مقدمة فى
أساسيات الهاتف

INTRODUCTION TO BASIC TELEPHONE

الإبداع هو النظر

إلى الأشياء بعكس ما ينظر إليها الآخرون

جمع و ترتيب

م/ محمد عبد القادر محمد عمر

ميت غريطة / السنبلاوين / دقهلية

Email : EngMK83@Yahoo.com

Tel : 050 / 6771551 & Mobile : 0109833045

مقدمـــة

يعتبر تاريخ الاتصالات قديم بقدم الإنسان حيث أشارت المخطوطات القديمة إلى رغبة الإنسان وسعيه الدائم لتحقيــق اتصالاً أسرع يتخطى به مدى السمع والرؤية ... وكان من أولى الطرق لنقل الرسائل إيقاد النار على قمم المرتفعات فى الأماكن الشاسعة و المكشوفة و قرع الطبول فى الغابات حيث تحجب الرؤيا بواسطة الأشجار الكثيفة ثم تطــورت فى القرون الحديثة بتجنيد العدائين حاملى البريد ثم ظهر التلغراف و الذى استخدمت فيه الشفرة لإرســال الرســالة المكتوبة.

وحتى القرن التاسع عشر لم يكن هناك نشاطا بحثيا لعلماء الفيزياء عن علم الصوت ... إلا أن أبحاث الــرواد فــى مجال بحوث الكهرباء قد مهدت الطريق أمام أول جهاز هاتف كهربى لجرهام بل فى عام 1875م ... وقد ظهر أول مصطلح فى عالم الاتصالات وهى كلمة " تليفــون " وهى نطق العربية للكلمة الانجليزية Telephone وهى تتكون من جزأين الأول -Tele ويعنى " عن بعــد " والثانى phone ويعنى " الكــلام " وبالتالى يكون معنى كلمة تليفــون هو " الكلام عن بعد " وقد تم تعريب هذه الكلمة الى كلمة " هــاتف " لما فيها من معنى النداء عن بعد .

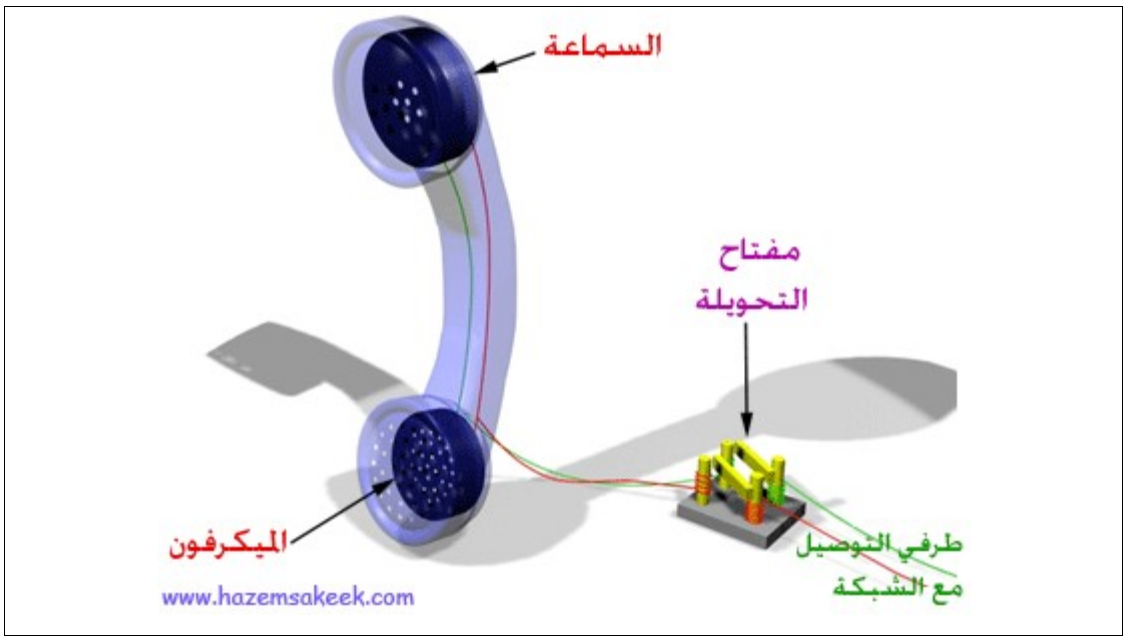
التلفون ذلك الجهاز الصغير الذى تستخدمه كل يوم فى العديد من الأغراض دون جهد أو تفكير فإذا ما أردت الاتصال بأى شخص فى أى مكان فى العالم ما عليك إلا أن ترفع سماعة تلفونك وتضغط على عدة أزرار لتجرى المحادثة التى تريد ... يعد التليفون واحد من أبسط الأجهزة المستخدمة فى البيت ولكى تتخيل كم هو بسيط يكفى أن تعرف انه لازال يتكون من الأجزاء الأساسية التى عرف بها منذ اختراعه فلو كان لديك جهاز تليفون قديم يعود للعشرينات من القرن الماضى فإنه سيعمل بلا مشاكل لو وصلته مكان تليفونك الحالى .

مكونات التلفون البسيط

ربما تستغرب من أن مكونات جهاز التلفون تعد من ابسط الأجهزة الموجودة في المنزل، فالتلفون في ابسط أشكاله يتكون من الأجزاء الثلاثة التالية:

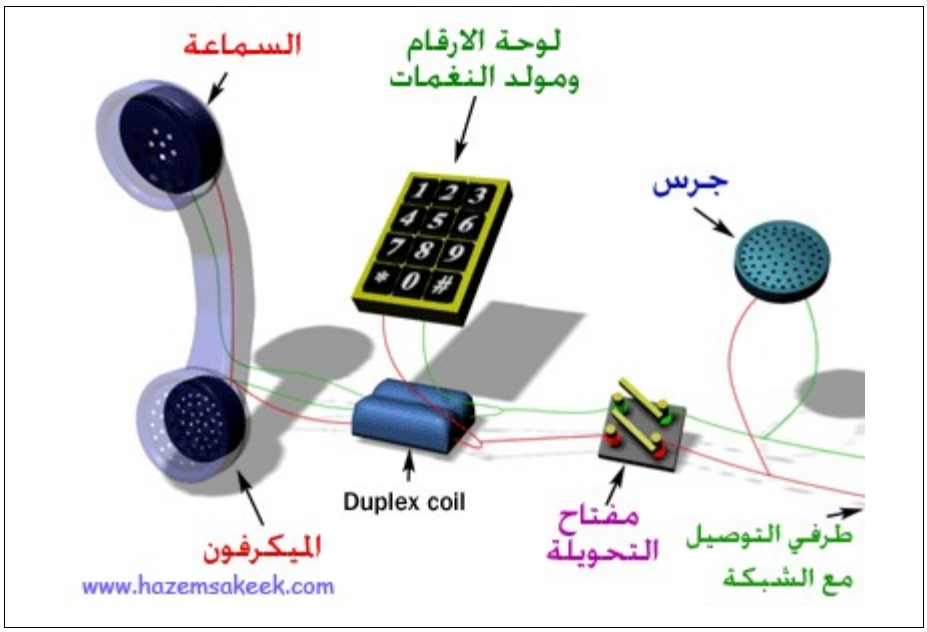
صورة لتلفون قديم

1- المفتاح الكهربي Switch : يعمل على توصيل التلفون بالشبكة الخارجية عند إجراء المكالمة أو فصله عنها، والذي يعرف أحيانا باسم التحويلة والتي تكون في حالة اتصال بمجرد أن ترفع سماعة التلفون.



2- السماعة Speaker : وهو عبارة عن سماعة صغيرة تعمل على تحويل التيار الكهربى إلى موجات صوتية.

3- الميكروفون Microphone : وهو الجزء من السماعة الذى تتحدث منه وكان فى أجهزة التليفون القديمة بسيط التركيب يتكون من حبيبات كربون مضغوطة بين لوحين معدنيين يمر من خلالهما تيار كهربى عندما تتحدث تحدث الموجات الصوتية تضاغطات و تخلخلات فى حبيبات الكربون مما يغير من قيمة مقاومتها لمرور التيار وبالتالى تتغير شدة التيار الناتج ارتفاعا وانخفاضا تبعا للموجة الصوتية.



هذه هي مكونات وأجزاء التلفون ويمكنك استعمال مثل هذا التلفون لو وصل بالشبكة ولكن طريقة طلب الرقم تختلف عما هو الآن حيث كان على المستخدم أن يرفع السماعة ومن ثم يضغط على مفتاح التحويلة أربع مرات لتعلم شركة التلفون أن الرقم المطلوب هو أربعة وهكذا يتم توصيله بالهاتف صاحب هذا الرقم .

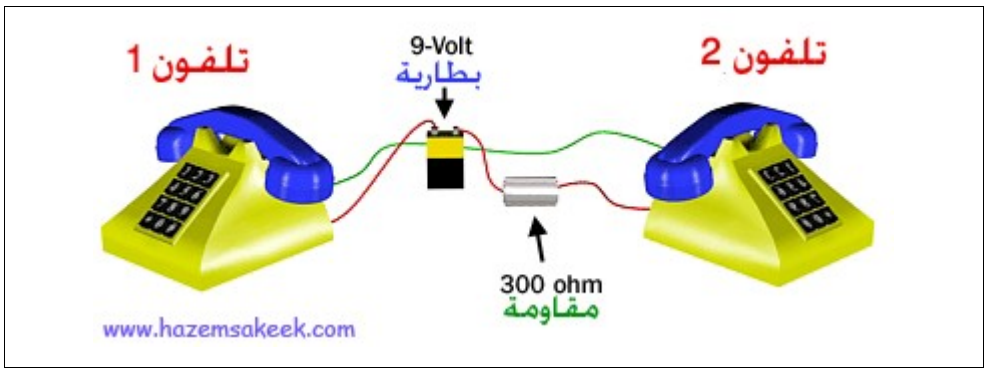
مكونات التلفون الحديث

واجهت التلفون القديم مشكلة رئيسية وهي انك ستسمع صوتك من خلال سماعة تلفونك وهذا يسبب الإزعاج لكثير من الناس مما استوجب إدخال بعض التحسينات على تركيبه ليصبح أكثر راحة و ملائمة حيث ادخل عليه duplex coil أو ما يحل محله لحجب صوت المتحدث عن أذنه ... كما زودت التلفونات الحديثة بلوحة مفاتيح تعمل بمجرد الضغط عليها بدل الضرب على مفتاح التحويلة ... أيضا استبدلت الميكرفونات القديمة بأخرى الكترونية بها مكبرات وزودت بدوائر لتوليد أصوات لطيفة بدل الجرس التقليدي الذي قد يكون مزعجا ليصبح الشكل الحقيقي الجديد لجهاز التلفون كما هو موضح .

صورة لتلفون حديث

كيف تعمل شبكة الهواتف؟

شبكة الاتصالات تبدو أكثر بساطة من جهاز التلفون حيث يمكنك أن تنشأ بنفسك شبكة اتصالات صغيرة خاصة بك فكل ما بينك وبين شركة الاتصالات هو سلكين من النحاس احدهما مشترك والآخر يمر به تيار شدته 30 ملي أمبير بفرق جهد ما بين 6 –12 فولت حيث يقوم الميكرفون بتغيير شدة التيار المار تبعا لتغير الموجة الصوتية الصادرة من فمك وتقوم السماعة على الجانب الآخر بإعادة تشغيل هذه الموجة الصوتية وتحويلها إلى تيار كهربي.



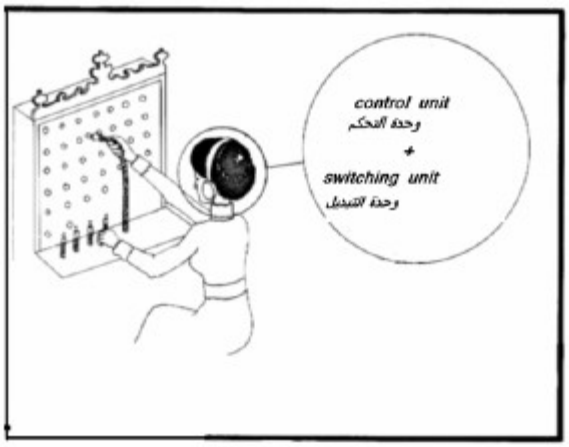
يبدأ التليفون من بيتك حيث يمتد زوج من الأسلاك النحاسية من صندوق التليفون فى الطريق إلى صندوق التليفــون فى بيتك والذى منه تستطيع أن تصل خط التليفون إلى اى مكان فى البيت .

على طول الطريق تمتد كوابل سميكة بها ما يزيد على مئة زوج من أسلاك النحاس مثل التي تصل إلى بيتك... هــذه الكوابل قد تتصل مباشرة مع (switch) بدالة شركة الاتصالات التي تتبع لها أو قد تتصل بما يعرف بـــ Digital Concentrator الذى يقوم بتحويل الصوت إلى إشارة رقمية بمعدل 8000 عينة فى الثانية وقوة تحليل تصل الى 8bit حيث تخرج الإشارة الخاصة بصوتك مع العديد من إشارات الأصوات الأخرى وترسل جميعا عبر سلك واحــد (غالبا ما يكون من الألياف الضوئية) إلى مكتب شركة الاتصالات.

إذا أردت الاتصال بشخص ما يتبع لنفس بدالة الشركة التي تتبع لها كل ما ستقوم به البدالة هو عمل حلقة بينك وبين المتحدث الآخر ليتم إجراء المحادثة لكن لو أردت الاتصال بشخص بعيد فانه سيتم تحويل صوتك إلى إشارة رقمية ترسل عبر الأسلاك إلى بدالته حيث يتم فك شيفرتها وترسل لتلفونه.

إذا عدت بذاكرتك إلى الأيام التى كان تعمل بها شبكات الاتصال من خلال لوحة المفاتيح اليدوية (السنترال اليدوي) فانك ستفهم بسهولة كيف تعمل أنظمة التليفون الحديثة .

فى النظام القديم كان هناك زوج من الأسلاك النحاسية يمتد من كل بيت الى مكتب رئيسي فى منتصف البلدة. عامل البدالة يجلس أمام لوح به يد لكل زوج من الأسلاك يدخل المكتب فوقها يوجد مصباح صغير . هناك بطارية كبيرة توصل التيار من خلال مقاومة الى كل زوج من الأسلاك . حين ترفع سماعة التليفون فى بيتك فان الدائرة الكهربية تكتمل فيضئ المصباح الخاص برقم المشترك عندها يصل عامل البدالة جهازه معك ليسألك عن الرقم الذى تريد الاتصال معه ليرسل له إشارة جرس بمجرد أن يستجيب لها ويرفع سماعة تلفونه يقوم عامل البدالة بوصل التليفونين معا .



فى النظام الحديث استبدل عامل البدالة بتحويله الكترونية فبمجرد ان ترفع سماعة تليفونك تكتمل الدائرة بداخل التحويلة الالكترونية فتدير لك نغمة خاصة تدلك على ان جهازك يعمل ومتصل مع الشبكة . ثم بعدها تقوم بالضغط

على الأرقام الخاصة بالشخص الذى تريد الاتصال معه باستخدام لوحة المفاتيح فى تلفونك حيث كل رقم ينتج عن مزج لنغمتين بترددين مختلفين كما فى الجدول المقابل.

1,477 Hz	1,336 Hz	1,209 Hz	
3	2	1	697 Hz
6	5	4	770 Hz
9	8	7	852 Hz
#	0	*	941 Hz

لكى يسهل نقل ملايين من المحادثات عبر سلك واحد فان التردد الذى يتم نقلهيحدد بعرض نطاق مقدارة 3000 HZ حيث أن أى اشارة صوتية لها تردد أقل من 400 HZ أو اكبر من 3400 HZ لا تنتقل عبر خطوط التليفون وهذا ما يجعل أصوات الناس تختلف عبر أجهزة الهاتف عما هى علية فى الواقع .

الآن ربما تتسائل أن كانت سبكات التليفون تعتمد فى عملها على الكهرباء كيف يستمر عمل التليفون فى حالة انقطاع التيار الكهربى ... الإجابة بسيطة فقد عرفت أن كل ما يحتاجة التليفون لكى يعمل هو تيار كهربى شدته 30 ملى أمبير بفرق جهد ما بين 6 إلى 12 فولت و هذا من السهل توفيره بمولدات تحت كل الظروف مما يتيح استمرارية عمل الهواتف اثناء انقطاع التيار الكهربى .

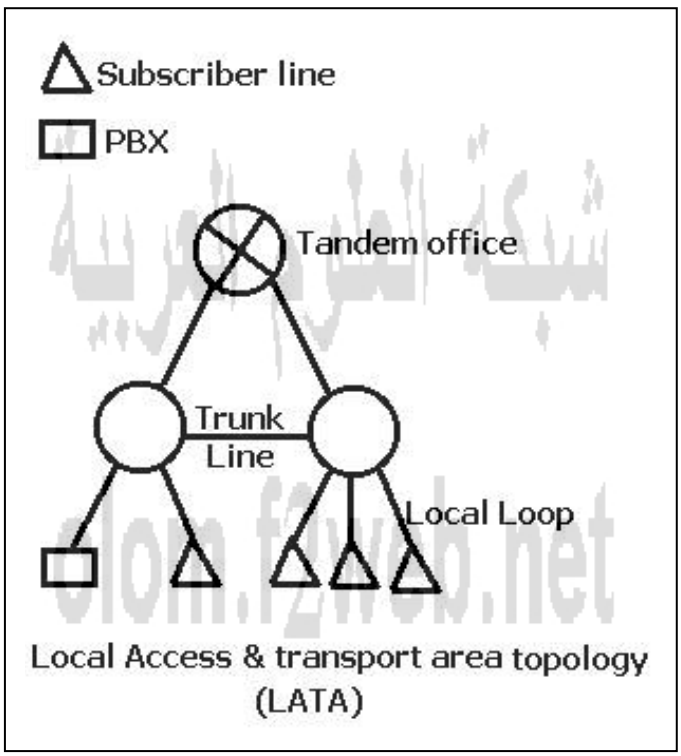
الآن بقى أن تعرف أن رقم تليفونك هو بمثابة عنوان لك حيث تقسم مجموعة الأرقام التى يتكون منها رقم التليفون إلى ثلاث فئات الأولى تدل على المنطقة التى تسكن بها والثانى يدل على المقسم الذى تتبع له فى هذه المنطقة و الثالث هو رقمك الخاص الذى يستدل به عليك من خلال هذا المقسم إذن رقم التليفون كالعنوان حيث يأتى اسم المدينة ثم اسم الشارع فى المدينة ثم رقم منزلك فى هذا الشارع .

مقدمة عن شبكات الهاتف الخارجية

يعتبر النظام العام للهواتف المفتاحية Public switched telephone system من أكبر وأهم نظم الإتصالات فى العالم والسبب فى ذلك يتمثل فى كونه public عام و Switched مفتاحى . فهو نظام عام أى يمكن لأى شخص الإرتباط به وهو نظام مفتاحى أى أن كل شخص مرتبط بهذا النظام يمكنه الاتصال بأى شخص أخر مرتبط بالنظام (على الأقل نظريا) .

وقد وظف النظام العام للهواتف المفتاحية معظم التقنيات التى طورت فى مجال الإتصالات لصالحه مثل الألياف الضوئية fiber optics ونقل الإشارات الرقمية digital signal transmission وانتقل من وظيفته لنقل المكالمات الصوتية إلى نقل البيانات الرقمية .

☒ بناء الشبكات المفتاحية



الشكل يوضح البناء الأساسى أو ما يعرف بالـ Topology للشبكات المحلية

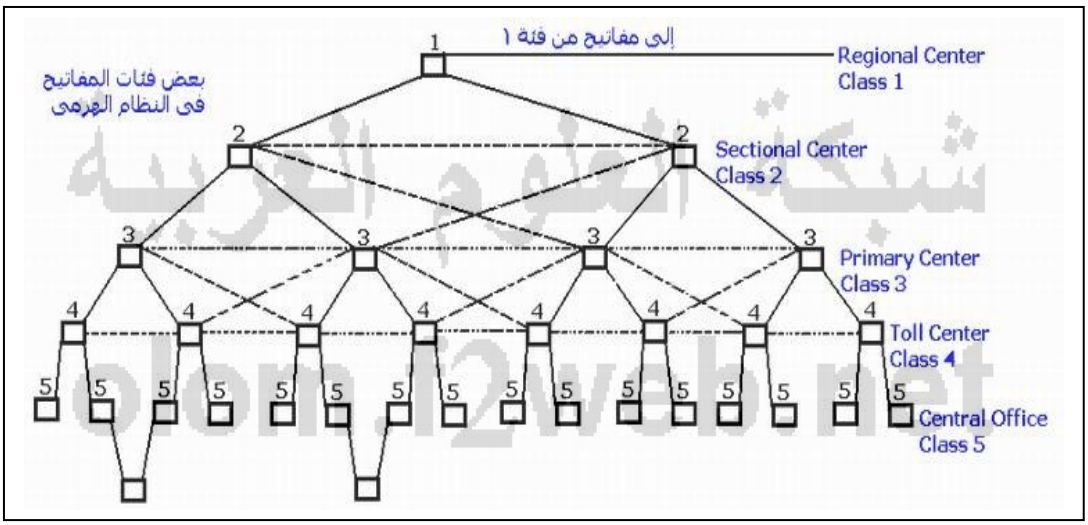
(LATA :Local Access and Transport Area) والمستخدمة فى نظام الهواتف المفتاحية . وكما نرى فكل مشترك Subscriber يتصل عبر خط واحد هذا الخط يعرف ب (Local loop) بمكتب السنترال Central office حيث تحدث عملية ربط الخطوط أو فصلها Switching ومكتب السنترال يقوم بعمل تحويلة exchange واحدة تعتمد على عدة خانات من رقم التليفون الذى تم الاتصال به.

وكل الخطوط المتصلة بمكتب السنترال يكون لها أرقام متشابهه فى بعض الخانات . ولفظة "مكتب office " قد تكون خادعة فهى لا تعنى محطة واحدة للسنترال بل يمكن أن يكون هناك عدة سنترالات فرعية متصلة بآلاف الخطوط التى تشترك كما قلنا فى بعض الخانات داخل أرقام تليفوناتها .

والخطوط التى تتصل بمكتب السنترال يمكنها أن تتصل ببعضها عبر هذا المكتب وهذا المكتب يتصل بالمكاتب الأخرى فى مكان ما عن طريق قنوات إتصال تعرف بالـ Trunk lines مما يسمح لأى مشترك فى أى مكتب سنترال بمشترك أخر فى مكتب سنترال أخر .

وإذا أراد مشترك فى أى مكتب سنترال بمشترك أخر فى مكتب سنترال أخر ولم يتواجد بين السنترالين قناة إتصال Trunk Lineفإن الإتصال بينهما يتم من خلال مكتب ترادفى Tandem office .

أما مكالمات المسافات البعيدة تسافر عبر هيكل هرمى من المحطات (مثلما فى الشكل التالى)



حيث يوجد مكتب السنترال Central office أو مايعرف أحيانا بـ End office فى قاعدة هذا الهيكل الهرمى . والمكالمة من جانب ما فى الدولة قد تعبر خمس طبقات Layers لأعلى و لأسفل فى الهيكل الهرمى عبر العديد من المفاتيح Switches قبل أن تصل لهدفها الأخير .

ومبدأ الهيكل الهرمى مناسب للمفاتيح الكهروميكانيكية أما المفاتيح الحديثة التى يتحكم فيها بالحاسب فيناسبها أكثر هيكل أخر يتميز بوجود شبكة من مراكز المفاتيح بعيدة المدى . وهذه الشبكة المسطحة تسمح للنظام بإيجاد مسار مباشر بين أى مكانين فى نفس الدولة .

أما الآن فإن معدات المفاتيح Switching Equipment و قنوات الاتصال Trunk lines أصبحت رقمية وتستخدم تقنية التقطيع الزمنى Time-devision multiplexing و التى تسمح لعدة مكالمات فى المرور خلال مسار واحد فى نفس الوقت .

كما أنتشر استعمال الألياف البصرية fiber Optics فى صناعة قنواة الإتصال Trunk lines لكبر النطاق الترددى لها . وتستخدم أيضا روابط مكروووية أرضية و الأقمار الصناعية و الكابلات المحورية Coaxial cable فى وسائط الإتصال الأخرى .

ونظرا لأن مكاتب السنترالات تعتبر قريبة من بعضها فإنه للربط بينها تستخدم كوابل لأزواج ملفوفة من الأسلاك (Twisted pairs cables).

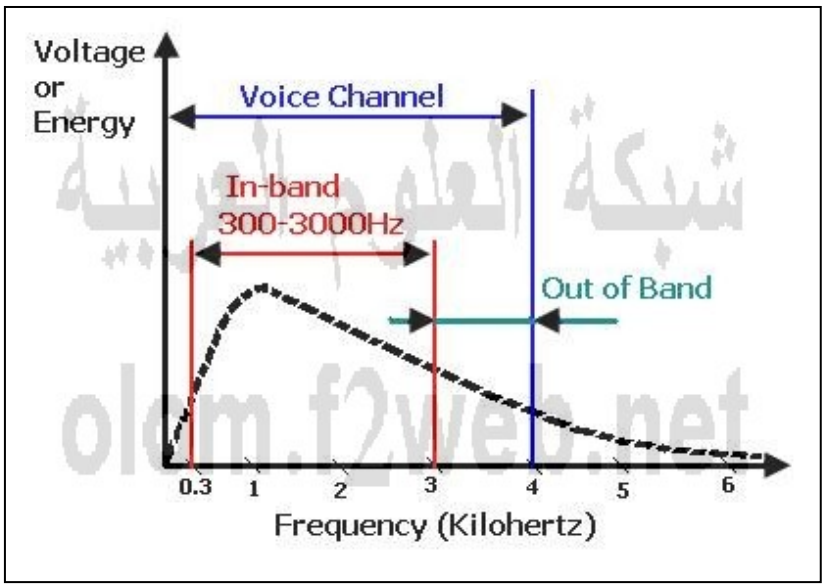
☒ أنواع النقل

الرسالة المنطوقة من قبل الأشخاص ليست هى الإشارة الوحيدة التى تنتقل خلال شبكة التليفونات ولكن هناك إشارات أخرى مثل نغمة الإتصال Dial tone و نبضات الإتصال Dial Pulses أو نغمات الأزرار التى تمثل الأرقام و نغمة الإنشغال busy tone و نغمة الرنين المرتجعة Ringback tone ، بعض هذه الإشارات هى إشارات للتحكم فى المفاتيح والأخرى لبيان حالة المكالمة .

وبعض هذه الإشارات يعتبر رقمى ON-OFF والبعض الأخر يعتبر تماثلى Analog مما يجعلنا أمام خليط من الإشارات يجب علينا نقلها خلال الشبكة .

☒ نقل الصوت التماثلي

إن إشارة الصوت المسموع لو تم رسمها (كعلاقة بين التردد وطاقة الإشارة أو جهدها) سنجدها تغطى المساحة الموجودة تحت المنحنى الأسود المنقط فى الصورة التالية. وهذا يوضح أن الصوت تتراوح الترددات التى يشغلها من 100 هرتز إلى 6 كيلو هرتز .



و لأن الصوت البشرى يحتل النطاق من 200 هرتز إلى 4 كيلو هرتز فإنه تم إختيار قناة الإرسال Voice Channelلتكون قادرة على نقل الترددات من صفر هرتز إلى 4 كيلو هرتز (وأحيانا تسمى قناة الصوت تلك بقناة الرسالة Message Channel .

ولكن فى الحقيقة فإنه ليس كل ترددات الصوت البشرى يسمح لها بالمرور خلال قناة الإتصال بل يسمح فقط للترددات من 300 هرتز إلى 3 كيلو هرتز (حيث تتركز أكبر طاقة للصوت البشرى) وتسمى أى أشارة تمر فى هذا النطاق الجديد (بإشارة داخل النطاق) In-band Signal .

و أى إشارة خارج نطاق الترددات من 300 هرتز إلى 3 كيلو هرتز تسمى) إشارة خارج النطاق) out-band Signal.

والصوت البشرى يمر فقط فى (داخل النطاق) أما إشارات التحكم التى يتم إرسالها خلال قناة الإتصال فيمر بعضها فى داخل النطاق والبعض الأخر فى خارج النطاق .

إن مستوى الإشارة الواصلة للحمل الموجود فى نهاية قناة الإتصال (وهو سماعة التليفون مثلا) يمكن التحكم فى قوتها عن طريق معرفة مستوى الإشارة المرسلة (e) وتقاس بالفولت ومعاوقة impedance الأسلاك (z) من المرسل للمستقبل وتقاس بالأوم وحساب القدرة الواصلة للحمل (p) والمقاسة بالواط بالقانون التالى :

$$p=(e^2)/z$$

ويمكن التعبير عن مستوى الإشارة (المرسلة بتردد ثابت) أيضا بمقياس يعرف بالديسبل dB وهو صورة أخرى للتعبير عن كمية القدرة الواصلة للحمل حيث :

$$dB=10*Log(P1/P2)$$

حيث P1 هى القدرة المستقبلة و P2 هى القدرة المرسلة وأحيانا نضع P2 كقدرة مرجعية تساوى 1 ملى واط للتعبير عن القدرة P2 بالديسبل فيكون لدينا مقياسا للقدرة المفردة والمنسوبة لمرجعية 1 ملى فولت ويصبح تمييز الناتجdBm

☒ ضوضاء قناة الصوت

إن نظام الإرسال يعمل رغما عنا فى ظروف تعرضه لتداخل إشارات غير مرغوب فيها (مثل شحنات البرق والحرارة والإشارات المنبعثة من الأسلاك القريبة) والتى تعرف إصطلاحا ب(الضوضاء) وهذه الضوضاء Noise تقوم بتخريب المعلومات المارة فى هذا النظام .

ويتم معرفة كفاءة قناة الإتصال بمعرفة مستوى الضوضاء فيها خلال عدم مرور أي إشارة إتصال بها . وقد تم تحديد نسبة الضوضاء المقبولة فى خطوط الإتصال فى الولايات المتحدة ب −69 (dBm) فى خط طوله 180 ميل و −50 (dBm)فى خط طوله 3000 ميل بحيث تكون فى قناة الإتصال إشارة صوتية مقدارها 16 (dBm) .

ولكن هناك مصدر أخر للضوضاء مصدره قناة الإتصال نفسها ويعرف بالصدى . echo والصدى الأساسى هو عودة الإشارة المرسلة إلى مستقبل Receiver الشخص المتكلم. ومدة تأخر هذا الصدى يعتمد على المسافة بين المرسل ونقطة الإنعكاس وقد يكون متحملا أحيانا وأحيانا أخرى لا يطاق . ويحدث الصدى لوجود عدم تجانس mismatchesفى معوقة خط النقل.

☒ الإرسال المتعدد المتقابل Multiplexing:

إن خط الـ Local Loop لايستطيع حمل أكثر من محادثة واحدة فى نفس الوقت وهذا ليس إقتصاديا فى عمل شبكة التليفون . لذلك تم إستحداث طريقة يمكنها دمج أكثر من محادثة تليفونية وتمريرهم فى نفس المسار ثم فصلهم عند المستقبل . وهذه الطريقة تسمىMultiplexing .

وهذه الطريقة تتم بتقسم إشارات المحادثات المتعددة ونقل شريحة من كل مكالمة على التوالى ثم تمرير الإشارة المتكونة عبر قناة الإتصال ثم فصل هذه الشرائح وتجميع الإشارات مرة أخرى عند المستقبل . والفصل إما يعتمد على الزمن ويسمى فى هذه الحالة TDM أو يعتمد على التردد وتسمى العملية فى هذه الحالة FDM

☒ النغمات Tones:

تستخدم إشارات النغمات Tones إما للتحكم أو لبيان الحالة .

نغمات التحكم :

فى أجهزة التليفونات القديمة كان الاتصال يتم بتدوير قرص متحرك يحتوى على الأرقام من 0 إلى 9 وكان القرص عند تدويره وتركه يرسل نبضات بتردد 10 هرتز عددها مساو للرقم المختار من المتصل وهذه الطريقة القديمة تعرف بالاتصال النبضى Pulse dialing .

أما فى أجهزة التليفون الحديثة ظهرت تقنية الاتصال باللمس Touch-tone dialing حيث يرسل كل زر يضغط المستخدم عليه إشارة مكونة من محصلة ترددين dual-tone multifrequency أو ما يعرف اختصارا بالـ DTMF وهذه الطريقة أفضل من سابقتها لسهولة إستخدامها ولسرعة تمريرها للبيانات .

والجدول التالى يوضح الترددات الذى يرسلها كل زر فى جهاز الهاتف . فمثلا الزر رقم 8 يرسل نغمة مكونة من الترددين 1336 هرتز و 852 هرتز .

	1,209 Hz	1,336 Hz	1,477 Hz
697 Hz	1	2	3
770 Hz	4	5	6
852 Hz	7	8	9
941 Hz	*	0	#

شبكة العلوم العامة
elom.f2web.net

المخطط الصندوقى العام للتليفون

دائرة معادلة طول السلك Loop Length Compensation:

إن مقاومة التليفون (المقاومة بين الطرفين X و Y فى حالة عدم توصيله بالشبكة) تساوى 400 أوم (بحسب المقاييس الأمريكية) و هى ثابته لكل المشتركين أما ما يتغير فهو مقاومة السلك الواصل بين السنترال وجهاز التليفون فكلما أبتعد المشترك عن السنترال زاد طول السلك الواصل بينهما وزادت مقاومته مما قد يؤدى إلى ضعف الإشارة (فى المسافات الطويلة) أو زيادة قوتها (فى المسافات القريبة) وهذا ما كان يحدث فى الماضى . ولذلك فقد استحدثت دائرة معادلة طول السلك حتى تصل جميع المحادثات بعلو صوتى واحد مهما أختلفت المسافة بين المتحدث والسنترال وهذه الدائرة تغير من مقاومتها لتقلل من التيار المار خلالها أو تزيده بحسب مقاومة الدائرة المتصلة بها (المعتمدة على طول السلك الواصل بالسنترال).

الملف الحثى المهجن Hybrid Coil :

وهى دارة تسمح لنا بالإرسال والاستقبال فى نفس الوقت وبنفس الخط Full duplex وذلك بتقسيم الخط المكون من سلكيين (الآتي من السنترال) إلى أربعة أسلاك (اثنان للاستقبال واثنان للإرسال) . والدارة مكونة من محول ذو لفات متعددة مثلما فى الشكل التالى ويعتمد عملها على التقارن الكهرومغناطيسى Electronmagnetic Couplingفأى تغير فى الملف A ينتج عنه تغير فى المجال الكهرومغناطيسى مما يؤدى إلى تغيير مستحث فى الملف C وبالمثل فإن التغير عند F سينتقل بالحث (دون أى اتصال مادى) إلى H وهكذا بقية الملفات ويعتمد تأثير كل ملف على الأخر على عدد لفاتهما.

شبكة الموازنة :

وهى تلك الدائرة المحاطة بالخط الأحمر فى المخطط السابق ووظيفتها منع الإشارة المرسلة من الظهور فى المستقبل (فى نفس الجهاز) ومنع الإشارة المستقبلة من الوصول لأطراف الإرسال . ولكن فى الحقيقة فإنه يسمح لبعض الصوت المرسله بالوصول إلى سماعة نفس الجهاز فيما يعرف بالنغمة الجانبية Side tone وهذه النغمة الجانبية هامة حتى يسمع الشخص المتحدث نفسه من خلال مستقبله ليعرف مدى علو صوته . ويجب أن تكون تلك النغمة الجانبية بقيمة مناسبة لأنه لو قلت قيمتها لظن المتحدث أن صوته منخفض فيزعق (والعكس صحيح) . ويقوم المكثف والمقاومة (فى يسار الشكل) بضبط هذه القيمة وفى الأجهزة الحديثة تقوم مقاومة متغيرة أتوماتيكيا بضبط النغمة الجانبية بحسب طول السلك بين المتكلم والسنترال .

مراجـــع:

مزيد من المعلومات تجدها في المواقع التالية:

Telecommunications Technical Fundamentals
http://www.moultonco.com/new/semnotes/telecomm/tlfpics.htm

Alexander Graham Bell's Path to the Telephone
http://www3.iath.virginia.edu/albell/introduction.html

Telephone ringing circuits
http://www.tkk.fi/Misc/Electronics/circuits/telephone_ringer.html