# المرجع الأول في هندسة الإتصالات اللاسلكية الأرضية

# Land Mobile Radio Systems ( VHF and TETRA )

إعداد و تأليف

م. سامي حسن عليو

2018 – 1439

# أساسيات هندسة الإتصالات اللاسلكية الأرضية

# Land Mobile Radio Principles

# VHF and TETRA solutions


## إعداد وتأليف

## م. سامي حسن عليو



**الإصدار الأول**

**1439 هـ** **2018 م**

❖ لا يُسمح بطباعة هذا الكتاب في أي دور نشر دون أخذ موافقة خطية من المؤلف, يرجى إحترام حقوق النشر و الطباعة و التأليف, للتواصل مع المؤلف يمكنكم إستخدام البريد الإلكتروني التالي أدناه:
Sami.ict7@gmail.com

# تقدمة المؤلف

تعدّ أنظمة الراديو اللاسلكية من أهم النظم المستخدمة حول العالم في عدة مجالات مجتمعية وخدمية لاسيما منها منظومات الإطفاء والإسعاف والمجتمع المدني وغيرها, إذ يَغدو الراديو اللاسلكي ركيزة هامة من أساسيات التواصل وخصوصاً في حالات الكوارث كالحرائق والزلازل أو كما أسلفنا سابقاً في المنظومات أعلاه, الميّزة الأهم في نظم الراديو اللاسلكي الأرضية هي تغطيتها الجغرافية الكبيرة نوعاً ما مقارنةً بأنظمة الإتصالات الخليوية Mobile Systems مثل الجيل الثاني 2G أو الثالث 3G وغيرها من جهة, وببساطة التجهيزات المطلوبة لتحقيق هذه التغطية ورخصها بالمقارنة ايضاً مع أنظمة الإتصال الخليوي بالإضافة للوثوقية العالية التي تتمتع بها هكذا أنظمة, مما سبق نجد أهمية كبيرة لدراسة هذا النظام وآلية العمل ومكوناته مع الإنتقال كما بدأ من الشكل التماثلي Analog وحالياً الإنتقال للشكل الرقمي Digital كما سنستعرض في هذا الكتاب البسيط أسس نظام الراديو اللاسلكي الرقمي TETRA المستخدم بشدة حول العالم في يومنا هذا وأخيراً سنستعرض برنامجاً حاسوبياً محاكياً لأنماط انتشار الشبكات الراديوية اللاسلكية وبالتالي يستطيع الباحث أو المصمم أو المهندس تقدير التغطية اللاسلكية لشبكة ما في منطقة ما حول العالم إذا اتبع الدقة في المعطيات كما سنرى لاحقاَ..

لقد تمّ تأليف هذا الكتاب نظراً لندرة الموسوعة العلمية العربية من هذا المحتوى ونظراً لحاجة المهندس والباحث العربي لكتب مبسّطة بعيدة عن المعادلات الرياضية المعقّدة و تقوم بإغناء هذا الموضوع حيث أن علم هندسة الإتصالات

بشقيها السلكي و اللاسلكي يتطور يومياً وبشكل كبير ومتسارع ولعل فهم الأساسيات و المبادئ لهذا العلم من أهم النقاط للإستمرار في متابعة التطور العلمي لاحقاً.

إنّ المستهدفين في هذا الكتاب هم بالدرجة الأولى مهندسي الإتصالات بكافة فروعها وأشكالها, مهندسي ومصممي النظم الراديوية, المهتمين بانتشار الأمواج الكهرطيسية ونظم الهوائيات و كل من يرى في الإتصالات علماً مبدعاً متطوراً متسارعاً كل يوم.

أتمنى تقديم ما هو مفيد ونافع للقارئ العربي وخصوصاً في هذا المجال ,كما سيتبع هذا الكتاب كتب عديدة إن أذن الله تعالى لي بذلك, ستكون في مقاربات لهذا المجال حيث أعكف حاليا على إعداد كتاب مبسّط للقارئ العربي يتعلق بأنظمة الهوائيات وأنواعها وأشكالها وخصائصها مع شرح لتصميم الهوائي وقياس المحددات المختلفة..

والله ولي التوفيق

المؤلف

م. سامي حسن عليو

*Eng. Sami Alio*

# لمحة عن المؤلف

**المهندس** سامي حسن عليو, من مواليد عام 1984, حاصل على شهادة البكالوريوس في هندسة الإتصالات و الإلكترونيات من جامعة دمشق سوريا عام 2008, حاصل على شهادة الماجستير في إدارة الشبكات من جامعة ماكنلي, الولايات المتحدة الأمريكية عام 2013, متبع لعديد الدورات وخصوصاً في مجال الإتصالات الخليوية Mobile Communications, والإتصالات الفضائية VSAT

يملك المؤلف خبرة عملية تقارب العشرة أعوام في مجال هندسة الإتصالات اللاسلكية وخصوصاً في المجالين HF,VHF كما يملك خبرة عملية في إدارة شبكات المعلوماتية والهواتف النقالة, كما عمل سابقاً كمدير مشروع خدمة تعقب المركبات وإدارة الإسطول GPS over GSM لصالح إحدى أكبر مزودات خدمة الإتصال الخليوي في سوريا.

أقام المؤلف عدة ورشات عمل في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة دمشق عن محتويات متعددة كالإتصالات اللاسلكية, أنظمة الهوائيات, أنظمة الإتصالات الخليوية وغيرها, كما يعمل أيضا مدرّساً لنظم الإتصالات الخليوية وتطبيقات إنتشارها وآلية التخطيط Mobile Planning في أحد المعاهد في دمشق.

# كلمة شكر

أتوجه بالشكر لكل من ساعد وساهم في إنجاز هذا الكتاب البسيط إغناءاً للمكتبة العربية وأخصُّ بالذكر والدي ووالدتي الأعزاء, زوجتي وأولادي الغالين, إخوتي وأصدقائي المهندسين في كافة أرجاء الوطن العربي الحبيب.

نشأت فكرة هذا الكتاب من خلال العمل على مشروع تخرج مهندسين أعزّاء تعاونّا في بناء المشروع وتحقيقه وبالتالي لابد لي من شكرهم حيث كانوا, من بعد الله, الملهمين لي بالعمل على تنفيذ هذا الكتاب وهم: بيان,حنان, إباء وابراهيم فلهم كل الشكر.

أخيرا وليس آخراً, أشكر كل من ساهم في إنجاز هذا العمل سواءً بتشجيع, بحرف, بكلمة أو بعبارة..

المؤلف

م. سامي حسن عليو

# المحتويات

**الفصل الأول** : مقدمة في الأمواج الراديوية.

**الفصل الثاني** : النظام اللاسلكي التمثيلي العامل على التردد العالي جداً Analog VHF.

**الفصل الثالث**: مكونات نظام اللاسلكي VHF:

- أجهزة محمولة باليد أو تسمى Handheld or Handset.
- أجهزة مثبّتة في مركبة Mobile Station.
- أجهزة مثبّتة ضمن بناء Base Station.
- مكررات إشارة Repeaters.
- الكابلات والمؤصلات المستخدمة في النظام.

**الفصل الرابع**: النظام اللاسلكي الرقمي العامل على التردد العالي جداً Digital VHF.

- أنواع التعديل الرقمي.
- طرق النفاذ المتعدد.
- مميزات استخدام أنظمة الراديو اللاسلكي الرقمية.

**الفصل الخامس**: النظام اللاسلكي الرقمي TETRA.

**الفصل السادس**: طرق نمذجة الشبكات الراديوية وتخطيطها.

**الفصل السابع**: دراسة عملية لتغطية مدينة ما بنظام راديو لاسلكي عبر برنامج Radio Mobile.

- مواصفات الموقع الخاص بمكرر الإشارة.
- آلية العمل والتطبيق.

**الفصل الثامن**: الاستنتاجات والآفاق المستقبلية.

**الفصل التاسع**: المراجع العلمية.

# الفصل الأول

## مقدمة في الأمواج الراديويّة

قام المعهد الأوروبي لمعايير الإتصالات ETSI بدراسة المعايير العامة لإيجاد نظام تشاركي لاسلكي يلبي احتياجات المنظمات في حالات الطوارئ والكوارث وذلك منذ منتصف عام 1980 وبعد عدّة اقتراحات ومؤتمرات تم وضع هذه المعايير التي أنتجت نظام تمثيلي متكامل يلبي احتياجات هذه المنظمات.

وفي العام 2007 اقترحت شركة موتورولا ايجاد نظام رقمي يكون أقل تعقيداً من ما وُجد سابقاً لإمكانية تنفيذ الإتصال البيني مع الشبكات التماثلية بأقل تعقيد ممكن فقام المعهد الأوروبي لمعايير الإتصالات بوضع معايير لنظام الإتصال DMR: Digital Mobile Radio الذي يحقق الإتصال البيني مع الشبكات التمثيلية ويخدم منظمات النقل والتجارة والمنظمات العامة.

تُعتبر أنظمة الراديو اللاسلكي والتي تقوم بتغطية منطقة جغرافية معيّنة من الارض من أهم نظم الإتصالات لما تتمتع به من مرونة ووثوقية واعتمادية عالية بالإضافة إلى رخص تكلفة الأجهزة العاملة ضمن هذه المجالات وتأديتها لتطبيقات ممتازة جداً في تحقيق التواصل اللاسلكي وخصوصاً في منظومات الإسعاف والإطفاء والشرطة والسفن في البحر والطائرات في الجو وغيرها.

وبالأساس, لا يمكن الإعتماد وخصوصاً في المنظومات المجتمعية "كالإسعاف أو الإطفاء كمثال " على شبكات الإتصالات الخليوية أو ما يُدعى ( الموبايل Mobile ) أو على أيّ من تطبيقات الإنترنت أو التطبيقات التي تؤمّن " تواصلاً بين أعضاء الفريق ولكن تحتاج إلى تزويد بالطاقة أو بالإنترنت أو عبر الابراج و غيرها " كون هكذا نوع من المنظومات لايتحمل قطع التواصل بين أعضاء الفريق, فمثلاً في حالة إطفاء حريق ما, يجب على جميع أعضاء فريق الإطفاء التزوّد بوسيلة تواصل لاسلكي تضمن التواصل بين أعضاء الفريق بشكل مباشر وبأسرع طريقة وبأقل كلفة وبأعلى وثوقية ممكنة لضمان التعامل مع الحريق ومع الفرق المختلفة على الارض.

إنّ الإعتماد على شبكات التواصل الخليوي كالموبايل وغيرها غير آمن من ناحية تحقيق التواصل الدائم بسبب إمكانية انقطاع التغطية بشكل غير مدروس أو مُخطط كإنقطاع الطاقة الكهربائية المغذية للأبراج الخليوية أو كإنقطاع الخدمة لسبب تقني أو بسبب عدم وجود التغطية في قبو أو في مكان تحت سطح الأرض حيث من الممكن لعمليات الإنقاذ أو الإسعاف أن تأخذ دورها هناك, لذلك ليس من الممكن بتاتاً الإعتماد على شبكات الإتصالات الخليوية ويستعاض عنها بأنظمة التواصل اللاسلكي وأفضلها النظام العامل إما على التردد العالي جداً VHF Very High Frequency أو فائق التردد UHF Ultra High Frequency.

تقع الأمواج ذات التردد العالي جداً VHF ضمن نطاق (30-300 MHZ ) وتتميّز بأنها تتبع لمدى خط النظر LoS Line of Sight, حيث إنّ السماء تمتصّ هذه الترددات وبالتالي لدينا أمواج أرضية فقط ولذا

دُعيت الأنظمة العاملة على هذا النطاق بأنظمة الإتصالات اللاسلكية الأرضية Land Mobile, حيث تغطي هذه الأمواج مساحة جغرافية قد تصل إلى 100 كيلومتر ويتم استخدامها على نطاق واسع في البث الإذاعي FM Broadcasting وتطبيق شبكات راديوية خاصة بمنظومات مجتمعية كالإسعاف و الإطفاء وغيرها لكونها تتميز بدقة الصوت مع تغطية مسافة مقبولة للمدن و الارياف.

أما الأمواج فائقة التردد Ultra High Frequency فتقع ضمن نطاق (300-3000 MHZ) وتتميز بطول موجي صغير جداً و بالتالي الأجهزة العاملة على هذا النطاق تتميز بطول هوائي صغير وقد يكون مُدمجاً في بعض الأحيان, يتميّز هذا النوع من الأنظمة العاملة على هذه الترددات بدقة صوت ممتازة ولكن بتغطية منطقة جغرافية صغيرة نوعاً ما حيث هذه الأمواج شديدة التأثّر بالضياعات والتشويش وضياع المسار أو مايسمى Path Loss, وهذا ما يُؤثر على انتشارها وامتدادها لتغطية مسافات أكبر, من الممكن زيادة التغطية بتنصيب محطات تقوية كل مسافة 15 كيلومتر تقريباً وربط هذه المحطات مع بعضها البعض.

كلا النظامين المذكورين أعلاه يؤمّنان تغطية جغرافية لاسلكية على سطح الارض قد تتراوح بين 100-1 كيلومتر باستخدام تجهيزات لاسلكية بسيطة محمولة باليد أو مثبّتة ضمن سيارة كسيارة الإسعاف أو الإطفاء كما إنّ هكذا تجهيزات لا تستهلك كثيراً من الطاقة إذ من الممكن أن يَبقى الجهاز المحمول باليد ( اللاسلكي ) يعمل لمدة يومان أو ثلاثة أيضاً و تعتبر هكذا أنواع من التجهيزات آمنة من ناحية الأمان إذ يَصعُب التنصّت عليها إلا بوجود أجهزة مختصة.

في كتابنا هذا سنقوم باستعراض نظام الراديو VHF الذي يتبع للأمواج عالية التردد أي التي تقع تردداتها مابين (30-300 MHZ) حيث نبتغي تحقيق نظام راديوي يغطي منطقة جغرافية كبيرة بشكل ( مدينة + ريف ) وأن يكون متمتعاً بدقة صوت جيدة وبتعديل إن كان تماثلياً أو لاحقاً رقمياً يتيح التغلب على متاعب التتبع ويعطي ميزة أمنية ممتازة للشبكة ويحقق ميزات الإتصال المباشر بين محطتين أو بين محطة وعدة محطات أو بين محطة وكل المحطات وكون مزايا هذا النظام تناسب منظومات الإسعاف والإطفاء ومثيلاتها في تحقيق اتصال راديوي لاسلكي لمنطقة جغرافية كبيرة كمدينة ما وريفها مثلاً أما الفائقة التردد وكون التردد أعلى فالمساحة المغطاة تكون أصغر.

قبيل الدخول في التفاصيل التقنية, سنستعرض أدناه بعض المفاهيم المتعلقة بانتشار الأمواج اللاسلكية وخصائصها ولكن أولا بالتعريف للمصطلحات الأساسية وهي:

**-محطة ثابتة Base Station**: جهاز أو طرفية ثابتة مثبّتة في مكان ما كبناء أو غرفة.

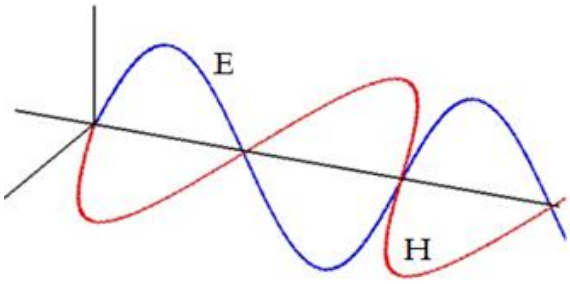
**-محطة متنقلة Mobile Station**: جهاز أو طرفية متنقلة تستخدم للحصول على خدمات التواصل اللاسلكي وتشمل الأجهزة المحمولة باليد وأجهزة السيارات وأجهزة الحوامات.... الخ.

**-مكرر إشارة Repeater**: جهاز يقوم باستقبال إشارة المحطة وتقويتها وإعادة إرسالها الى محطة أخرى بعيدة.

**تعريف الأمواج الراديوية:**

إن الأمواج الراديوية هي بالحقيقة تراكب موجتين, إحداهما كهربائية والأخرى مغناطيسية والمجموع يكون موجة كهرومغناطيسية أو راديوية, ولكن من أين تنشأ هذه الأمواج ؟

إنّ مرور التيار الكهربائي ضمن أي ناقل ( الهوائي مثلا ) يؤدي لتوليد حقل كهربائي ندعوه بـ E, وبسبب قاعدة اليد اليمنى وحركة الإلكترونات Electrons من خلال الناقل ووجود الحقل الكهربائي, فإنّ حقلاً مغناطيسياً نرمز له بـ H عمودياً على الحقل الكهربائي يتولد أيضاً والمجموع يكون تراكب الموجتين الكهربائية والمغناطيسية ليتشكل لدينا الموجة الراديوية, فإذا اعتبرنا الناقل هو الهوائي وقمنا بوصل جهاز راديوي مع هوائي, فإن الأمواج الصادرة عن الهوائي هي الأمواج الراديوية التي استعرضناها بالشرح سابقا, كما في الشكل 1.1:

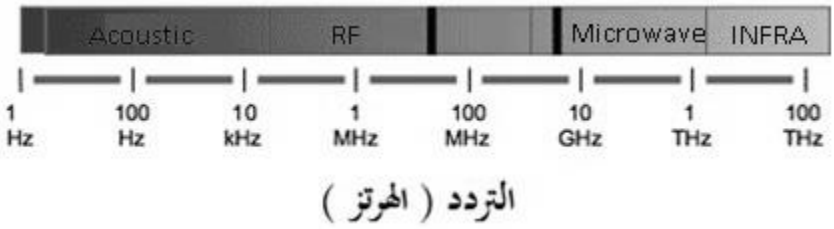



الشكل 1.1 الأمواج الكهرطيسية

تتعلق الأمواج الراديوية بمصطلح التردد فما هو التردد ؟

في اللغة العربية, التردد يرمز إلى تكرار شيء ما خلال واحدة الزمن, أما في مجالنا في هندسة الاتصالات, فالتردد يرمز إلى عدد مرات تكرار الأمواج الصادرة من الهوائي خلال ثانية واحدة وواحدته الهرتز (Hertz), يبيّن الشكل 1.2 المجالات الترددية بين 1 هرتز وحتى 100 THZ.

وكمثال على التردد, عندما نقول أنّ جهاز الإتصال الخليوي يعمل على التردد (900 MHZ) فمعناه أنّ هذا الجهاز الصغير يصدر900 مليون موجة ( هزة ) بالثانية! طبعاً هكذا موجات تتميز بصغر طول الموجة ( المسافة بين موجتين صادرتين ) إذ إنّ العلاقة بين التردد وطول الموجة عكسية فكلما ارتفع التردد كلما قصر طول الموجة وبالعكس, في مجالنا اللاسلكي VHFو UHF فإن التردد يعتبر من مرتبة الترددات العالية جداً (30-300 MHZ للـ VHF و 300-3000 للـ UHF ) و بالتالي طول الموجة قصير جداً من مرتبة السنتميتر أو أقل..

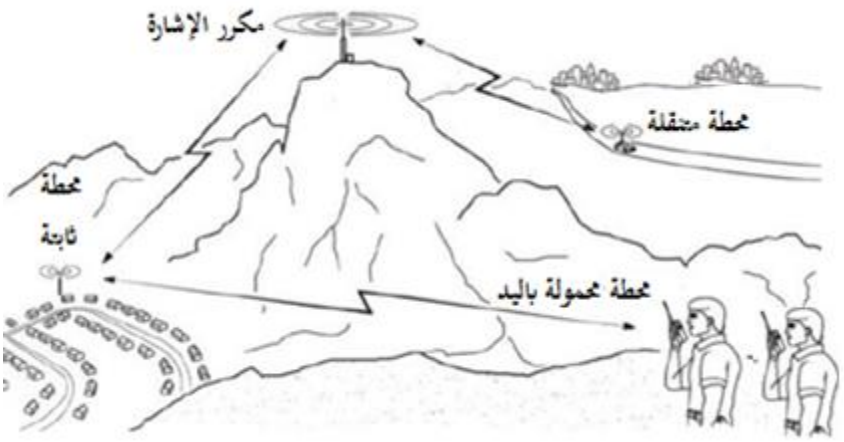



الشكل 1.2 المجالات الترددية

تسير الأمواج الراديوية بسرعة الضوء وهي تقريبا تكافئ 300,000 كيلومتر في الثانية , وبدقة تامة تكافئ 299,792 كيلومتر في الثانية

**مكونات نظام الإتصال اللاسلكي بشكل عام:**

تتألف أنظمة الإتصالات بشكل عام من مرُسل و مُستقبل ووسط الانتشار, والجهاز الراديوي بشكل عام يحتاج إلى طاقة Power وهوائي لإصدار الأمواج عبرها واستقبال الأمواج المستقبلة عبرها أيضاً, الشكل 1.3 يرمز إلى نظام إتصالات قد يعمل على النطاق VHF أو UHF




الشكل 1.3 مكونات نظام الإتصال اللاسلكي

و كما ذكرنا أعلاه, تتألف أنظمة الإتصالات اللاسلكية الأرضية من محطات ثابتة مُركبة ضمن بناء, أو متحركة مُركبة ضمن سيارة أو محمولة باليد Handset radios, Mobile station Radio and Base station radio سنقوم باستعراضها في فصول قادمة.

# الفصل الثاني:

# النظام اللاسلكي التمثيلي العامل على التردد العالي جداً

# Analog VHF

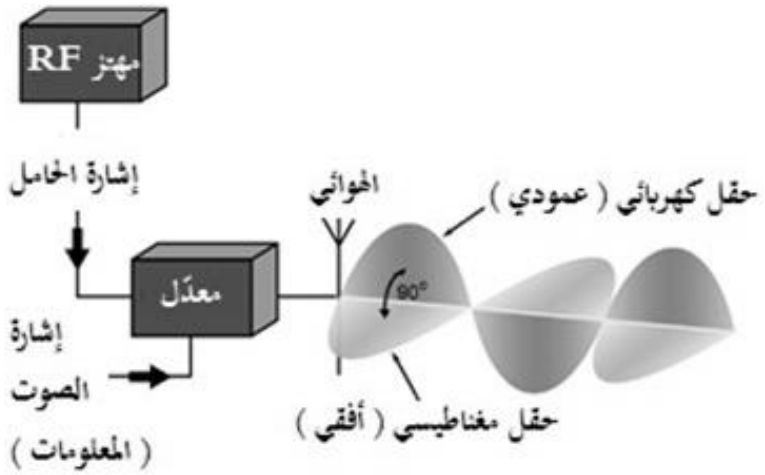
تعمل الأجهزة الراديوية التي تستخدم التردد العالي جداً ضمن مجال ترددي يقع بين 30-300 MHZ وبالتالي فإنّ أي جهاز راديو يعمل ضمن هذا التردد نقول إنه يعمل على النظام VHF وكأمثلة على ذلك يمكن أن نطرح أجهزة الراديو في السيارات FM Stereo العاملة بين تردد 88-108 MHZ, الأجهزة اللاسلكية في الأنظمة السابق ذكرها ( إطفاء, إسعاف . ), الإرسال التلفزيوني, بعض أنواع الرادار وغيرها..

تعمل أنظمة الراديو اللاسلكي إما على النظام التمثيلي Analog ومنها ما يعمل مثلاً على النظام الرقمي Digital المستخدم حديثاً في دول العالم ومنها للاستخدامات المُنظمّة كالـ TETRA , وسنبدأ في هذا الفصل بالتطرق للأجهزة التي تعمل على النظام التمثيلي .

تعمل أنظمة الراديو اللاسلكي التمثيلي بتعديل ترددي Frequency Modulation ويُعتبر هذا النوع من التعديل أفضل تعديل متلائم مع هكذا أمواج راديوية حيث يتميز هذا التعديل بتحميل إشارة الصوت

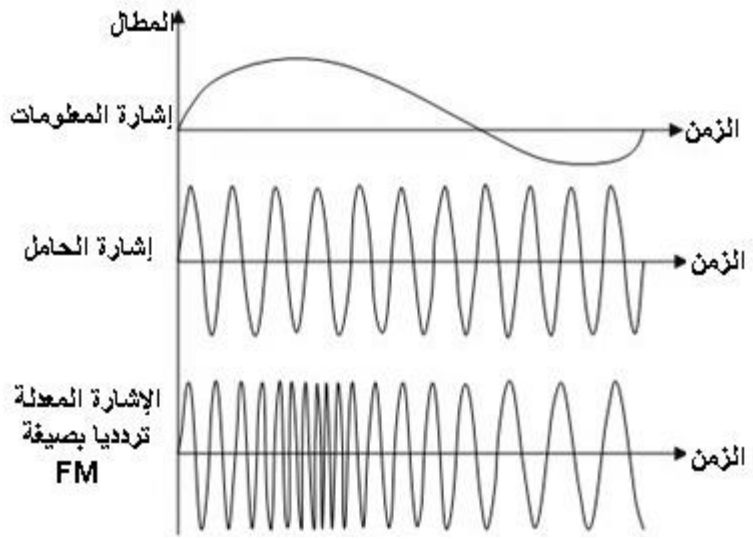
أو ما يسمى إشارة ( المعلومات ) على إشارة حاملة Carrier ذات تردد عالي جداً ضمن المجال (30-300 MHZ ) ونحصل عندها على الإشارة المعدَّلة و هي التي تصدر وتنتشر في الهواء .

تتميز المحطات العاملة على نظام VHF بوجود مهتز راديوي يقوم بتوليد الإشارة الحاملة ذات التردد العالي جداً ويتم تعديل هذه الإشارة مع إشارة الصوت ذات التردد المنخفض وذلك عبر تعديل ترددي FM لتنتج الموجة المعدّلة والتي يتم ارسالها عبر الهوائي كما في الشكل 2.1




الشكل 2.1 دارة الإرسال بتعديل ترددي

كما يكون شكل الإشارة المعدّلة ترددياً كما في الشكل 2.2:



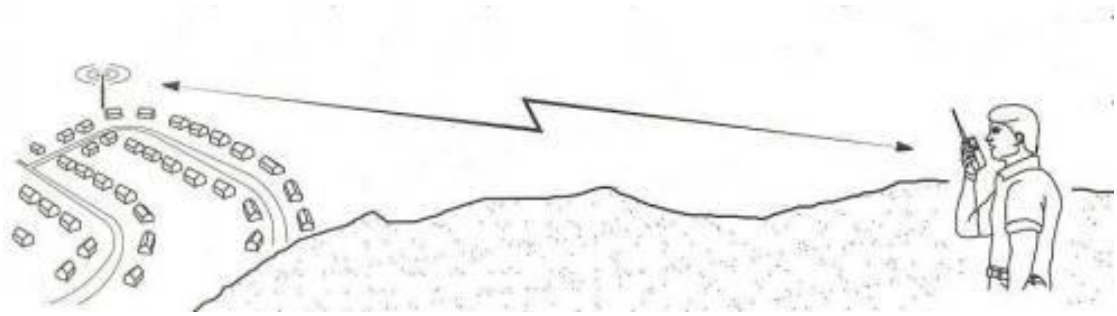

الشكل 2.2 التعديل الترددي لإشارة المعلومات

تتميز الأنظمة العاملة على VHF والحاملة على تعديل FM بدقة صوت ممتازة وهذا ما نراه في أنظمة اللاسلكي بحال كانت العوامل مثالية ( هوائي وأجهزة إرسال وموقع إرسال واستقبال مناسب ) أو بحالة استقبال محطة راديو ضمن السيارة فنجد أنّ المحطات العاملة على FM تتميز بدقة صوت ممتازة بينما المحطات العاملة على إشارات ذات تعديل مطالي AM تتميز بدقة صوت منخفضة وتشويه كبير إذ أنّ العامل المؤثر في هذا التعديل هو مطال إشارة المعلومات وأي تشويه سيتم على مطال الإشارة الأساسية وليس الحاملة Carrier .

تتميز الأمواج الراديوية التي تقع ترددها ضمن نطاق ( 30-300 MHZ ) VHF بأنها تنتشر في كل الاتجاهات بحالة صدرت عن هوائي مثالي ولكن ما يبقى منها هو الأمواج الموازية لسطح الكرة الارضية وتُسمى أمواجاً أرضية, بينما الأمواج التي تصعد باتجاه السماء فإنها إما تُمتص أو تعبر السماء وبالتالي لا ينعكس أيّ منها

باتجاه سطح الارض وهذا ما يفسّر اعتماد الأنظمة العاملة على هذا النوع من الأمواج على تغطية مسافات قصيرة إذ لا ينعكس أيّ أمواج من طبقات السماء وبالتالي لا تتم تغطية أماكن أكبر عبرها.

وتعتمد هذه الأمواج أيضاً على خاصية مهمّة جداً وهي مدى خط النظر أو LoS Line Of Sight إذ أنّ التواصل اللاسلكي موجود دوماً ومُحقق طالما المرسل يرى المستقبل عبر خط نظر, وبالتالي نرى أن مسافة تحقيق التواصل اللاسلكي عبر هذا المجال قد تصل إلى 100 كم وأكثر في حال تحقق مدى خط النظر, كما في الشكل 2.3:

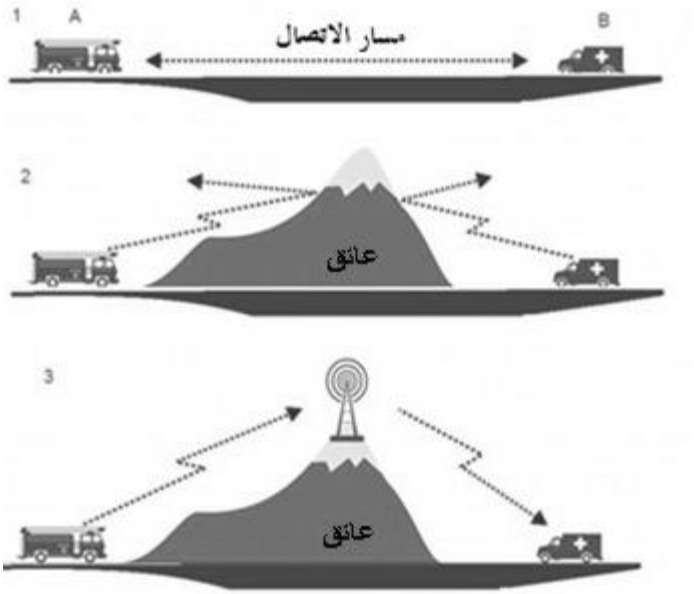


التواصل عبر خط النظر

الشكل 2.3 التواصل عبر خط النظر Line of Sight LoS

تعاني الأمواج الراديوية العاملة ضمن مجال VHF من الخصائص والتضاريس الطبيعية والبنائية كالجبال مثلاً وتؤدي لإضعاف أو تخميد انتشار هذه الأمواج, وبالتالي كما أسلفنا: تُستخدم الأمواج الراديوية الواقعة ضمن

نطاق VHF بشكل أساسي بالتواصل لمسافات قصيرة ولكن, يمكن زيادة هذه التغطية باستخدام مكررات إشارة تُركب في أماكن عالية جداً, كمثال على سفوح الجبال أو الأبنية العالية وتحقق تكرار للإشارة وبالتالي زيادة التغطية اللاسلكية, كما في الشكل 2.4:




الشكل 2.4 إستخدام مكرر إشارة لزيادة التغطية اللاسلكية

هنالك عدّة عوامل تأخذ حيزاً وتلعب دوراً مهماً في تغيير القيم التي تم التوصل اليها في آلية انتشار الأمواج الراديوية نظرياً وخصوصاً من ناحية انحناء الأرض إذ أنّ الأرض كروية, إنّ مدى الإشارات الراديوية حقيقةً يكافئ المدى المنظور الذي تراه العين, أما عملياً فهو المدى بين النقطة التي نقف عندها وإلى النقطة التي فعلياً تُحجب عندها الإشارة نتيجة الانحناء الجغرافي للكرة الأرضية.

يعتمد ذلك أيضاً على مدى خط النظر التي تراه العين , حيث إن العين في المدى الأفقي ترى لأبعد نقطة ممكنة ندعوها خط النظر, في الحقيقة إنّ الأمواج الراديوية تستطيع العبور لما بعد تلك النقطة بقليل إلا أنها تصطدم وتحجب نتيجة انحناء الأرض فإن تخيلنا الكرة الأرضية عبارة عن سطح أملس مستوي, لا يوجد تلال ولا جبال ولا هضاب ولا أي مانع للأمواج, عندها يمكن استخدام بعض المعادلات الهندسية في حساب مساحة الإنتشار للأمواج عن سطح الأرض ومتعلقاً ذلك بارتفاع الهوائي, حيث كلما كان الهوائي مرتفعاً عن سطح الأرض كلما زادت مساحة الإنتشار, تعطى مسافة الإنتشار بالقانون:

$$D = \sqrt{H} \times 1.415$$

باعتبار H الارتفاع عن سطح الأرض بالقدم وتكون الواحدة بالميل.

يجب أن يكون المستقبل مرتفعاً عن سطح الأرض وكلما كان المستقبل في مكان أعلى كلما كان استقبال الإشارة أفضل, كأن يكون الشخص المستقبل للإشارة جالساً على أعلى تلة أو جبل، الأمواج المنتقلة من المرسل ليست خطوطاً مباشرة فقط إنما على شكل بالون تنتشر في جميع الاتجاهات, هنالك عامل آخر يلعب دوراً مهماً في مدى الإنتشار والتواصل بين جهازين ألا وهو استطاعة الإرسال حيث أنّ استطاعة إرسال الجهاز المحمول باليد تساوي ربع استطاعة الجهاز المركب في السيارة وعليه الإشارة تضعف بعد مسافة من لحظة الإرسال إن كانت مُرسلة من محمول باليد مقارنة بالجهاز المركب بالسيارة حيث إنّ الإشارة المرسلة من محطة ثابتة أو محطة محمولة في سيارة تصل لمسافات أبعد من الإشارات المرسلة من محطة محمولة باليد.

للتوضيح أخيراً, فلنفترض وجود شخص ما في قارب في النهر وحاملاً لجهاز محمول وقام بإرسال إشارة, فأيّ مستقبل أعلى من سطح النهر سيستقبل الإشارة بسهولة, ولكنها ستستقبل بصعوبة من خلف جدار على سطح النهر مثلاً, بنفس المنوال, كلما كان الهوائي عالياً وذو استطاعة إرسال جيدة كلما سَهُل استقبال الإشارة من المستقبلين على الأرض نتيجة للمعادلة السابقة ومدى خط النظر وعدم وجود عوائق في المناطق العالية كما هو على سطح الأرض من أبنية وسطوح وجدران.

جدير بالذكر أنّ هنالك عدة عوامل تلعب دوراً بجانب ما سبق ونذكر نظرياً منها:

- ارتفاع الهوائي
- عدم وجود عوائق تخمّد الإشارة
- استطاعة الإرسال
- ارتفاع المستقبل والمرسل عن سطح الأرض
- وغيرها...

# الفصل الثالث:

# مكونات نظام الراديو اللاسلكي VHF

يتألف نظام الراديو اللاسلكي العامل على التردد العالي جداً VHF من:

- أجهزة محمولة باليد أو تسمى Handheld or Handset.
- أجهزة مثبتة في مركبة Mobile Station.
- أجهزة مثبتة ضمن بناء Base Station.
- مكررات إشارة Repeaters و ذلك لزيادة التغطية الجغرافية اللاسلكية العاملة.
- الكابلات و الموصلات المستخدمة في النظام.

الشكل 3.1 تجهيزات النظام اللاسلكي

سنقوم باستعراض كلّ منها بالتفصيل على الشكل التالي:

## 1) أجهزة محمولة باليد أو تسمى Handheld or Handset

أغلب أجهزة اللاسلكي المحمولة تعمل على النطاق بين (136-147 MHZ) وغالباً ما تقوم الجهات المعنية في الدول بتخصيص هذه الترددات للمجالات السابق ذكرها (إطفاء، إسعاف، شرطة , استخدامات متعددة.. ) تتميّز أجهزة اللاسلكي المحمول بخفة الوزن، كما إنها تحتوي على بطارية من الليثيوم سريع الشحن غالباً والذي قد يُبقي الجهاز في حالة عمل حتى يومين أو ثلاثة حسب الاستخدام.

كما إنّ الاستطاعة الصادرة من هذا الجهاز صغيرة إذ قد لا تتجاوز 5 واط وبالتالي يستحسن وجود خط نظر في حال التواصل مع محطة ثابتة أو متنقلة وذلك لضمان جودة الصوت والإشارة حيث تتميز هذه الأجهزة بهوائي صغير غالباً ما يكون بطول ربع الموجة أو أقل ويُطلق عليه اسم Rubber Duck antenna وهو هوائي مصنوع من الخارج من المطاط كما في الشكل 3.2 حيث يبدو الهوائي واضحاً بعدة أشكال.

الشكل 3.2 عدة أشكال للأجهزة المحمولة باليد

يمكن برمجة هذه الأجهزة على عدة قنوات Channels ضمن النطاق الترددي إذ يوجد ميزة مهمة جداً فيها وهي البحث Scan حيث يمكن للجهاز استقبال عدة إشارات ضمن المجال الترددي العامل والاستجابة لهم كما تقوم بعض الشركات بدمج شاشة LCD مع الجهاز لسهولة الاستعراض و التبديل بين القنوات و البرمجة و غيرها.

هنالك عدة شركات متميزة بتصنيع هذه التجهيزات مثل KENWOOD, ICOM، MOTOROLA.

## 2) أجهزة مثبتة في مركبة Mobile Station

تتميز أجهزة الراديو اللاسلكي المثبتة في المركبات بأنها ذو استطاعة أعلى من المحطات المحمولة باليد إذ تتراوح استطاعتها بين 25 إلى 50 واط وبالتالي على الأقل خمسة أضعاف استطاعة المحمولة باليد وبالتالي مدى أكبر في استقبال التغطية اللاسلكية وبحال الإرسال أيضاً.

تتميّز هذه التجهيزات باحتوائها على ميكرفون ومكبر صوت خارجي Speaker منفصل وأداء ممتاز وتركب ضمن المركبة وتوصل مباشرة مع بطارية المركبة إذ إنّ جهد تغذيتها يكون 12 فولط و بالتالي من الممكن الوصل المباشر مع بطارية (مدخرة) المركبة مع تفضيل وجود فاصمة منصهرة Fuse للحماية من عكس القطبية أو التيارات العالية الفجائية وغيرها.

أما بالنسبة للهوائيات المتصلة مع هذه الأجهزة فغالباً ما تكون بربع طول الموجة أو $\frac{5}{8}$ من طول الموجة والتي تكون أطول قليلاً من الربع، والهدف هو تنصيب هوائي ذو طول مقبول واستقبال جيد مع ربح مناسب على سطح المركبة.

يجب أن نذكر أنّ الهوائيات بطول $\frac{5}{8}$ من طول الموجة تتميّز بأداء جيد جداً وتحقق ربح قد يصل إلى 3 dbi وبالتالي ربح جيد ويجب أن يكون الهوائي عمودياً على سطح السيارة ولا يحبذ أن يكون مائلاً, إذ إنّ انتشار الأمواج عن هوائي عمودي على سطح السيارة يؤدي لانتشارها في الهواء بشكل ممتاز وهذا هو المطلوب أما تنصيب الهوائي بشكل مائل على سطح المركبة فيؤدي إلى أن جزء من الأمواج الراديوية ستُمتص أو تنتشر عن سطح السيارة وبالتالي ضياع بالإشارة الصادرة نوعاً ما.

الشكل 3.3 يبين أحد الأجهزة التي يتم تثبيتها في مركبة حيث يتم تزويده بالطاقة عبر الوصل مع مدخرة المركبة ويتم تركيب الهوائي على سطحها لتحقيق أكبر ارسال واستقبال ممكن.

الشكل 3.3 جهاز مثبت في مركبة

يتم وصل الهوائي بالجهاز اللاسلكي عبر كبل Coaxial رفيع نوعاً ما كي يتلاءم مع مكونات المركبة وغالباً ما يكون من النوع RG58 وهو عبارة عن كبل محوري يقوم بنقل الأمواج الراديوية من الجهاز للهوائي و بالعكس.

أيضاً الشركات المصنعة لهذه التجهيزات من أهمها يمكن أن نذكر KENWOOD,MOTOROLA و ICOM .

## 3) أجهزة مثبتة ضمن بناء Base Station

تعتبر المحطات الثابتة مشابهة بشكل كبير للمركبّة منها على سيارة، إذ تتميّز بنفس مواصفات استطاعة الإرسال تقريباً ولكن الاختلاف يتم فيما يلي:

الهوائيات التي تُركب للمحطات الثابتة تتميز بربح عالٍ وأداء مُميّز, مقارنة بالهوائيات المركبة على سيارة, إذ أنّه من الممكن تركيب هوائي ذي طول مناسب وعالٍ على سطح البناء وتوصيله بالمحطة الثابتة مهما كان طول الهوائي ولكن لا يمكن تحقيق ذلك على سطح سيارة بالنسبة للمحطات المتحركة لذلك أداء المحطات الثابتة (برغم كونها نفس استطاعة الإرسال للمتحركة) أفضل بسبب وجود هوائي أنسب, مناسب لتردد الإرسال. هنالك عدة هوائيات بأشكال مختلفة فمن الممكن تركيب هوائي بنصف طول الموجة أو ربع طول الموجة ثنائي القطب Dipole أو مصفوفة هوائيات عدد 2 أو4 أو اكثر .

أو من الممكن تركيب هوائي بربح عالي ولكن عريض المجال ويوزّع الإشارة بكل الإتجاهات ونسميه Omni Directional Antenna كما يوضح الشكل 3.4 أدناه:

هوائي عريض المجال  مصفوفة هوائيات Dipole عدد 4 هوائيات

الشكل 3.4 هوائيات تستخدم مع الأجهزة الثابتة ومكررات الإشارة

إن الطاقة المزوّدة للمحطة الثابتة لا تكون من بطارية ( مدخرة ) مركبة Vehicle دوماً, فمن الممكن تركيب عدّة بطاريات وأخذ مصدر خرج 12 فولت منها وهذا يؤدي لدوام استمرار عمل المحطة في حين انقطاع التيار الكهربائي أما في حال المحطة المثبتة في مركبة فنعتمد على بطارية المركبة فقط.

بالنسبة لبرمجة هذه التجهيزات فهي نفسها ولكل المحطات إن كانت محمولة باليد أو مركبة على سيارة أو ثابتة إذ إنّ الهدف تحقيق التواصل اللاسلكي بين كل ما سبق.

## 4) مكررات الإشارة Repeaters

تعمل مكررات الإشارة على زيادة تغطية الشبكة اللاسلكية " الراديوية " في منطقة ما مع العمل على تحقيق تواصل فعّال بين جهازين محمولين باليد عن طريقها.

مكرر الإشارة Repeater يتكون من تكامل جهازين: الأول: مستقبل عالي الحساسية والثاني: مرسل عالي الاستطاعة يعملان مع بعضهما البعض بنفس الوقت, يتم تركيب مكررات الإشارة على قمم الجبال أو في المناطق العالية نوعاً ما أو على أبراج عالية وذلك لتحقيق أكبر تغطية ممكنة للمنطقة المرَكب بها.

إنّ الهدف الرئيسي في استخدام مكرر الإشارة علاوةً على زيادة التغطية اللاسلكية يتمثل في ما يلي:
بفرض تحقيق نظام راديو لاسلكي مع عدم استخدام مكرر للإشارة, لذا لتحقيق تواصل بين محطتين تبعدان عن بعضهما مسافة 50 كم فإننا بحاجة إلى جهازي راديو باستطاعة إرسال عالية, مواصفات جيدة وهوائيات ممتازة لتحقيق التواصل, أما باستخدام مكرر الإشارة فبإمكاننا تحقيق ما سبق فقط باستخدام جهازين صغيرين محمولين باليد يتراسلان الإشارة عبر المكرر بكل سهولة, مما يعني توفيراً في حجم المعدات و التكلفة.

### مكونات مكرر الإشارة:

بالمجمل العام, قد نظن أنّ مكررات الإشارة مكونة من مركبات معقدة, لكن على عكس ذلك, فإنها تتكون من عدّة أجهزة بسيطة, بالمبدأ نستخدم جهازي راديو لتحقيق عمل مكرر الإشارة, الأول يعمل كمرسل والثاني

كمستقبل, المكررات تعمل غالبا بنمط Half duplex وعليه فإنها بحاجة تردد للإرسال وآخر مخالف للأول للاستقبال.

يقوم المكرر بإستقبال الإشارة عبر الراديو الأول بتردد ف1 / F1 و يقوم بتكرارها عبر الراديو الثاني بتردد مغاير ف2 / F2 , هذه التجهيزات الراديوية لا تتطلب أن تكون بمواصفات عالية, إلا أنها يجب أن تكون ذات جودة ووثوقية مطلوبة.

هنالك قطعة هامة جداً في المكررات وهي المتحكم Controller وهو يمثل الدماغ في نظام مكررات الإشارة، حبث يؤمّن فعالية النظام المستخدم، يقوم بترميز الصوت وفك الترميز، ويحدد زمن الإرسال والإستقبال وغيرها من الميزات التي من الممكن تفعيلها.

وبسبب وجود جهازي راديو في مكرر الإشارة فإن ذلك يستلزم تنصيب هوائي لكل منهما ولكن للاستعاضة عن تنصيب هوائيين بهوائي واحد نستخدم مكون ثالث يدعى Duplexer

ما هو الدوبلكسر Duplexer؟

إن هذا الجهاز هو عبارة عن جهاز متميّز يؤمن اتصال ثنائي الاتجاه ( مرسل–مستقبل ) بنفس الوقت وعبر هوائي واحد, حقيقة يقوم بعزل الإشارة المرسلة عن الإشارة المستقبلة على نفس الهوائي, يتألف الدوبلسكر من مجموعة من المرشحات: أول مجموعة تسمح بتمرير تردد الإرسال ولا تسمح بتمرير تردد الاستقبال والثانية تقوم بالعكس,

وذلك لتحقيق العزل على الهوائي ما أمكن بين الإرسال والإستقبال لكي لا يكون هناك تداخل في الكلام.

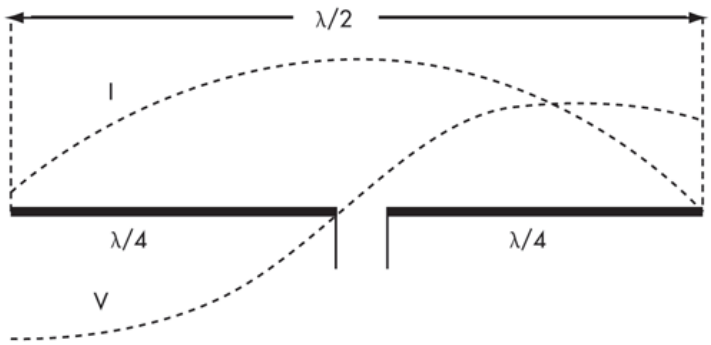
الشكل 3.5 يوضح شكل الدوبلكسر وتوصيلاته المختلفة:

الشكل 3.5 الدوبلكسر Duplexedr

آخر مكون من مكونات مكرر الإشارة هو الهوائي Antenna حيث يعتمد الهوائي المستخدم على المنطقة المراد تغطيتها, وعلى تضاريسها, تختلف الهوائيات في الأحجام والربح والنوع والشكل, كل له ميزاته ومساوئه نوعاً ما, من الممكن شراء الهوائيات من السوق والشركات مباشرةً كما من الممكن تصميم الهوائي بأنفسنا.

لتحقيق تصميم هوائي لمكرر الإشارة يجب قياس التصميم والمحددات الخاصة بذلك بناءً على تردد الإرسال للمكرر وليس الاستقبال, نستطيع القيام بتصميم هوائي ثنائي القطب نصف طول الموجة Half wave Dipole Antenna على الشكل التالي بفرض التردد المستخدم هو التردد (136 MHZ) كتردد إرسال لمكرر الإشارة

والتردد (141 MHZ) كتردد استقبال لمكرر الإشارة بالتالي نجد:




الشكل 3.6 الية انتشار الأمواج من هوائي دايبول بطول نصف الموجة Half wave Dipole Antenna

يتم حساب طول الهوائي L بناءً على التردد المعطى وحسب العلاقة التالية

$$L = \text{lambda} /2 = C / 2F$$

حيث F بالميغا هرتز و C مكافئة لسرعة الضوء وبالتالي حيث أنّ F= 138 MHZ نجد

$$L = 3x10^8 / 2x\ 138\ x\ 10^6 = 1.08 \text{ Meter}$$

بالتالي يكون طول كل قطب ما يعادل تقريباً 45 cm

يتم وصل الكابل المحوري مع أقطاب الهوائي بحيث يوصل الـ Shield بأحد الاقطاب والـ Inner بالقطب الثاني ويتم تركيب موصل من نوع N أو BNC " سيتم إستعراضهم لاحقا " وعندها يتم قياس نسبة الأمواج

المستقرة SWR Standing Wave Ratio لدراسة وجود أي ضياعات أو عدم توافق في الممانعات.

## أنواع مكررات الإشارة:

هنالك ثلاثة أنواع رئيسية لمكررات الإشارة التي تعمل بشكل عام تماثلي Analog أو رقمي Digital وهي:

### 1- Single Site

وهي مكررات الإشارة الأعم استخداماً والأبسط تقنيةً, تتألف من مستقبل ومرسل يعملان بنفس الوقت, الأول يستقبل على تردد د1, ويقوم المكرر عبر المرسل بتكرار الإشارة بتردد مختلف د2, تتمثل سيئته في عدم تغطية المناطق ذات التضاريس المتموجة أو المناطق المكتظة بالأبنية ضمن المدن بشكل جيد.

### 2- Remote Receiver Repeater System

يتمثل هذا النظام بمكرر إشارة مركزي مُركب على سفح جبل مثلاً ومكررات ثانية صغيرة تقوم بتكرار الإشارة ضمن الأماكن المكتظّة وذات التضاريس الصعبة، مما يشكل دفعاً جيداً في زيادة التغطية والعمل بكفاءة عالية.

Linked Repeater System -3

عبارة عن شبكة من المكررات تقوم بتكرار نفس الإشارة المستقبلة عبر هوائياتها ومربوطة مع بعضها البعض عبر تقنية VoIP Voice Over IP في مثل هذه الحالة التغطية بالشبكة الراديوية تكون على مدى كبير جداً، ممكن تغطية مدينة أو حتى محافظة بكاملها.

## 5) الكابلات و الموصلات المستخدمة في النظام:

تستخدم الكابلات المحورية في نظم الاتصالات المعتمدة على التردد العالي جداً, إنّ الكابل المحوري ( coaxial cable ) هو نوع من أنواع الكابلات النحاسية ويتكون من سلك نحاسي غالبا محاط بمجموعة أسلاك مجدولة ويفصل بينهما طبقة عازلة .

الكابل المحوري يُصنع خصيصاً لنقل الإشارات ويُستخدم كثيراً لتوصيل جهاز راديو أو جهاز تسجيل بجهاز آخر. كما يُستخدم من قبل شركات الهاتف والإتصالات, فالإشارات ما هي إلا موجات ذات ترددات عالية تتصل الشبكة المعدنية الواقية بالأرضي Ground فلا يؤثر أي تشويش من الخارج على السلك المحوري .

يكون الكبل المحوري بقطر 15-5 مليمتر. تستخدم الكابلات المحورية أيضاً لنقل البث التلفزيوني وفي أجهزة الفيديو ولكن أهم الاستخدامات تكمن في استخدامه أيضاً في شبكات الراديو السلكية واللاسلكية, حيث

إنّ أطوال قصيرة منه تستخدم لربط أجهزة ومعدات الاختبار مثل مولدات الإشارة.

إذا كما أسلفنا, الكابلات المحورية تُصنع خصيصاً لنقل الإشارات, لهذا تُستخدم في البث التلفزيوني والراديو ويتألف الكبل المحوري من اثنين من الموصلات هما الموصل الداخلي والخارجي وهي تشترك في نفس المحور لهذا سميت بالكبل متحد المركز.

إنّ الموصل الداخلي يعزله عازل كهربائي عن الموصل الخارجي ويغلفهما طبقة واقية عازلة هي الأخرى فيسهل استخدامها واستعمالها حيث يتألف الموصل الداخلي عادة من سلك رفيع تنتقل فيه الإشارات المرسلة، مثل كابل إنترنت أو كبل تليفون أو إلى مضخم صوت .

الموصل الخارجي هو عادة يكون الدرع وهو مصنوع من نوع مختلف من المواد ويحيط بالموصل الداخلي ويفصلهما عن بعض طبقة عازلة ويكون الدرع مؤلفا من أسلاك مجدولة.

الكابلات المحورية والنظم المرتبطة بها ليست مثالية وهناك بعض الإشارات تشعّ من الكابلات, التدريع الواقي المتأرض يوفر حماية من التداخل الكهرومغناطيسي مما يسمح للإشارات على انخفاض القدرة على أن تنتقل لمسافات أطول وهو ما يمنع من اقتراب الإشارة إلى الأسلاك المجاورة .

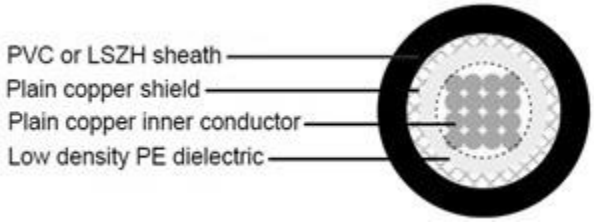
الموصل الخارجي له وظائف كثيرة وهي كدرع للحد من ارتباط الإشارة مع الأسلاك فهو يحمي من الحقول الكهرومغناطيسية, هنالك العديد من الأنواع المختلفة من الكبل المحوري لأن كل نوع منها مع الخصائص الفيزيائية والإلكترونية مختلف عن الأخر حيث إنّه يُصمم لأداء مهام معينة و **الجداول التالية** تعرض أهمها المستخدمة في نظم الاتصالات اللاسلكية إن كان لناحية وصل المحطات الثابتة أو المتحركة مع الهوائيات أو مكررات الإشارة .

- **أولاً:**

# RG 58

## Construction:

| | | |
|---|---|---|
| Inner conductor | Plain copper | 16 x 0.18 mm |
| Dielectric | Low density PE | Φ2.85 ± 0.10 mm |
| Outer conductor (shield) | Plain copper | 80 x 0.12 mm |
| Shield coverage | | 79% |
| Sheath | PVC or LSZH | Φ5.00 ± 0.10 mm |
| | | |




**نسبة التخميد:**

| Frequency(MHz) | Attenuation (dB/100 m) |
|---|---|
| 50 | 9.8 |
| 100 | 14.1 |
| 200 | 20.6 |

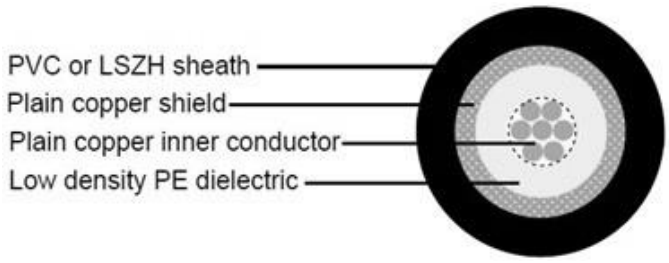
ويستخدم هذا النوع من الكابلات في ربط الأجهزة المحمولة على مركبة مع الهوائي إذ يتميز بصغر قطر الكبل وبالتالي إمكانية سحبه و تركيبه ضمن المركبة ووصله مع الهوائي بسهولة لكن من السيئات نسب التخميد العالية مع المسافة (طول الكبل).

- **ثانياً:**

## RG 213 TY

## Construction:

| | | |
|---|---|---|
| Inner conductor | Plain copper | 7 x 0.75 mm |
| Dielectric | Low density PE | Φ7.25 ± 0.08 mm |
| Outer conductor (shield) | Plain copper | 240 x 0.13 mm |
| Shield coverage | | 93% |
| Sheath | PVC or LSZH | Φ10.3 ± 0.18 mm |



**نسبة التخميد:**

| Frequency(MHz) | Attenuation (dB/100 m) |
|---|---|
| 50 | 4.5 |
| 100 | 6.8 |
| 200 | 10.0 |
| 400 | 14.5 |

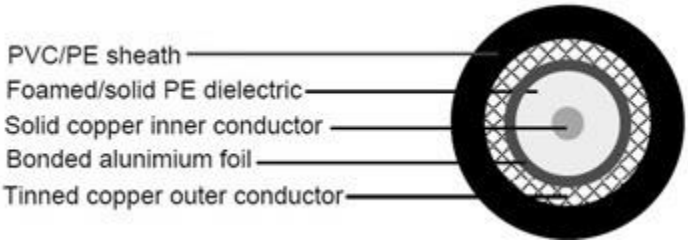
ويستخدم هذا النوع من الكابلات في ربط الأجهزة المثبتة في بناء أو مكررات الإشارة مع الهوائيات إذ إنّ نسب التخميد مقبولة مع الطول مع سعر تكلفة مقبول

- **ثالثاً:**

## 8D–FB

## Construction:

| | | |
|---|---|---|
| Inner conductor | Bare copper/Copper clad aluminum | Φ2.8 mm |
| Dielectric | Foam /Solid PE | Φ7.8±0.02 mm |
| Shield | Bonded aluminum foil | Φ8.0 mm |
| Outer conductor | Tinned copper braid(16x9x0.15mm) | Φ8.6 mm |
| Shield coverage | | 85% |
| Sheath | PVC/PE | Φ10.6 mm |




**نسبة التخميد:**

| Frequency(MHz) | Attenuation (dB/100 m) |
|---|---|
| 100 | 4.1 |
| 150 | 5.1 |
| 280 | 7.1 |
| 350 | 8.1 |

ويعتبر هذا الكبل من أفضل أنواع الكابلات وأقلّها ضياعاً ويتميز بقطر نحاسي جيد, لكن يتميز بتكلفة عالية مقارنة بالكابلات الأخرى.

- **المُوصلات: Connectors**

تعتبر الموصلات صلة الوصل بين الكابل والجهاز الراديوي وتؤمّن انتقال الإشارة بسلاسة من الكابل وإلى الجهاز وهنالك عدة أنواع يتميز أفضلها بأقل قيمة للضياعات مع آلية تحقيق موائمة بين الكابل ومقاومة مدخل الجهاز الراديوي

نعرض أدناه أفضل أنواع الموصلات وهي:

## BNC –1

يكون الموصل النحاسي الداخلي ملحوماً مع الموصل النحاسي للكابل, يتميز بتطبيقه للتطبيقات الراديوية العاملة على ترددات أقل من (3 GHZ) و بجهود أقل من 500 فولت, كما أنّه سهل التركيب والتطبيق , يُستخدم غالباً لكابلات RG58 ويتميز بنسبة ضياع مقبولة, يظهر الشكل التالي موصل BNC و من الممكن أن يتم تركيبه إما بلحم Solder النحاس للكابل والموصل مع بعضهما أو عن طريق الكبس Crimp و يتميز بممانعة موائمة لممانعة الكبل المحوري وغالباً ما تكون ذات قيمة مساوية إلى خمسين أوم تقريباً لتحقيق التوائم, الشكل 3.7

الشكل 3.7 موصل من نوع BNC

الشكل 3.8 موصل من نوع BNC

## PL259 –2

يتم لحم الخط النحاسي للكابل المحوري مع جزء النحاس من هذا الموصل, يتميز بنسب فقد عالية نوعاً ما ويُستخدم لتركيب كابلات RG58 وكابلات RG213 ويتميز بسرعة وسهولة التركيب إذ من الممكن لحم النحاس أو كبسه, وغالباً أيضاً ما تكون ذات ممانعة 50 أوم لتحقيق التوائم

الشكل 3.9 موصل من نوع PL259

3- الموصل من نوع **N**

يتميز هذا الموصل بصعوبة التركيب إذ يوجد عدة مراحل عزل وهذا ما يؤدي لاستخدامه في التطبيقات الراديوية التي تتضمن أقل ما يمكن من الضياع كتوصيل الكابل المحوري مع مكرر الإشارة أو مع المحطة الثابتة وذلك لتخفيف الضياعات وتحقيق أعلى وأكبر انتشار للإشارة, لكنه أيضاً عالي التكلفة بسبب آلية و طبقات الصنع وغالباً ما يستخدم للكابلات من النوع RG213 أو 8D-FB

الشكل 3.10 موصل من نوع N

استعرضنا فيما سبق مكونات النظام المقترح, ابتداءً من مكونات النظام من محطات محمولة وثابتة ومركبة ضمن سيارة ومكررات الإشارة والكابلات والموصلات الرئيسية لكن جدير بالذكر إنّه من الصحيح أنّ المحطات العاملة على النطاق VHF تعمل ضمن النطاق الترددي 30-300 MHZ لكن هنالك ترددات محجوزة مسبقاً

عالمياً لقطاعات معينة, فمثلاً التردد 156 MHZ محجوز للسفن للتواصل مع المرافئ, أما الترددات التي تقع بين 108-137 MHZ فهي محجوزة للمطارات, للتواصل بين برج اللاسلكي في المطارات والطائرات ضمن مسافات قريبة.

وهنالك ترددات محجوزة لهواة الراديو Radio Amateur حول العالم، أما غير ذلك وبشكل عام, فكل دولة على حدا تقوم بتخصيص مجال ترددي لقطاع ما، مثلاً المجال X1 لمنظومة الإسعاف، X2 للإطفاء، X3 للشرطة وهكذا, الجدول التالي يعرض أبرز الترددات المحجوزة حول العالم لنطاق VHF

| | |
|---|---|
| 118–137 MHz<br>Air Traffic | التواصل مع الطائرات ضمن حرم المطار ولمراقبة الحركة الملاحية Air Traffic Control |
| 174–216 MHz<br>Broadcasting | للإرسال التلفزيوني, يخصص للقنوات التلفزيونية 7-13 |
| 156MHz VHF<br>Marine Radio | قناة التواصل والطوارئ مع السفن والموانئ ( القناة16 ) |
| 144–148 MHz:<br>Amateur radio | مجال مخصص لهواة الراديو واللاسلكي |

# الفصل الرابع:

# النظام اللاسلكي الرقمي العامل على التردد العالي جداً

# VHF Digital

- **أنواع التعديل الرقمي:**

يُستخدم النظام اللاسلكي الرقمي تقنيّات تعديل رقمية Digital Modulation تتنوّع بين ثلاثة أنواع رئيسية

1- التعديل الرقمي بإزاحة المطال Amplitude Shift Keying ASK:

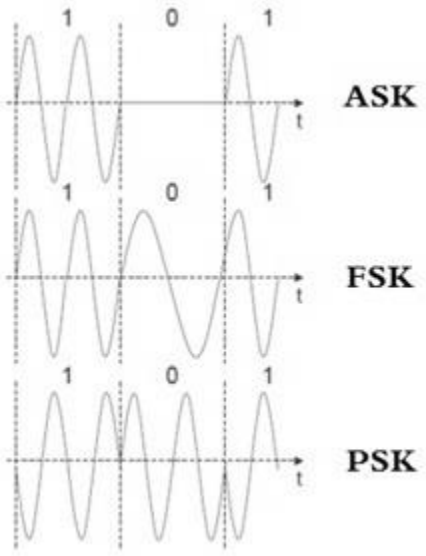
يتم تعديل موجة المعلومات الرقمية بموجة حاملة ذات تردد عالي جداً يتغير مطالها بتغير مطال موجة المعلومات , يتميز هذا النوع من التعديل الرقمي بسهولة الحصول على التعديل, كما إنّه يستخدم عرض حزمة ترددية ضيق إذ لايوجد لزوم لنطاق ترددي عريض ولكنه عرضة للتشويش.

2- التعديل الرقمي بإزاحة التردد Frequency Shift Keying FSK :

يتم تعديل موجة المعلومات الرقمية بموجة حاملة ذات تردد عالي جداً ولكن يتغير ترددها بتغيّر إشارة المعلومات, يحتاج هذا النوع من التعديل لعرض مجال ترددي كبير.

3- التعديل الرقمي بإزاحة الطور: Phase Shift Keying PSK :

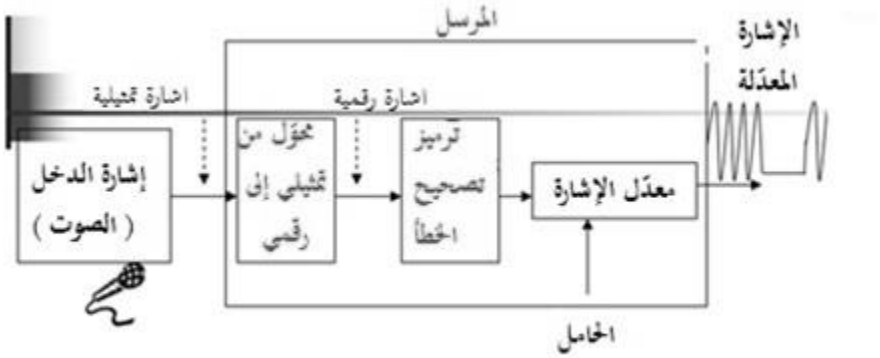
يعتبر من أفضل أنواع التعديل من ناحية عدم التأثّر بالتشويش ولكن الحصول عليه يتطلب تجهيزات معقّدة نوعاً ما, يبين الشكل 4.1 أشكال التعديل الرقمي:




الشكل 4.1 أشكال التعديل الرقمي

بالمبدأ العام, يتم تحويل إشارة الصوت التمثيلية الصادرة من فم الإنسان والمستقبلة عبر المايكرفون في أجهزة الراديو إلى إشارة رقمية ومن ثم يتم تعديلها وإرسالها.

الآلية تتم عبر تحويل الإشارة التمثيلية إلى رقمية عبر إدخالها لمحول من تمثيلي إلى رقمي A/D Converter ومن ثم إلى ترميز تصحيح الخطأ, وأخيراً تضرب الإشارة الناتجة بالإشارة الحاملة عالية التردد وبالتالي نحصل على الإشارة المعدلة رقمياً كما في الشكل 4.2 :




الشكل 4.2 التحويل من تماثلي إلى رقمي

- **طرق النفاذ المتعدد:**

تعتمد الأنظمة الراديوية الرقمية على تقنيتين أساسيتين من تقنيات النفاذ المتعدد والتي تهدف بالمجمل بالإستفادة من مميزات النظام والتردد المستخدم بشكل أمثل وهما:

1- النفاذ المتعدد بتقسيم التردد FDMA

2- النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن TDMA

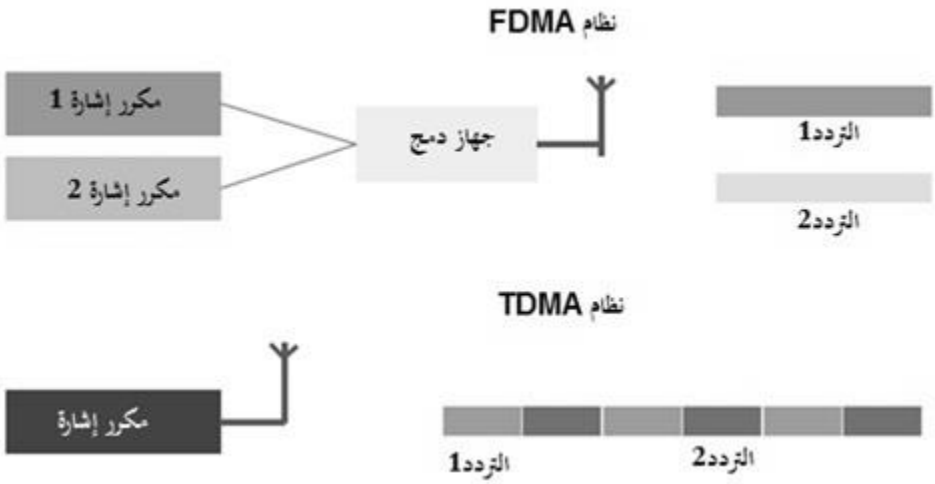
إنّ عرض الحزمة الترددية في الأنظمة الراديوية العاملة على نطاق VHF تكون عادة حوالي 25 أو 12.5 كيلوهرتز وهي مستخدمة بالكامل في الأنظمة المعتمدة على الشكل التمثيلي Analog أما في حالة الشكل الرقمي فيمكن تقسيم عرض المجال نفسه إلى قناتين كل واحدة منها 6.25 كيلوهرتز وكل منهما تعتبر قناة منفصلة بالكامل وهنا تمت زيادة السعة بزيادة إمكانية إرسال المعلومات لكن تحقيق ما سبق يتطلب وجود مكرري إشارة, بحيث يجب تحقيق مكرر لكل قناة وبالتالي السيّئة في النظم المعتمدة على تقسيم التردد تتمثل في التكلفة أما بالنسبة للأنظمة المعتمدة على تقسيم الزمن TDMA والتي تسمى أيضاً DMR Digital Mobile Radio فإن الإشارة تُقسَّم بواحدة الزمن إلى مقاطع Slots بواحدة الزمن نفسه مما يسمح بزيادة السعة باستخدام نفس عرض المجال الترددي, الميزة هنا تتمثل في استخدام مكرر إشارة وحيدة لتحقيق ذلك بسبب استخدامنا عرض المجال الترددي نفسه أما السيئة هنا فتتمثل بحصول بعض التداخل أحياناً بسبب استخدام التردد نفسه لقناتين منفصلتين بواحدة الزمن.

إذاً تُعتبر الأنظمة المستخدمة لتقنية النفاذ المتعدد بتقسيم التردد أفضل من ناحية التداخل و التشويش ولكن الأنظمة المستخدمة لتقنية النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن أوفر من ناحية التكلفة لجهة استخدام مكرر إشارة وحيدة لقناتين CH1, CH2

الشكل 4.3 يمثل مقارنة بواحدة الزمن بين نظام راديو لاسلكي تمثيلي Analog وآخر رقمي يستخدم تقنية النفاذ المتعدد باستخدام الزمن DMR / TDMA

الشكل 4.3 مقارنة بين النظام التمثيلي و الرقمي

والشكل 4.4 يبيّن الفرق في حال توفير التكلفة والمعدات المستخدمة للحصول على قناتين منفصلتين:

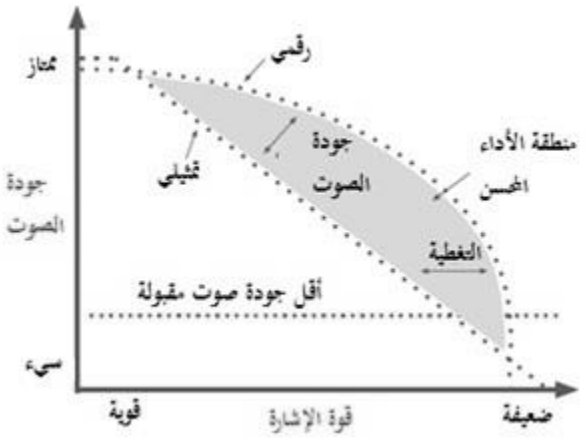


- **مميزات استخدام أنظمة الراديو اللاسلكي الرقمية:**

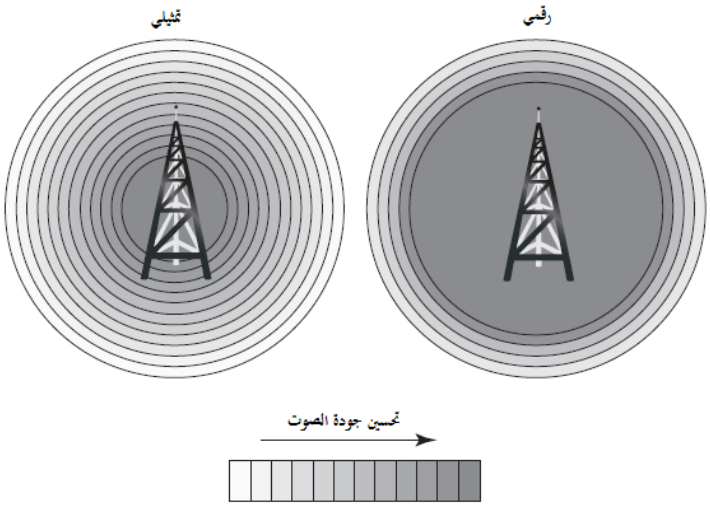
1) الحصول على سعة أكبر للنظام المستخدم وقنوات أكثر سواءً عند استخدام تقنية النفاذ المتعدد باستخدام الزمن أو باستخدام التردد.

2) كلفة قليلة في حال استخدام النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن حيث يلزم مكرر إشارة وحيد, هوائي وحيد للمكرر ومازج وحيد أيضاً وذلك للحصول على قناتين 2 Channels.

3) زيادة التغطية اللاسلكية في النظم المعتمدة على التقنية الرقمية مع ضمان الحصول على صوتٍ نقيّ في الإرسال والإستقبال بسبب ضآلة إمكانية حصول تداخل كما في النظم التمثيلية وبسبب وجود آلية تصحيح الخطأ Auto Correct Error و أيضاً النظم الرقمية تتميز بأنها لا تعاني كثيراً من الخفوت وتُرسِل بطاقة أقل لمسافات أبعد.




الشكل 4.5 تحسين التغطية في النظام اللاسلكي الرقمي مثارنة بالتمثيلي




الشكل 4.6 تحسين جودة الصوت في النظام الرقمي

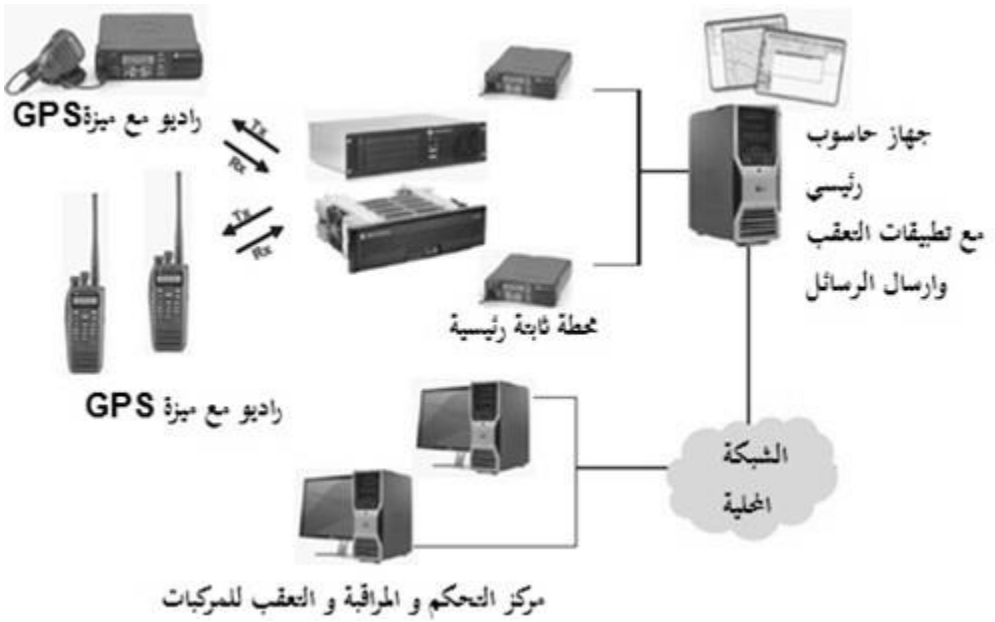
4) الحصول على محادثات آمنة وذلك بسبب استخدام التعديل الرقمي في الإرسال Secure Conversation.

5) كفاءة في أداء البطارية ( المدخرة ) وخصوصاً للأجهزة المحمولة باليد حيث إن الجهاز المحمول باليد يستخدم فقط واحداً من أصل قناتين صوتيتين في الـ TDMA وبالتالي يتطلب نصف طاقة المرسل كما هو عليه في النظم التمثيلية.

6) تتميّز الأجهزة المحمولة باليد العاملة على النظام الرقمي بميزات إدارة الطاقة مثل Sleep والتي تستطيع توفير ما يقارب من 40 بالمائة من دورة حياة البطارية.

7) بسبب إمكانية وصل مكرر الإشارة مع الشبكة المحلية LAN وإعطائه عنوان على شبكة الإنترنت IP Internet Protocol فبإمكاننا الوصول بسهولة للمكرر عبر الشبكة وإعادة برمجته أو تحديث الإصدار الخاص به.

8) تتميّز الأجهزة العاملة على النظام الرقمي بإمكانية استخدام خدمات البيانات مثل الرسائل القصيرة SMS, إرسال الموقع الجغرافي عبر الراديو الرقمي GPS Over VHF , مميزات صوتية مثل الإتصال بمجموعة Group Calling, أو اتصال من شخص لشخص فقط One to One, أو من شخص لمجموعة من الاشخاصOne to Group , كما يوجد ميزات مثل الإستماع عن بعد Remote Monitoring .




الشكل 4.7 آليات الربط مع عدة طرفيات في النظام اللاسلكي الرقمي

9) إمكانية اعطاء الجهاز رقم معين User ID وربطه بإسم ما, كأن نقول إنّ الجهاز ذو الرقم 1234 يظهر على شاشات الأجهزة البقية باسم ( مركز الحركة Dispatch ) مثلاً, والهدف سهولة التواصل وتحقيق كفاءة عالية, مع سهولة التواصل من شخص لشخص في هذه الحالة ( الإتصال المباشر عن طريق الاسم باستعراض دليل الأسماء المخزنة بدلاً عن الرموز Codes والأرقام )

الشكل 4.8 يوضح جهاز راديو مع ميزة User ID مثبت على مركبة يعمل على النظام الرقمي Digital

10) إمكانية عطب الإرسال لجهاز ما قد يكون مسروقاً أو تحقيق خاصيّة عطب الإرسال والإستقبال للجهاز وذلك لتقليل إمكانية الاستفادة من جهاز مسروق Stun and Kill Codes.

# الفصل الخامس

# النظام اللاسلكي الرقمي TETRA

يعتبر نظام TETRA من أهم أنظمة الإتصالات الرقمية المستخدمة في العالم لما يتميز به من ميزات عديدة أهمها الأمان والوثوثية وسرعة انشاء المكالمة مع عديد الميزات الأخرى بين صوت وبيانات Data.
بالأساس, نظام التيترا هو نظام اتصالات لاسلكي رقمي, أي يؤمّن تغطية لاسلكية لإقامة مكالمات صوتية وحديثاً Data services بين مستخدمين إثنين أو مجموعة مستخدمين, يستخدم عادةً الترددات التي تقع بين 300-400 ميغاهرتز ولكل بلد مجال طيفي خاص به يُستخدم لل TETRA ولكن غالباً ضمن هذا المجال, يشابه في شكله وادائه نظام الإتصالات اللاسلكي VHF لكن هنا بشكله الرقمي ذي الميزات الرائعة.

يُستخدم هذا النظام من قبل العديد من منظومات الطوارئ مثل الاسعاف والاطفاء وشرطة المرور وغيرها وذلك لمجمل المزايا المذكورة أعلاه.

أتت كلمة TETRA كاختصار لـ TErrestrial Trunked RAdio والمقصود به الراديو الارضي متعدد قنوات الربط ونبيّن ذلك بالطريقة التالية:

1- الراديو: لأنه يستخدم شبكة لاسلكية راديوية في نقل المعلومات إذ لا يوجد ربط سلكي بين الأجهزة المستخدمة سواءً كانت محمولة باليد أو مثبّتة في عربة أو غيرها, كل التجهيزات بالشكل اللاسلكي وتستخدم الترددات كما ذكرنا بين 300-400 MHZ وبالتالي يقع ضمن نطاق UHF Ultra High Frequency وتتميّز هذه الأمواج بطول موجي قصير وقابلية الأمواج على اختراق الأبنية والسقوف وغيرها وبالتالي تغطية أفضل على الأرض ضمن نطاق جيد نوعاً ما.

2- الأرضي: لأنه يستخدم الأمواج الارضية, حيث لايوجد أمواج تصعد الى السماء لأنها ببساطة تخترقها ولايتم أيّ تواصل مع الاقمار الصناعية, إنما التواصل الحقيقي يتم على الأرض بين أشخاص أو مركبات متحركة على سطح الأرض, جدير بالذكر أنّ الأمواج التي ترددتها مادون 30 ميغاهرتز لا تخترق طبقات السماء إنما تنعكس منها نحو سطح الأرض مجدداً مما يؤدي لزيادة التغطية اللاسلكية لمسافات بعيدة جداً ( دول و بلدان بين بعضها البعض ) وهذا ما ندعوه بالأمواج عالية التردد HF High Frequency.

3- متعدد القنوات: بسبب آلية ربط هذا النظام عبر عدّة قنوات مختلفة ,حيث يتميز بعرض مجال مكافئ لعرض المجال المستخدم في نظام VHF اللاسلكي لكن الاستثمار ممتاز من ناحية عدد القنوات, كما أن نظام تيترا يتميز بقابليته الوصل مع مقاسم هاتفية متعددة, مثالها مع شبكة الإنترنت وشبكة المعطيات العامة PDN Public Data Network وأيضا مع شبكة ISDN ومع شبكة الموبايل Mobile وغيرها وبالتالي مزايا متعددة مجموعة في نظام واحد.

يتميز نظام TETRA بأنه نظام أوروبي المنشأ كبداية ويُستخدم حالياً بأكثر من 125 دولة حول العالم, ونستعرض مايتميّز به هذا النظام على الشكل التالي :

1- الإتصال من نقطة إلى نقطة, أو من نقطة إلى عدة نقطP2P. P2MP .

2- يتميز بآلية أمان وتشفير عالية جداً Encryption/Security مع آلية تمييز المستخدمين والأجهزة المستخدمة والتحقق منها إلخ..

3- يتميز بتحقيقه لمزايا الإتصال الهاتفي مثل ,Group calling, broadcast والإتصال المباشر من شخص لشخص و غيرها.

4- تطبيقات بيانات Data مختلفة مثل الرسائل القصيرة SMS , تعقب المركبة و الموقع, GPS وغيرها.

5- يتميز بآلية العمل كـ Half Duplex مثل أنظمة الشرطة والمرور القديمة أو كـ Full Duplex مثاله الموبايل الخليويGSM .

من الجدير بالذكر أن نظام TETRA يعمل تحت مظلة الراديو المتنقل الخاص أو ما يُسمى:
Private Mobile Radio PMR حيث تتميّز الأنظمة الواقعة ضمن هذه المجموعة بالقدرة على انشاء شبكات راديو لاسلكية متنقلة خفيفة الكلفة للإستخدامات الخاصة ( Private Network ) وليس كشبكات الموبايل أو شبكات المعطيات العامة ونتيجة الحاجة لشبكات خاصة فإن استخدامات هذه الأنظمة تقع لمصلحة منظومات الإسعاف والطوارئ مثل الشرطة والمرور والإطفاء وغيرها كما أن الأنظمة الواقعة تحت PMR تستخدم غالبا النطاقين VHF/UHF لتأمين تغطية مناسبة على الأرض مع استخدام هوائيات صغيرة نسبياً باعبتار أن التردد يتناسب عكساً مع طول الهوائي.

يعتبر نظام TETRA أول نظام رقمي PMR يرسل البيانات ويستقبلها بشكلها الرقمي 1,0,1,0,1,1,0 كما أنه يتميّز بالوثوقية والأداء العالي جداً وبأنه نظام محمي جيداً ضد الإختراقات بسبب استخدامه لخوارزميات متعددة من الأمان بدءاً من إنشاء المكالمة وتشفيرها وحتى استقبالها من الطرف الأخر وهذا ما يجعله مرغوباً في المنظومات السابق ذكرها.

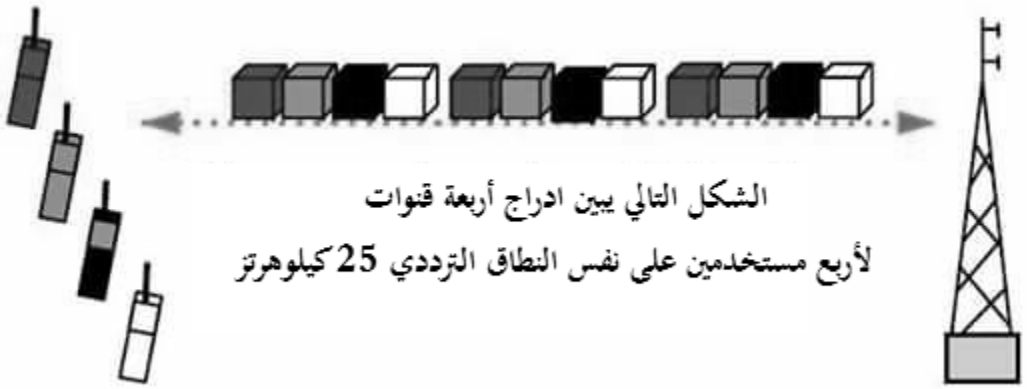
وباعتبار الشكل الرقمي هو المستخدم, بالتالي يؤمّن دقة صوت ممتازة في المكالمات بين المرسل والمستقبل من جهة وأقل نسبة خطأ في حال إرسال البيانات من جهة أخرى وذلك بسبب مناعة هذا النظام ضد التشويش والتأثيرات المختلفة وهذا ما يجعله مرغوبا بشكل أكبر.

وبما أنّ النظام يدعم إرسال وإستقبال البيانات والصوت بالتالي فإن البنية التحتية له مؤلفة من Circuit Switched و Packet Switched تماماً كما يدعم الموبايل تقنيتي الصوت والبيانات, فمثلاً النظام الخليوي ( الموبايل ) دعم في الجيل الثاني منه GSM إرسال وإستقبال الصوت عبر دارات Circuit Switched ودعم إرسال وإستقبال البيانات في الجيل الثالث 3G عبر دارات Packet Switched أما نظام TETRA فيدعم كلاهما بشكل واحد وبالتالي قادر على إرسال وإستقبال الصوت والبيانات عبر الدارات المذكورة أعلاه الموجودة في بنية النظام ( Mobile Switching ) .

وكما أسلفنا سابقا, يقع نظام TETRA ضمن مجموعة PMR وبالتالي المستخدمة للنطاق UVH/VHF ولكن أغلب أنظمة التيترا في البلدان المتعددة حول العالم تعمل ضمن الترددات : UHF 300-400 MHZ ومن الممكن أن نجد أيضا 800 MHZ والسبب أن ترددات النطاق UHF تتميّز بطول موجي قصير جدا من جهة, وتردد عالي جداً, وبالتالي طول هوائيات إرسال وإستقبال قصير بالنسبة للأجهزة المحمولة أو المركبة في سيارة أولا وثانياً بما أنّ هذه الأمواج UHF ذات طول موجي قصير جداً كما أسلفنا بالتالي فإنها قادرة على اختراق الابنية والطوابق وهذا ما يساهم في تحقيق اتصال صوتي في مناطق كوارث أو تحت الارض أو من خلال الأنقاض.

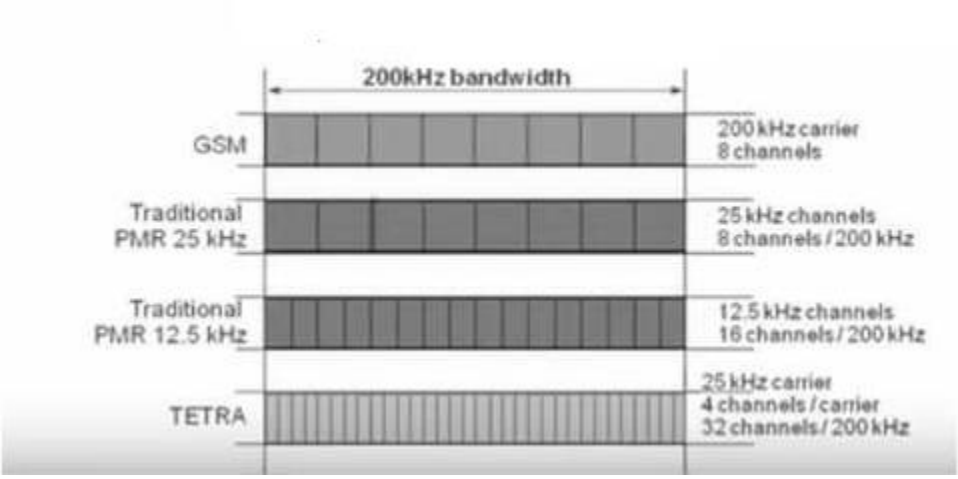
يستخدم نظام TETRA عرض مجال 25 كيلوهرتز بالنسبة للقناة الصوتية وللحصول على أفضل استثمار لعرض المجال هذا فإن تقنية النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن TDMA مستخدمة حيث يتم تقسيم هذا المجال الى أربع

قنوات عرض كل منها 6.25 KHZ وبالتالي استثمار أربع مستخدمين في نفس الوقت والزمان كما في الشكل المبيّن أدناه:




الشكل 5.1 إدراج أربعة قنوات على نفس النطاق الترددي

وهذا يُعدّ استخداماً أمثل لعرض المجال المحدود أصلاً بشكل ممتاز, ويحقّق لنا هذا الشكل والتقسيم سرعة نقل بيانات تصل الى 28 كيلو بت في الثانية, نرفق أدناه مقارنة بين نظام GSM المستخدم للـ TDMA مع التيترا وأنظمة لاسلكي متعددة أخرى وذلك لعرض مجال 200 كيلوهرتز , نلاحظ أن التيترا يدعم أكبر عدد ممكن من القنوات ولنفس عرض المجال:




الشكل 5.2 عرض المجال الترددي لعدّة أنظمة اتصالات

كما أن نظام التيترا يدعم نمط Full Duplex كما الهاتف الخليوي تماماً أي بإمكانه ارسال واستقبال الصوت بنفس الوقت وعلى نفس القناة على عكس أنظمة اللاسلكي التماثلية Analog VHF/UHF والتي تدعم Half Duplex فقط أي إن قمنا بإرسال رسالة صوتية فالمتلقي يجب أن يستمع فقط ولا نستطيع انشاء اتصال صوتي كما الموبايل مثلا.

وباعتبار العديد من مهندسي الإتصالات في وطننا العربي مُلمّين بالنظام العالمي للإتصالات الخليوية, لذا وجدت أنه من الجيد إجراء مقارنة بسيطة بين نظام الـ GSM و نظام TETRA في عدّة اتجاهات مختلفة كي يتبين الفرق للقارئ بصورة بسيطة, يمكن أن نبدأ بالمقارنة بالشكل التالي:

1- كلا النظامين يُستخدمان لتحقيق الإتصال الهاتفي بين شخصين بآلية عمل Full Duplex لكن مايُميّز التيترا أنه يستطيع العمل بشكل Full Duplex عندما تكون مكالمة من شخص لشخص و أيضا

Half Duplex من شخص لعدة اشخاص وهذه الميزة غير متوفرة في GSM وندعوها Group call وأيضا هنالك ميّزة مهمة جداً, إن أردنا إجراء مكالمة في نظام GSM فيتوجب وجود Base Station BTS لنقل المكالمة من مستخدم لآخر, أما في نظام TETRA فلا داعي لذلك بسبب One to one call أو مايُسمى بـ Walkie Talkie mode .

2- كلا النظامين يدعمان ميّزة إرسال البيانات Data ولكن الـ GSM له تطورات لاحقة مثل GPRS/EDGE حيث دعمت نقل سرعات أكبر.

3- كلا النظامين رقميان Digital ويستخدمان تقنية النفاذ المتعدد TDMA والهدف منها استطاعة تحميل عدد أكبر من المستخدمين ولنفس عرض المجال الترددي حيث أنّ الهدف دوماً وأبداً في أيّ نظام زيادة السعة capacity دون المس بالتردد أو طلب ترددات اضافية ويكمن بينهما على الشكل التالي:

إنّ المجال الترددي المسموح بالـ GSM أكبر بكثير منه في التيترا, مثال:

في GSM بالنسبة للوصلة الصاعدة أو الهابطة لدينا عرض مجال 25 ميغاهرتز مثلاً في نظام GSM900 مُقسّم لـ 125 قناة عرض كل منها 200 كيلوهرتز يشغلها 8 حيزات زمنية Time Slot بمعنى أن كل مستخدم يشغل 200/8 أي 25 كيلوهرتز أي بما معناه كل 25 كيلوهرتز لدينا مستخدم واحد فقط

أما في التيترا, فعرض المجال كله يكافئ 25 كيلوهرتز لذلك يتم الاضطرار ولزيادة السعة إلى تقسيم الـ 25 كيلوهرتز إلى 4 حيزات زمنية Time Slots كل منها 6.25 كيلوهرتز لمستخدم واحد ولذلك بالنسبة والمقارنة لنفس عرض المجال / 25 كيلو هرتز / وبالتالي نجد أن عدد القنوات بالتيترا أكبر.

4- الترددات التي تعمل عندها GSM تقع في 900 و1900 و1800 ميغاهرتز بينما التيترا في معظم البلدان يقع بين 300-400 ميغاهرتز

5- سرعة انشاء المكالمة, ففي ال GSM يستغرق انشاء المكالمة وقتاً قد يصل إلى عشر ثواني أما في التيترا فلا يتجاز الوقت 0.5 ثانية وأقل.

6- تقنيات الأمان والحماية مدعومة في كلا النظامين ولكن في تيترا أكبر كونه يدعم End to End Encryption.

7- تقنية التجوال Roaming مدعومة في كلا النظامين.

8- يدعم التيترا آلية الوصل مع شبكات WAN وشبكات ISDN , PDN, PBX وغيرها.

بالإمكان إجمال الفروقات أعلاه في المخطط التالي:

| Specifications | TETRA | GSM |
|---|---|---|
| ***Access Technique*** | Digital TDMA | FDMA / TDMA |
| ***Operating Frequency*** | 400 MHZ | 800, 900, 1800, 1900 MHZ |
| ***Bandwidth*** | 6.25 KHZ | 25KHZ |
| ***Call Setup Time*** | < 1 sec | < 10 sec |
| ***Data Support*** | Available | Available |
| ***Group Calling*** | Supported | Not Supported |
| ***WAN Communications*** | Possible | Available |
| ***Handover / Roaming*** | Supported | Supported |
| ***Authentication and Encryption*** | Supported | Supported |

سنستعرض الآن تفاصيل مهمّة وممتعة عن البنية التحتية لشبكة التيترا حيث تتألف المكونات الرئيسية للشبكة (كما في الشكل 5.3 وكما في أنظمة الإتصالات اللاسلكية الأرضية ) من:

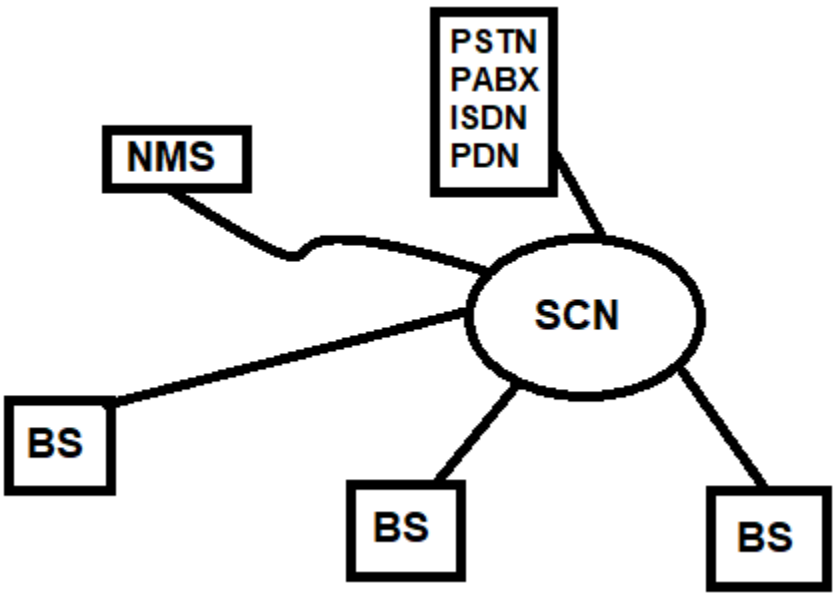
1- محطات محمولة باليد ومُركبة على سيارة Mobile station and Handheld وبالتالي مشابهة لل Mobile device المستخدم في أنظمة الإتصال الخليوي.

2- محطات ثابتة Base Station موزعة في أماكن جغرافية على الأرض لتحقيق التغطية اللاسلكية وهو مشابه لمحطة الإرسال والإستقبال القاعدية BTS Base Station Transcever في الموبايل.

3- عقدة التحكم التبديلية Switching Control Node SCN وهي مشابهة لمركز التبديل الخليوي MSC Mobile Switching Center في الموبايل.

4- نظام إدارة الشبكة Network Management System NMS مشابه للـ NMC في الموبايل

5- الوصول مع الطرفيات المتعددة من مقاسم هاتفية PABX وشبكة الإنترنت Internet وشبكة المعطيات PDN وأخيرا شبكة ISDN وغيرها, نجمل كل ما سبق في الشكل 5.3:



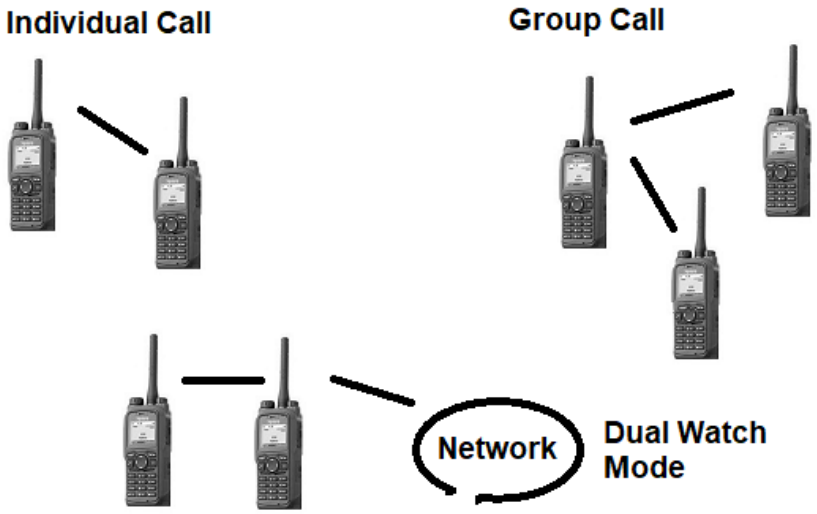

الشكل 5.3 البنية التحتية لنظام TETRA

و سنستعرض بالتفصيل بعضاً منها كمايلي:

1- المحطة المحمولة باليد Handheld و المركبة على سيارة Mobile Station

يتميّز هذا النوع من المحطات بقابلية العمل بنمطين مختلفين أساسيين وهما TMO and DMO حيث TMO Trunking Mode Operation و تتميّز الأجهزة العاملة بهذا النمط بقابلية إنشاء الإتصالات ولكن عبر مكونات الشبكة حصراً ( أي عبر الأبراج ومركز الشبكة التبديلي وإدارة الشبكة ) أي ما يُسمى بـ Over TETRA Network ويكون شكل الإتصال من النوع Full Duplex وتتميّز الإتصالات بهذا النوع بقابلية الإستفادة من كل الميّزات إن كان الولوج إلى الإنترنت, التواصل مع مقاسم هاتفية أخرى, شبكات معطيات أخرى وغيرها وهنالك النمط الثاني DMO Direct Mode Operation وفيه تتواصل الأجهزة مع بعضها البعض بشكل مباشر أي دون المرور بمكونات الشبكة من أبراج وغيرها ويكون شكل الاتصال إما Half Duplex اوSimplex .

هنالك عدّة أشكال لعمل أنظمة التيترا بحالة إنشاء وتحقيق المكالمات ومن ضمنها Individual Call, Group Call and Dual Watch Mode كما يبين الشكل 5.4 هذه الأنماط



تعمل أجهزة التيترا بشكل مفصّل ضمن الترددات التالية عالمياً:

350-400 ميغاهرتز

380-470 ميغا هرتز

ومن 805-870 ميغاهرتز وحسب البلد والترخيص المسموح به للعمل.

و تعمل أنظمة تيترا وفق تقنية النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن TDMA وبالتالي يُقسّم عرض المجال المسموح به للقناة وهو 25 كيلوهرتز إلى 4 قنوات فرعية عرض كل منها 6.25 كيلوهرتز حيث تبلغ استطاعة الإرسال للأجهزة المحمولة باليد إلى حدود 5 واط في حين تبلغ للمركبة على سيارة إلى حدود 15 واط أو أكثر بقليل وقد تأتي بعض التجهيزات بميزة تحديد المواقع GPS وهي ميّزة اختيارية.

تدعم تجهيزات التيترا إن كانت محمولة باليد أو مركبة في سيارة العديد من الميزات نذكر منها: المكالمات الجماعية Group Calling, مكالمات الطوارئ Emergency , توزيع المكالمات ,Broadcasting مكالمات من شخص لشخص One to One, التواصل مع مقاسم هاتفية, كاشف رقمي CLIP, الولوج لشبكة الانترنت, ميزة تحديد الموقع وغيرها الكثير, الشكل 5.5 يبين أحد أشكال الجهاز المحمول باليد:

الشكل 5.5 نموذج لجهاز TETRA محمول باليد

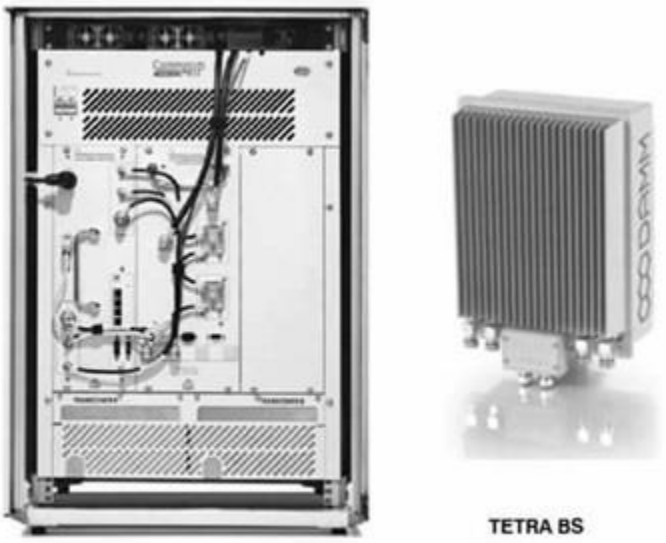
2- المحطة الثابتة Base Station حيث تقوم هذه المحطة تقريبا بعمل الابراج في شبكة الاتصالات الخليوية BTS in GSM حيث تعمل المحطة الثابتة في نظام التيترا عمل صلة الوصل بين التجهيزات على الأرض ( محمولة باليد أو مركبة في سيارة ) والمحطات الثابتة الأخرى وأيضاً مع الطرفيات المتعددة من مقاسم هاتفية أو شبكة الإنترنت وغيرها إذ أنها تقوم ببث واستقبال التغطية اللاسلكية من الأجهزة والتجهيزات وتغطية منطقة ما على سطح الارض, تُسمى هذه المحطة الثابتة أيضاً بالخلية Cell أو البرج Tower

تتألف المحطات الثابتة من مُرسل مستقبل إشارة لاسلكي يعمل على نفس ترددات التيترا السابق ذكرها, ومن هوائي وحيد للإرسال والإستقبال يُنصّب في أعلى مكان ممكن من البناء أو البرج, تمثل المحطة الثابتة جزء من مكونات TMO اي Trunking ربط مع أبراج أخرى.

تبلغ تغطية المحطة الثابتة ما يقارب دائرة بقطر 35-50 كيلومتر تقريباً ويعتمد مستوى التغطية على شدة الإشارة المرسلة والتضاريس الطبيعية وعوامل الفقد المتنوّعة الأخرى كما تبلغ شدة الإشارة المستقبلة في التجهيزات إن كانت محمولة باليد أو متحركة على مركبة بين 50- الى 103- dbm و أقل من ذلك يكون لا استقبال ويكون ماسبق بالتالي ( مشابهاً لأجهزة الموبايل ).

يجب أن لاننسى أنّ الأمواج المعتمدة في نظام تيترا هي من مرتبة UHF Ultra High Frequency فهي إذا تعتمد بشكل رئيسي على خط النظر Line of Sight بين البرج و التجهيزة على الأرض ومع ذلك فإن الأطوال الموجية لهذه الترددات قصير جداً مما يسمح لها باختراق الأبنية وتأمين أفضل تغطية ممكنة كما أنه

من الأفضل عدم الإعتماد على برج تغطية وحيد عالي بدلاً عن عدة أبراج في أماكن متفرقة, إذ أن الحل الأول لايؤمّن حل إسعافي Backup في حال تعطل البرج أو تحطم الهوائي, الأفضل دوماً بناء عدة مواقع sites لتأمين تغطية أفضل ولتسمح بـ Failover , يبيّن الشكل 5.6 شكل مكونات محطة ثابتة BS




الشكل 5.6 مكونات محطة TETRA BS

تختلف المحطات الثابتة عن بعضها البعض بإمكانية تخديم المشتركين بعدد Carriers حيث هنالك من يخدّم بـ Carrier 1 أو 2 أو 4 وهكذا والهدف زيادة عدد القنوات الترددية المخصصة للإستخدامات, من الممكن أن نخصص قناة مثلاً لمنظومة الاطفاء, وقناة لمنظومة الإسعاف وقناة لمنظومة المرور وكل هذه القنوات على نفس النظام وبنفس التجهيزات وهذا ما يوفر في التكلفة بشكل كبير.

عادةً ما تكون استطاعة الإرسال من المحطات الثابتة مايقارب 45-48 dbm اي حوالي 25 واط مما يؤمّن تغطية جيدة كما أسلفنا, وهنالك محطات ثابتة صغيرة تنصب في أماكن مكتظة بالسكان أو عند الحاجة تبلغ استطاعة الإرسال لها مايقارب من 10 واط فقط, وتكون حساسية الإستقبال من التجهيزات المختلفة تصل لمستوى 118- dbm ولتحسين مستوى الإستقبال يتم اللجوء الى ميزة Receiver Diversity وهي تنصيب هوائيين اثنين بدلاً عن هوائي واحد للإرسال والإستقبال ونجد ذلك في الأبراج التي تحوي هوائيين مماثلين لبعضهما البعض تماماً و يبعدان عن بعضهما مسافة أفقية معينة.

الشكل 5.7 زيادة التنوع لنظام TETRA و تحسين الإستقبال

إنّ الهدف هو جعل أحد الهوائيين للإرسال والإستقبال فقط Tx/RX أما الهوائي الثاني فيعمل لاستقبال الإشارات الضعيفة ومعالجتها RxD وبالتالي النتيجة: زيادة حساسيّة المستقبل والقدرة على استقبال إشارات ضعيفة ومعالجتها كما في الشكل أعلاه, وقد نجد أيضا أنّ المحطة الثابتة لها قابلية تركيب ثلاثة هوائيات بدلاً عن اثنين, والهدف أن يعمل الأول كهوائي مرسل فقط, الثاني كهوائي مستقبل فقط أما الثالث فيعمل على استقبال الإشارات الضعيفة ومعالجتها.

3- عقدة التحكم التبديلية Switching Control Node SCN: تقوم هذه العقدة مقام الدماغ في شبكة التيترا حيث تقوم بربط التجهيزات مع بعضها البعض ومع البوبات المختلفة من PDN, ISDN وغيرها, تتميّز هذه العقدة بالتحكم بالمكالمات عبرها أيضا, جدير بالذكر أنّ التحكم بالمحطات الثابتة BS أو تحديد القنوات المتاحة أو تسجيل المستخدمين مثلاً لايتم عبر عقدة التحكم التبديلية إنما وبشكل أساسي عبر المحطة الثابتة نفسها وإعداداتها بشكل خاص.

4- نظام إدارة الشبكة Network Management System NMS :

يقوم نظام إدارة الشبكة بالتحكم بشكل مباشر أو عن بعد ومراقبة شبكة التيترا ومحدداتها الأساسية وبشكل عام يمكن التحكم بإعدادات الشبكة, الأداء, التخطيط وغيرها من العوامل وهو عبارة عن برمجية تُنصّب على حاسب أو مخدّم Server وتُوصل مع الشبكة للتحكم بها, هنالك العديد من المحطات التي من الممكن تنصيبها والتحكم والمراقبة عبرها نذكر منها برنامج إدارة الأخطاء Fault Management وبرنامج الفوترة والحسابات وبرامج إدارة الأفراد في الشبكة من ناحية الخصائص والميزات والحقوق كأن يُسمح لهذا المستخدم بالوصول عبر جهازه الراديوي لشبكة الإنترنت أو بالوصول لشبكة ISDN وهكذا, يوجد أيضاً برنامج لإدارة ثغرات الأمان في الشبكة Security Management وغيرها العديد.

# الفصل السادس

# طرق نمذجة الشبكات الراديوية وتخطيطها

إنّ تحقيق أعظم سعة ممكنة للنظام مع الحفاظ على جودة خدمة صوت مقبولة وأداء مناسب تُعتبر من النقاط الرئيسية في تخطيط أي نظام وتنفيذه, إنّ تخطيط وتنفيذ نظام راديو لاسلكي لمنطقة ما بعدد مستخدمين صغير لا يعدّ مشكلة حقيقية, الصعوبة تكمن في تخطيط شبكة راديو تسمح بالتوسع المستقبلي والإضافات لها وهذا ما سيسمح بتوفير في التكلفة وممكن التجهيزات أيضاً لأي حالة توسع مستقبلية للنظام المقترح تخطيطه وتنفيذه.

نعرّف التخطيط بأنه آلية بناء شبكة قادرة على تقديم الخدمات للمشتركين حيثما كانوا ضمن نطاق التغطية اللاسلكية, هذه الآلية ممكن أن تُقسّم وتعلل بعدة خطوات هي:

1) متطلبات النظام.
2) محددات الراديو والشبكة اللاسلكية.
3) مخطط شبكة أولي.
4) استبيان ودراسة نتائج.
5) دراسة موقع مكرر الإشارة الرئيسي وإعادة دراسة النتائج.
6) تنفيذ النظام.

7) إطلاق الخدمات.

8) فحص دائم لأداء الشبكة.

طبعاً لا تعتبر كل مرحلة بذاتها مرحلة مستقلة, كمثال على ذلك يتم تخطيط الراديو والشبكة اللاسلكية عبر استبيانات ودراسات مربوطة مع دراسة موقع مكرر الإشارة الرئيسي وإحداثيات وخصائص الموقع إن كان مناسباً للإرسال و الإستقبال أو من الواجب البحث عن مكان أفضل وهكذا..

إذا ماهي محددات الراديو والشبكة اللاسلكية ؟

هنالك عدّة عوامل تلعب دوراً مهماً في تخطيط الشبكة اللاسلكية والتي من الواجب توافرها لدى المصمم لكي يقوم بأفضل تخطيط ممكن للنظام مع الاخذ بعين الإعتبار دوماً وجوب وجود ترخيص للنظام المنوي تصميمه وأيضاً الأمر تراخيص الأجهزة المستخدمة وموقع مكرر الإشارة والنفاذ, ما يلي أهم المحددات الواجب توافرها:

1) التردد المسموح المستخدم لهذا النظام وعرض المجال الترددي سواءً كان 25, 12.5, 6.25 KHZ.

2) عدد القنوات المستخدمة وآلية عملها إن كان Simplex or Half Duplex.

3) نوع النظام إن كان تمثيلي Analog أو رقمي يعتمد على TDMA or FDMA.

4) نوع الأجهزة المستخدمة ومواصفاتها وآلية برمجتها .

5) نوع مكرر الإشارة المستخدم ونمط عمله .

6) الهوائيات المستخدمة ومواصفاتها .

7) الكابلات والموصلات المستخدمة وحسابات الضياع والفقد بالنسبة للنوع والطول .

8) الخدمات الواجب تحقيقها .

9) تخطيط الشبكة من ناحية عدد القنوات المستخدمة وعدد المستخدمين لها .

و بإمكاننا تمثيل ما سبق عبر الشكل 6.1 :

الشكل 6.1 آلية تخطيط الشبكات الراديوية

بعض المحددات المهمة في آلية اختيار المرسل – المستقبل تتضمن تحديد الهوائي المستخدم والحصول على كل المحددات التقنية مثل الإستطاعة المستخدمة, المجال الترددي, حساسية المستقبل وغيرها..

أما المحددات المهمة في اختيار النظام فتتضمن آلية تحديد المنطقة المراد تغطيتها مع تحديد موقع مناسب لمكرر الإشارة والحصول على المعلومات الكاملة عن الترددات المنوي استخدامها, القنوات, آلية التشفير وغيرها.

يجب استخدام تطبيق برمجي يتيح عرض منطقة التغطية اللاسلكية في حال وجود محددات النظام, تعمل هكذا تطبيقات على معالجة الخرائط الجغرافية للمنطقة المراد تغطيتها مع المحددات التقنية التي يتم ادخالها للتطبيق وبالنتيجة يقوم بعرض مخطط أقرب ما يكون للواقع يعطينا تصوراً جيداً جداً عن كيفية التغطية ومحددات الانتشار ومعاملات أخرى تفيد في تحسين تخطيط النظام قبل البدء بتنفيذه على أرض الواقع.

ندرج ما يلي مخطط هام جداً يجب تعبئته قبل البدء بعملية التخطيط واستخدام برامج المحاكاة , يعتمد هذا المخطط على استبيان بسيط لتعبئة المحددات التقنية الخاصة بالتجهيزات المستخدمة, نوعها وآلية عملها واستطاعة الإرسال كما يدرج أيضاً الترددات المستخدمة والقنوات, بالإضافة للهوائيات وأشكالها وقيم الربح والمعاملات الخاصة بها, وأخيرا نوع الكابلات المستخدمة والأطوال التقريبية والموصلات وعددها

## مخطط المحددات الرئيسية:

| | | |
|---|---|---|
| | إسم الموقع | **الموقع المحدد** |
| | الوصف | |
| | خط الطول | |
| | خط العرض | |
| | الإرتفاع عن سطح البحر للموقع المحدد | |

| | | |
|---|---|---|
| | عدد القنوات المسموح إستخدامها | **التردد** |
| | تردد الإرسال لمكرر الإشارة المرخص العمل به | |
| | تردد الإستقبال لمكرر الإشارة المرخص العمل به | |

| | | |
|---|---|---|
| | نوع الهوائي | **هوائي مكرر الإشارة** |
| | المصنّع | |
| | عدد هوائيات الدايبول إن كان مصفوفة | |
| | شكل الإشعاع | |
| | إرتفاع الهوائي عن سطح الأرض | |
| | ربح الهوائي | |

| | | |
|---|---|---|
| | المصنّع | **مكرر الإشارة** |
| | إستطاعة الإرسال بالواط | |

| | | |
|---|---|---|
| | نوع الكابل | **الكابلات** |
| | طول الكابل | |
| | عدد ونوع الموصلات المستخدمة | **الموصلات** |

| |
|---|
| **ملاحظات عن موقع مكرر الإشارة** |

# الفصل السابع

# دراسة عملية لتغطية مدينة ما بنظام راديو لاسلكي
# عبر برنامج Radio Mobile

سنقوم في هذا الفصل بدراسة التغطية اللاسلكية لمشروع تغطية مدينة وما حولها بشبكة راديو لاسلكية

والهدف من هذه الدراسة تحقيق ما يلي:

1- تغطية مدينة ما بشبكة راديو لاسلكية.

2- تحديد موقع واحداثيات ومواصفات مكرر الإشارة المستخدم .

3- تغطية المحطات الثابتة بشكل جيد مع القدرة على التواصل فيما بينها .

4- تغطية المحطات المتحركة بشكل جيد ضمن المدينة المرجو تغطيتها لاسلكياً.

5- تغطية المحطات المحمولة باليد بشكل مقبول.

لكي نقوم بدراسة وتخطيط الشبكة اللاسلكية علينا أولا إن نبدأ بتحديد موقع ومواصفات أهم مكوّن في النظام وهو مكرر الإشارة المستخدم..

و لكي نحدد الموقع الخاص بمكرر الإشارة عندئذ يجب أن يتميّز بالمواصفات التالية:

1- الموقع قابل للوصول إليه من قبل مهندسي المشروع دائماً أو قدر الإمكان.

2- الموقع قابل لتركيب مكرر إشارة فيه ( تراخيص وموافقات لازمة ).

3- الموقع له احداثيات محددة على الخريطة X,Y.

4- الموقع يحتوي إن أمكن على تأريض Grounding, وحدة تغذية كهربائية إن كانت مولّدة أو طاقة شمسية Solar System أو خط مباشر.

5- يفضّل أن يحتوي الموقع على إتصال بالإنترنت Internet متاح و ذلك لربط مكررات الإشارة المستخدمة في بقية المحافظات والمواقع.

6- الموقع يحتوي إن أمكن على سارية أو برج حيث كلما كان هوائي مكرر الإشارة عالياً كلما زادت التغطية بالإعتماد على ميزة خط النظر Line of Sight.

بتحقيق ما سبق يمكن دراسة عدة أماكن لتموضع مكرر الإشارة حسب الخريطة والمدينة المدروسة.

إنّ البرنامج المستخدم في التخطيط يدعى Radio Mobile وهو برنامج متوفر بشكل مجاني على الشبكة العنكبوتية الإنترنت ومن الممكن تحميله بسهولة.

آلية العمل و التطبيق:

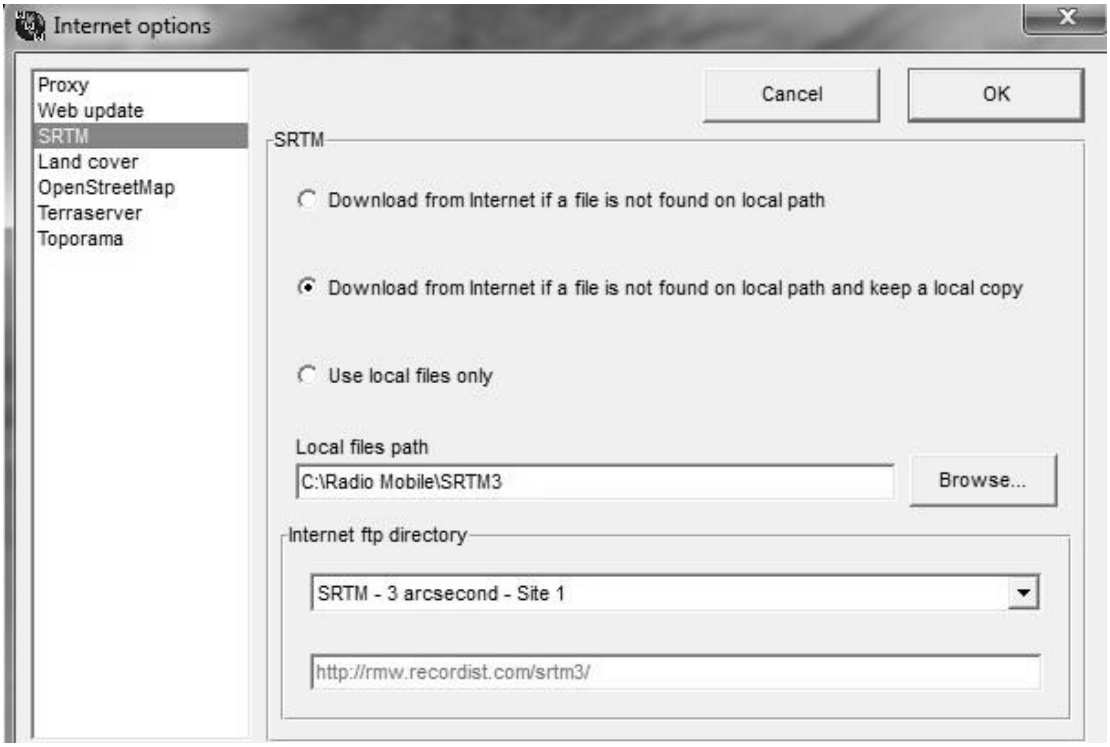
برنامج Radio Mobile يُعتبر أداة برمجية تستخدم لرسم ومحاكاة تخطيط انتشار الأمواج الراديوية ويتنبأ بأداء النظام المقترح, يُستخدم بشكل كبير من قبل هواة الراديو حول العالم حيث إنّه يتنبأ بالمحاكاة للأنظمة العاملة على نظامي VHF , UHF.

يقوم هذا البرنامج بإستخدام المعلومات الموجودة في الخرائط الرقمية وبناءً عليها يرسم ويحاكي التغطية اللاسلكية بناءً أيضاً على معلومات ومواصفات المرسل والمستقبل والضياع الناتج في هذا النظام.

يجب علينا أن نعلم أن المحاكاة ليست دقيقة بنسبة مائة بالمائة إنما هي تنبأ لنظام مقترح بناءً على مواصفات تقنية وجغرافيا المنطقة المدروسة.

كما ذكرنا أعلاه, البرنامج متوفر مجاناً على شبكة الانترنت, يجب علينا أن نقوم بتنصيب البرنامج والبدء بالعمل, بحيث إن نبدأ بالبحث عن آخر التحديثات المتعلّقة بنسخة البرنامج إذ كلما كان البرنامج محدثاً كلما دعم ميزات وخصائص مختلفة.

كما يجب علينا أن نقوم بتحميل خريطة البلد الذي ننوي القيام بمحاكاة النظام المقترح ضمنه, يستخدم البرنامج خرائط من نوع SRTM والتي تعني Shuttle Radar Topography Mission وهي خرائط رادارية مناسبة جداً للتخطيط الراديوي يتم تحميلها من خيار Internet Option كما في الشكل 7.1

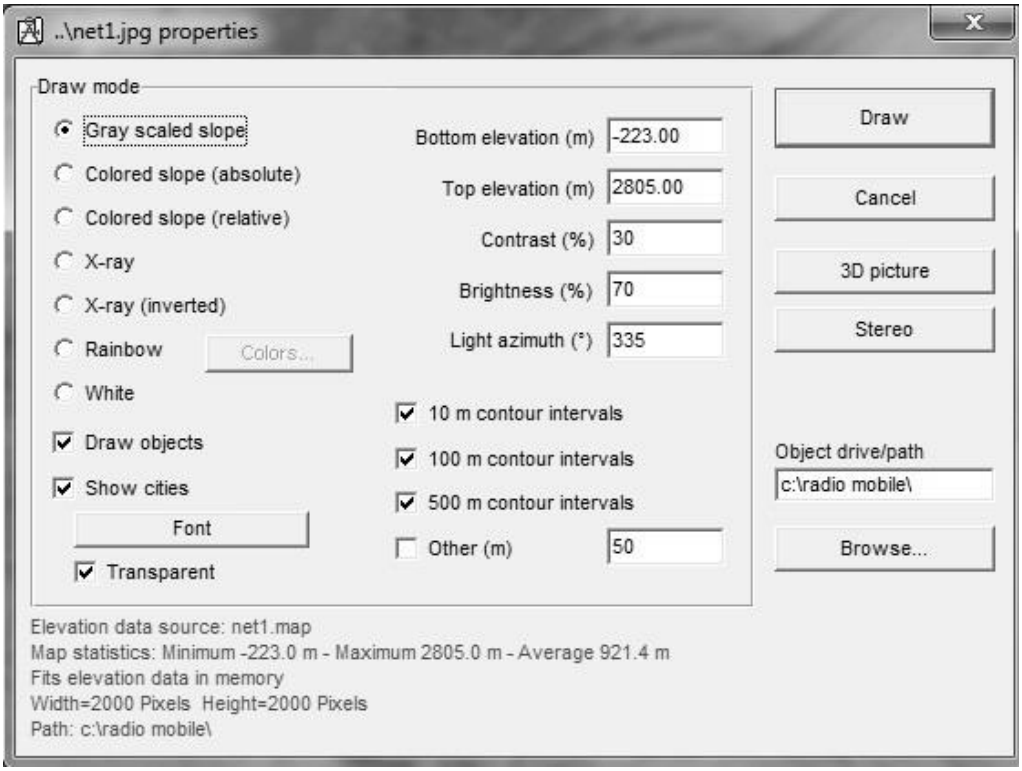



الشكل 7.1 واجهة تحميل الخرائط عبر شبكة الانترنت

ويتم هنا أيضاً تحديد المسار الذي ستتحمل فيه الخريطة ويجب الانتباه جيداً لهذا المسار لاحقاً..

بعد ذلك يجب التوجه إلى File – Picture Properties وذلك لتفعيل خيار Gray scaled

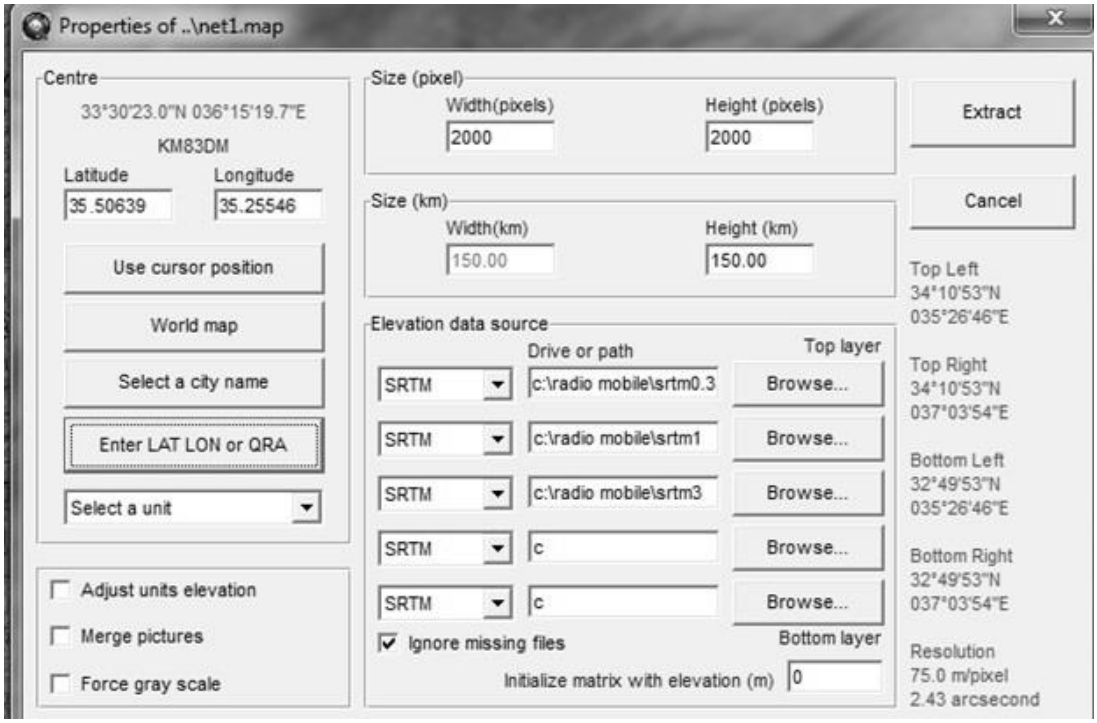
الهدف من ذلك تحميل الخريطة باللون الرمادي ( بين الأسود والأبيض ) وذلك لدراسة محددات الانتشار وآليته بشكل أفضل إذ سنستخدم ألواناً معيّنة لقوة الإشارة ولا نريدها أن تتعارض مع ألوان التضاريس الطبيعية للخريطة لذلك يُفضّل أن تكون الخريطة باللون الرمادي كي يتضح التمييز وشدة الإشارة المستقبلة المتنبئ بها لاحقاً .




الشكل 7.2 واجهة اختيار لون و شكل الخرائط وخصائص العرض

بعد ذلك سنبدأ بتحميل مقطع الخريطة المراد دراسته, في حالتنا نختار مدينة ما وما حولها, وعليه يتوجب علينا الدخول إلى File – Map proprieties ومن ثم تحديد مركز المدينة وذلك عبر الإحداثيات

أو ما يُسمى Latitude and Longitude أي عبر الضغط على زر LAT or LON كما في الشكل 7.3 :




الشكل 7.3 واجهة ادخال احداثيات الخريطة للمنطقة المراد دراستها

ومن ثم تحديد مركز المدينة المدروس:

الشكل 7.4 تحديد إحداثيات مركز المدينة المدروسة

و عندها يجب تحديد المربع المراد تغطيته, يفضل في حالة دراسة نظام VHF إن تكون الدراسة بعمق 150 كم شرقاً وغرباً, و 150 كم شمالاً وجنوباً لتحقيق أعظم خريطة تنبؤ بالانتشار ممكنة.

بعد أن حددنا المعايير الأساسية للبرنامج و الخرائط يجب علينا أن نبدأ بإدراج مكونات النظام المقترح على الشكل التالي:

**1- موقع مكرر الإشارة:**

1- إسم الموقع.

2- إحداثيات الموقع – الوصف والعنوان.

3- إرتفاع الموقع عن سطح الارض.

**2- معلومات عن التردد:**

1- عدد القنوات المستخدمة.

2- تردد الإرسال والإستقبال.

**3- معلومات عن مكرر الإشارة المستخدم وبقية المحطات:**

1- نوع الهوائي المستخدم, عرض المجال .

2- عدد الهوائيات ثنائي القطبية Dipole.

3- نمط الاستقطاب, نمط الإرسال.

4- ارتفاع الهوائي عن سطح الأرض.

5- ربح الهوائي لمكرر الإشارة.

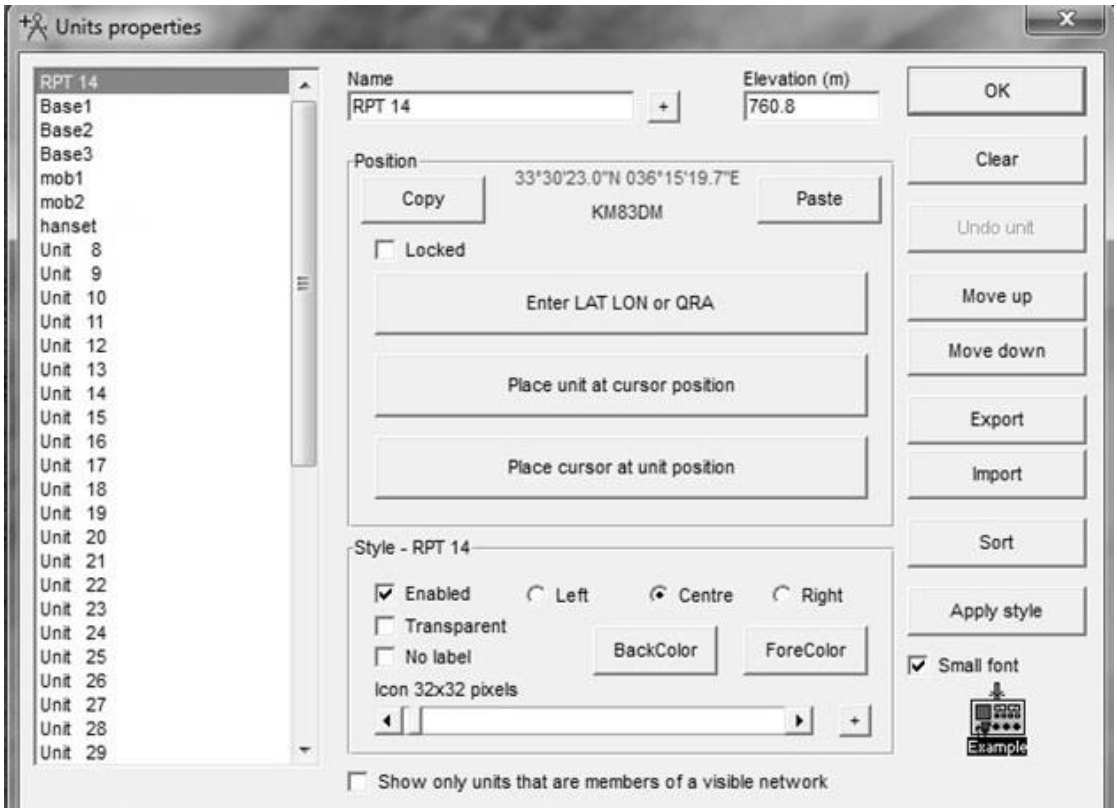
6- نوع المكرر والموديل, استطاعة الإرسال.

7- نوع المحطات الثابتة والمحمولة واستطاعة الإرسال لكل منها.

8- نوع الكابلات المستخدمة والموصلات والضياعات الناتجة لكل منها.

بعد تحديد البارامترات والمواصفات أعلاه ننتقل لإدخال المعلومات أولاً بأول على البرنامج, سنبدأ بإدخال المعلومات الخاصة بمكرر الإشارة على الشكل التالي:

نضغط على Menu – File – Unit Properties للدخول إلى الواجهة أدناه:

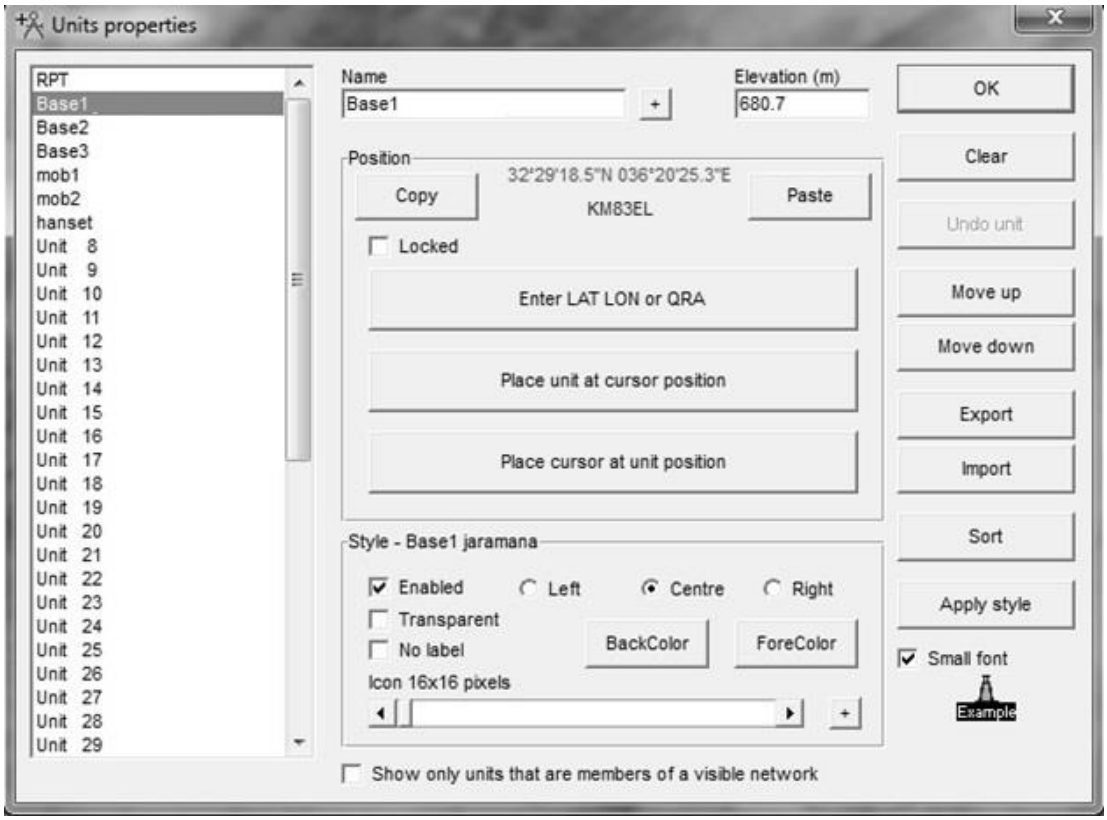



الشكل 7.5 واجهة تحديد التجهيزات المستخدمة في النظام

نقوم هنا بإدخال إحداثيات موقع مكرر الإشارة المفترض مع اختيار اسم للموقع و رمز يظهر على الخريطة

من الممكن إضافة عدة مكررات إشارة اخرى بغرض الربط مستقبلاً أو من الممكن إضافة أماكن مقترحة لمكررات الإشارة و دراسة التغطية اللاسلكية لكل منها.

ونقوم أيضاً بإدخال إحداثيات المحطات الثابتة والمتحركة في المدينة المدروسة وريفها ويبين الشكل 7.6 مثال على إحداثيات محطة ثابتة في مكان ما ضمن المدينة (Base station ):

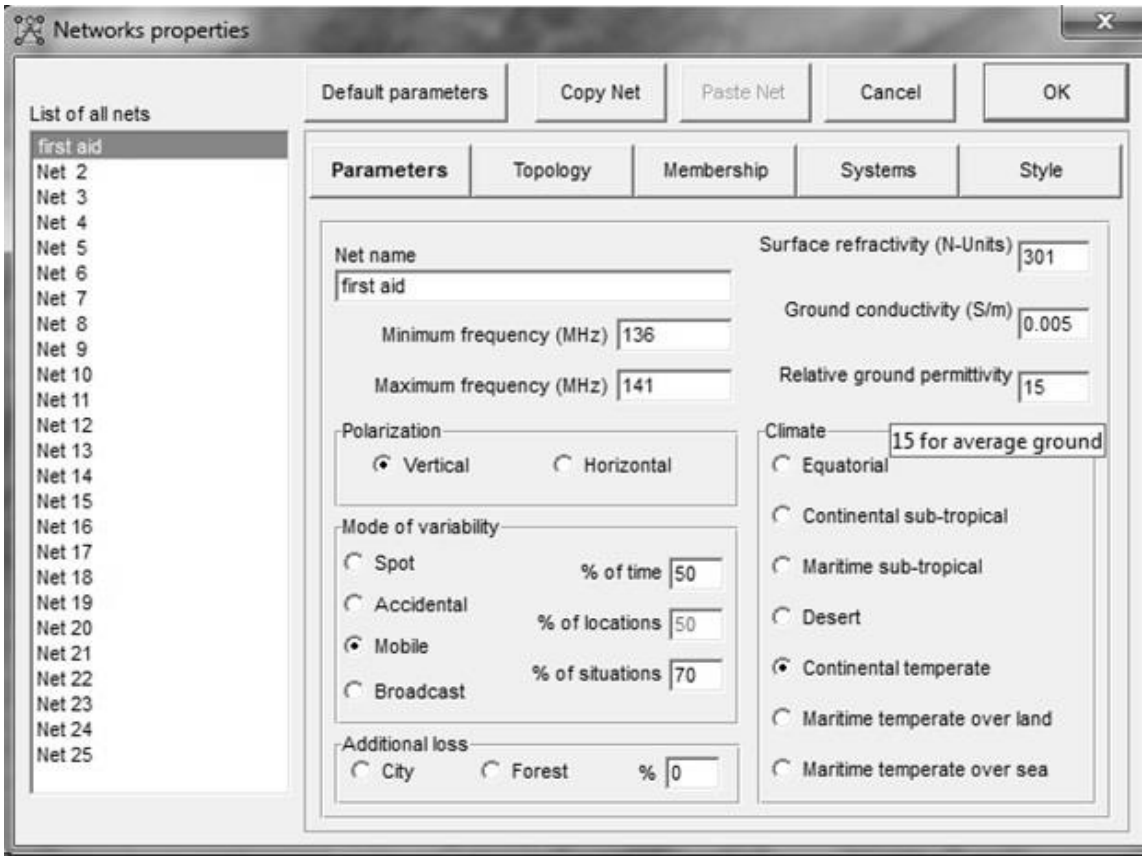



الشكل 7.6 احداثيات و محددات موقع محطة ثابتة في المدينة

بالمثل بالإمكان تنفيذ محطة متحركة في المدينة ( mobile station) بنفس الإعدادات أعلاه وحسب الأجهزة المنوي إستخدامها

أخيرا يجب إضافة المحددات الخاصة بالمكرر و المحطات الثابتة و المحمولة على اليد و غيرها كما في الخيارات التالية Menu – File – Network Properties

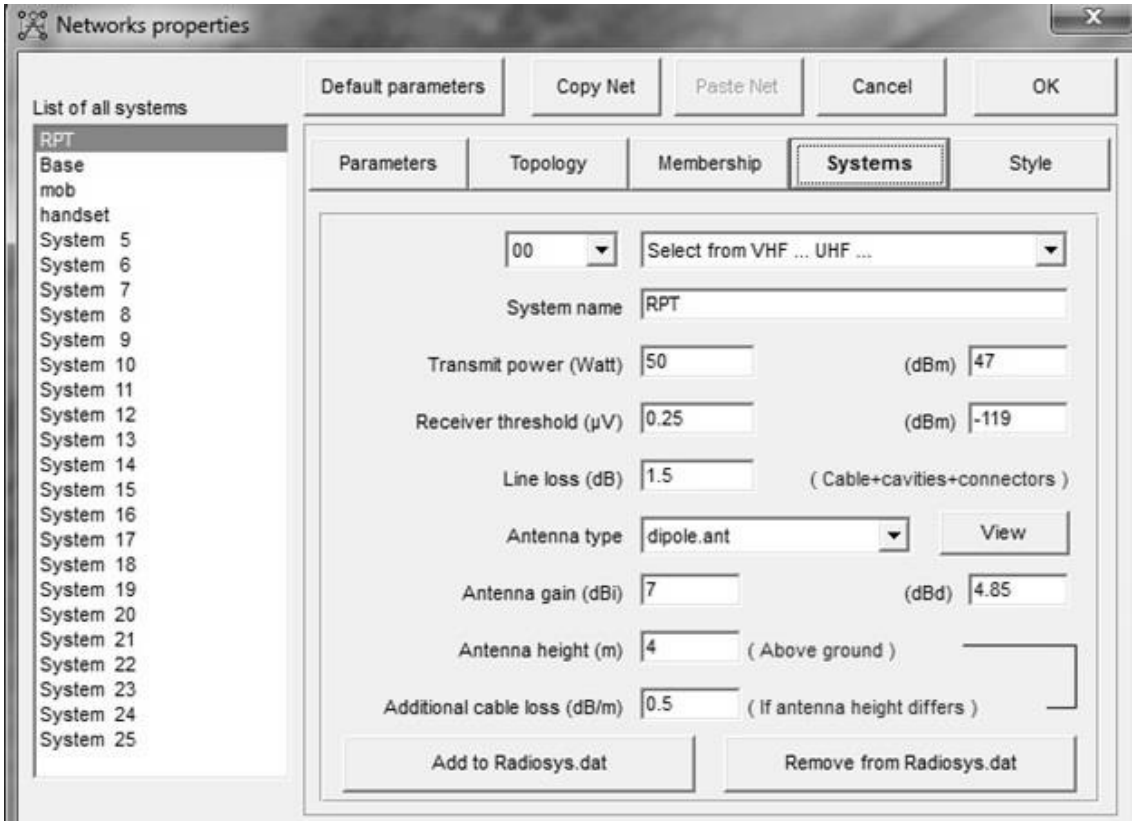
في هذا القسم يتم تحديد التردد المستخدم في نظام ال VHF كما يتم تحديد نوع التغطية اللاسلكية إن كانت بالنسبة لمحطات متنقلة أو كشكل Broadcast للمحطات الثابتة كما يتم تحديد طبيعة المنطقة الجغرافية المنوي تغطيتها إن كانت صحراء أو استوائية أو ساحلية وغيرها على حسب المنطقة, في حالتنا سنستخدم النمط Mobile كون الدراسة ستتم للمركبات المتنقلة ضمن المدينة وسنختار المناخ Continental sub-tropical




الشكل 7.7 محددات النظام المستخدم كالتردد و طبيعة الأرض و غيرها

الآن سنختار System لإضافة محددات مكرر الإشارة والمحطات الثابتة والمتنقلة والمحمولة باليد كما في الشكل 7.8:

محددات مكرر الإشارة:




الشكل 7.8 محددات مكرر الإشارة المفترض Repeater

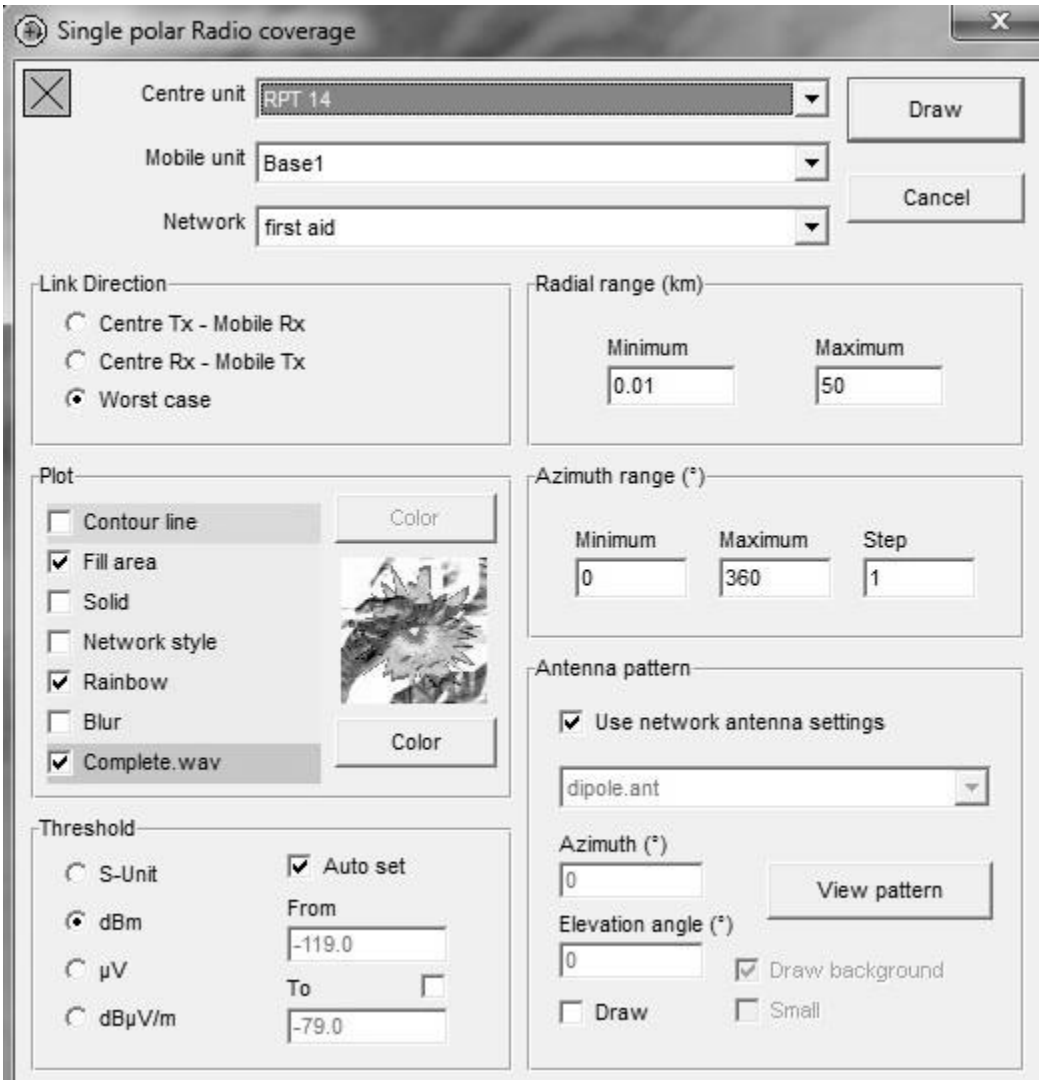
في هذا القسم ستتم إضافة مكرر الإشارة و تحديد مواصفاته التقنية من ضياعات, ربح الهوائي, نمط الهوائي, ربح الهوائي, استطاعة الإرسال وغيرها ويتم ذلك أيضاً بشكل مماثل بالنسبة للمحطات الثابتة والمتنقلة الأخرى.

من الممكن الضغط على زر view ضمن قسم اختبار نوع الهوائي وذلك للتعرف على الهوائيات الموجود ضمن البرنامج ومخططها الاشعاعي , الربح والاستقطاب, جدير بالذكر إنّه من الممكن إضافة هوائيات أخرى بمواصفات عديدة مختلفة حسب ما هو موجود في السوق أيضاً.

هنالك العديد من الخيارات في هذا القسم ( Network properties ) كتحديد التبعيات بين المحطات ونوع التواصل والترددات ومن الممكن تحديد إستطاعة الإرسال للتجهيزة وحساب قيم الضياعات من مخططات الضياع, كما من الممكن إدراج ربح الهوائي المستخدم طول الهوائي والارتفاع عن سطح الأرض, وكلما كانت المحددات دقيقة كلما كان التنبؤ بالتغطية اللاسلكية أدق.

**إنشاء خرائط التغطية اللاسلكية:**

بعد تحديد ما سبق وإدخال كافة المواصفات التقنية والبارامترات الخاصة بمكونات النظام, آن الأوان لرسم تنبؤي للتغطية اللاسلكية للمنطقة الجغرافية المدروسة. يبين الشكل 7.9 محددات التنبؤ بالتغطية اللاسلكية و المعاملات الخاصة بها حيث يتم إستخراج ما سبق عن طريق الضغط على Tools – Radio Coverage – Single Polar كما في الشكل التالي:




الشكل 7.9 محددات التنبؤ بالتغطية اللاسلكية

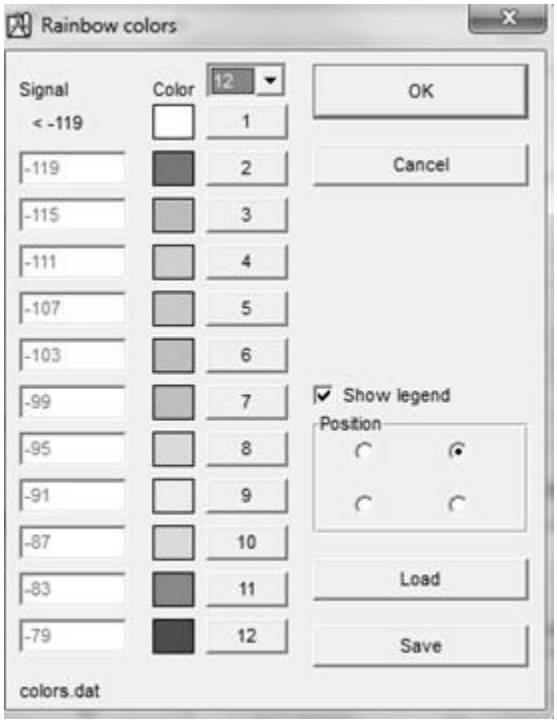
يتم هنا تحديد مركز الشبكة الرئيسي إذ أن المطلوب مثلاً تحقيق التغطية اللاسلكية بالنسبة للمحطات المتنقلة ضمن المدينة المدروسة وذلك بالنسبة لتغطية مكرر الإشارة المقترح.

من الممكن اختيار موقع آخر لمكرر الإشارة والتجريب بناءً على ذلك حتى الحصول على الموقع الأفضل بالتغطية الأنسب شريطة أخذ كل الشروط المذكورة في مقدمة هذا الفصل بعين الاعتبار.

يتم اختبار المكرر كـ Center Unit

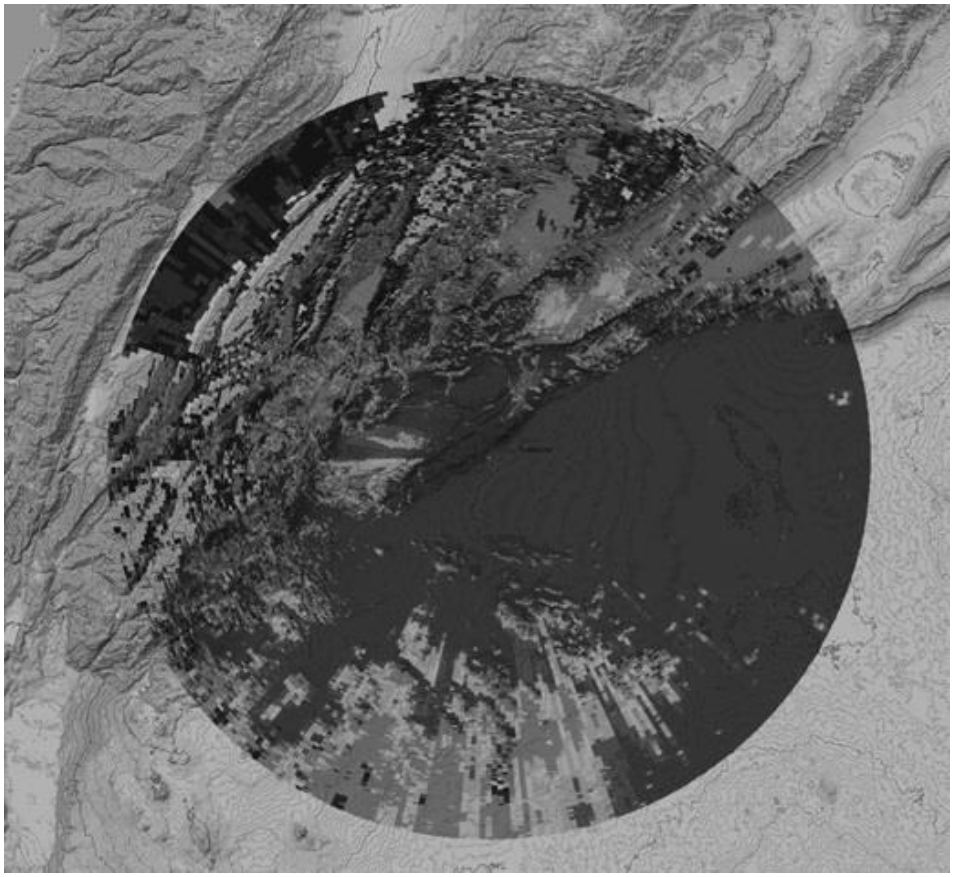
يتم اختيار المحطات المتنقلة كـ Mobile Unit

الأفضل أن تتم الدراسة بالنسبة لأسوأ حالة تغطية ممكنة مما يعطي المهندس فكرة عن ما يتوجب تغييره وتطويره نحو الأفضل, أخيرا يجب تحديد ألوان معينة لقيم شدة الإشارة المستقبلة على الخريطة, يتم تحديد الألوان وقيم الاشارات من خلال الخيار Flot , حيث تتراوح قيم شدة الإشارة المستقبلة بين 50- و 105- dBm على الشكل التالي:




الشكل 7.10 جدول بالألوان لقيم الإشارة المستقبلة

ويمكن استخلاص خريطة التغطية اللاسلكية بالضغط على زر Draw لنحصل على شيء مشابه للشكل أدناه علما إنه من الممكن تحويل الخريطة المستنتجة إلى نمط Google Maps لكي يتم أيضاً استعراضها من خلال هذا البرنامج:



الشكل 7.11 خريطة التغطية اللاسلكية بالنسبة لموقع مكرر إشارة مفترض

هنالك العديد من المواقع المهمة التي تقوم بإعطاء شرح أكبر وأوفى عن هذا البرنامج نذكرها فيما يلي:

*Home page:* *http://www.cplus.org/rmw/english1.html*

*Install files:* *http://www.cplus.org/rmw/download/download.php?S=1*

*User guides:* *http://radiomobile.pe1mew.nl/*

*Google earth:* *http://www.google.com/earth/download/ge/agree.html*

كما إنّ هنالك العديد من الإختصارات المفيدة لهذا البرنامج نذكر منها:

F8 to get the map screen

F7 for the map overlays

F3 for the radial coverage

F2 for linking two sites

Ctrl +N: Open network

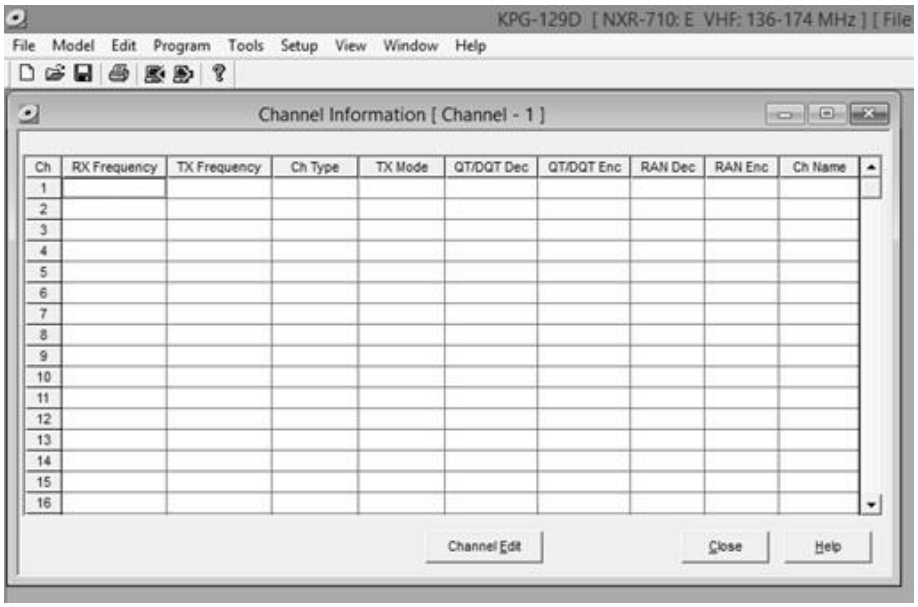
Ctrl +U: Open units

Ctrl +I: Open picture properties

الآن سنستعرض آلية برمجة المحطات الثابتة و المتنقلة و مكرر الإشارة.

سنستخدم البرنامج Kenwood KPG-129 لبرمجة مكرر الإشارة الخاص بشركة Kenwood والبرنامج Kenwood KPG-141 لبرمجة المحطات الثابتة و المحمولة و المتنقلة أيضا الخاصة بها.

شكل البرنامج KPG-129:




الشكل 7.12 الية برمجة مكررات الإشارة Repeaters

في هذا النوع من البرامج يتم تحديد النقاط التالية:

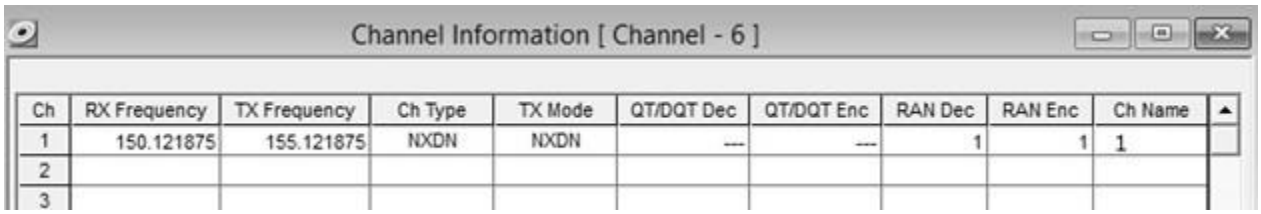
1- تردد الإرسال والإستقبال المستخدم.

2- الترميز الصوتي المستخدم.

3- القنوات وعددها وأسمائها وأنواعها . Simplex or Duplex / Local or Repeater

4- إعطاء رقم مميز ID للمحطات أو للمكرر لسهولة التواصل لاحقاً ( Group calling, ID , Status messaging )

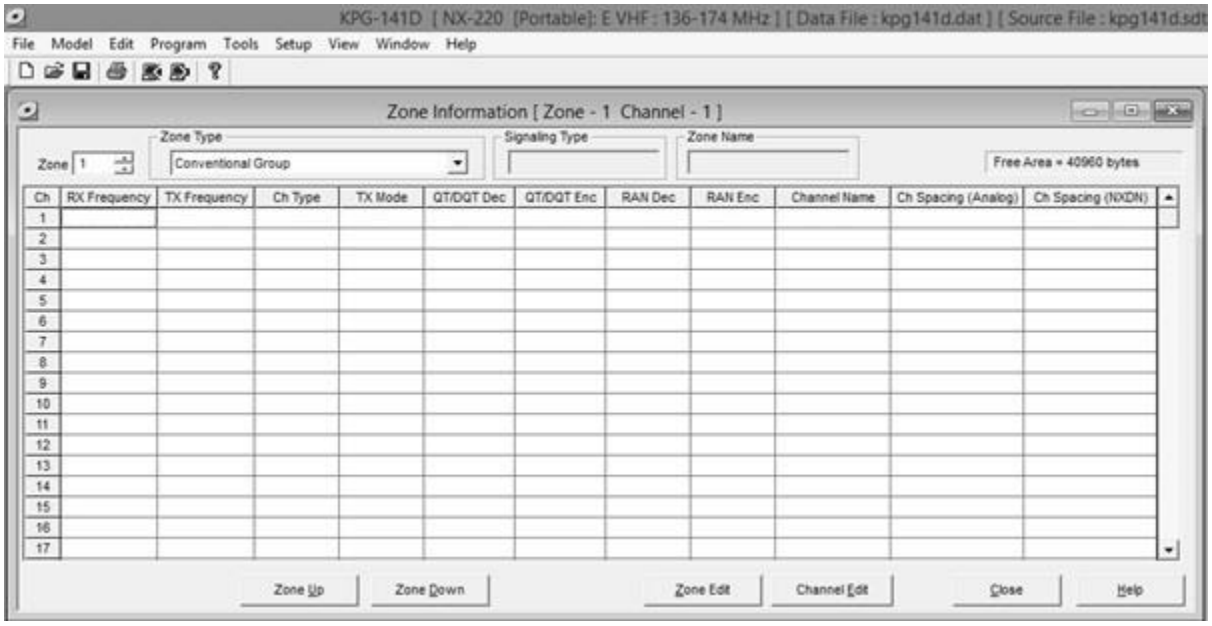
ما يلي مخطط لبرمجة مكرر الإشارة:




الشكل 7.13 برمجة مكرر الإشارة Repeater

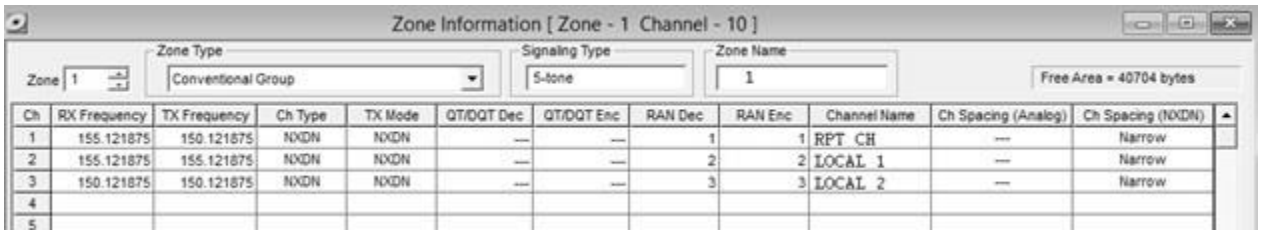
أما بالنسبة للمحطات الثابتة والمحمولة فيجب إضافة قناة المكرر ( والتي لها تردد معاكس لما تم وضعه في برمجة المكرر ) وإضافة قنوات أخرى Local بغرض الاستخدام المحلي ضمن البناء أو فريق الإسعاف مثلا.

شكل البرنامج KPG-141 المستخدم لبرمجة المحطات الثابتة والمتنقلة:




الشكل 7.14 الية برمجة المحطات الثابتة و المتنقلة و المحمولة باليد

أما البرمجة وبحسب المواصفات أعلاه وبحسب تردد الإرسال والاستقبال لمكرر الإشارة فإنها وكمثال تكون على الشكل التالي:




الشكل 7.15 برمجة المحطة الثابتة

الجدير بالذكر أنه تتم برمجة مكرر الإشارة والمحطات الأخرى عبر كبلة برمجية متخصصة تقوم بتحويل البيانات ونقلها للمحطات, هذه الكبلة عادة تكون من النوع Serial وحديثاً تم تصميم كابلات ذات منفذ USB كما تختلف من نوع جهاز راديوي لآخر فمثلا الكيلة الخاصة بتجهيزات Kenwood لايمكن استخدامها مع تجهيزات iCOM وغيرها.

كما يمكن حديثاً و عن بعد برمجة مكررات الإشارة مثلا إن كانت موصولة على شبكة الإنترنت حيث أصبحت تدعم برامج برمجة هذه التجهيزات هذه الميزة وغيرها من الميزات التي تسهّل برمجة التجهيزات وتعديل وتغيير الإعدادات بسهولة ويسر.

# الفصل الثامن

# الإستنتاجات والأفاق المستقبلية

من المهم جداً العمل على تحسين التغطية اللاسلكية ما أمكن, لذا يجب البحث عن جميع العوامل التي تؤدي لتحقيق ذلك وأهمها قد يكون تغيير موقع مكرر الإشارة المسؤول بشكل مباشر عن زيادة وتحسين التغطية, لنستعرض أهم العوامل على الشكل التالي:

1- العمل على تغيير موقع مكرر الإشارة وذلك عبر برمجية التخطيط وإختيار موقع مناسب اكثر مع الأخذ بعين الإعتبار احداثيات الموقع الجديد ومايجب دراسته عند البدء باختيار موقع ما:

من الممكن كمرحلة لاحقة الأخذ بعين الاعتبار تغيير قيم محددات مكرر الإشارة, مثلاً ارتفاع الهوائي, ربح الهوائي أو استطاعة الإرسال وذلك من الممكن إن نحصل عندها على نتيجة تغطية لاسلكية أفضل, يجب علينا دراسة أن تكون المحطات الثابتة مغطاة بشكل جيد كما يجب إن تكون المحطات المتنقلة ضمن المدينة المدروسة تحت نطاق

هذه التغطية وإن لم يحقق التنبؤ السابق ما سبق, يجب عندها اختيار موقع جديد لمكرر الإشارة والعمل بنفس الخطوات اعلاه.

2- زيادة التغطية اللاسلكية للمنطقة المدروسة بإضافة مكرر إشارة ثاني يعمل بحزمة ترددية مخالفة للأولى ويمكن أن يُربط الموقع الأول مع الثاني عن طريق شبكة الإنترنت Repeater Linking مع برمجة كافة المحطات على القناة الجديدة ومن الممكن تفعيل ميزة Scanning لتقوم الأجهزة المحمولة و المركبّة على عربة بالإستماع لمكرري الإشارة في نفس الوقت وعرض المكالمات الصوتية عبرهم عبر الجهاز.

الشكل 8.1 يبين الية ربط مكرري إشارة مع بعضهما البعض لزيادة نطاق التغطية اللاسلكية

3- زيادة إرتفاع الهوائي الخاص بمكرر الإشارة وإختيار هوائي ذات نوعية وجودة عالية جداً, هذا يؤدي لتخفيف الضياعات ما أمكن و يقوّي الإشارة المنتشرة في الهواء, طبعاً يجب العمل على تحديث مخطط التغطية ووضع النتائج الجديدة موضع الإعتبار.

4- من الممكن وبشكل بسيط زيادة الإستطاعة الصادرة من مكرر الإشارة إن أمكن وذلك بقيم ضئيلة وحسب المنطقة وعدد السكان المتواجدين والتضاريس الطبيعية وبالتالي حساب مخطط الانتشار من جديد.

5- من الممكن استبدال الهوائيات المستخدمة بهوائيات أفضل ذات ربح أعلى وعرض حزمة أكبر وبالتالي قد يؤدي ذلك لزيادة نسب قوة الإشارة المستقبلة على الارض.

6- من المطلوب قياس قيمة SWR Standing Wave Ratio الخاصة بالهوائيات إن كان لمكرر الإشارة أو المحطات المتنقلة و الثابتة حيث يجب أن تكون هذه القيمة أقل ما يمكن و مساوية لل 1.0 بشكل مثالي.

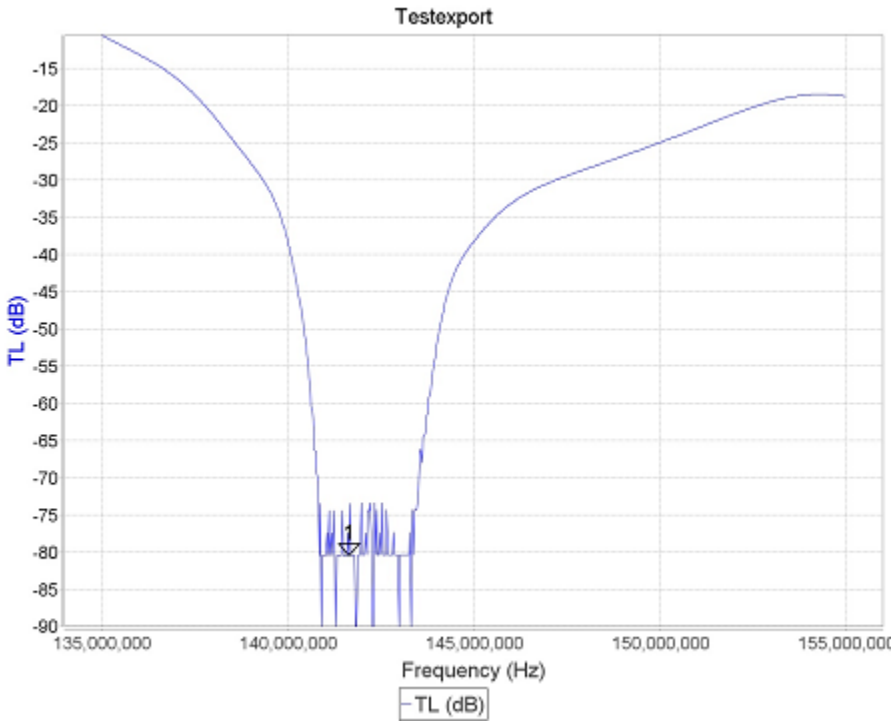
كلما ارتفعت هذه القيمة بالقياس كلما كان أداء الهوائي سيئاً وبالتالي لا يتم انتشار الأمواج بالشكل المطلوب المرغوب به.

هنالك عدة عوامل أخُرى تؤدي لإرتفاع قيمة SWR منها وجود احمال تحريضية أو احمال سعوية بجانب الهوائي ترفع قيم هذه المركبات, أو إن الكابلات أو الهوائيات بقرب خطوط توتر عالي كهربائي ذات ضجيج عالي, وجود الهوائيات بجانب مولدات كهربائية أو بظروف ذات ضجيج مختلف.

بعد تنصيب الهوائي يجب أيضاً تعيّير الدوبلكسر الخاص بمكرر الإشارة الذي يجب استخدامه لتحقيق استخدام هوائي مكرر إشارة وحيد في حالتي الإرسال والاستقبال, يتألف الدوبلكسر من عدة مرشحات كما أسلفنا في فصل سابق Low Pass Filters and High Pass Filters والهدف الرئيسي تحقيق العزل بين الإشارة المستقبلة والإشارة المرسلة بحيث لا يحدث أي تداخل من جهة وبحيث يتم البث والاستقبال عبر هوائي وحيد بدلاً عن تنصيب وتركيب هوائيين اثنين, كلما كان الدوبلكسر معيّرا بشكل جيد كلما كان الانتشار للأمواج سليمًا إن كان في حالة الإرسال, وكلما كان الإستقبال أنسب.

يتم تعيير الدوبلكسر بحيث إن افترضنا أن الإرسال لمكرر الإشارة يكون على التردد 138 MHZ وبالتالي الهدف هو تخميد الإشارة ذات تردد الاستقبال وهو 143 MHZ في حالتنا هذه, يتم ذلك عبر تحقيق Low pass Filter بحيث يؤمن تمرير الإشارة ذات التردد المنخفض 138 MHZ و يحجب الترددات عند 143 MHZ, والعكس صحيح في حال أردنا تمرير تردد الاستقبال وحجب تردد الإرسال في الحالة

المعاكسة, الشكل التالي يبين التخميد عند 80dB- للتردد 143 MHZ تقريباً:




الشكل يبين الية تخميد تردد الاستقبال في الدوبلكسر ( عتد التردد 141 ميغاهرتز )

يتم وصل كابلات محورية قصيرة بين الدوبلكسر ومكرر الإشارة , بحيث يتم وصل مدخل الاستقبال لمكرر الإشارة مع نفس المدخل في الدوبلكسر ومدخل الإرسال في المكرر مع نفس المدخل في الدوبلكسر أيضاً, ويتم وصل الهوائي الوحيد المصمم إلى الدوبلكسر مباشرة. بذلك يتم تمرير الإشارة المرسلة من المكرر إلى الدوبلكسر ثم الهوائي لإرسالها, ويتم استقبال الإشارة عبر الهوائي للدوبلكسر ومن ثم للمكرر بنفس الطريقة مع حجب تردد الاستقبال في أول حالة و حجب تردد الإرسال في ثاني حالة.

## الآفاق المستقبلية

يعتبر نظام الراديو اللاسلكي الرقمي Digital VHF من هم الأنظمة العاملة حول العالم وخصوصاً في البلدان التي تتعرض لكوارث وحروب وغيرها إذ يغدو تحقيق الإتصال اللاسلكي الآمن والموثوق من أهم عوامل تحقيق التواصل والإستجابة لهكذا نظم مع الأخذ بعين الإعتبار أكبر تغطية ممكنة من خلال برامج التخطيط والتصميم.

هنالك العديد من الدراسات التي تتم حالياً لإنتاج نظام رقمي مطوّر أفضل من الحالي من ناحية التعديل الرقمي وسرعة نقل البيانات بين المحطات المختلفة, كما أنّ العديد من الدراسات التي تقوم بها شركة موتورولا و شركة كينوود تصب حالياً في خانة تراسل مقاطع تصويرية بالإضافة للبث المباشر Live Broadcasting عبر النطاق VHF وذلك برفع معدل سرعة نقل البيانات عبر الشبكة لتصل لحدود: 10 ميغابت بالثانية وأكثر وذلك عن طريق تطوير التعديل الرقمي المستخدم MSK وطرق إرسال وإستقبال البيانات.

كما تتم حالياً تتم دراسة رفع معدل نقل البيانات بين مكررات الإشارة نفسها مما يسهل آلية وصل المكررات على الشبكة ويحقق الإتصال الصوتي والمرئي بدون أي تأخير زمني نوعاً ما في حال ربط عدة مكررات ولعدة مناطق ومحافظات ضمن منظومة واحدة في النظام المستخدم.

من الممكن ربط مكررات الإشارة عبر شبكة من التجهيزات الشبكية Ethernet cables وعبر شبكة الإنترنت لسهولة التواصل والولوج إلى المكرر الموصول عبر الشبكة ولكن حديثاً يتم وصل المكررات بشبكة ألياف ضوئية تحقق سرعة نقل بيانات عالية جداً مما يحقق أدائا ممتازاً ووثوقية عالية بالإضافة إلى تأخير زمني لا يُذكر أبداً في حال استخدام المكالمات الصوتية في النظام المستخدم.

# الفصل التاسع

# المراجع العلمية و قائمة المصطلحات

## 1- المراجع العلمية


- نظم الإتصالات الحديثة, منشورات كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية جامعة دمشق, الدكتور المهندس فريز عبود, الدكتور المهندس محمد سعيد الصفدي, الدكتور المهندس محمد ميهوب
- Radio Operators Training Manual – United Nation World Food Program. FITTEST Dubai, 2008.
- The ARRL Operating manual for Radio Armatures, 10th edition, The American Radio Relay League, Inc. 2016.
- Basic Radio Theory , JAA ATPL theory, G Longhurst, CLICK2PPSC LTD, 2001.

- VHF/UHF/Microwave Radio Propagation: A Primer for Digital experimenters, Barry McLarnon, VE3JF, 2696 Regina St.Ottawa, 2009
- The ARRL Digital VHF Handbook, Joodi Morin, 2009.
- The ARRL Antenna Book for radio communication, 21th edition, H. Ward Silver, ARRL Publishing, 2012.
- Kenwood VHF digital repeater NX-710, Kenwood UK, 2015.
- Antenna Theory Analysis and design, Constantine Balanis, Wiely, 2016.
- Radio Network Planning and Resource Optimization: Mathematical Models and Algorithms for UMTS, WLANs, and Ad Hoc Networks, Iana Siomina, 2006.
- Digital Mobile Communications and the TETRA system, 2000.

## 2- قائمة المصطلحات العلمية:

- AM "Amplitude Modulation" التعديل المطالي
- ASK "Amplitude Shift Keying" القفل بإزاحة المطال
- DL "Down Link" : الوصلة الهابطة
- DMR " Digital Mobile Radio" الراديو المتنقل الرقمي
- FDD "Frequency Division Duplex": الإرسال المتعدد بتقسيم التردد
- FDMA "Frequency Division Multiple Access" النفاذ المتعدد بتقسيم التردد
- FM "Frequency "modulation" التعديل الترددي:
- FSK "Frequency Shift Keying" القفل بإزاحة التردد
- GPS "Global Position System" نظام تحديد المواقع العالمي
- HF "High Frequency" الأمواج ذات التردد العالي
- LoS " Line of Sight " مدى خط النظر
- PSK "Phase Shift Keying" القفل بإزاحة الطور
- TDMA "Time Division Multiple Access " النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن
- TETRA "Terrestrial Trunked Radio " جهاز الإرسال الرقمي الارضي ذي الجذع
- UHF "Ultra High Frequency" الأمواج فائقة التردد
- UL "Up Link" الوصلة الصاعدة:

- VHF ‘‘Very High Frequency’’ الأمواج ذات التردد العالي جداً
- SWR ‘‘ Standing Wave Ratio ‘‘ نسبة الأمواج المستقرة