تشفير تصحيح الخطأ حسب مواصفات **GSM** فيصبح معدل تدفق القناة الكلي **11.4 kbps**.

3- قناة البيانات ذات معدل تدفق نصفي بمقدار **2400 bps** **Half Rate Channel (TCH/H 2.4) Data**: تستخدم هذه القناة لنقل بيانات المشترك بمعدل تدفق خام بمقدار **2400 bps** مضافاً إليه تشفير تصحيح الخطأ حسب مواصفات **GSM** فيصبح معدل تدفق القناة الكلي **11.4 kbps**.

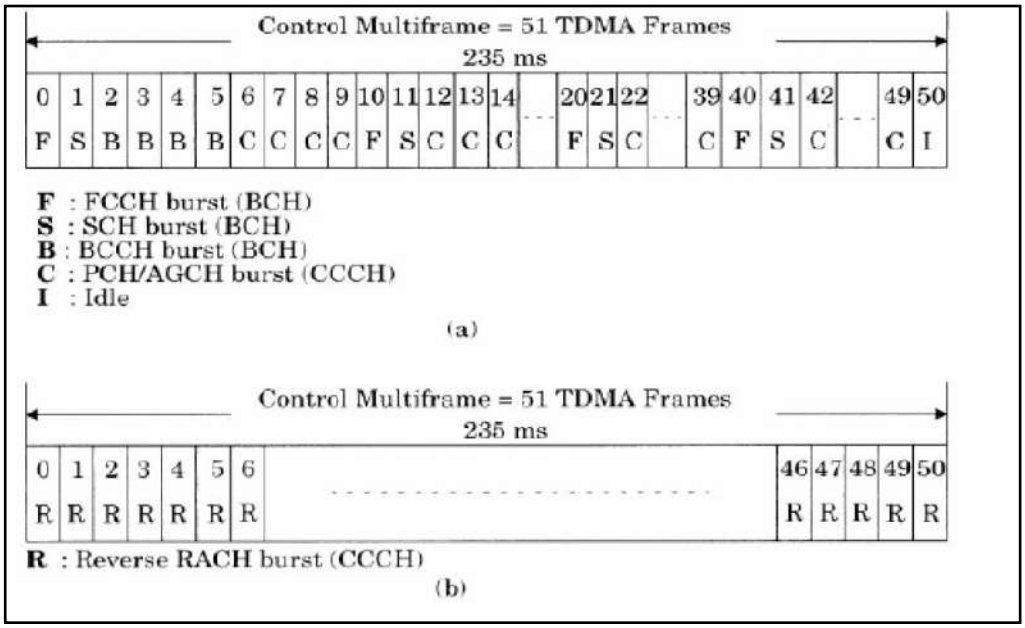
2-3-4 قنوات التحكم CCHs

يحتوي نظام **GSM** ثلاث قنوات تحكم رئيسية وهي:

1- قناة إذاعة **Broadcast channel(BCH)**.

2- قناة تحكم مشتركة **Common Control Channel(CCCH)**.

3- قناة تحكم مخصصة **Dedicated Control Channel**.



الشكل 4-4 طريقة نقل قنوات التحكم في الإطار

وتحتوي كل واحدة من قنوات التحكم على عدة قنوات منطقية موزعة في الزمن من أجل توفير التحكم المراد في نظام **GSM** كما موضح في الشكل (4-4).

إن قنوات التحكم **CCCH** و **BCH** في حالة الوصلة النازلة تكون مثبتة فقط على بعض القنوات الترددية حيث تخصص لها خانات زمنية بطرق خاصة جداً. أما في حالة الوصلة الصاعدة فان قنوات التحكم **CCCH** و **BCH** تكون في الخانة الزمنية ذات الرقم صفر **(TS0)** وترسل فقط أثناء بعض الإطارات داخل الإطار المتعدد من فئة **51** والذي يدعى الإطار المتعدد لقناة التحكم **control channel multi-frame** وذلك على الترددات المحددة لقنوات الإذاعة **GSM broadcast channels** أما الخانات الزمنية المتبقية (**TS0-TS7**) فتحمل قنوات الحركة **TCHs** العادية, ومن اجل فهم قنوات التحكم بشكل اوسع سيتم فيما يلي بيانها بالتفصيل.

1-2-3-4 قنوات البث أو الإذاعة Broadcast channels (BCH)

قناة البث أو الإذاعة **BCH** توفر التزامن (**synchronization**) لكل المحطات المتنقلة داخل الخلية كما تقوم المحطات المتنقلة في الخلايا المجاورة بكشفها بشكل دوري وأستقبال مستوى طاقتها الذي على أساسه يتخذ قرار أنتقال الأرتباط من خلية إلى أخرى.

على الرغم من نقل قناة **BCH** في الخانة الزمنية **TS0** فان بقية الخانات السبع المتبقية في الإطار على نفس القناة الترددية تكون قادرة على نقل بيانات قناة **TCH** أو بيانات قناة **DCCH** أو يتم ملئها برشقات جامدة **dummy bursts**. مع العلم إن الخانات الزمنية الثمانية في بقية القنوات الترددية في الخلية تكون مهيأة لنقل بيانات **TCH** أو **DCCH**.

تعرف قناة البث أو الإذاعة **BCH** بواسطة ثلاثة قنوات متفرقة جميعها تنقل على الخانة **TS0** في إطارات مختلفة من فئة الإطار المتعدد والمكون من **51** وحدة.

في كل خلية تعمل قناة الإذاعة على تردد معين في الوصلة النازلة فقط ويتم إرسال بيانات فقط في الخانة الزمنية الأولى أي **TS0** لبعض إطارات **GSM**. هذا يعني إنها خلاف قنوات الحركة **TCHs** والتي تكون من النوع المزدوج **(Duplex)** أي ترسل على الوصلة الصاعدة والوصلة النازلة. تستخدم قناة الإذاعة **BCH** كقناة منارة لكل جوال موجود في جوار المحطة القاعدية حتى يتعرف عليها ثم يرتبط بها إن كانت هي الأقرب.

وهذه الأنواع الثلاثة من قنوات البث او الاذاعة **BCH** تكون كالتالي:

1- قناة الإذاعة والتحكم **Broadcast control channel (BCCH)**: وهي قناة تحكم للوصلة النازلة وتستخدم لإذاعة معلومات تخص تعريف الخلية والشبكة ومواصفات عمل الخلية مثل هيكلة قناة التحكم الحالية وتهيئة القنوات والأزدحام داخل الخلية. أضافة الى ذلك فأن قناة **BCCH** تنشر قائمة بالقنوات التي تكون في حالة أستعمال داخل الخلية. تحتل بيانات قناة **BCCH** في إطار التحكم المتعدد من فئة **51** أربعة إطارات أي من رقم **2** إلى رقم **5**.

أن الخانة الزمنية **TS0** تحمل بيانات قناة **BCCH** في إطارات معينة. أما في غيرها من إطارات معينة أخرى يمكن أن تحمل قنوات **BCH** أخرى مثل **FCCH** و **SCH** أو قنوات التحكم المشتركة **CCCHs** أو إطاراً شاغراً **I** يرسل عند كل إطار ذي الرقم **51**.

2- قناة تصحيح التردد **Frequency Correction Channel (FCCH)**: وهي عبارة عن رشقة بيانات خاصة تحتل الخانة الزمنية **TS0** في بداية إطار **GSM** أي الإطار رقم صفر وتعاد كل عشرة إطارات في إطار قناة التحكم المتعدد. أن قناة تصحيح التردد تمكن جهاز المشترك من توحيد تردده مع تردد المحطة القاعدية للخلية.

3- قناة التزامن **Synchronization Channel (SCH):** تحمل هذه القناة في الخانة **TS0** من الإطار الذي يلي مباشرةً إطار **FCCH**، وتستخدم لتعريف المحطة القاعدية المقدمة للخدمة مع تمكين المحطات المتنقلة من التزامن الإطاري مع المحطة القاعدية ولذلك تحتوي بيانات رشقة **SCH** على رقم الإطار **(FN)** الذي يمتد من **0** إلى **2715647** وعلى رمز تعريف المحطة القاعدية **(BSIC)** الذي يحدد تلك المحطة بشكل فريد في نظام **GSM**. ترسل قناة **SCH** مرة كل عشرة إطارات في رتل قناة التحكم المتعدد من فئة **51**.

2-2-3-4 قنوات التحكم المشتركة Common Control Channel (CCCH)

يتم نقل هذه القنوات على تردد قنوات الإذاعة **BCH** في الخانة الأولى **TS0** من كل إطار **GSM** في حالة عدم حجزه من طرف **BCH** أو إذا كان إطارا شاغراً.

تحتوي قنوات **CCCH** على ثلاثة أنواع من القنوات المختلفة وهي:

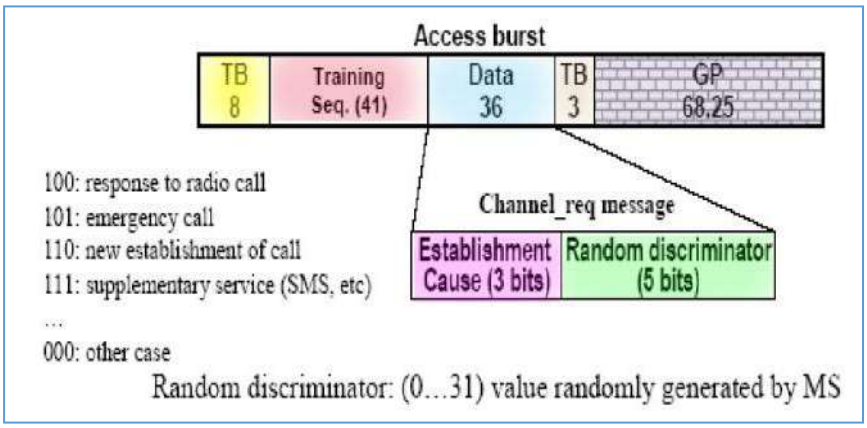
1- قناة النداء **Paging Channel (PCH)**: هذه القناة توصل إشارات النداء من المحطة القاعدية إلى كل المحطات المتنقلة في الخلية كما وتقوم بتنبيه محطة متنقلة معينة في حالة ورود مكالمة من شبكة الهاتف الثابت حيث أن قناة النداء تنقل رمز تعريف المشترك المتنقل العالمي **IMSI** للمشترك المطلوب كما تنقل بنفس الوقت أيضاً طلباً للمحطة المتنقلة المطلوبة بإرجاع الإفادة بالقبول عن طريق قناة المسلك العشوائي. يمكن أيضا أن تستخدم قناة النداء في الحالات البديلة للبث داخل الخلية لرسائل نصية لجميع المشتركين وذلك كجزء من خدمة الرسائل القصيرة المتوفرة في نظام **GSM**.

2- قناة الوصول او الدخول العشوائي **Random Access Channel (RACH)**: هذه القناة هي قناة الوصلة الصاعدة التي تستخدم من طرف المحطة المتنقلة لنقل تعريفها على النداء الخاص بها والذي تم بثه على قناة النداء (**PCH**) وتستخدم أيضًا من طرف المحطة المتنقلة لبدء محادثة. على كل محطة متنقلة أن تطلب مسلكاً لدخول الشبكة أو تجيب على تنبيه قناة النداء في الخانة **TS0** في إطار **GSM** معين. وهذا يعني إن كل الإطـــارات (بما فيها الإطار الشاغر) عند المحطة القاعدية تقبل إرسال قناة الوصول العشوائي من طرف القناة المتنقلة أثناء الخانة ذات الرقم صفر.

ولغرض إرسال الخدمة المتنقلة فان على المحطة القاعدية أن تجيب على إرسال قناة الوصول العشوائي **RACH** عن طريق رصد قناة حركة للمحطة المتنقلة وفي نفس الوقت إلحاقها بما يعرف بقناة تحكم مخصصة قائمة لذاتها **Stand alone Dedicated Control Channel (SDCCH)** لأستعمالها للتأشير أثناء المحادثة. أن هذا الربط يتم تأكيده من طرف المحطة القاعدية عن طريق قناة ضمان الوصول **AGCH**.

3- قناة ضمان الوصول **Access Grant Channel (AGCH)**: تستخدم هذه القناة من طرف المحطة القاعدية لتهيئة الربط مع المحطة المتنقلة كما وتحمل هذه القناة بيانات للمحطة المتنقلة من أجل العمل على قناة فيزيائية معينة متحدة مع قناة تحكم مخصصة. أن قناة ضمان الوصول (**AGCH**) هي آخر رسالة من نوع **CCCH** ترسلها المحطة القاعدية قبل أن ينتقل المشترك من قناة التحكم إلى قناة الحركة.

مما سبق نستنتج إن قناة ضمان الوصول تستخدمها المحطة القاعدية للإجابة على قناة الوصول العشوائي والمرسلة بواسطة المحطة المتنقلة في إطار **CCCH**. أما الشكل (4-5) فأنه يوضح تفصيل قناة الوصول العشوائي (**RACH**).



الشكل 4-5 تفصيل قناة المسلك العشوائي

4-2-3-3 قنوات التحكم المخصصة Dedicated Control Channels (DCCH)

توجد هناك ثلاثة أنواع من قنوات التحكم المخصصة في نظام **GSM** وهي تشبه قنوات الحركة من حيث أنها تستعمل في كلا الاتجاهين الصاعد والنازل وتكون لها نفس الهيكلية والوظيفة في الوصلتين أيضاً. أن قنوات التحكم المخصصة **DCCH** يمكن أن تشغل أي خانة زمنية على أي قناة ترددية ماعدا الخانة ذات الرقم صفر على القناة الترددية الناقلة لقناة **BCH**.

تقسم قنوات التحكم المخصصة إلى الأنواع التالية:

1. قنوات تحكم مخصصة قائمة بذاتها **Stand alone Dedicated Control Channels (SDCCH)**:

تحمل هذه القنوات بيانات التأشير مباشرة بعد الربط بين المحطة القاعدية والمحطة المتنقلة قبل أن تصدر المحطة القاعدية قناة حركة **TCH** خاصة للمحطة المتنقلة.فقناة التحكم المخصصة القائمة بذاتها تضمن بقاء المحطة القاعدية والمحطة المتنقلة مرتبطتين أثناء تحقق المحطة القاعدية ومركز المبدل **MSC** من وحدة المشترك ورصد الموارد للمحطة المتنقلة وتستعمل قناة **SDCCH** عندها لنقل معلومات هوية وحدة المشترك ورسائل التنبيه (وليس المحادثة) وذلك أثناء قيام المحطة المتنقلة بتثبيت تزامنها مع الإطار وانتظارها الحصول على قناة الحركة **TCH**. يمكن تحديد قنوات فيزيائية خاصة لقنوات التحكم المخصصة القائمة بذاتها **SDCCH** أو يمكن أن تحتل الخانة صفر من قناة **BCH** إذا كان الطلب على هذه القناة أو قناة **CCCH** قليلاً.

2. قنوات تحكم مصاحبة بطيئة:**Slow Associated Control Channels (SACCH)**: وهي قنوات تكون مصاحبة دائماً أما لقنوات الحركة أو لقنوات التحكم المخصصة **SDCCH** وتشغل نفس القناة الفيزيائية ولذلك فأن كل القنوات الترددية تحمل بيانات قناة **SACCH** لكل مستخدميها الحاليين وهي تنقل معلومات عامة بين المحطة القاعدية والمحطة المتنقلة. في الوصلة النازلة تستخدم هذه القناة لإرسال المعلومات المتغيرة بانتظام وبطء إلى المحطة المتنقلة مثل الأوامر المتعلقة بمستوى طاقة الإرسال وأوامر التقدم الزمني المتعلقة بكل مستخدم على القناة الترددية.أما في الوصلة الصاعدة فان **SADCCH** تنقل معلومات حول جودة قناة الحركة **TCH** وقوة الإشارة المستقبلة وكذلك أيضاً نتائج قياسات قنوات الإذاعة **BCH** للخلايا المجاورة.

تكون قناة **SADCCH** محمولة في الإطار الثالث عشر من كل إطار متعدد خاص بالمحادثة/ قناة التحكم المخصصة كما في شكل (4-6) حيث تحجز بيانات **SADCCH** الخانة الثامنة في ذلك الإطار من ثماني قنوات فيزيائية ذات معدل التدفق الكامل.

3. قنوات تحكم مصاحبة سريعة **Fast Associated Control Channels (FACCH)**: تحمل هذه القنوات الرسائل العاجلة وتحتوي في الأساس على نفس نوع المعلومات التي تحملها القناة البطيئة **SADCCH** وتتحدد قنوات التحكم المصاحبة السريعة عندما لا يكون هناك تحديد سابق لقنوات **SADCCH** لمستخدم معين والحاجة الى معلومة ملحة كطلب الأنتقال بين الخلايا.

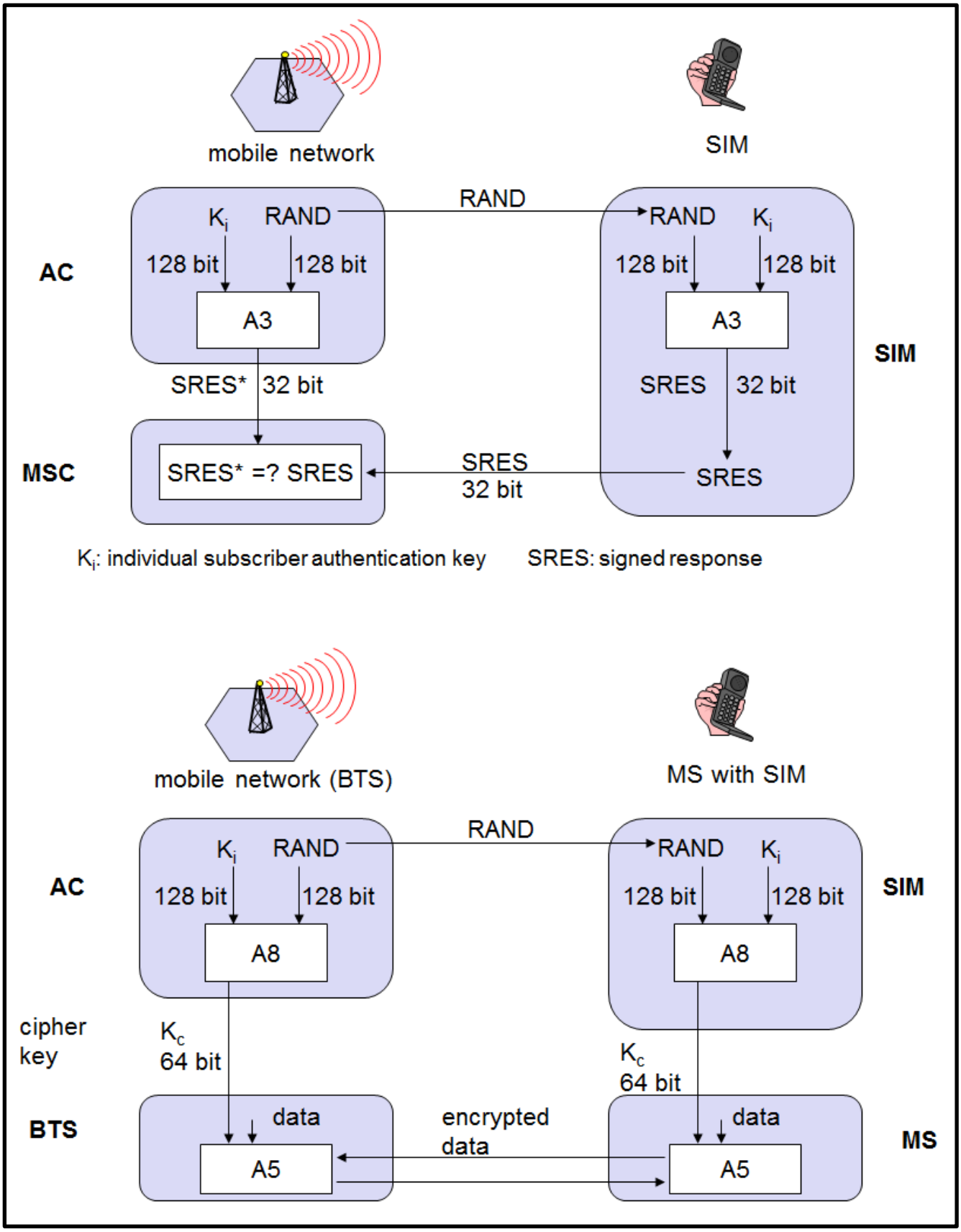
وقناة **FACCH** تتسلل إلى الخانة الزمنية عن طريق سرقة إطارات من قناة الحركة المصاحبة لها وذلك بوضع بتات (**bits**) خاصة في رشقة قناة الحركة **TCH** للوصلة الصاعدة، وإذا وضعت هذه البتات في الخانة الزمنية فأن تلك الخانة الزمنية تدعى خانة بيانات قناة **FACCH** وليس **TCH** لذلك الإطار.

4-2-3-4 قنوات التحكم للتحقق والتشفير Control Channels for Authentication and Encryption

وتقوم بمهامها وفق الخطوات التالية:

1- تجهز المحطة الطرفية (المتنقلة) أولاً هوية المشترك والتي هي رقم المشترك.

2- تقوم الشبكة بسؤال المشترك عن طريق قناة التحكم بأن يبرهن عن هويته وذلك بأستخدام خوارزمية مخزنة في ذاكرة قراءة فقط على الشريحة وتخزن نسخة أيضاً من هذه الخوارزمية في مركز التحقق. وبهذه الطريقة فان الخوارزمية السرية لا تنقل على الشبكة ويوثق مركز التحقق المشترك بمطابقة الرمز المقدم مع الرمز الصحيح لديه. ويبين الشكل (4-6) التالي عملية التحقق والتشفير.



الشكل 4-6 عملية التحقق والتشفير

يبين الجدول (4-2) صورة مجملة تبين إتجاه الإرسال الذي تستخدم فيه كل قناة منطقية ما بين المحطة القاعدية (**BTS**) والمحطة المتنقلة (**MS**).

الجدول 4-2 خلاصة مختصرة للقنوات المنطقية

القناة المنطقية	اتجاه الإرسال
TCH	BTS <---> MS
FACCH	BTS <---> MS
BCCH	BTS ---> MS
FCCH	BTS ---> MS
SCH	BTS ---> MS
RACH	BTS <--- MS
PCH	BTS ---> MS
AGCG	BTS ---> MS
SDCCH	BTS <---> MS
SACCH	BTS <---> MS

4-4 متطلبات جودة الخدمة QoS في نظام GSM

يشير مصطلح جودة الخدمة في مجال شبكات الحاسوب وغيرها من شبكات تبديل حزم المعلومات في الإتصالات السلكية واللاسلكية وهندسة المرور إلى آليات لحفظ السيطرة على الموارد بدلاً من تحقيق جودة الخدمات. من ناحية أخرى يمكن تعريف جودة الخدمة بأنها القدرة على تقديم أولوية مختلفة لتطبيقات مختلفة (مستخدمين، تدفق للبيانات، أو لضمان مستوى معين من الأداء لتدفق البيانات). على سبيل المثال، يمكن ضمان معدل سرعة المعلومات المطلوبة، التأخر، عدم إستقرار الإرسال، إحتمالية إسقاط الرسائل و/ أو معدل الخطأ للمعلومات المطلوبة. تعتبر ضمانات جودة الخدمة هامة إذا كانت قدرة الشبكة غير كافية وخاصة بالنسبة لتدفق التطبيقات ذات الوسائط المتعددة (ملفات الصوت والفيديو)، والألعاب الإلكترونية، لأن هذه غالباً ما تتطلب معدل ثابت لتدفق البيانات وهي حساسة للتغيير. في حالة عدم وجود أزدحام في الشبكة، تعتبر آليات جودة الخدمة غير مطلوبة.

4-4-1 جودة الخدمة (Quality of Service QoS)

جودة الخدمة (**QoS**) في مجال الإتصالات يمكن أن تعرف بأنها مجموعة من المتطلبات المعينة المجهزة من الشبكة إلى المستخدمين والتي تكون ضرورية من أجل الحصول على الوظيفة المطلوبة للخدمة المقدمة. أما بالنسبة للمستخدمين فأن بإمكانهم تحديد الكفاءة المطلوبة وذلك بتحديد عناصر جودة الخدمة مثل زمن

التأخير (**delay**) أو خسارة بعض رزم البيانات (**packet loss**). أن كل نموذج عمل معين له عناصر جودة خدمة خاصة بتلك الخدمة. يمكن أن تستخدم جودة الخدمة كمميز في سوق العمل، حيث أن مقاييسها ضرورية للحصول على تصور عن كفاءة وفاعلية خدمة ما أو منتج معين لذلك فهي نقطة ضرورية للأختيار بين مجموعة سلع أو خدمات مقدمة من عدة باعة أو مجهزي خدمة. فإذا كانت مواصفات الخدمة وسعرها متشابهتين فان الجودة هي المميز للمستخدمين في الأختيار ما بين خدمتين أو سلعتين. كما أن مجهزي الخدمة بإمكانهم الاعتماد على الجودة للحصول على ثقة وأحترام المستخدم.

أما التحديات التي تمنع تفعيل دور جودة الخدمة (**QoS**) فتتلخص بالأسباب التالية:

أ- الإختناق الحاصل من جراء اكتضاض قنوات الإتصال (عنق الزجاجة).

ب- التأخير الحاصل بسبب أجهزة ومعدات الشبكة ذات الكفاءة القليلة في حالة ساعات ذروة العمل (**busy hours**) فضلاً عن التأخير الناتج بسبب بعد المسافة أو عن إعادة إرسال رزم البيانات المفقودة.

ج- قنوات الإتصال المشتركة بين المستخدمين حيث يكون هناك تضارب وبطئ في العمل وهي من الأمور التي لاشك في حدوثها في هكذا قنوات.

د- عرض النطاق الترددي المحدود مع ضعف إدارة الشبكة.

2-4-4 خصائص جودة الخدمة في مجال الإتصالات الهاتفية

الإتصالات الهاتفية هي عملية تبادل البيانات أو الصوت عن بعد وهناك العديد من تقنيات الإتصالات الهاتفية بدءاً من الشبكات الهاتفية القديمة وحتى ظهور شبكات بروتوكول الإنترنت (**IP network**) ومن الأمثلة على ذلك: الخدمات الأساسية الهاتفية (سلكية ولاسلكية)، إتصالات الأقمار الصناعية، نمط النقل غير المتزامن (**ATM**)، الإيثرنت وشبكات **802.1**، والشبكات الموجهة ببروتوكول الإنترنت (مثل شبكة الإنترنت)....الخ.

أن خدمات الإنترنت العالمية الحالية تعتمد على مبدأ تقديم الخدمة بأقصى ما يمكن من جهد. أن هذه الخدمة في الحقيقة لا تكون دقيقة في كل شيء حتى في عملية تسليم حزم البيانات (**IP packet**) عبر الشبكة. فلو فرضنا أن حزمة البيانات أُرسلت عبر شبكة الإنترنت لكي تسلم إلى الجهة المطلوبة (الهدف)، فأن الشبكة لا تتمكن أن تضمن بدقة (وقت تسليم محدد، سرعة محددة، عرض نطاق محدد) أو ربما ضياع هذه الحزمة إذا ما واجهت أختناق في أحد أجزاء الشبكة.

إن التأخير ليس بمشكلة خطيرة فإذا أخذنا على سبيل المثال عملية تسليم رسائل البريد الإلكتروني فأن بضع ثواني أو دقائق تأخير ربما ليس لها تأثير يذكر عند المستلم النهائي، ولكن إذا كان التأخير في عملية إرسال الصوت عبر بروتوكول الإنترنت (**VoIP**) كبيراً أو كان التأخير كثير التغير (غير ثابت) أو أن حزم من البيانات قد فقدت، ستكون الجودة حينئذ غير مقبولة.

3-4-4 مقاييس جودة الخدمة (QoS parameters)

يمكن تلخيص مقاييس جودة الخدمة الأكثر استخداماً في شبكات تحويل حزم البيانات **(packets witched network)** كما يلي:

أ- التأخير:

إن هذا المقياس هو مقياس جوهري ومهم في مجال الإتصالات. بما أن الجهة النهائية للتسليم بعيدة لذلك فأن المعلومات تحتاج بعض الوقت للوصول لتلك النقطة. أن زمن التأخير يمكن أن يزداد إذا واجهت حزم البيانات **(packets)** طوابير طويلة في الشبكة (الإختناق) أو قامت بعبور طرق أقصر وذلك بتغيير أتجاهها بواسطة الموجه **(router)** لتجنب الإختناق. يمكن قياس التأخير إما بإتجاه واحد (وهو الزمن الكلي من المصدر الذي أرسل حزمة البيانات إلى الجهة الهدف التي قامت بأستلامها) أو أن يكون القياس ذهاب وإياب (وهو زمن التأخير من المصدر إلى الهدف مضافاً إليه زمن التأخير لرجوع البيانات من الهدف إلى المصدر). أن زمن تأخير الذهاب والإياب يستخدم بشكل دوري ومتكرر لأمكانية قياسه من نقطة مفردة (من المرسل أو المستقبل) بأستخدام إيعاز **(ping)** والذي هو ضمن أيعازات نظام التشغيل.إن زمن تأخير الذهاب والإياب هو طريقة دقيقة نسبياً لقياس زمن التأخير لأنه يستثني كمية الوقت التي تستغرقها الجهة المقابلة (الهدف) في معالجة حزمة البيانات، لأن إيعاز **(ping)** يحسب فقط الوقت بدون المعالجة للبيانات أي يرسل فقط إعلام الأستلام للبيانات للجهة المرسلة وفي حالة وجود أكثر من طريقة دقيقة لقياس التأخير عندئذ نحتاج للقياس في كلا نقطتي الشبكة (المرسل والمستقبل). أن النتيجة النهائية لهذه المقاييس هي الحصول على أقل زمن تأخير ممكن لإرسال حزمة البيانات عبر وصلة من المصدر إلى الهدف. يكون التأخير في عملية الإرسال عبر شبكات الأقمار الصناعية في أفضل الحالات عالياً (تقريبا **260 ms** في أتجاه واحد)، لأن المسافات البعيدة تزيد من عدد العناصر الإلكترونية وزمن المعالجة للأجهزة الموجودة عند كل نهاية، بالإضافة إلى التأخير الناشئ من القمر الصناعي نفسه والذي يضاف إلى مجموع زمن الإرسال على الرغم من أن الإشارة في الفضاء تنتقل بسرعة الضوء (موجات كهرومغناطيسية). إذا تم أجراء إتصال هاتفي بأستخدام الأقمار الصناعية فأن التأخير الناتج سيؤثر مباشرة على جودة المكالمة. فمثلا إذا كان التأخير أكثر من **250 ms** ستتولد مشكلة تداخل الكلام **(talk overlap)** عندما تكرر السماعة جملة المتصل عند أستجابة الطرف الأخر.

ب- التأرجح **(jitter)**:

هو زمن التأخير المتغير (غير ثابت) ويحدث بسبب الإرسال المتغير في زمن التأخير للحزم عبر الشبكة. وسبب ذلك هو سلوك الطوابير الداخلية الموجهة (حزم البيانات) في ظروف معينة مثل (جريان الاختناق **flow congestion**)، وتغيرات توجيه البيانات **routing changes**، الخ.

أن هذا المقياس له تأثير خطير على جودة تدفق وجريان بيانات ملفات الصوت والفيديو بصورة خاصة. لمعالجة التأرجح فأننا نحتاج إلى جمع حزم البيانات والأحتفاظ بها لمدة كافية لحين وصول باقي الحزم البطيئة في زمنها المحدد ومن ثم إعادة ترتيبها لكي يتم تشغيلها بالتسلسل الصحيح. يمكن ملاحظة الخزن المؤقت

(**buffering**) لبيانات ملفات الصوت والفيديو قبل تشغيلها عند أستخدام مواقع الكترونية تحوي مقاطع صوت أو فيديو مثل موقع يوتيوب (**www.youtube.com**). أن هذا الخزن المؤقت (**buffering**) يستخدم لمقاومة ومعالجة التأرجح الناتج من بطيء شبكة الإنترنت لذلك فأنه يقوي إمكانية التشغيل المستمر (بدون تقطيع) لملفات الصوت والفيديو المرسلة عبر الشبكة. عند النقر على رابط معين لتشغيل مقطع فيديو مثلاً، نلاحظ أولاً بدء عملية الخزن المؤقت (**buffering**) لبيانات مقطع الفيديو قبل البدء فعلياً بتشغيل ذلك المقطع. وهذا الإجراء على الرغم من فائدته ولكنه يسبب أيضاً تأخيراً إضافياً في الوقت ولكنه ضروري جداً خصوصاً في التطبيقات الحساسة للتأرجح.

ت- ضياع حزم البيانات (**packet loss**):

أن ضياع حزم بعض البيانات يحدث عندما تُرسل واحدة أو أكثر من حزم البيانات (**packet**) عبر شبكة الإنترنت أو شبكة كومبيوتر معينة وهذه الحزمة أو الحزم تفشل في الوصول إلى الجهة المرسل إليها. أن الشبكات اللاسلكية والشبكات المعتمدة على بروتوكول الإنترنت (**IP Network**) لا يمكن أن تعطي ضماناً بأن كل الحزم المرسلة ستصل إلى الجهة المطلوبة جميعها. أن بعض الحزم تضيع عندما تصل الى الجهة المطلوبة وتجد أن الخزان المؤقت (**buffer**) يكون مملوء مسبقاً بحزم وصلت قبلها. هناك أسباب أخرى تتسبب في خسارة حزم البيانات مثل إضمحلال قوة الإشارة (**signaled gradation**) والحمل العالي على وصلات الشبكة وفروعها (**load**) وأحياناً وجود خلل في أحد أجهزة الشبكة مما يؤدي إلى خسارة جزء من البيانات. تكون أحتمالية فقدان البيانات في الشبكات اللاسلكية عالية، والسبب هو مشاكل الإتصالات الجوية عبر الهواء مثل التداخل بين الموجات (**interference**) الناتج من بعض الأنظمة التي تستخدم الوسط الجوي، والعوائق المتعددة مثل (البنايات، والحواجز الطبيعية) في طريق الإشارة، والاضمحلال أو التلاشي المتعـــدد المسارات (**multipath fading**)، الخ.بعض بروتوكولات نقل البيانات مثل بروتوكول (**TCP**) لها نوع من السيطرة على عملية التسليم وذلك بإستلام إعلام عن عملية إستلام البيانات من جهة المستلم، فإذا فقدت بعض حزم البيانات خلال عملية النقل فان بروتوكول (**TCP**) يقوم تلقائياً بإعادة إرسال المقطع الذي لم يتم إستلامه من الجهة الهدف.

ث- الطاقة الإنتاجية (**Throughput**):

تعرف الطاقة الإنتاجية على أنها كمية البيانات التي تستطيع الشبكة أو الجهاز إرسالها أو أستلامها، أو أنها كمية البيانات التي تمت معالجتها في فترة زمنية محددة، وتكـــون وحـــدة قياسهـــا الأساسيـــة هـــي (بت في الثانية الواحدة) أي (**bit\s**) أو (**bps**). أن الطاقة الإنتاجية عادةً تكون أقل من البيانات المدخلة بسبب الفقدان أو التأخير الحاصل في النظام. أن الطاقة الإنتاجية هي مقياس جيد لسعة تدفق البيانات لقناة ما في شبكات الإتصالات. يمكن قياس الطاقة الإنتاجية وذلك بقياس عرض النطاق الترددي (**bandwidth**) والذي يستخدم في قياس معدل التدفق الحقيقي الذي يملكه خط المشترك الرقمي (**DSL**).

إن مقياس عرض النطاق يخمن الطاقة الإنتاجية الحالية لخط المشترك الرقمي (**DSL**) عن طريق حساب النسبة والتي يتم عندها تسليم ملف الفحص إلى جهاز الكومبيوتر لخادم معين. فمثلاً عندما يكون خط **DSL** بطاقة إنتاجية (**1000 bps**) فإن هذا يعني أن عرض النطاق المتوفر لهذا الإتصال هو أكثر من (**1000 bps**) في الشبكة المستخدمة للوصول. إن أداة قياس عرض النطاق في الحقيقة تقيس السرعة والتي يتمكن المستخدم عندها من تنزيل المعلومات (**Download**) من خادم معين (**Server**) وعلى أي حال أن هذه الأداة ربما لا تعكس تمرس المستخدم في تنزيل صفحات خاصة من الإنترنت.

هناك عدة عوامل تؤثر على النسبة التي يتم عندها تنزيل ملفات وصفحات الإنترنت بغض النظر عن نوع الإتصال، وهذه العوامل تشمل:

1- الحمل على الخادم (**server load**) الذي يحاول المستخدم أستخدامه.

2- بعد المسافة عن الخادم وبالرجوع للمقاييس السابقة سيزداد عدد موزعات وموجهات الشبكة **hubs and routers**.

3- سرعة جهاز الكومبيوتر.

4- عدد البرامج المنفذة في الكومبيوتر بنفس الوقت.

وفيما يلي نعرض بعض متطلبات جودة الخدمة (**QoS**) الواجب توفرها في أنظمة الإتصالات المتنقلة ومنها نظام **GSM**:

ت	جودة الخدمة QoS	الزمن المطلوب
1	وضوحية ومفهومية الكلام	%90
2	الزمن اللازم للتوصيل مع الشبكة المطلوبة	4 ثواني
3	الزمن بين بداية التشغيل والجاهزية للخدمة	4 ثواني في الشبكة المحلية و 10 ثواني للشبكات الأخرى
4	زمن الإخلاء من الشبكة المطلوبة	4 ثواني
5	الزمن اللازم لتنبيه الجوال بمكالمة قادمة	4 ثواني في المحاولة الأولى و15 ثانية في آخر محاولة
6	أطول فجوة زمنية يسمح بها عند التجوال	140 ملي ثانية للتجوال بين الخلايا و100ملي ثانية وسط الخلية
7	أعلى زمن مسموح به لتأخير الكلام في أتجاه واحد	90 ملي ثانية

أسئلة الفصل الرابع

س1: ما هما النوعان الرئيسان للقنوات المنطقية؟

س2: كم هو عدد القنوات الترددية لكل من الوصلة النازلة والصاعدة؟

س3:كم يبلغ عدد القنوات الكلية للوصلة الصاعدة والنازلة؟

س4: ما هي قنوات الإذاعة؟ عددها؟

س5: وضح باختصار قنوات التحكم المشتركة؟

س6: بين قنوات التحكم المشتركة الخاصة بالوصلة الصاعدة؟

س7 : وضح قنوات التحكم المشتركة الخاصة بالوصلة النازلة؟

س8: ما هي قنوات التحكم المسؤولة عن حمل بيانات المشترك وتأشير التنبيه (قبل بدء المكالمة بين المحطة القاعدية والمحطة المتنقلة (الجوال)؟

س9: ما هي القناة المنطقية التي تنقل طلب الأنتقال عند الدخول في مجال خلية مجاورة؟

س10: ما المقصود بعملية التحقق؟ وكيف تتم؟

س11: ما هي أهم متطلبات جودة الخدمة في نظام **GSM**؟

س12:ما المقصود بجودة الخدمة؟ وضح ذلك.

س13: ما هي الأسباب التي تحول دون تفعيل دور جودة الخدمة (**QoS**)؟ عددها مع الشرح.

س14: ما المقصود بمقاييس جودة الخدمة؟ عددها مع بيان تعريف مختصر لكل واحدة منها.

س15: ضع كلمة صح أمام العبارة الصحيحة وكلمة خطأ أمام العبارة الخاطئة وصحح الخطأ أن وجد:

أ- القنوات المخصصة هي القنوات التي تخصص للمحطة القاعدية.

ب- قناة الإذاعة **BCH** هي من ضمن قنوات الحركة **TCH**.

ج- قنوات التحكم في نظام **GSM** تحمل بيانات المشترك.

س16: كيف تتم عملية معالجة التأرجح (**jitter**) في شبكات نقل البيانات؟ وضح ذلك بمثال.

الفصل الخامس

تقنيات المايكروويف والأقمار الاصطناعية

أهداف الفصل الخامس: (microwave)

أن يتعرف الطالب على خصائص المايكروويف وطبيعة خطوط النقل في المايكروويف كما يتعرف على الدليل الموجي وصمامات ومولدات الموجات الدقيقة بالأضافة الى مخطط سميث (smith).

محتويات الفصل الخامس

5-1 تمهيد.

5-2 موجات المايكروويف.(microwave)

5-3 خطوط النقل في المايكروويف.

5-4 دليل الموجة Wave Guide.

5-5 صمامات ومولدات الموجات الدقيقة.

5-6 مخطط سميث Smith Chart.

5-7 مسارات موجات المايكروويف.

الفصل الخامس

تقنيات المايكروويف والأقمار الاصطناعية

1-5 تمهيد

تعتبر تقنيات المايكروويف من المواضيع الشائعة لكون مبادءها الأساسية قد تمت صياغتها قبل اكثر من 50 سنة وكذلك وجود الرادار وهو التطبيق الأساسي الأول لتقنيات المايكروويف منذ الحرب العالمية الثانية، ولكن بالرغم من ذلك فإن السنوات الأخيرة حدثت فيها تطورات جوهرية ومستمرة في أجهزة أشباه الموصلات التي تعمل في الترددات العالية، دوائر المايكروويف المتكاملة و تقنيات التصميم بمساعدة الحاسبة أضافة الى التطبيقات العديدة التي تدخل فيها تقنيات المايكروويف مثل الإتصالات اللاسلكية، شبكات الحاسبة، التحسس و الأمنية مما جعل هذا المجال فعالاً ونشيطاً.

إن الأساسيات الحديثة للنظرية الكهرومغناطيسية تم صياغتها في عام 1873 بواسطة جميس ماكسويل الذي وضع فرضيات (بالإعتماد على مفاهيم رياضية) حول انتشار الموجة الكهرومغناطيسية وفكرة أن الضوء هو أحد أشكال الطاقة الكهرومغناطيسية. ثم تحولت هذه الفرضيات الى شكلها الحالي بواسطة أوليفير هيفيساید خلال الفترة من 1885 الى 1887. كان هيفيساید عبقرياً بحيث أن جهوده أدت الى أزالة العديد من التعقيدات الرياضية الموجودة في نظرية ماكسويل حيث أنه طرح طريقة المتجهات ووفر الأساس للتطبيقات العملية لكل من خطوط النقل (**Transmission Lines**) والموجات الموجهة (**Guided Waves**). بعد ذلك قام هنريك هيرتز وهو فيزياوي الماني بعد أستيعابه لنظرية ماكسويل بإجراء مجموعة من التجارب خلال الفترة من 1887 الى 1891 للبرهنة على صحة النظرية الكهرومغناطيسية لماكسويل.

أن كل التطبيقات العملية للنظرية الكهرومغناطيسية مثل الراديو، التلفاز، الرادار, الهواتف الخلوية والشبكات اللاسلكية كان سبب ظهورها المفاهيم النظرية التي طرحها ماكسويل. بسبب قلة مصادر المايكروويف والمكونات الأخرى فأن التطور السريع في التقنيات الراديوية في أوائل التسعينات ظهر بشكل أساسي ضمن نطاق الترددات من (**HF**) الى (**VHF**). أن نظريات وتقنيات المايكروويف لم تلق أي أهتمام ملحوظ حتى سنة 1940 وعند أختراع الرادار خلال الحرب العالمية الثانية وذلك بتأسيس مختبر الأشعاعات في معهد ماشوستيس للتكنولوجيا في الولايات المتحدة الأمريكية لتطوير منظومة الرادار نظرياً وعملياً.

هناك مجموعة من العلماء الموهوبين و منهم رابي، بيث، منتيغموري و أخرون كان لهم دور مميز في التطور في مجال المايكروويف. وقد تركز عملهم في المعالجة النظرية والمختبرية لمكونات منظومة المايكروويف، هوائيات المايكروويف ومبادئ نظرية شبكات المايكروويف وقد لخصت هذه أعمالهم في مجموعة من الكتب والمراجع.

أن منظومات الإتصالات بأستخدام تقنية المايكروويف بدأت بالتطور مباشرةً بعد ظهور الرادار حيث تم الأستفادة من العمل المنجز لبناء منظومة الرادار. أن هذه المنظومات توفر عدة مميزات منها أنها تمتلك حزمة نطاق عريضة (**Wide Bandwidth**) وأنتشار بأتجاه خط النظر (**Line-of-Sight**) ولقد برهنت قوتها في الإتصالات الأرضي (**Terrestrial Communications**) وكذلك في الإتصالات الفضائية (**Satellite Communications**). وبناءاً عليه فأن الدافع موجود لأستمرار العمل في مجال تحسين خواص مكونات منظومة المايكروويف من حيث السعر والحجم.

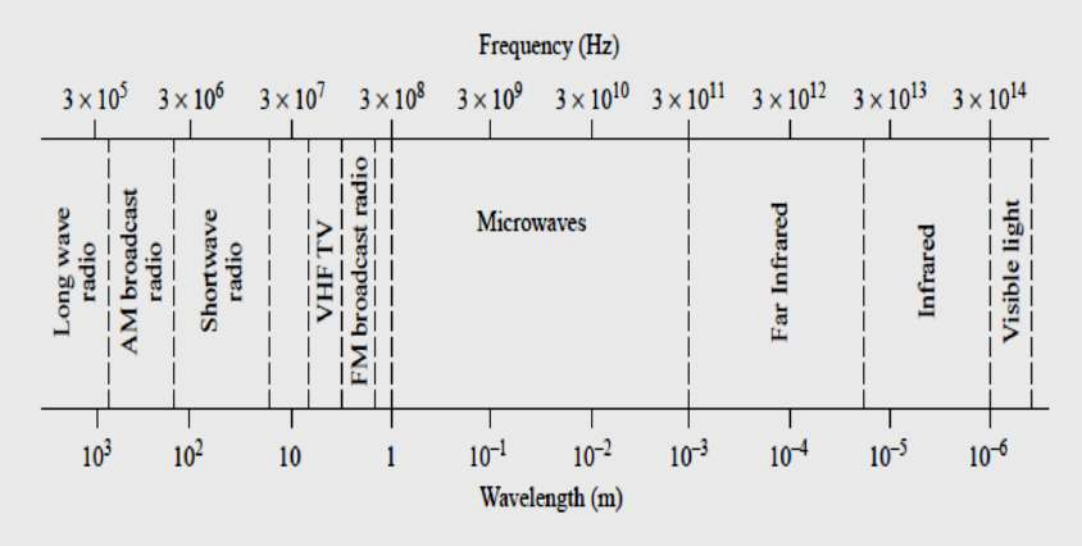
2-5 موجات المايكروويف

إن مصطلح مايكروويف يستخدم عادةً لوصف الترددات من 3 الى 300 جيجاهيرتز (1 جيجاهيرتز = 10^9 هيرتز). أن الطول الموجي (λ) للمايكروويف يمكن حسابه بأستخدام المعادلة:

$$\lambda = \frac{\text{سرعة الضوء}}{\text{التردد}} = \frac{c}{f} \qquad (1\text{-}5)$$

حيث أن سرعة الضوء يرمز لها بالرمز (**c**) وتساوي (3×10^8) متر بالثانية. وبتعويض قيم الترددات أعلاه فإن قيم λ تتروح من 10 سنتيمتر الى 1 مليمتر على التوالي.

أن الشكل (1-5) يوضح موقع حزمة الترددات المايكروية من الطيف الكهرومغناطيسي.



الشكل 1-5 الطيف الكهرومغناطيسي

أن الصفة المميزة لهذا النوع من الموجات هو قصر طولها الموجي بحيث أن طولها الموجي مقارب لأبعاد الأجهزة المستخدمة. أن قصر الطول الموجي معناه أن زمن الأنتشار للأشارات الكهربائية من نقطة في دائرة كهربائية الى نقطة أخرى مقارب لزمن دورة الشحنات والتيارات المتذبذبة للمنظومة. وبناءاً عليه فأن قوانين الدوائر الكهربائية للترددات الواطئة والتي تعتمد على مفاهيم مرتبطة بالتيار والفولتية غير ملائمة لوصف

الظاهرة الكهربائية التي تظهر في حالة المايكروويف. بدلاً من ذلك من الضروري أن يتم أجراء التحليل للموجات المايكروية بدلالة المجالات الكهربائية والمغناطيسية التي تتحرك ضمن الجهاز.وبالرغم من أن التردد العالي والطول الموجي القصير يجعلان عملية تحليل وتصميم أجهزة ومنظومات المايكروويف معقدة ولكن بالمقابل فإن التردد العالي يوفر فرص كبيرة لأستخدام المايكروويف.

أن الأمور التالية المرتبطة بموجات المايكروويف ممكن أن تكون مفيدة من الناحية العملية كما في النقاط ادناه:

1. إن ربح الهوائي يتناسب مع حجم الهوائي وعليه في حالة الترددات العالية يمكن الحصول على ربح أكبر للهوائي عند حجم معين للهوائي.
2. يمكن الحصول على حزمة نطاق عريضة **(Wide Bandwidth)** في الترددات العالية.
3. أن موجات المايكروويف تتحرك بأتجاه خط النظر **(Line-of-sight)** ولا تتأثر بطبقات الغلاف الجوي كما في حالة الترددات الواطئة وعليه فانها توفر وسيلة للأتصالات الأرضية والفضائية بسعة كبيرة جداً.
4. في حالة الرادار فأن عملية كشف الأهداف مرتبطة بالبعد الفيزيائي للأهداف (حجم الأهداف) أن هذه الصفة أضافة الى صفة ربح الهوائي (كما في النقطة 1) تجعل موجات المايكروويف مفضلة في منظومات الرادار.
5. هناك ظواهر رنين **(Resonance)** مختلفة تظهر عند ترددات المايكروويف والتي يمكن أستخدامها في تطبيقات مختلفة مثل التحسس عن بعد **(Remote Sensing)** والتشخيص والمعالجة الطبية **(Medical Diagnostics and Treatment)** وغيرها من التطبيقات.

أن التطبيقات الأساسية لتقنيات المايكروويف حالياً هي في الشبكات اللاسلكية ومنظومات الإتصالات، منظومات الحماية اللاسلكية، منظومات الردار والمنظومات الطبية.أن منظومات الأقمار الصناعية تعتمد أيضاً على تقنيات المايكروويف حيث أن القمر الصناعي يقوم ببث أشارات الصوت والصورة ذات النقاوة العالية حول العالم.

3-5 خطوط النقل في المايكروويف (Micro wave)

إن أنتشار الموجة قد يكون في وسط غير محدود (وسط بمدى لامتناهي) ويدعى أنتشار الموجة عندها بالأنتشار غير الموجه لأن الموجة تكون في هذه الحالة موجودة في كل مكان وكذلك فأن الطاقة الكهرومغناطيسية المرافقة لها تغطي مساحة واسعة. إن الإنتشار غير الموجه مستخدم في محطات الإرسال الأذاعية والتلفزيونية لأن المعلومات المرسلة في هذه الحالة تكون مهمة للشخص الذي يتابع أرسال هذه المحطات. أن هذا النوع من أنتشار الموجة لايكون مفيد في حالة المكالمات الهاتفية لأن سرية المعلومات مهمة في هذه الحالة. هناك وسيلة أخرى لأرسال القدرة أو المعلومة و ذلك بأستخدام وسط موجه. أن الوسط الموجه يقوم بتوجيه أنتشار الطاقة من

المصدر بأتجاه الحمل ومن الأمثلة على هذا النوع من الأوساط هي خطوط النقل (**Transmission Lines**) ودلائل الموجة (**Waveguides**). أن دلائل الموجة سوف يتم مناقشتها في الفقرة (5-4).

إن خطوط النقل تستخدم عادةً لتوزيع الطاقة الكهربائية (في الترددات الواطئة) وتستخدم في الإتصالات (في الترددات العالية). وكمثال فأن خطوط النقل مثل الزوج المجدول (**Twisted Pair**) والكوابل المحورية (**Coaxial Cables**) تستخدم عادةً في شبكات الحاسوب مثل الأثرنيت (**Ethernet**) والإنترنت (**Internet**).

إن خطوط النقل أما أن تكون مكونة من موصل واحد مثل دليل الموجة (**Waveguide**) أو مكونة من أكثر من موصل مثل خطوط النقل الأخرى وسوف يتم في هذا الفصل دراسة خطوط النقل المكونة من موصلين مثل خط النقل المفتوح (**Open Wire Transmission Line**)، القابلو المحـــوري (**Coaxial Cable**) والخط الشريطي (**Strip line**).

قبل دراسة خطوط النقل المكونة من موصلين يجب دراسة أتجاهات المجالات الكهرومغناطيسية المكونة للموجة بالنسبة لمحور خط النقل المعني والذي يمثل الأتجاه الفعلي أو الأفتراضي لأنتشار الموجة. فإذ كانت المجالات الكهرومغناطيسية متعامدة على بعضها البعض (كما يجب أن تكون) ومتعامدة على الاتجاه الفعلي فإن الموجـــة في هذه الحالـــة تعرف بموجة تعامديـــة المجال الكهربائي والمغناطيســـــي (**TEM**) **(Transverse Electric and Magnetic)** أي إنه ليس هناك عنصر للمجالات الكهربائية والمغناطيسية في الإتجاه الفعلي لأنتشارالموجة وهذا حال الموجات الناتجة في خطوط النقل المكونة من موصلين.

وإذا كانت المجالات الكهرومغناطيسية متعامدة على بعضها البعض (كما يجب أن تكون) وكان هناك عنصراً للمجال المغناطيسي في الاتجاه الفعلي فإن الموجة تعرف بموجة كهربائية عمودية أو تعامدية المجال الكهربائي **(TE)** أي أنه ليس هناك عنصر للمجال الكهربائي في الاتجاه الفعلي لأنتشار الموجة. أما إذا كان هناك عنصراً للمجال الكهربائي في الاتجاه الفعلي فإن الموجة تعرف بموجة مغناطيسية عمودية أوتعامدية المجال المغناطيسي **(TM)** أي أنه ليس هناك عنصر للمجال المغناطيسي في الاتجاه الفعلي لأنتشار الموجة. أن هذين النوعين من الموجات موجودة في دلائل الموجات (**Waveguides**).

5-3-1 خطوط النقل المكونة من موصلين

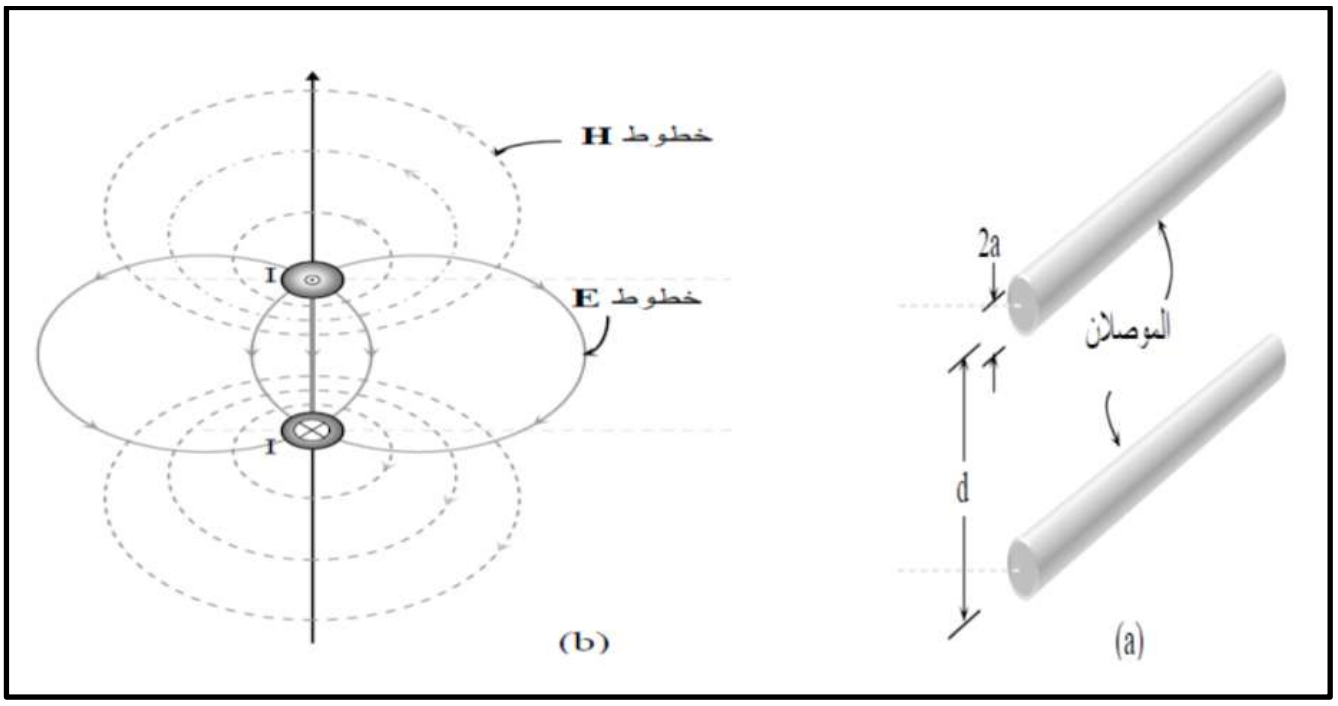
وهي ثلاثة أنواع وكما يلي:

1. **خط النقل المفتوح (Open Transmission Line)**: الذي يتكون من موصلين متجاورين ومتوازيين كل منهما بنصف قطر **(a)** وتفصل بينهما مسافة **(d)** وهومن أبسط أنواع الخطوط وأقلها كلفة ويبين الشكـل (2-5) مكوناته أضافة الى توضيح خطوط المجالات الكهربائية والمغناطيسية من المنظور الأمامي للخط.

يلاحظ من الشكل أن خطوط المجالات الكهربائية والمغناطيسية توجد في كل الفراغ (الوسط) المحيط بخط النقل وهذا يمثل تسرباً للموجات **(**للطاقة الكهرومغناطيسية**)** التي يحملها خط النقل إلى الخارج ويزداد هذا التسريب كلما زادت المسافة بين الموصلين **(d)** أو كلما زاد التردد (قل الطول الموجي) وفي المقابل فإن هذا

الخط معرض للتداخل من أنظمة كهرومغناطيسية أخرى تقع بالقرب منه .ولذلك يكاد يكون استخدام هذا النوع من خطوط النقل محصوراً في الاستخدامات التي لا يزيد ترددها عن عشرات الميجا هيرتز.**MAZ**

ومن الجدير بالذكر أن هناك تماثل لما يمكن أن يشاهده مراقب يقف عند منتصف المسافة التي تفصل بين الموصلين وبالتالي فإن هذا الخط يعرف بالخط المتوازن **(Balanced Line)** ويستخدم هذا النوع من الخطوط في شبكات الهاتف وشبكات الحاسوب إضافة لخطوط الضغط العالي والمتوسط والمنخفض.

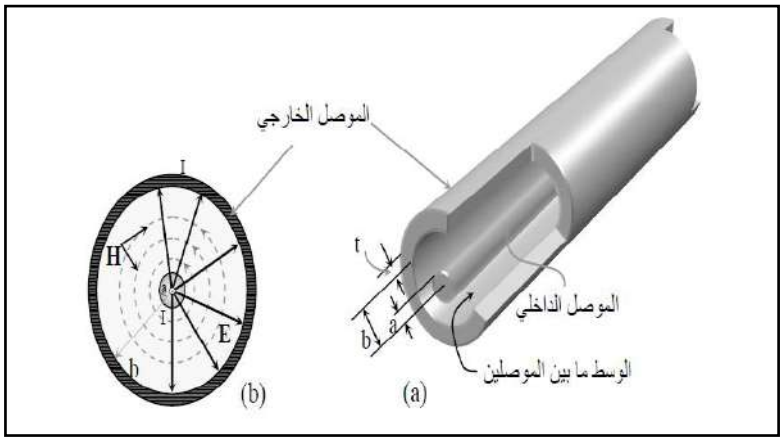


الشكل 5-2 خط النقل المفتوح المكون من موصلين متوازيين متجاورين:
(a) منظور أمامي لخط مفتوح، (b) خطوط المجالات الكهربائية والمغناطيسية

2. القابلو المحوري (Coaxial Cable): و يتكون من موصلين متحدي المركز **(Concentric)**، في الغالب يكون الموصل الداخلي صلباً **(Solid)** والخارجي مكون من شعيرات مجدولة على بعضها ويفصل بينهما مادة عازلة. تعتبر تكلفة هذا النوع من الخطوط أعلى من تكلفة خط النقل المفتوح، ويبين الشكل (3-5) مكونات هذا الخط أضافة الى توضيح خطوط المجالات الكهربائية والمغناطيسية من المنظور الأمامي للخط.

يلاحظ في هذه الحالة أن الخطوط تتواجد فقط داخل الوسط الذي يفصل بين الموصلين وبالتالي فإن تسرب الموجات الكهرومغناطيسية إلى الخارج يكون قليلاً جداً ويتناقص كلما زاد تردد الموجة المنقولة بهذا الخط. يستخدم هذا الخط للترددات التي لا تزيد عن 1 كيكا هيرتز(**GHZ**) ويعتبر الفقد الناتج بسبب الموصلين والمادة العازلة سبباً في هذا التحديد.

ونظراً لعدم وجود التماثل فيما يمكن أن يشاهده مراقب عند منتصف المسافة بين الموصلين فإن هذا الخط يعرف بالخط غير المتوازن **(Unbalanced Line)** ويستخدم هذا النوع من الخطوط في ربط المدن والبلدان المختلفة مع بعضها البعض لنقل المكالمات الهاتفية والبيانات والإشارات التلفازية.

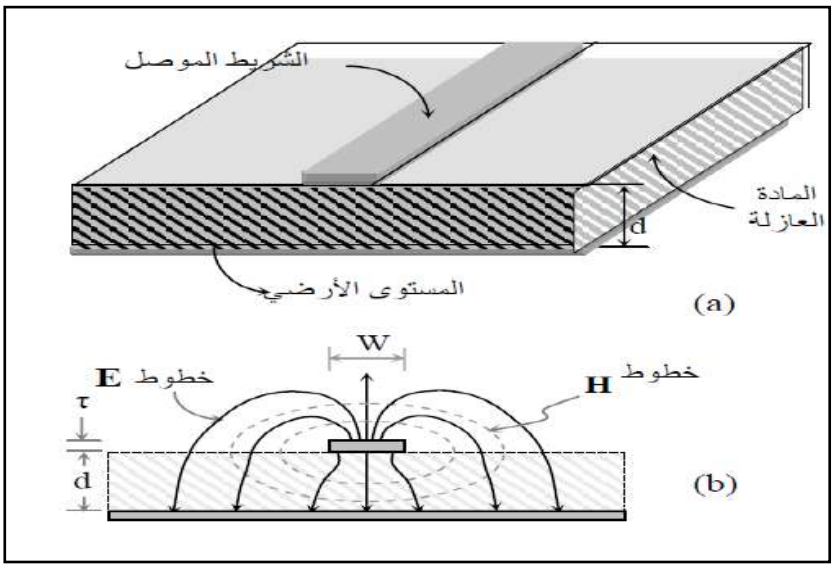


الشكل 5-3 مكونات القابلو المحوري:

(a) منظور أمامي، (b) خطوط المجالات الكهربائية والمغناطيسية

3. خط النقل الشريطي الدقيق (Strip and Microstrip Line): الذي يتكون من موصلين متوازيين يفصل بينهما مادة عازلة ويكون أحد الموصلين على شكل شريط بسمك T لايزيد عن أجزاء من المليمتروعرض **W** يصل الى بضعة سنتيمترات ويكون الأخر على شكل مستوى أرضي **(Ground Plane)** على بعد مسافـة **d** من الشريط تصل إلى بضعة سنتميترات، ويبين الشكل (4-5) مكونات هذا الخط أضافة الى توضيح خطوط المجالات الكهربائية والمغناطيسية من المنظور الأمامي للخط.

وينحصر استخدام هذا النوع من خطوط النقل داخل الأجهزة لمسافات قصيرة ومحدودة ويستخدم غالباً في مدى الترددات الميكروووية **(Microwave Frequencies)** وقد أستخدم هذا النوع من خطوط النقل لبناء الدوائر المطبوعة **(Printed Circuits)** في مدى الترددات المايكروية حيث يتم وصل المكونات الإلكترونية للدائرة مثل الترانزسستورات **(Transistors)** وثنائيات القطب **(Diodes)** ... الخ ضمن دائرة متكاملة مطبوعة.

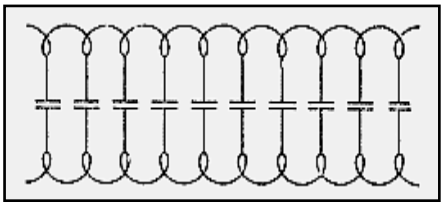


الشكل 5-4 مكونات خط النقل الشريطي الدقيق:

(a) منظور أمامي، (b) خطوط المجالات الكهربائية والمغناطيسية

5-3-2 عناصر (ثوابت) خطوط النقل

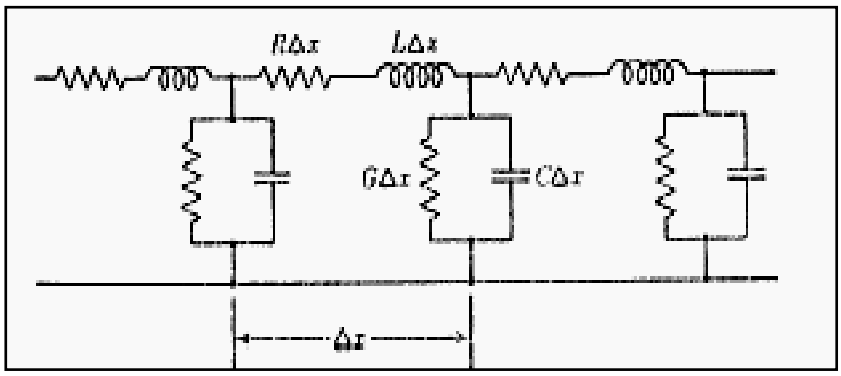
تعتبر المحاثة الموزعة والمتسعة الموزعة من أهم ثوابت خط الحمل. فعند مرور التيار في موصلات خط الحمل، ينشأ فيض مغناطيسي حول الموصلات. وأن أي تغير في الفيض سوف ينتج عنه فولتية بمقدار (المحاثة (**L**) × مقدار التغير في التيار بالنسبة للزمن (**di/dt**). أن المحاثة لموصلات خط النقل موزعة على طول الخط وهي تمثل التأثير الصافي لموصلات الخط وسوف يرمز لها بالرمز (**L**) وتقاس بوحدة هنري لكل وحدة طول. ويوجد بين موصلات الخط المتسعة الموزعة بشكل منتظم ويرمز لها بالرمز (**C**) وتقاس بوحدة فاراد لكل وحدة طول. إن الشكل (5-5) هو رسم توضيحي يوضح المحاثة الموزعة والمتسعة الموزعة لخط الحمل.



الشكل 5-5 رسم توضيحي للمحاثة الموزعة والمتسعة الموزعة

عند النظر لخط النقل بهذه الطريقة ليس من الصعب أن نلاحظ أن التيار و الفولتية على الخط يتغيران من نقطة الى أخرى ويمكن أن يحدث رنين (**Resonance**) في حالات معينة.أضافة للمحاثة والمتسعة، فإن الموصلات تمتلك مقاومة (**R**) مقاسة بوحدة أوم لكل وحدة طول وبهذا فأن تأثير كل الموصلات للخط قد تم أخذه بنظر الأعتبار. وفي الختام فأن العازل لخط النقل قد يسمح بتسرب التيار من موصل الى آخر ويرمز لهذا التأثير بالتوصيلية (**G**) وتقاس بوحدة مو (**mho** وهي مقلوب الأوم وتدعى أيضاً سيمنس **S**) لكل وحدة طول.

بالرغم من أن ثوابت الخط موزعة بشكل منتظم على طول الخط فأننا نستطيع بناء فكرة تقريبية حول تأثير هذه الثوابت وذلك بتخيل أن الخط مكون من مجموعة من المقاطع القصيرة بطول (**Δx**) وكما موضح بالشكل (5-6). فأذا كانت المحاثة مقاسة لكل وحـدة طول فأن المحاثة للمقطع القصير تصبح (**L×Δx**) مقاسة بالهنري. وبشكل مشابه فأن المقاومة تكون (**R× Δx**) مقاسة بالأوم، المتسعة تكون (**C×Δx**) مقاسة بالفاراد و توصيلية التسرب تكون (**G×Δx**) مقاسة بالمو (مقلوب الأوم).



الشكل 5-6 رسم تقريبي يمثل مقطع قصير من خط النقل

بالرغم مـن أن المحاثة والمقاومة يبدوان كأنهما في موصل واحد ولكنهما فعلياً يمثلان التأثير الصافي لكلا الموصلين في مقطع قصير بطول (**Δx**) وكلما قصر طول المقطع فأن الشكل (5-6) يصبح أكثر فأكثر مثل خط النقل الفعلي.

5-3-3 الممانعة المميزة، معامل الأنتشار والسرعة الطورية لخط النقل

من العادي في نظرية خطوط النقل أن نرمز لممانعة التوالي المتناوبة (**A.C.Series Impedance**) بالرمز (**Z**) بوحدة قياس أوم لكل وحدة طول للخط ولسماحية التوازي المتناوبة (**A. C. Shunt Admittance**) بالرمز (**Y**) بوحدة قياس مو (مقلوب الأوم) لكل وحدة طول للخط وكما يلي:

$$Z = R + j\omega L \qquad (2\text{-}5)$$

$$Y = G + j\omega C$$

أن المقدار $\sqrt{Z/Y}$ هو من مميزات خط النقل ويقاس بوحدة الأوم ويدعى بالممانعة المميزة لخط النقل ويرمز لـه بالرمز (Z_o) حيث أن:

$$Z_o = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \qquad (3\text{-}5)$$

هناك نوعين من خطوط النقل وهما:

1. خط نقل عديم الخسائر (**Lossless**) وفي هذه الحالة فأن (**R = G = 0**) ولذلك فأن الممانعة المميزة لهذا النوع تصبح:

$$Z_o = \sqrt{\frac{L}{C}} \qquad (4\text{-}5)$$

وفي هذه الحالة فأن **(Z_o)** مقاومة خالصة ولاتعتمد على التردد.

1. خط نقل بدون تشويه (**Distortionless**) وفي هذه الحالة فأن ($\frac{R}{L} = \frac{G}{C}$) ولذلك فأن الممانعة المميزة لهذا النوع تصبح:

$$Z_o = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = \sqrt{\frac{R(1 + j\omega L/R)}{G(1 + j\omega C/G)}} = \sqrt{\frac{R}{G}} = \sqrt{\frac{L}{C}} \qquad (5\text{-}5)$$

أن المقدار $\sqrt{ZY}$ يبين النمط الذي تتغير به الفولتية (**E**) والتيار (**I**) مع المسافة (**x**) أي أنه يبين طريقة أنتشار الموجات خلال خط النقل ولذلك فهو يدعى بمعامل الأنتشار (**Propagation Constant**) ويرمز له بالرمز (γ) حيث أن:

$$\gamma = \sqrt{YZ} = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \qquad (6\text{-}5)$$

أن معامل الأنتشار في العموم هو عدد مركب (**Complex Number**). أن الجزء الحقيقي من معامل الأنتشار والذي يرمز له بالرمز (**α**) يحدد الطريقة التي تضمحل بها الموجة عند أنتشارها في خط النقل ولذلك فأنه يدعى بمعامل التوهين (**Attenuation Constant**) أما الجزء الخيالي من معامل الأنتشار فيرمز له بالرمز (**β**) وهو يحدد التغير في الموقع الطوري لكل من الفولتية (**E**) والتيار (**I**) على طول الخط ولهذا السبب فهو يدعى بمعامل الطور (**Phase Constant**) ويقاس بوحدة الزاوية نصف القطرية (**Radian**) لكل وحدة طول.

قبل ذكر وحدات قياس (**α**) هناك وحدتان يجب تعريفهما وهما وحدة النيبر (**Neper**) ووحدة الديسبل (**Decibel**) وكما يلي:

1. تعرف وحدة النيبر على أنها اللوغاريتم الطبيعي (**ln**) للنسبة بين فولتيتين أو تيارين وكما يلي:

$$\text{Number of nepers} = \ln\left|\frac{E_1}{E_2}\right| = \ln\left|\frac{I_1}{I_2}\right| \qquad (7\text{-}5)$$

2. تعرف وحدة الديسبل عل أنها 20 مضروبة باللوغاريتم العشري (**$\log_{10}$**) للنسبة بين فولتيتين أو تيارين أو 10 مضروبة باللوغاريتم العشري (**$\log_{10}$**) للنسبة بين قدرتين وكما يلي:

$$\text{Number of decibels} = 20 \times \log_{10}\left|\frac{E_1}{E_2}\right| = 20 \times \log_{10}\left|\frac{I_1}{I_2}\right|$$

$$\text{Number of decibels} = 10 \times \log_{10}\left|\frac{P_1}{P_2}\right| \qquad (8\text{-}5)$$

أن العلاقة بين النيبر والديسبل هي أن 1 نيبر يساوي **8.686** ديسبل. بعد تعريف الوحدتين نستطيع القول أن وحدة قياس (**α**) هي نيبر لكل وحدة طول.

يمكن أستخراج معادلات معامل الأنتشار في كلا نوعي خطوط النقل المذكورة سابقاً وكما يلي:

1. في حالة خط نقل عديم الخسائر (**Lossless**) تكون معادلة معامل الأنتشار كما يلي:

$$\gamma = j\omega\sqrt{LC} \qquad (9\text{-}5)$$

وفي هذه الحالة فإن:

$$\alpha = 0$$

$$\beta = \gamma \qquad (10\text{-}5)$$

2. في حالة خط نقل بدون تشويه (**Distortionless**) تكون معادلة معامل الأنتشار كما يلي:

$$\gamma = \sqrt{ZY} = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \sqrt{RG(1 + j\omega\frac{L}{R})(1 + j\omega\frac{C}{G})} \qquad (11\text{-}5)$$

$$\boldsymbol{\gamma = \sqrt{RG}\left(1 + \frac{j\omega C}{G}\right) = \alpha + j\beta}$$

وفي هذه الحالة فأن:

$$\alpha = \sqrt{RG}$$

$$(12\text{-}5)$$

$$\beta = \omega\sqrt{LC}$$

أن السرعة الطورية تعرف على أنها السرعة التي تنتشر فيها الموجة المتناوبة في الحالة المستقرة والمجالان الكهربائي والمغناطيسي المرافقين لها ولكنها ليست سرعة الألكترونات في السلك ويمكن حسابها بدلالة معامل الطور (**β**) كما يلي:

$$u = \frac{\omega}{\beta} = \frac{2\pi f}{\beta} \qquad (13\text{-}5)$$

حيث أن (**f**) هو تردد المصدر المجهز مقاساً بوحدة هيرتز.

هناك علاقة مفيدة بين الطول الموجي (λ) و معامل الطور (β) وهي

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} \qquad (14\text{-}5)$$

ومن ثم فأن المعادلة (**13**-5) تصبح:

$$u = \frac{\omega}{\beta} = \frac{2\pi f}{\beta} = \lambda f \qquad (15\text{-}5)$$

أن السرعة الطورية لنوعي خطوط النقل التي ذكرت سابقاً لها نفس القيمة للنوعين وكما يلي:

$$u = \frac{\omega}{\beta} = \frac{\omega}{\omega\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \qquad (16\text{-}5)$$

مثال (5-1):

خط نقل عديم الخسائر ذي ممانعة مميزة بمقدار 70 أوم ومعامل طور بمقدار 3 زاوية نصف قطرية لكل متر عند تردد 100 ميجاهيرتز(**MHZ**). أحسب قيمة المحاثة والمتسعة لهذا الخط.

الحل:

بما أن الخط عديم الخسائر فهذا يعني أن:

R = G = 0

وكذلك

α = 0

وحيث أن:

الممانعة المميزة = 70 أوم = $\sqrt{\frac{L}{C}}$

ومعامل الطور= 3 زاوية نصف قطرية لكل متر= $\sqrt{LC}$

وبمقارنة المعادلتين ومن ثم قسمة معامل الطور على (**ωC**) نحصل على:

$$Z_o = \frac{\beta}{\omega C}$$

من المعادلة الأخيرة يمكن حساب (**C**) وكما يلي:

$$70 = \frac{3}{2\times 3.14\times 100\times 10^{6}\times C}$$

من المعادلة الأخيرة نجد أن قيمة المتسعة (**C**) = 68.2 بيكوفاراد لكل متر (1 بيكوفاراد = 10^{-12} فاراد).

وبتعويض قيمة المتسعة في معادلة الممانعة المميزة نستطيع حساب المحاثة (**L**) وكما يلي:

$$70 = \sqrt{\frac{L}{68.2\times 10^{-12}}}$$

وبهذا تكون قيمة المحاثة (**L**) = 334.2 نانوهنري لكل متر (1 نانوهنري = 10^{-9} هنري).

مثال (5-2):

خط نقل بدون تشويه ذي ممانعة مميزة = 60 أوم، معامل التوهين = 20 مليبير لكل متر وسرعة طوريـــــة = 0.6 × سرعة الضوء (**c**). المطلوب حساب المقاومة (**R**)، المحاثة (**L**)، التوصيلية (**G**)، المتسعة (**C**) والطول الموجي (λ) عند تردد 100 ميجاهيرتز(**MHZ**) لهذا الخط.

الحل:

في حالة خط النقل بدون تشويه فأن:

$$\frac{R}{L}=\frac{G}{C}$$

ومن ثم فأن:

الممانعة المميزة = 60 أوم = $\sqrt{\frac{L}{C}}$

ومعامل التوهين = 20 مليبيبر لكل متر = $\sqrt{RG}$

ولكن من العلاقة بين العناصر الأربعة نجد أن:

$$G=\frac{CR}{L}$$

وبتعويض هذه النتيجة في معادلة معامل التوهين فأننا نحصل عل النتيجة التالية:

$$\alpha=\sqrt{RG}=\sqrt{R\times\frac{CR}{L}}=R\sqrt{\frac{C}{L}}=\frac{R}{Z_o}$$

ومن ثم فأن قيمة المقاومة (**R**) ممكن حسابها كما يلي:

$$R = 60 \times 20 \times 10^{-3} = 1.2$$

وبوحدة قياس أوم لكل متر.

أن معادلة السرعة الطورية هي كما يلي:

$$u = \frac{\omega}{\beta}=\frac{\omega}{\omega\sqrt{LC}}=\frac{1}{\sqrt{LC}}$$

وبقسمة الممانعة المميزة على السرعة الطورية نحصل على قيمة المحاثة (**L**) وكما يلي:

$$\frac{Z_o}{u}=\frac{\sqrt{\frac{L}{C}}}{\frac{1}{\sqrt{LC}}}=L$$

ومن ثم فأن قيمة المحاثة (**L**) ممكن حسابها كما يلي:

$$L=\frac{60}{0.6\times 3\times 10^8}=333$$

وبوحدة قياس نانوهنري لكل متر.

عند ضرب الممانعة المميزة بالسرعة الطورية فأننا نحصل على المتسعة (**C**) كما يلي:

$$Z_o u=\sqrt{\frac{L}{C}}\times\frac{1}{\sqrt{LC}}=\frac{1}{C}$$

وبناءاً عليه فأن قيمة المتسعة (**C**) يمكن حسابها كما يلي:

$$\mathbf{C = \frac{1}{60 \times 0.6 \times 3 \times 10^8} = 92.59}$$

وبوحدة قياس بيكوفاراد لكل متر.

يمكن حساب التوصيلية (**G**) من قانون معامل التوهين وكما يلي:

$$\mathbf{G = \frac{\alpha^2}{R} = \frac{400 \times 10^{-6}}{1.2} = 333}$$

وبوحدة قياس مايكرمو لكل وحدة متر (1 مايكرومو = $\mathbf{10^{-6}}$ مو).

أن المطلب الأخير وهو الطول الموجي (**λ**) يمكن حسابه بدلالة السرعة الطورية والتردد وكما يلي:

$$\mathbf{\lambda = \frac{u}{f} = \frac{0.6 \times 3 \times 10^8}{100 \times 10^6} = 1.8}$$

وبوحدة قياس متر.

تمرين (5-1):

أذا كان لديك خط نقل يعمل بتردد 500 ميجاهيرتز(**MHZ**) وكان الخط بالمميزات التالية:

1. ممانعة مميزة تساوي 80 أوم.
2. معامل توهين يساوي 0.04 نيبر لكل متر.
3. معامل طور يساوي 1.5 زاوية نصف قطرية لكل متر.

قم بحساب المقاومة (**R**)، المحاثة (**L**)، التوصيلية (**G**) والمتسعة (**C**) لهذا الخط.

تمرين (5-2):

لديك خط هاتفي يمتلك مقاومة (**R**) تساوي 30 أوم لكل كيلومتر، محاثة (**L**) تساوي 100 ملي هنري لكل كيلومتر، توصيلية (**G**) تساوي 0 و متسعة (**C**) تساوي 20 مايكروفاراد لكل كيلومتر. أحسب مايلي عند التردد 1 كيلوهيرتز(**KHZ**).

1. الممانعة المميزة للخط.
2. معامل الأنتشار للخط.
3. السرعة الطورية للخط.

5-3-4 الأنعكاس ومعامل الأنعكاس ونسبة الموجـــــة الواقفـــــة لخط النقل

إن معامل الأنعكاس **(Reflection Coefficient k)** هو نسبة الفولتية المنعكسة الى الفولتية الساقطة على خط النقل و يمكن تعريفه بدلالة ممانعة الحمل ($\mathbf{Z_t}$) و الممانعة المميزة ($\mathbf{Z_o}$) كما يلي:

$$\mathbf{k = \frac{Z_t - Z_o}{Z_t + Z_o}} \qquad (17\text{-}5)$$

وهو كمية مركبة (**Complex Quantity**) لها مقدار وزاوية. يجب أن نلاحظ أن معامل الأنعكاس يساوي صفر وهذا يعني عدم وجود أنعكاس فقط في حالة واحدة وهي أن الممانعة (Z_t) هي نفسها الممانعة المميزة للخط.

وبناءً عليه أذا كانت ممانعة الحمل (Z_t) لاتساوي الممانعة المميزة للخط فأن هناك موجة منعكسة بأتجاه المصدر. وعند وصول الموجة المنعكسة الى نهاية الخط من جهة المصدر فأنها تنعكس ثانيةً أذا كانت ممانعة المصدر لاتساوي الممانعة المميزة للخط.

أن معامل الأنعكاس (**Reflection Coefficient**) مفيد في حساب نسبة الموجة الواقفة (**Standing Wave Ratio**) ويرمز لها بالرمز (**SWR**) وتعرف على أنها نسبة أكبر فولتية أو تيار على الخط الى أصغر فولتية أو تيار على الخط. أن معادلة نسبة الموجة الواقفة بدلالة معامل الأنعكاس هي:

$$\mathbf{SWR} = \frac{\mathbf{1+|k|}}{\mathbf{1-|k|}} \qquad \textbf{(18-5)}$$

حيث أن (**|k|**) يمثل مقدار معامل الأنعكاس ويتم حسابه من المعادلة التالية:

$$\mathbf{|k|} = \sqrt{\mathbf{real(k)^2 + imaginary(k)^2}} \qquad \textbf{(19-5)}$$

حيث أن (**real(k)**) يمثل الجزء الحقيقي من معامل الأنعكاس و (**imaginary(k)**) هو الجزء الخيالي من معامل الأنعكاس.

هناك ثلاث حالات مهمة يجب ملاحظتها في خطوط النقل تخص معامل الأنعكاس ونسبة الموجة الواقفة وهذه الحالات هي:

1. خط نقل مقصور (**Shorted Line**) وفي هذه الحالة فأن الممانعة (Z_t) تساوي صفر ومن ثم فأن معامل الأنعكاس يساوي (**-1**) وفقاً للمعادلة (5-17) ونسبة الموجة الواقفة تساوي مالانهاية (∞) وفقاً للمعادلة (5-18).
2. خط نقل مفتوح (**Open-Circuited Line**) وفي هذه الحالة فأن الممانعة (Z_t) تساوي مالانهاية (∞) ومن ثم فأن معامل الأنعكاس يساوي (1) وفقاً للمعادلة (5-17) ونسبة الموجة الواقفة تساوي مالانهاية (∞) وفقاً للمعادلة (5-18).
3. خط نقل متوافق (**Matched Line**) وفي هذه الحالة فأن الممانعة (Z_t) تساوي الممانعة المميزة للخط ومن ثم فأن معامل الأنعكاس يساوي صفر وفقاً للمعادلة (5-17) ونسبة الموجة الواقفة تساوي (**1**) وفقاً للمعادلة (5-18). أما إذا كان الخط ليس ضمن الحالات أعلاه فعندها يتم أستخدام المعادلتين (5-17) و (5-18) لأجراء الحسابات وكما موضح بالمثال التالي:

مثال (5-3):

جد معامل الأنعكاس ونسبة الموجة الواقفة أذا كانت الممانعة (Z_t) تساوي ثلاثة أضعاف الممانعة المميزة.

الحل:

من المعادلة (5-17) نحصل على

$$\mathbf{k = \frac{3Z_o - Z_o}{3Z_o + Z_o} = \frac{1}{2}}$$

ومن المعادلة (5-18) نحصل على

$$\mathbf{SWR = \frac{1 + 0.5}{1 - 0.5} = 3}$$

تمرين (5-3):

جد معامل الأنعكاس ونسبة الموجة الواقفة أذا كانت الممانعة ($\mathbf{Z_t}$) تساوي عشرة أضعاف الممانعة المميزة.

4-5 دليل الموجة (Waveguide)

كما ذكر سابقاً فأن خط النقل ممكن أستخدامه لنقل الموجة الكهرومغناطيسية من نقطة معينة (المرسل) الى نقطة أخرى (المستقبل). أن دليل الموجة هو وسيلة أخرى لتحقيق نفس الهدف ولكنه يختلف عن خط النقل في بعض النواحي بالرغم من أن دليل الموجة يمكن أعتباره نوع خاص من أنواع خطوط النقل. أن نواحي الأختلاف بين دليل الموجة وخط النقل هي:

1. أن الموجات الموجودة في خط النقل هي من نوع موجة تعامدية المجال الكهربائي والمغناطيسي **TEM (Transverse Electric and Magnetic)** بينما نجد أن دليل الموجة يدعم أنواع أخرى من الموجات مثل موجة تعامدية المجال الكهربائي **(TE)** أو موجة تعامدية المجال المغناطيسي **(TM)**.
2. في ترددات المايكروويف**(Microwave)** نجد أن خطوط النقل غير كفوءة بسبب تأثير الظاهرة السطحية **(Skin Effect)** (وتعرّف على أنها ميل الشحنات الكهربائية ذات الترددات العالية الى السريان على السطح الخارجي للموصل فقط، بسبب زيادة المقاومة الفعالة للموصل عند أزدياد تردد الأشارة المارة فيه) أضافة الى الخسائر نتيجة العوازل المستخدمة في الخط بينما نجد أن دليل الموجة يستخدم في ترددات المايكروويف لأنه يوفر حزمة نطاق كبيرة **(Large Bandwidth)** وتوهين واطئ للأشارة **(LowSignal Attenuation)**.
3. أن خط النقل يعمل في مدى ترددات يبدأ بتردد التيار المستمر **(f=0)** ويمتد الى أن يصل الى تردد عالي جداً. لكن على النقيض نجد أن دليل الموجة يعمل فقط فوق تردد معين يعرف بتردد القطع **(Cutoff Frequency)** ولذلك فأنه يعمل كمرشح ترددات عالية **(High-pass Filter)** وبناءً عليه فأن دليل الموجة لاينقل موجة التيار المستمر وأن حجم دليل الموجة يصبح كبيراً جداً في الترددات الأقل من نطاق ترددات المايكروويف**(Microwave)**.

إن دليل الموجة هو خط نقل مكون من موصل واحد (مفرغ). وفي هذه الحالة وفي غياب الموصل الداخلي (يوجد فقط موصل خارجي وليس مثل القابلو المحوري الذي يتكون من موصلين) فإن المجال الكهربائي (أو) المجال المغناطيسي، الذي يكون باتجاه الخط الذي يصل المرسل بالمستقبل، يعمل كبديل لهذا الموصل. في ضوء ذلك تكون الموجات الناتجة في دلائل الموجة موجات تعامدية المجال الكهربائي **(TE)** أو موجات تعامدية المجال المغناطيسي **(TM)** أو كليهما. ويبين الشكل (5-7) المجالات الكهرومغناطيسية لهذه الموجات في حالة القابلو المحوري ودلائل الموجة حيث تم اعتماد المحور **(z)** كخط مرجعي ممثلاً للموصل الداخلي للكابل المحوري أو ممثلاً للخط الواصل بين المرسل والمستقبل لدلائل الموجة. تم أستخدام $\mathbf{E}_\perp$ و $\mathbf{H}_\perp$ لتمثلان المجالات الكهرومغناطيسية في المستوى العمودي على **(z)** وأستخدمت $\mathbf{E_z}$ و $\mathbf{H_z}$ للمجالات الكهرومغناطيسية في اتجاه **(z)**. أن المجالين $_{\mathbf{z}}$ و $\mathbf{H_z}$ لهما دور مهم في أيجاد المجالات الأخرى ($\mathbf{E}_\perp$ و $\mathbf{H}_\perp$) في دلائل الموجة.

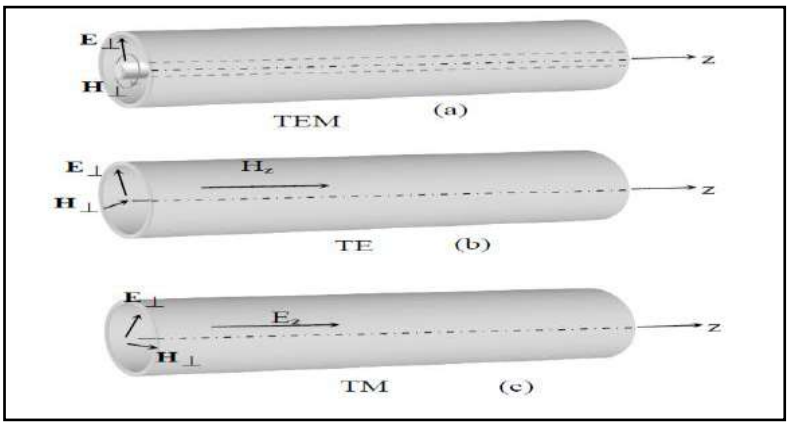
من الشكل (5-7) نلاحظ ثلاثة موجات مختلفة وهي:

1. موجة تعامدية المجال الكهربائي والمغناطيسي **(Transverse Electric and Magnetic)** **TEM** وفي هذه الحالة نلاحظ أن المجالين $\mathbf{E_z}$ و $\mathbf{H_z}$ كلاهما غير موجود.
2. موجة تعامدية المجال الكهربائي **(TE)** وفي هذه الحالة نلاحظ أن ($\mathbf{E_z}$= 0) و ($\boldsymbol{H_z \neq 0}$).
3. موجة تعامديةالمجال المغناطيسي**(TM)** وفي هذه الحالة نلاحظ أن ($\mathbf{H_z}$= 0) و ($\mathbf{E_z \neq 0}$).

بالرغم من أن دليل الموجة ممكن أن يتخذ أي شكل ولكن هناك نوعان شائعان من دلائل الموجة وهما:

1. دليل الموجة ذي المقطع المستطيل **(Rectangular Waveguide)**.
2. دليل الموجة ذي المقطع الدائري **(Circular Waveguide)**.

في المقاطع القادمة من هذا الفصل سوف نقوم بدراسة كل نوع من نوعي دلائل الموجة بدرجة معينة من التفصيل بحيث يتم توضيح الخصائص المهمة لكل نوع دون الدخول في تعقيدات النظرية الكهرومغناطيسية لماكسويل.

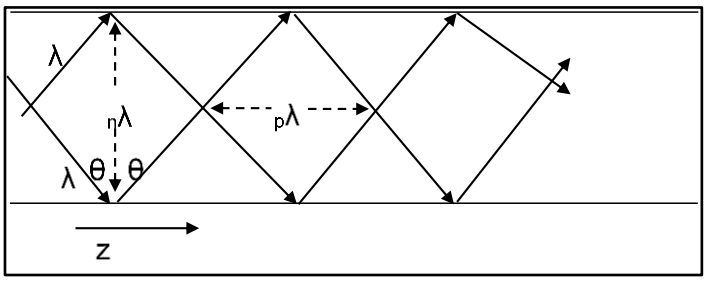


الشكل 5-7 الموجات المختلفة والمجالات الكهرومغناطيسية الخاصة/ (a) موجة تعامدية المجالين الكهربائي والمغناطيسي (TEM)/ (b) موجة تعامدية المجال الكهربائي (TE)/ (c) موجة تعامدية المجال المغناطيسي (TM)

1-4-5 دليل الموجة ذي المقطع المستطيل (Rectangular Waveguide)

أن دليل الموجة ذي المقطع المستطيل هو أنبوب معدني مجوف ذي مقطع مستطيل أن الجدران الموصلة للدليل تقوم بعملية حجز المجالين الكهربائي والمغناطيسي ومن ثم توجيه الموجة الكهرومغناطيسية.هناك أشكال أو أنماط (Modes) مختلفة للمجالات الموجودة في دليل الموجةعندما تسيرالموجات طولياً خلال الدليل فأن الموجات المستويــة (Plane Waves) سوف تنعكس من جدار الى آخر ونتيجة لذلك تتولد مركبة للمجــال الكهربائي أو المجــال المغناطيسي بأتجاه أنتشار الموجـة الناتجة ولذلك فأن الموجة ليست موجة تعامديـة المجال الكهربائي والمغناطيسي (TEM).

أن الشكل (5-8)هو رسم توضيحي يبين أن أي موجة مستوية منتظمة تسير في دليل موجة عديم الخسائر يمكن تحليلها الى موجات من نوع (TE) أو (TM).



الشكل 5-8 شكل توضيحي يبين عملية أنعكاس الموجة المستوية في دليل الموجة

من الواضح من الشكل (5-8) إن الطول الموجي (λ) بأتجاه أنتشار الموجة الساقطة سوف تكون له مركبتان وهما:

1. مركبة عمودية على السطح العاكس (λ_n).
2. مركبة موازية للسطح العاكس (λ_p).

يمكن حساب المركبتين بدلالة زاوية السقوط (θ) كما يلي:

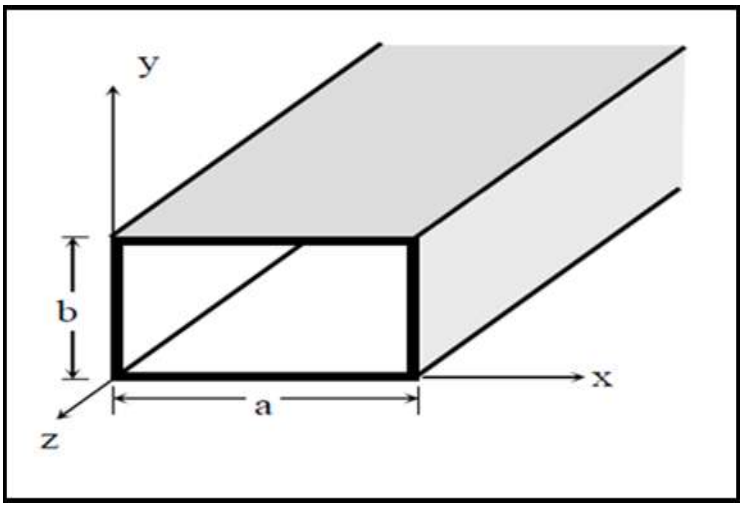
$$\lambda_n = \frac{\lambda}{\cos(\theta)} \qquad (20\text{-}5)$$

$$\lambda_p = \frac{\lambda}{\sin(\theta)} \qquad (21\text{-}5)$$

حيث أن (λ) هو الطول الموجي لأشارة مسلطة في وسط غير محدود.

مما ذكر أعلاه يتبين أن الموجة المستوية تتحلل الى مركبتين، الأولى بأتجاه عمودي على الجدران العاكسة للدليل والثانية تسير بأتجاه موازي للجدران العاكسة. في حالة دلائل الموجة عديمة الخسائر (Lossless Wave guides) تكون أنماط الموجة أما تعامدية المجال الكهربائي (TE) أو تعامدية المجال المغناطيسي (TM) ويرمز لهذه الأنماط في حالة دليل الموجة ذي المقطع المستطيل بالرموز (TE_{mn}) و (TM_{mn}). أن العدد الصحيح (m) يمثل عدد أنصاف الموجة للمجالين الكهربائي والمغناطيسي بأتجاه محور (x)

بينما يمثل العدد الصحيح (**n**) عدد أنصاف الموجة بأتجاه محور (**y**) بفرض أن أتجاه الأنتشار للموجة هو محور (**z**) الموجب. أن منظومة المحاور الأحداثية المتعامدة التي توضح شكل دليل الموجة ذي المقطع المستطيل موضحة بالشكل (5-9).



الشكل 5-9 منظومة المحاور الإحداثية المتعامدة مع دليل الموجة ذي المقطع المستطيل

حيث أن (**a**) و (**b**) يمثلان طول وعرض المقطع المستطيل على التوالي. أذا فرضنا أن أتجاه الأنتشار للموجة في الدليل هو محور (**z**) الموجب فأن معامل الأنتشار ($\boldsymbol{\gamma_g}$) في دليل الموجة يختلف عن معامل الأنتشار الأصيل ($\boldsymbol{\gamma}$) للعوازل ويعرف كما يلي:

$$\boldsymbol{\gamma_g^2 = \gamma^2 + k_c^2} \qquad (22\text{-}5)$$

حيث أن ($\mathbf{k_c}$) يمثل رقم القطع الموجي (**Cutoff Wave Number**) و ($\boldsymbol{\gamma}$) تعرف حسب المعادلة التالية:

$$\boldsymbol{\gamma = \sqrt{j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon)} = \alpha + j\beta} \qquad (23\text{-}5)$$

حيث أن (μ) هي النفاذية (**Permeability**) و (σ) تمثل التوصيلية (**Conductivity**) و(ε) هي السماحية (**Permittivity**) وهذه الثوابت تعتمد على المادة العازلة التي تملأ الأنبوب المجوف لدليل الموجة. أما (α) و (β) فيمثلان ثوابت التوهين والطور على التوالي وقد تم مناقشتهما سابقاً في خطوط النقل.

أذا كانت المادة العازلة التي تملأ الأنبوب الجوف لدليل الموجة عديمة الخسائر فأن المعادلة (23-5) تصبح:

$$\boldsymbol{\gamma^2 = -\omega^2\mu\epsilon} \qquad (24\text{-}5)$$

ومن ثم فأن المعادلة (22-5) تصبح:

$$\boldsymbol{\gamma_g = \pm j\sqrt{\omega^2\mu\epsilon - k_c^2}} \qquad (25\text{-}5)$$

وبناءاً عليه فأن هناك ثلاث حالات لمعامل الأنتشار ($\boldsymbol{\gamma_g}$) في دليل الموجة وهي:

1. حالة عدم حدوث أنتشار في الدليل أي أن $(\omega_c^2\mu\epsilon = k_c^2)$ وعليه فأن $(\gamma_g = 0)$ حيث أن (ω_c) يمثل (تردد القطع للدليل مضروباً ب (2π)). أن هذه الحالة هي الحالة الحرجة لقطع عملية الأنتشار ويمكن حساب تردد القطع من المعادلة التالية:

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}}\sqrt{k_c^2} \qquad (26\text{-}5)$$

2. حالة حدوث أنتشار في الدليل أي أن $(\omega_c^2\mu\epsilon > k_c^2)$ ومن ثم فأن:

$$\gamma_g = \pm j\beta_g = \pm j\omega\sqrt{\mu\epsilon}\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2} \qquad (27\text{-}5)$$

وهذا يعني أن تردد العمل يجب أن يكون أعلى من تردد القطع لكي تنتشر الموجة في الدليل.

3. حالة توهين الموجة في الدليل أي أن $(\omega_c^2\mu\epsilon < k_c^2)$ ومن ثم فأن:

$$\gamma_g = \pm\alpha_g = \pm\omega\sqrt{\mu\epsilon}\sqrt{\left(\frac{f_c}{f}\right)^2 - 1} \qquad (28\text{-}5)$$

وفي هذه الحالة أذا كان تردد العمل أقل من تردد القطع فأن الموجة تتناقص وفق منحني أسي ولذلك سوف لن يكون هناك أنتشار للموجة لأن معامل الأنتشار في هذه الحالة كمية حقيقية وفقاً للمعادلة (28-5).

عند دراسة دليل الموجة ذي المقطع المستطيل هناك نوعين من الموجات يجب توضيح الخصائص المهمة لكل منهما وكما يلي:

1. موجة تعامدية المجال الكهربائي (TE):

أن الخصائص المهمة لهذا النوع من الموجات في دلائل الموجة ذات المقطع المستطيل هي:

a. رقم القطع الموجي (k_c) ويمكن تعريفه لأنماط الموجة (TE) ويرمز لها (TE_{mn}) كما يلي:

$$k_c = \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} = \omega_c\sqrt{\mu\epsilon} \qquad (29\text{ -}5)$$

حيث أن (m) و (n) هما رقمان صحيحان يساويان $(0,1,2,\ldots..)$ وممكن أن يساوي كلاهما (0) وفي نفس النمط. في المعادلة السابقة تقاس وحدات الطول (a) والعرض (b) بالمتر.

b. تردد القطع (f_c) ويمكن تعريفه لأنماط الموجة (TE) ويرمز لها (TE_{mn}) كما يلي:

$$f_c = \frac{1}{2\sqrt{\mu\epsilon}}\sqrt{\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2}} \qquad (30\text{-}5)$$

c. معامل الأنتشار أو معامل الطور (β_g) في هذه الحالة ويعرف كما يلي:

$$\beta_g = \omega\sqrt{\mu\epsilon}\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2} \qquad (31\text{-}5)$$

ويمكن تعريف السرعة الطورية (v_g) بأتجاه محور(z) الموجب ولجميع أنماط (TE) كما يلي:

$$v_g = \frac{\omega}{\beta_g} = \frac{v_p}{\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2}} \qquad (32\text{-}5)$$

حيث أن (v_p) تمثل السرعة الطورية في عازل غير محدود وتساوي $\left(\frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}\right)$.

d. الممانعة الموجية المميزة (Z_g) **(Characteristics Wave Impedance)** ولجميع أنماط **(TE)** يمكن حسابها من المعادلة التالية:

$$Z_g = \frac{\eta}{\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2}} \qquad (33\text{-}5)$$

حيث أن (η) تمثل الممانعة الأصيلة **(Intrinsic Impedance)** في عازل غير محدود وتساوي $(\sqrt{\mu/\epsilon})$.

أما الممانعة المميزة (Z_{0g}) لدليل الموجة ذي المقطع المستطيل فيمكن حسابها كما يلي:

$$Z_{0g} = \frac{b}{a}\frac{\eta}{\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2}} \qquad (34\text{-}5)$$

ويمكن حساب الطول الموجي في دليل الموجة (λ_g) ولجميع أنماط **(TE)** كما يلي:

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2}} \qquad (35\text{-}5)$$

حيث أن (λ) تمثل الطول الموجي في عازل غير محدود ويمكن حسابها بأستخدام المعادلة $\left(\frac{v_p}{f}\right)$.

2. موجة تعامدية المجال المغناطيسي **(TM)**:

أن الخصائص المهمة لهذا النوع من الموجات في دلائل الموجة ذات المقطع المستطيل هي:

a. تردد القطع (f_c) ويحسب من المعادلة **(5-30)**.

b. معامل الطور (β_g) ويحسب من المعادلة **(5-31)**.

c. الطول الموجي (λ_g) ويحسب من المعادلة **(5-35)**.

d. السرعة الطورية (v_g) وتحسب من المعادلة **(5-32)**.

e. الممانعة الموجية (Z_g) وتحسب من المعادلة التالية:

$$Z_g = \eta\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2} \qquad (36\text{-}5)$$

وكذلك يمكن حساب الممانعة المميزة (Z_{0g}) كما يلي:

$$Z_{0g} = \frac{b\eta}{a}\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2} \qquad (37\text{-}5)$$

حيث أن (**m**) و (**n**) هما رقمان صحيحان يساويان (**1,2,3,.....**) وليس من الممكن أن يساوي أي منهما أو كلاهما صفر (0) أي أن الأنماط ($\mathbf{TM_{01}}$)، ($\mathbf{TM_{10}}$) أو ($\mathbf{TM_{00}}$) غير موجودة في دليل الموجة ذي المقطع المستطيل.

في حالة دليل الموجة ذي المقطع المستطيل هناك دائماً علاقة تناظر بين الأنماط ($\mathbf{TE_{mn}}$) و ($\mathbf{TM_{mn}}$) أي أن ($\mathbf{TE_{11} = TM_{11}}$)، ($\mathbf{TE_{12} = TM_{12}}$) و ($\mathbf{TE_{22} = TM_{22}}$) وتستمر هذه العلاقة بزيادة قيم (**m**) و (**n**). يتم بناء دلائل الموجة ذات المقطع المستطيل بحجم معين بحيث أن هناك نمط واحد فقط ينتشر في الدليل وأن الأبعاد المستخدمة عادةً لهذه الدلائل هي (**a = 2b**). أن النمط ذي تردد القطع الأدنى في دليل معين يدعى بالنمط السائد (**Dominant Mode**) وفي حالة دليل الموجة ذي المقطع المستطيل فأن الطور السائد في حالة (**a > b**) هو ($\mathbf{TE_{10}}$) وأن كل نمط ينتشر في الدليل له شكل معين للمجال الكهربائي أو المغناطيسي.

من الطبيعي أن كل الأنماط لا تظهر في نفس الوقت في دليل معين. في الحقيقة أن النمط السائد سوف ينتشر والأنماط الأعلى على مقربة من المصدر أو مناطق الأنفصال (**Discontinuities**) سوف تضمحل بشكل سريع جداً أذا تم أثارة الدليل بواسطة نمط واحد.

مثال (5-4):

أفرض أن لديك دليل موجة ذي مقطع مستطيل مملوء بالهواء بأبعاد (7× 3.5) سنتيمتر يعمل بالطور السائد ($\mathbf{TE_{10}}$). جد تردد القطع ($\mathbf{f_c}$)، السرعة الطورية ($\mathbf{v_g}$) عند تردد (3.5) جيجاهيرتز(**GH2**) (1جيجاهيرتز = 10^9 هيرتز) و الطول الموجي ($\boldsymbol{\lambda_g}$) عند نفس التردد.

الحل:

1. من المعادلة (5-30) نجد أن:

$$\mathbf{f_c = \frac{1}{2\sqrt{\mu\epsilon}}\sqrt{\frac{m^2}{a^2}+\frac{n^2}{b^2}}}$$

ولكن بما أن العازل الذي يملأ الدليل هو الهواء فأن النفاذية (μ) (**Permeability**) هي نفاذية الفراغ وتساوي ($\mathbf{4\pi \times 10^{-7}}$) وتقاس بوحدة هنري لكل متر والسماحية (ε) (**Permittivity**) هي سماحية الفراغ وتساوي ($\mathbf{8.849 \times 10^{-12}}$) وتقاس بوحدة فاراد لكل متر ومن ثم فإن:

$$\mathbf{\frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{1}{\sqrt{(4\pi \times 10^{-7}) \times (8.849 \times 10^{-12})}} = 3 \times 10^8}$$

تمثل نتيجة الحسابات السابقة سرعة الضوء (**c**) (التي ذكرت سابقاً) والتي تقاس بوحدة متر بالثانية وبناءً عليه فأن:

$$f_c = \frac{1}{2\sqrt{\mu\epsilon}}\sqrt{\frac{m^2}{a^2}+\frac{n^2}{b^2}} = \frac{c}{2a} = \frac{3\times10^8}{2\times7\times10^{-2}} = 2.14 \qquad (m=1, n=0)$$

وبوحدة قياس جيجاهيرتز. GHZ

2. من المعادلة (5-32) نجد أن:

$$v_g = \frac{\omega}{\beta_g} = \frac{v_p}{\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2}}$$

ولكن (v_p) تساوي المقدار $\frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}$ والذي تم حسابه سابقاً وكانت النتيجة سرعة الضوء وعليه فأن:

$$v_g = \frac{\omega}{\beta_g} = \frac{v_p}{\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2}} = \frac{3\times10^8}{\sqrt{1-\left(\frac{2.14}{3.5}\right)^2}} = 3.78\times10^8$$

وبوحدة قياس متر بالثانية.

3. من المعادلة (5-35) نجد أن:

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2}}$$

ولكن (λ) يساوي $(\frac{V_p}{F})$ وكما ذكر سابقاً فأن (v_p) تساوي سرعة الضوء وعليه فأن:

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2}} = \frac{\left(\frac{3\times10^8}{3.5\times10^9}\right)}{\sqrt{1-\left(\frac{2.14}{3.5}\right)^2}} = 10.8$$

وبوحدة قياس سنتيمتر.

تمرين (5-4):

أفرض أن لديك دليل موجة ذي مقطع مستطيل مملوء بالهواء بأبعاد (2.5 × 5) سنتيمتر يعمل بالطور (TM_{22}). جد تردد القطع (f_c)، السرعة الطورية (v_g) عند تردد هو ضعف تردد القطع $(2f_c)$ والطول الموجي (λ_g) عند نفس التردد.

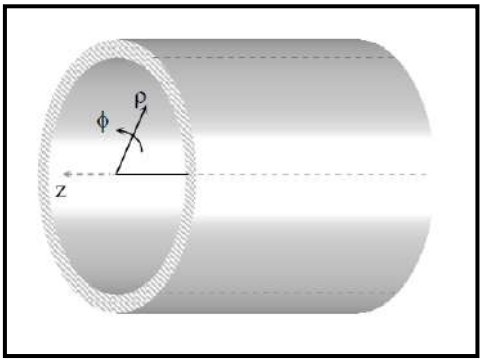
ملاحظة:

أستخدم m = n = 2.

2-4-5 دليل الموجة ذي المقطع الدائري (Circular Waveguide)

أن دليل الموجة ذي المقطع الدائري هو عبارة عن موصل دائري أنبوبي. أن الموجة المستوية التي تنتشر في هذا النوع من دلائل الموجة ناتجة أما عن نمط موجة تعامدية المجال الكهربائي (TE) أو نمط موجة تعامدية المجال المغناطيسي (TM).

سوف يتم في هذا النوع أستخدام المحاور الأحداثية الأسطوانية (ρ, φ, z) والتي توضح شكل دليل الموجة ذي المقطع الدائري وكما موضح بالشكل (5-10).



الشكل 5-10 منظر أمامي لدليل الموجة ذي المقطع الدائري والاحداثيات الاسطوانية

إن عملية حساب معامل الطور (β_g)، رقم القطع الموجي (k_c)، تردد القطع (f_c)، السرعة الطورية (v_g)، الطول الموجي (λ_g)، الممانعة الموجية (Z_g) والممانعة المميزة (Z_{og}) في حالة دليل الموجة ذي المقطع الدائري لأنماط موجة تعامدية المجال الكهربائي (TE) أو أنماط موجة تعامدية المجال المغناطيسي (TM) تتطلب أستخدام مجموعة من الدوال الرياضية تدعى بدوال بيسيل (Bessel Functions).

إن دوال بيسيل هي مجموعة من الدوال الرياضية ضمن مفردات كتب الرياضيات المتقدمة و تكون بأنواع (Kinds) مختلفة وهناك مجموعة من الجدوال يمكن أستخدامها لتسهيل عملية الحساب بواسطة هذه الدوال. إن أنماط الموجة التعامدية المجال الكهربائي (TE) يرمز لها (TE_{np}) و أنماط الموجة التعامدية المجال المغناطيسي (TM) يرمز لها (TM_{np}) حيث أن (n) يمثل عدد الدورات الكاملة لتغير المجال ضمن لفة واحدة للزاوية (φ) بمقدار (2π) زاوية نصف قطرية و(p) يمثل عدد جذور (القيم التي تجعل قيمة الدالة 0) دالة المجال الكهربائي وله علاقة مباشرة بدوال بيسيل.

أن (n) هو رقم صحيح يساوي (0,1,2,.....) و (p) هو رقم صحيح يساوي. (1,2, 3,.....) في حالة أنماط الموجة التعامدية المجال الكهربائي (TE) و كذلك في حالة أنماط الموجة التعامدية المجال المغناطيسي (TM). في دليل الموجة ذي المقطع الدائري هناك نوعين من الموجات يجب توضيح الخصائص المهمة لكل منهما وكما يلي:

1. موجة تعامدية المجال الكهربائي (TE):

أن الخصائص المهمة لهذا النوع من الموجات في دلائل الموجة ذات المقطع الدائري هي:

a. معامل الطور (β_g) ويمكن حسابه من المعادلة التالية:

$$\beta_g = \sqrt{\omega^2 \mu\epsilon - \left(\frac{X'_{np}}{a}\right)^2} \qquad (38\text{-}5)$$

أن القيمة $\left(\frac{X'_p}{a}\right)$ تمثل رقم القطع الموجي (k_c) حيث أن (a) يمثل نصف قطر الدليل. أن المتغير (X'_{np}) يمثل جذور مشتقة دوال بيسيل لقيم مختلفة لـ (n) و (p) ويمكن أستخراجه لبعض قيم (n) و(p) من الجـــــدول (1-5):

الجدول 5-1 قيم المتغير (X'_{np}) عند قيم معينة لـ (n) و (p)

	N					
p	0	1	2	3	4	5
1	**3.832**	**1.841**	**3.054**	**4.201**	**5.317**	**6.416**
2	**7.016**	**5.331**	**6.706**	**8.015**	**9.282**	**10.520**
3	**10.173**	**8.536**	**9.969**	**11.346**	**12.682**	**13.987**
4	**13.324**	**11.706**	**13.170**			

B. تردد القطع (f_c) ويمكن حسابه كما يلي:

$$f_c = \frac{X'_{np}}{2\pi a\sqrt{\mu\epsilon}} \qquad (39\text{-}5)$$

c. السرعة الطورية (v_g) وتحسب كما يلي:

$$v_g = \frac{v_p}{\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2}} \qquad (40\text{-}5)$$

حيث أن (v_p) تمثل السرعة الطورية في عازل غير محدود وتساوي $\left(\frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}\right)$.

d. الطول الموجي (λ_g) والممانعة الموجية (Z_g) ويمكن حسابهما من المعادلات التالية:

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2}} \qquad (41\text{-}5)$$

$$Z_g = \frac{\eta}{\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2}} \qquad (42\text{-}5)$$

حيث أن (λ) تمثل الطول الموجي في عازل غير محدود ويمكن حسابها بأستخدام المعادلة $\left(\frac{v_p}{f}\right)$ و(η) تمثل الممانعة الأصيلة (**Intrinsic Impedance**) في عازل غير محدود وتساوي $(\sqrt{\mu/\epsilon})$.

أما الممانعة المميزة (Z_{0g}) لدليل الموجة ذي المقطع الدائري فيمكن حسابها كما يلي:

$$Z_{0g} = \frac{\eta}{2\pi\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2}} \qquad (43\text{-}5)$$

2. موجة تعامدية المجال المغناطيسي (TM):

أن الخصائص المهمة لهذا النوع من الموجات في دلائل الموجة ذات المقطع الدائري هي:

a. معامل الطور (β_g) ويحسب من المعادلة من المعادلة التالية:

$$\beta_g = \sqrt{\omega^2\mu\epsilon - \left(\frac{X_{np}}{a}\right)^2} \qquad (44\text{-}5)$$

حيث أن القيمة ($\frac{X_{np}}{a}$) تمثل رقم القطع الموجي (k_c). أن المتغير (X_{np}) يمثل جذور دوال بيسيل لقيم مختلفة لـ (n) و (p) ويمكن أستخراجه لبعض قيم (n) و (p) من الجدول (5-2):

الجدول 5-2 قيم المتغير (X_{np}) عند قيم معينة لـ (n) و (p)

	N					
p	0	1	2	3	4	5
1	**2.405**	**3.832**	**5.136**	**6.380**	**7.588**	**8.771**
2	**5.520**	**7.106**	**8.417**	**9.761**	**11.065**	**12.339**
3	**8.645**	**10.173**	**11.620**	**13.015**	**14.372**	
4	**11.792**	**13.324**	**14.796**			

b. تردد القطع (f_c) ويحسب من المعادلة التالية:

$$f_c = \frac{X_{np}}{2\pi a\sqrt{\mu\epsilon}} \qquad (45\text{-}5)$$

c. السرعة الطورية (v_g) وتحسب من المعادلة (5-**40**).

d. الطول الموجي (λ_g) ويحسب من المعادلة (5-**41**).

e. الممانعة الموجية (Z_g) وتحسب من المعادلة التالية:

$$Z_g = \eta\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2} \qquad (46\text{-}5)$$

وكذلك يمكن حساب الممانعة المميزة (Z_{0g}) كما يلي:

$$Z_{0g} = \frac{\eta}{2\pi}\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2} \qquad (47\text{-}5)$$

هناك ملاحظة لابد من ذكرها هنا و هي أن النمط السائد (**Dominant Mode**) في دليل الموجة ذي المقطع الدائري هو النمط ($\mathbf{TE_{11}}$).

مثال (5-5):

أفرض أن لديك دليل موجة ذي مقطع دائري مملوء بالهواء نصف قطره (**a**) يساوي (5) سنتيمتر يعمل بالطور السائد ($\mathbf{TE_{11}}$). جد تردد القطع ($\mathbf{f_c}$) ، الطول الموجي ($\boldsymbol{\lambda_g}$) عند تردد (3) **GHz** (1) جيجاهيرتز = 10^9 هيرتز و الممانعة الموجية ($\mathbf{Z_g}$) عند نفس التردد.

الحل:

من الجدول (5-1) نجد أنه عند (**n = p =1**) فأن ($\mathbf{X'_{11}}$) يساوي (**1.841**) ومن ثم فأن:

ولكن بما أن العازل الذي يملأ الدليل هو الهواء فأن:

$$\frac{\mathbf{1}}{\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{\mathbf{1}}{\sqrt{(4\pi \times 10^{-7}) \times (8.849 \times 10^{-12})}} = \mathbf{3 \times 10^8}$$

ومن ثم فأن:

$$\mathbf{f_c} = \frac{\mathbf{X'_{np}}}{\mathbf{2\pi a\sqrt{\mu\epsilon}}} = \frac{\mathbf{1.841 \times 3 \times 10^8}}{\mathbf{2 \times \pi \times 5 \times 10^{-2}}} = \mathbf{1.758}$$

وبوحدة قياس جيجاهيرتز. **GHZ**

لحساب معامل الطور فأن:

$$\beta_g = \sqrt{\omega^2\mu\epsilon - \left(\frac{X'_{np}}{a}\right)^2}$$

$$= \sqrt{(2 \times \pi \times 3 \times 10^9)^2 \times (4 \times \pi \times 10^{-7} \times 8.849 \times 10^{-12}) - \left(\frac{1.841}{5 \times 10^{-2}}\right)^2}$$

$$= 50.9$$

وبوحدة قياس زاوية نصف قطرية لكل متر.

ولحساب المطلب الأخير وهو الممانعة الموجية نستخدم المعادلة التالية:

$$\mathbf{Z_g} = \frac{\eta}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}} = \frac{\sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{1.758}{3}\right)^2}} = \frac{\sqrt{\frac{4 \times \pi \times 10^{-7}}{8.849 \times 10^{-12}}}}{0.81} = 465$$

وبوحدة قياس أوم.

تمرين (5-5):

أفرض أن لديك دليل موجة ذي مقطع دائري مملوء بالهواء نصف قطره (**a**) يساوي (4) سنتيمتر يعمل بالطور ($\mathbf{TM_{21}}$). جد تردد القطع ($\mathbf{f_c}$)، الطول الموجي ($\boldsymbol{\lambda_g}$) عند تردد (8) جيجاهيرتز(**GHZ**) (1 جيجاهيرتز = 10^9 هيرتز) و الممانعة الموجية ($\mathbf{Z_g}$) عند نفس التردد.

ملاحظة: يجب أن يستخدم الجدول (5-2) في الحل.

5-5 صمامات ومولدات الموجات الدقيقة

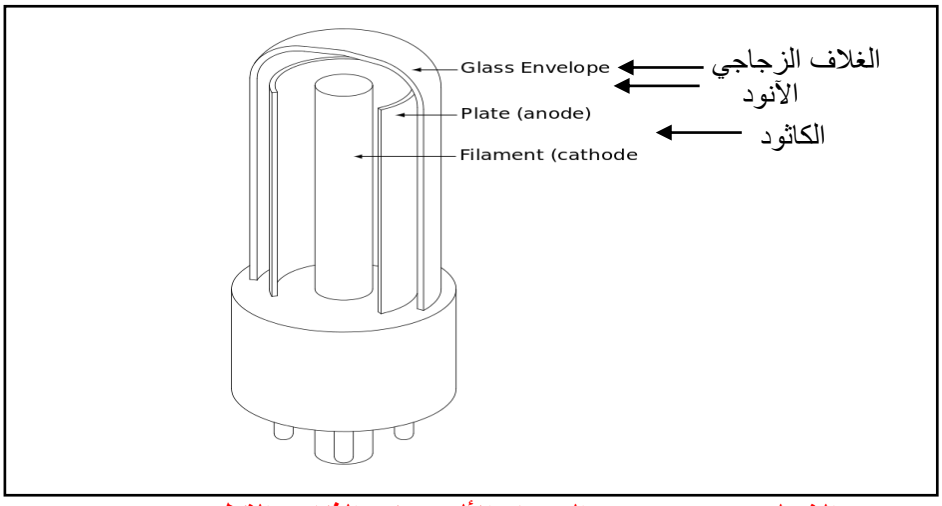
1-5-5 صمامات الموجات الدقيقة

أن الصمام الألكتروني مكون من حاوية زجاجية أو معدنية مغلقة تم سحب الهواء منها وقد تم أستخدامه مبكراً في الدوائر الألكترونية للسيطرة على تدفق الألكترونات. في النصف الأول من القرن العشرين ساهمت الصمامات الألكترونية المفرغة من الهواء في بناء منظومات البث الأذاعي، خدمات الهاتف لمسافات بعيدة وأول حاسوب الكتروني رقمي ولكن بمرور الوقت أستبدلت الصمامات الألكترونية بالترانزستور في أغلب التطبيقات. بالرغم من ظهور الترانزستور فأن الصمامات الألكترونية لاتزال تستخدم أحياناً في شاشات أجهزة التلفاز والحاسوب، الأفران المايكروية ومرسلات منظومات الستلايت ذات الترددات العالية.

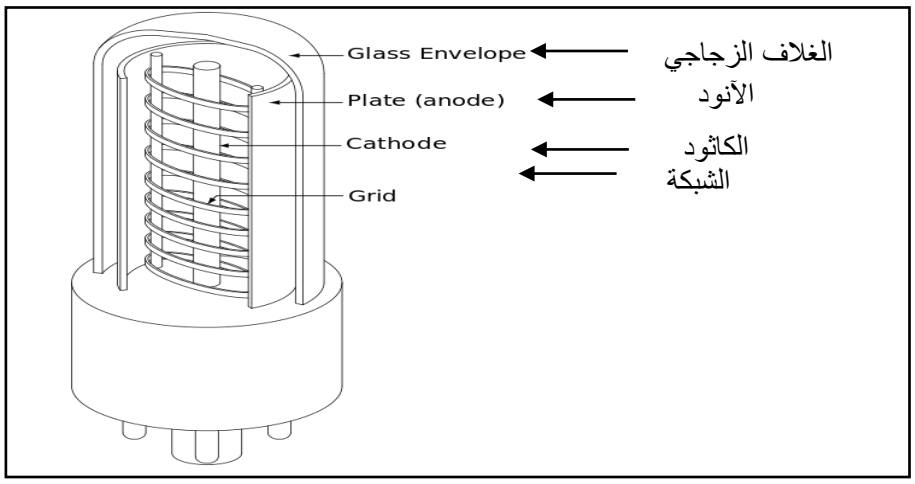
أن الصمام الألكتروني هو جهاز الكتروني يعتمد في عمله على تدفق الكتروني مسيطر عليه كهربائياً أو مغناطيسياً في وسط مفرغ من الهواء وممكن أستخدامه كمقوم (**Rectifier**)، مكبر (**Amplifier**) ومذبذب (**Oscillator**).

أن أغلب الصمامات الألكترونية تستخدم تأثير أديسون والذي يمر بواسطته تيار أحادي الأتجاه خلال الفراغ يتكون بواسطة الأنبعاث الأيوني الحراري (**Thermionic Emission**) للألكترونات من سطح حار يدعى الكاثود (**Cathode**). أن الألكترونات المنبعثة يتم تجميعها بواسطة سطح قريب موجب الشحنة يدعى الآنود (**Anode**). أن الصمام ذي القطبين (**Two-electrodeTube**) أستخدم في البداية ككاشف (**Detector**) للترددات الأذاعية ولكن الأمكانية الحقيقية لهذا الجهاز لم تظهر الا بعد أن تبين أن التيار المار بين الكاثود والأنود يمكن السيطرة عليه بنسب تكبير عالية وبحساسية كبيرة بواسطة شحنات صغيرة فوق قطب شبه شبكي يدعى بالشبكة (**TheGrid**) يتم وضعه بين الأنود والكاثود. أن الصمام ثلاثي القطب الناتج يدعى (**TheTriode**) وهو يمثل الدعامة الأساسية لكافة الأختراعات الحديثة في مجال الألكترونيات. أن آخر التحسينات في هذا المجال تضمنت أضافة شبكات أخرى تم بواسطتها حل بعض المشاكل المرافقة للصمام الثلاثي.

أن الشكلين (5-11) و(5-12) يوضحان تركيب الصمام الألكتروني ثنائي القطب والصمام الإلكتروني ثلاثي القطب.



الشكل 5-11 تركيب الصمام الألكتروني الثنائي القطب



الشكل 5-12 تركيب الصمام الألكتروني الثلاثي القطب

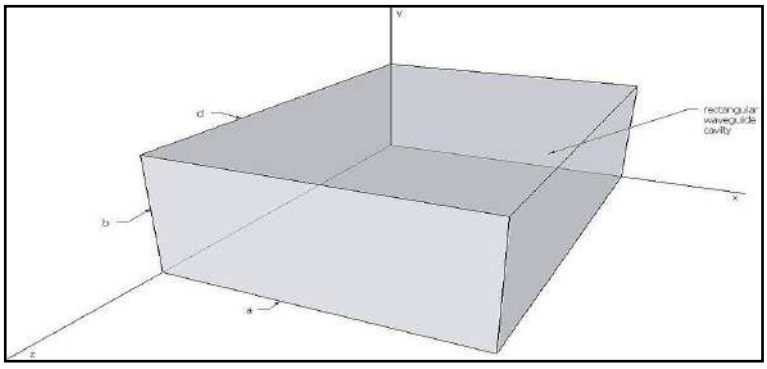
هناك أمران يجب أخذهما بنظر الأعتبار عند تصميم الصمامات الألكترونية المخصصة للعمل في نطاق ترددات المايكروويف مقارنة بالصمامات الألكترونية المخصصة للعمل في نطاق الترددات الواطئة:

1. الأبعاد الفيزيائية للصمام مقارنة بالطول الموجي للأشارة التي يقوم بتوليدها أو تكبيرها حيث أن الطول الموجي في هذه الحالة يقاس بوحدة السنتيمتر وفي هذه الحالة فأن الأبعاد الفيزيائية للمكونات الداخلية للصمام تشكل جزء ملحوظ من الدائرة الألكترونية. أن هذه المشكلة يمكن حلها وذلك بتصميم الصمام الألكتروني لكي يتلائم مع بقية أجزاء الدائرة من حيث الحجم الفيزيائي.
2. الفترة الزمنية التي يحدث خلالها تفاعل بين الألكترونات ومجال المايكروويف. أن دورة الأشارة في نطاق ترددات المايكروويف هي من (**1**) الى (**0.001**) نانو ثانية (1 نانوثانية = 10^{-9} ثانية) وبناءاً عليه إذا كان زمن العبور (**Transit Time**) للألكترونات أقل من ربع دورة الأشارة فأن هناك عدد مؤثر من الإلكترونات سوف يقوم بتبادل طاقة محسوسة مع أشارة المجال. يمكن تقليل زمن العبور للألكترونات بعدة طرق منها تقليل المسافة بين أقطاب الصمام وأستخدام فولتيات أنحياز عالية للأقطاب.

أن الصمامات المصممة وفق الأسس السابقة تكون فعالة عند الأطوال الموجية من عدة أمتار الى عدة سنتيمترات ولكن عندما يقصر الطول الموجي فمن الضروري أعتماد أسس مختلفة في تصميم الصمامات. لغرض الحصول على أعظم تبادل للطاقة بين الشعاع الألكتروني والمجال الكرومغناطيسي فقد ظهرت عدة تصاميم بديلة وقد تم أختبارها وأثبتت قابليتها من الناحية العملية.

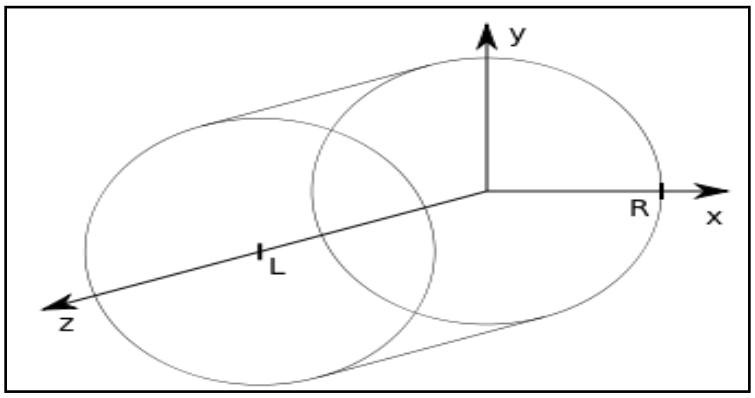
2-5-5 مولدات الموجات الدقيقة

تستخدم الفجوة الرنانة **(Resonant Cavity)** في المذبذبات **(Oscillators)** والمرسلات **(Transmitters)** لتوليد الموجات المايكروية وهي عبارة عن رنان **(Resonator)** من نوعية خاصة مكون من هيكل معدني مغلق يقوم بحجز المجالات الكهرومغناطيسية ضمن نطاق ترددات المايكروويف وهذا الهيكل أما أن يكون مجوف أو مملوء بمادة عازلة. أن الفجوة الرنانة تقوم بنفس عمل دائـــــرة الرنيـــــن **(Resonant Circuit)** ولكن بخسائر قليلة جداً عند تردد الرنين **(Resonant Frequency)** الخاص بها مما ينتج عنه معامل نوعية **(Quality Factor)** (وهو نسبة الطاقة المخزونة في الرنان الى الطاقة المجهزة من المصدر خلال دورة واحدة للأشارة) بقيم تصل الى (10^6) مقارنة بقيم تصل الى (10^2) في دوائر الرنين الأعتيادية (المكونة من متسعة ومحاثة) عند نفس تردد الرنين. أن الفجوات الرنانة تصنع من مقاطع مغلقة أو مقصورة **(Short Circuited)** من دليل موجة أو من أي مادة عازلة بسماحية عالية **(High-permittivity)** وتقوم بخزن الطاقة الكهربائية والمغناطيسية داخلها وهناك خسائر نتيجة التوصيلية **(Conductivity)** المحدودة لجدران الفجوة و خسائر في العوازل نتيجة أنماط المجالات الكهرومغناطيسية. يتم تحفيز المجالات الكهرومغناطيسية في الفجوة الرنانة و ذلك بربط مصدر قدرة خارجي, أن الشكل (5-13) هو رسم توضيحي لفجوة رنانة بأستخدام دليل موجة ذي مقطع مستطيل.



الشكل 5-13 فجوة رنانة بأستخدام دليل موجة ذي مقطع مستطيل

ويمكن إستخدام دليل الموجة ذي المقطع الدائري كفجوة رنين وكما موضح في الشكل (5-14):



الشكل 5-14 فجوة رنانة بأستخدام دليل موجة ذي مقطع دائري

إن سبب تفضيل الفجوة الرنانة على دوائر الرنين الأعتيادية في نطاق ترددات المايكروويف هو أن الخسائر في دوائر الرنين الأعتيادية تزداد بزيادة التردد وعند ترددات فوق 1 جيجاهيرتز(**GHZ**) حتى خطوط الحمل المستخدمة كرنانات يقل معامل النوعية لها بزيادة التردد.

6-5 مخطط سميث (Smith Chart)

إن الكثير من الحسابات اللازمة لحل مسائل خطوط النقل تتضمن أستخدام معادلات معقدة نوعاً ما. أن حل مثل هذه المسائل ممل وصعب لأنه يتطلب معالجة دقيقة للمعادلات المتعددة. لتبسيط حل مثل هذه المسائل برزت الحاجة لأستخدام طريقة المخططات للوصول الى أجابة سريعة. هناك عدد من مخططات الممانعة (**Impedance Charts**) تم تطويرها لتسهيل الحل بأستخدام المخططات لمسائل خطوط النقل ولكن بشكل أساسي جميع هذه المخططات مشتقة بأستخدام العلاقات الأساسية الموجودة في معادلات خطوط النقل. أن أكثر المخططات شيوعاً هو المخطط الذي طوره العالم سميث **Phillip H.) Smith**) ولذلك عرف بمخطط سميث.

أن مخطط سميث مكون بشكل أساسي من رسم للممانعة المعيارية ($\frac{\mathbf{Z}}{\mathbf{Z_o}}$) أو السماحية (مقلوب الممانعة المعيارية ($\frac{\mathbf{Y}}{\mathbf{Y_o}}$) مع زاوية ومقدار معامل الأنعكاس (**Reflection Coefficient**) داخل دائرة نصف قطرها يساوي (1) تدعى بدائرة الوحدة (**Unity Circle**).

إن المخطط يمكن أستخدامه مع الخط عديم الخسائر (**Lossless**) بالأضافة الى الخط كثير الخسائر (**Lossy**) وبدورة بسيطة حول المخطط يمكن معرفة تأثير تغيير الموقع في خط النقل.

أن الممانعة المعيارية على طول الخط يمكن تعريفها كما يلي:

$$z = \frac{Z}{Z_o} = \frac{1 + k_R e^{-2\gamma d}}{1 - k_R e^{-2\gamma d}} \qquad (48\text{-}5)$$

حيث أن (**d**) يمثل المسافة مقاسة من جهة الحمل (طول الخط - **x**) و (γ) هو معامل الأنتشار (**Propagation Constant**) و ($\mathbf{k_R}$) يمثل معامل الأنعكاس عند الحمل وكما يلي

$$k_R = \frac{Z_R - Z_o}{Z_R + Z_o} \qquad (49\text{-}5)$$

حيث أن ($\mathbf{Z_R}$) تمثل ممانعة الحمل وبفرض أن ($\mathbf{d = 0}$) فأن المعادلتين (5-48) و (9-48) تصبحان:

$$z = \frac{1+k_R}{1-k_R} = \frac{Z_R}{Z_o} = \frac{R_R + jX_R}{Z_o} = r + jx \qquad (50\text{-}5)$$

و

$$k_R = \frac{z-1}{z+1} = k_r + jk_i \qquad (51\text{-}5)$$

حيث أن ($\mathbf{R_R}$) يمثل الجزء الحقيقي من ($\mathbf{Z_R}$) و ($\mathbf{X_R}$) يمثل الجزء الخيالي من ($\mathbf{Z_R}$)، ($\mathbf{r}$) يمثل الجزء الحقيقي من ($\mathbf{z}$) و ($\mathbf{x}$) يمثل الجزء الخيالي من ($\mathbf{z}$) و ($\mathbf{k_r}$) يمثل الجزء الحقيقي من ($\mathbf{k_R}$) و ($\mathbf{k_i}$) يمثل الجزء الخيالي من ($\mathbf{k_R}$).

بتعويض المعادلة (5-51) بالمعادلة (5-50) فأن النتيجة تكون:

$$r = \frac{1 - k_r^2 - k_i^2}{(1-k_r)^2 + k_i^2} \qquad (52\text{-}5)$$

و

$$x = \frac{2k_i}{(1-k_r)^2 + k_i^2} \qquad (53\text{-}5)$$

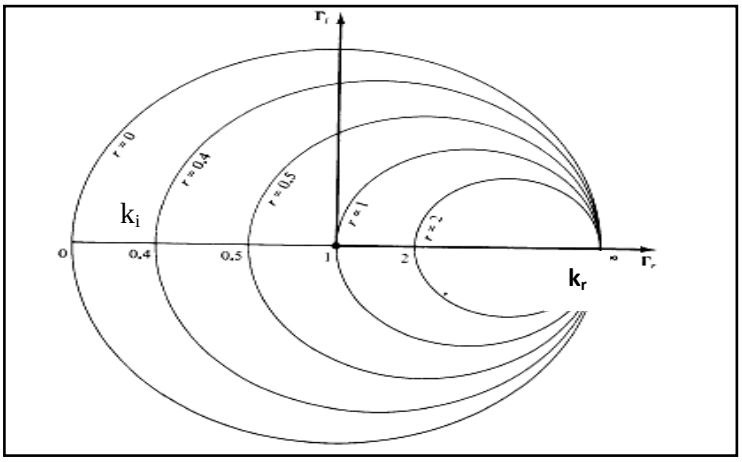
وبإعادة ترتيب المعادلتين (5-52) و (5-53) فأننا نحصل على:

$$\left(k_r - \frac{r}{r+1}\right)^2 + k_i^2 = \left(\frac{1}{r+1}\right)^2 \qquad (54\text{-}5)$$

و

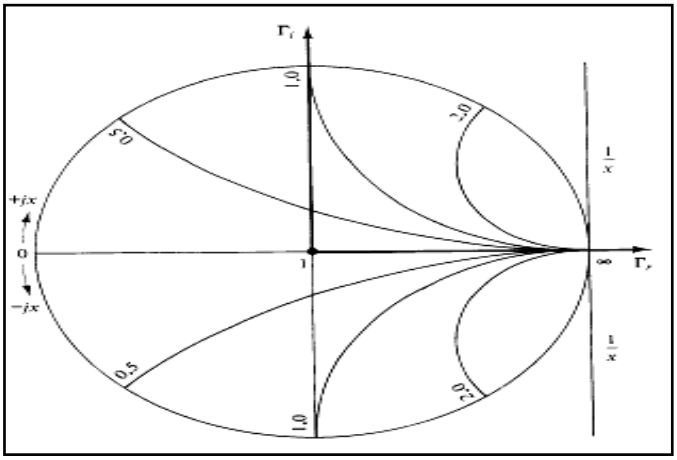
$$(k_r - 1)^2 + \left(k_i - \frac{1}{x}\right)^2 = \left(\frac{1}{x}\right)^2 \qquad (55\text{-}5)$$

من الواضح أن المعادلة (5-54) تمثل مجموعة من الدوائر حيث أن كل دائرة تمثل مقاومة ثابتة ($\mathbf{r}$) وكما موضح بالشكل (5-15).



الشكل 5-15 الدوائر ذات المقاومة الثابتة (r)

أما المعادلة (5-55) فأنها تمثل مجموعة من الدوائر حيث أن كل دائرة تمثل رادة (**Reactance**) ثابتة (**x**) وكما موضح بالشكل (5-16).



الشكل 5-16 الدوائر ذات الرادة الثابتة (x)

هناك أيضاً مقاييس نسبية للمسافة بدلالة الطول الموجي بمحاذاة محيط مخطط سميث وهناك أيضاً مقياس للزاوية لتحديد زاوية معامل الأنعكاس.

عند تحديد موقع الممانعة المعيارية (**z**) على المخطط فأن الممانعة المعيارية عند أي موقع آخر على طول الخط يمكن أيجادها من المعادلة (5-48) ويمكن أستخدام مخطط سميث لتحديد السماحية المعيارية ($\frac{Y}{Y_o}$) حيث أن:

$$Y_o = \frac{1}{Z_o} = G_o + jB_o \qquad (56\text{-}5)$$

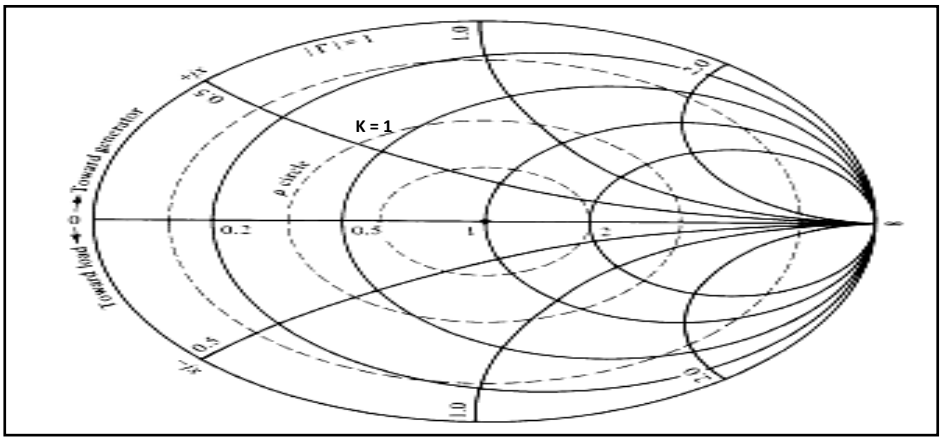
$$Y = \frac{1}{Z} = G + jB \qquad (57\text{-}5)$$

وبناءاً عليه فأن:

$$y = \frac{Y}{Y_o} = \frac{Z_o}{Z} = \frac{1}{z} = g + jb \qquad (58\text{-}5)$$

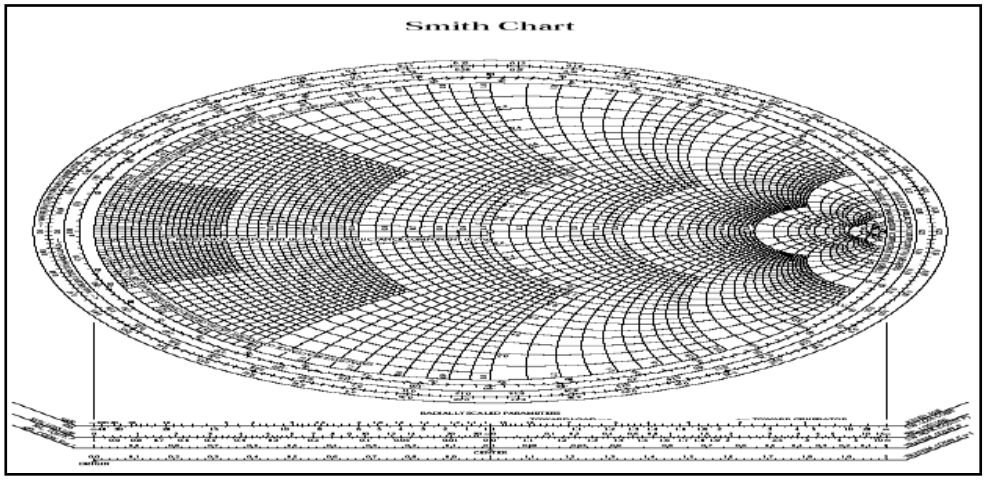
حيث أن ($\mathbf{G_o}$) يمثل الجزء الحقيقي من ($\mathbf{Y_o}$) و ($\mathbf{B_o}$) يمثل الجزء الخيالي من ($\mathbf{Y_o}$)، ($\mathbf{G}$) يمثل الجزء الحقيقي من ($\mathbf{Y}$) و ($\mathbf{B}$) يمثل الجزء الخيالي من ($\mathbf{Y}$) و ($\mathbf{g}$) يمثل الجزء الحقيقي من ($\mathbf{y}$) و ($\mathbf{b}$) يمثل الجزء الخيالي من ($\mathbf{y}$).

يوضح الشكل (5-17) مخطط سميث وهو نتيجة وضع الشكلين (5-15) و (5-16) في مخطط واحد.



الشكل 5-17 مخطط سميث

أما مخطط سميث الكامل فهو كما في الشكل (5-18).



الشكل 5-18 مخطط سميث الكامل

هناك ملاحظة هامة بخصوص المخطط وهي أن المخطط تم تصميمه بحيث أن معامل الأنعكاس يمثل المحور القطري وأن الدوائر المتحدة المركز (المركز هو مركز دائرة نصف قطرها (1)) هي دوائر يكون فيها معامل الأنعكاس ثابت (كل دائرة تمثل قيمة معينة لمعامل الأنعكاس). بما أن نسبة الموجة الواقفة يمكن أيجادها فقط من مقدار معامل الأنعكاس فأن هذه الدوائر أيضاً تكون فيها نسبة الموجة الواقفة ثابتة (كل دائرة تمثل قيمة

معينة لنسبة الموجة الواقفة). من المعروف أن نسبة الموجة الواقفة لايمكن أن تصبح أصغر من (1) ولذلك فأن مقياس نسبة الموجة الواقفة على المحور الحقيقي للمخطط يتغير من (1) الى ما لانهاية (∞).

هناك ملاحظة أخرى تخص المخطط وهي أن المسافات معطاة بدلالة الطول الموجي بأتجاه المصدر (عند الدوران حول المخطط بأتجاه عقارب الساعة) أو بأتجاه الحمل (عند الدوران حول المخطط بأتجاه عكس عقارب الساعة) ولذلك فمن السهل أيجاد أتجاه الحركة عند تغير الموقع على خط النقل.

أن خواص مخطط سميث يمكن أختصارها بالنقاط التالية:

1. أن النصف العلوي من المخطط يمثل رادة (**Reactance**) موجبة (**+jx**).
2. أن النصف السفلي من المخطط يمثل رادة (**Reactance**) سالبة (**-jx**).
3. في حالة السماحية فأن دوائر (**r**) ثابتة تصبح دوائر (**g**) ثابتة ودوائر (**x**) ثابتة تصبح دائرة (**b**) ثابتة.
4. أن كل دورة كاملة حول المخطط تمثل نصف الطول الموجي ($\frac{\lambda}{2}$).
5. أن مقلوب نسبة الموجة الواقفة ($\frac{1}{SWR}$) كقيمة على المخطط تمثل أقل ممانعة لخط النقل (z_{min}) وأقل فولتية على الخط (E_{min}).
6. أن نسبة الموجة الواقفة (**SWR**) كقيمة على المخطط تمثل أكبر ممانعة لخط النقل (z_{max}) وأكبر فولتية على الخط (E_{max}).
7. أن نصف القطر الأفقي على يمين مركز المخطط يقابل أكبر فولتية على الخط (E_{max})، أقل تيار يمر في الخط (I_{min})، أكبر ممانعة لخط النقل (z_{max}) و نسبة الموجة الواقفة (**SWR**).
8. أن نصف القطر الأفقي على يسار مركز المخطط يقابل أقل فولتية على الخط (E_{min})، أكبر تيار يمر في الخط (I_{max})، أقل ممانعة لخط النقل (z_{min}) و مقلوب نسبة الموجة الواقفة ($\frac{1}{SWR}$).
9. بما أن السماحية المعيارية (**y**) هي مقلوب الممانعة المعيارية (**z**) فأن القيم على مخطط سميث للسماحية هي بفرق طوري (180°) عن القيم على مخطط سميث للممانعة.
10. أن مخطط الممانعة أو السماحية المعيارية يتكرر لكل نصف طول موجي ($\frac{\lambda}{2}$) من المسافة.

أن المقياس الخطي أسفل مخطط سميث (الشكل (5-18)) يمكن أستخدامه لقياس مقدار معامل الأنعكاس، القدرة المنعكسة من الخط، القدرة المرسلة على الخط وممانعة الحمل لخط النقل.

7-5 مسارات موجات المايكروويف(Microwave)

قبل بحث مسارات موجات المايكروويف لابد من أستيعاب آلية أنتشار الموجات الكهرومغناطيسية وأن من أهم المبادئ التي لابد من فهمها هو مبدأ هويغنز والذي يمكن تبسيطه على النحو التالي (يمكن النظر إلى أية

نقطة من موجة ما وكأنها نقطة بداية جديدة لمجموعة من الموجات الكروية المتولدة بأتجاه أنتشار الموجة). أن تصور هذه الموجات الكروية مجتمعةً على شكل واجهة للموجة سيساعد في فهم سبب قدرة واجهة الموجة (عند عدم اعتراضها بأية عوائق) على الإستمرار في التنقل دون تغيير شكلها ويوضح مبدأ هويغنز أيضاً سبب عدم أنتقال الضوء أو الموجات اللاسلكية أو أي موجة كهرومغناطيسية ضمن مسارات مستقيمة على الدوام.

تتعرض الموجات الكهرومغناطيسية لعدة مؤثرات أساسية وكما يلي:

1. الإنعكاس:

أن إنعكاس الضوء المرئي في المرآة أو على الأسطح المائية من الأمور المعروفة للجميع أما بالنسبة للترددات الراديويـــة فأن الإنعكاس يحدث بشكل رئيسي على السطوح المعدنية وعلى المواد الملائمة الاخرى وتنعكس الموجة المرتدة بنفس الزاوية التي وردت فيها الى السطح (زاوية السقوط = زاوية الإنعكاس).

وهناك حالتان مهمتان للإنعكاس:

a. الإنعكاس على سطح مستوي.

b. الإنعكاس على سطح مقوس.

2. الإمتصاص:

تتضاءل الموجات اللاسلكية أو تضعف عند مرورها عبر مادة ما مما يؤدي الى انتقال الطاقة الى المادة التي تنتقل عبرها. تتناقص قدرة الموجة بشكل متزايد ضمن المادة الناقلة وبشكل متزامن مع تناقص خطي في قيمة الديسبل المكافئة. عادةً ما يستخدم معامل الإمتصاص لتوصيف تأثير المادة الناقلة على الإشعاع كمياً. بشكل عام أن المواد الناقلة تملك قدرة عالية على إمتصاص الأشارة وبشكل خاص المعادن ويعتبر الماء ايضاً بجميع أشكاله من المواد عالية الإمتصاص للموجات اللاسلكية ومن المواد متوسطة الإمتصاص الاحجار، الاسمنت، الأخشاب و الأشجار....الخ حيث يعتمد الإمتصاص على تركيز الماء ضمن هذه المواد. اما فيما يتعلق بإمتصاص الموجات اللاسلكية في حالة جسم الانسان والحيوان فأنهما يحتويان على كميات من الماء مما يجعلهما قادران على إمتصاص الموجات.

3. الإنكسار:

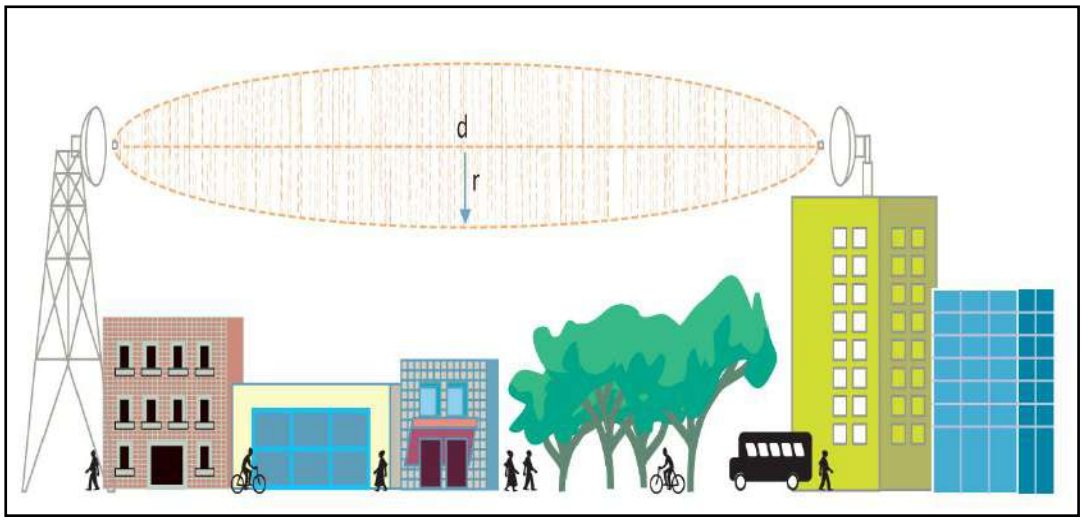
هو الأنحناء او الأنتشار الواضح للموجات عند إصطدامها بعائق ما. يعتبر الإنكسار نتيجة منطقية لمبدأ هويغنز ويرتبط بشكل تقريبي مع الطول الموجي للموجة.

4. التشويش أو الضوضاء:

بإمكان الموجات ذات التردد نفسه والتي تملك علاقة طور ثابتة ان تقوم بألغاء بعضها البعض ولحدوث هذه الظاهرة يشترط أن تمتلك الموجات نفس الطول الموجي أضافة الى علاقة طور ثابتة. تستخدم كلمة تشويش في مجال الشبكات والمايكروويف بالخصوص لأن أرتفاع التردد يسبب تشويش أضافي في الأجهزة المستعملة يدعى بالتشويش الحراري وكذلك تستخدم الكلمة للتعبير عن الإضطراب الناجم عن مصادر الترددات الراديوية الأخرى.

يجب أن تكون منطقة فريزنال (**Fresnel**) (وهي حقيقة أن الموجة اللاسلكية تنتقل عبر منطقة عريضة تشبه شكل السيجار وليس ضمن خط مستقيم) بين الإرسال و الإستقبال في مسار المايكروويف خالية من جميع العقبات المؤثرة على أنتشار الموجة ومنطقة فريزنال هي خط البصر اللاسلكي وهو مغاير لخط البصر الضوئي حيث تنظر نقطة الإستقبال الى نقطة الإرسال وبما ان موجات المايكروويف لها تردد أدنى من موجات الضوء لذلك فانها تتاثر بشكل مختلف عن الضوء نتيجة وسط الأنتشار ولذلك فقد يكون خط البصر الضوئي بين نقطة الإستقبال و نقطة الإرسال خالي من العوائق ورغم ذلك يكون مسار موجات المايكروويف غير مجدي لوجود عوائق في خط البصر اللاسلكي. أن هذا ناتج لأن الموجة الكهرومغناطيسية لاتنتشر على خط مستقيم وأنما تتوسع في حزم عند أنتشارها حسب طول الموجة وهو يولد منطقة تدعى بمنطقة فريزنال بين نقطتي الإرسال و الإستقبال. أذا ما اخذنا مبدأ هويغنز بعين الأعتبار يمكننا ملاحظة أنه حتى النقاط الواقعة خارج المحور المباشر بين النقطتين أ و ب (نقطتي الإرسال والإستقبال) ستقوم بأشعاع بعض القدرة بأتجاه النقطة المستقبلة ب.

أن الشكل (5-19) يوضح منطقة فريزنال الأولى والتي ينبغي ان تبقى متاحة للحصول على جزء جيد من الطاقة من أ الى ب. أن كل عائق سواء كان طبيعياً (الجبال، كروية الارض...الخ) أو غير طبيعـــــي (المباني، الابراج، الطائرات.....الخ) يوجد في هذه المنطقة يكون حاجزاً لمرور موجات المايكروويف. يمكن تحديد وأستيعاب خط البصر للضوء المرئي بسهولة، الا أنه أكثر تعقيداً للوصلات اللاسلكية. بشكل عام ينبغي توفير خط بصر ضوئي متاح للوصلة اللاسلكية بالأضافة الى قليل من المساحة حوله كما تحددها مناطق فريزنال. قد تصل الإشارة نفسها الى الجهة المستقبلة عبر عدة مسارات مختلفة نتيجة الأنكسار او غيره وقد تتسبب مؤثرات مثل التأخير، التشويش والتعديل الجزئي للإشارة في بعض المشاكل ويمكن أستغلال تأثيرات المسارات المتعددة لتجاوز عقبات خط البصر.



الشكل 5-19 يوضح منطقة فريزنال الاولى

أسئلة الفصل الخامس

س1: ماهي الصفة المميزة لموجات المايكروويف؟

س2: لماذا يعمل القابلو المحوري بترددات أعلى من ترددات عمل خط النقل المفتوح؟

س3: أشتق معادلة الممانعة المميزة ($\mathbf{Z_o}$) في حالة خط نقل بدون تشويه (**Distortion less**).

س4: جد العلاقة بين وحدة النيبر و وحدة الديسبل.

س5: أشتق معادلة معامل الانتشار (γ) في حالة خط نقل عديم الخسائر (**Lossless**).

س6: خط نقل عديم الخسائر ذي ممانعة مميزة بمقدار 50 أوم ومعامل طور بمقدار 4 زاوية نصف قطرية لكل متر عند تردد 150 ميجاهرتز. قم بحساب قيمة المحاثة والمتسعة لهذا الخط.

س7: ماهي الحالات الثلاث المهمة التي يجب ملاحظتها في خطوط النقل والتي تخص معامل الانعكاس ونسبة الموجة الواقفة؟

س8: ماهي نواحي الأختلاف بين دليل الموجة وخط النقل؟ أشرحها بشكل مختصر.

س9: هناك ثلاثة أنواع من الموجات في دليل الموجة، ماهي؟ وضح أجابتك باستخدام الرسم.

س10: أفرض أن لديك دليل موجة ذي مقطع مستطيل مملوء بالهواء بأبعاد (4 × 2) سنتيمتر يعمل بالطور ($\mathbf{TE_{21}}$). جد تردد القطع ($\mathbf{f_c}$)، السرعة الطورية ($\mathbf{v_g}$) عند تردد هو ثلاثة أضعاف تردد القطع ($\mathbf{3f_c}$) و الطول الموجي ($\boldsymbol{\lambda_g}$) عند نفس التردد.

ملاحظة: في هذه الحالة (**m = 2 and n = 1**).

س11. أفرض أن لديك دليل موجة ذي مقطع دائري مملوء بالهواء نصف قطره (**a**) يساوي (**7**) سنتيمتر يعمل بالطور ($\mathbf{TM_{12}}$). جد تردد القطع ($\mathbf{f_c}$)، الطول الموجي ($\boldsymbol{\lambda_g}$) عند تردد (**6**) جيجا هيرتز (1 جيجا هيرتز = 10^9 هيرتز) و الممانعة الموجية ($\mathbf{Z_g}$) عند نفس التردد.

ملاحظة: يجب أن يستخدم الجدول (2-5) في الحل.

س12: ماهي الأمور التي يجب أخذهما بنظر الاعتبار عند تصميم الصمامات الإلكترونية المخصصة للعمل في نطاق ترددات المايكروويف مقارنة بالصمامات الإلكترونية المخصصة للعمل في نطاق الترددات الواطئة؟

س13: ما مميزات الفجوة الرنانة مقارنة بدوائر الرنين الاعتيادية؟

س14: أشرح كيفية استخراج قيمة نسبة الموجة الواقفة (**SWR**) من مخطط سميث؟

س15: ماهي منطقة فريزنال (**Fresnel**) وما تأثيرها على أنتشار موجات المايكروويف؟