الجمهورية العربية السورية
جامعة دمشق
المعهد التقاني للهندسة
الميكانيكية والكهربائية
بدمشق

الاتصالات الرقمية

DIGITAL COMMUNICATIO

السنة الأولى-هندسة الاتصالات

م. غفران قصار

المقدمة

التعديل النبضي و الرقمي

نظراً للتطور العلمي في مجال تكنولوجيا المعلومات و الاتصالات ,شهدت أنظمة الاتصالات انتشاراً واسعاً في مجالات مختلفة ,أهمها تطوير أجهزة الاتصال الرقمية ,وسرعة نقل البيانات و المعلومات عبر شبكات الاتصال المختلفة ,وبدأ التحول السريع باستبدال أجهزة الاتصال التماثلية أجهزة اتصال رقمية .

وسوف ندرس في هذا البحث إحدى أهم تقنيات الاتصال الحديثة وهي التعديل النبضي و التعديل الرقمي وهي المستخدمة في أنظمة الاتصالات الحديثة لإرسال واستقبال المعلومات وسوف ندرس:

1-التعديل النبضي بأنواعه: PAM,PWM,PPM .

2-التعديل النبضي المرمز PCM وتعديل دلتا ΔM .

3-التجميع بتقسيم الزمن .

4-تقنيات المزج .

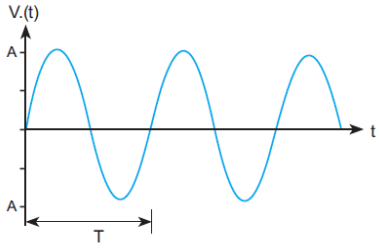
ومن ثم ندرس معالجة الإشارة لإرسال الإشارة رقمياً ثم استقبالها و استرجاعها.

أنواع الإشارات

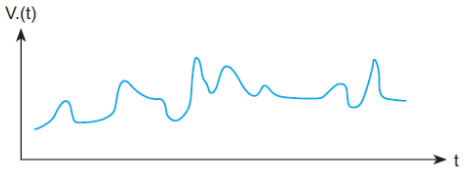
تقسم الإشارات بشكل عام إلى :

١. الإشارات التماثلية (Analog Signals)

هي إشارات تأخذ قيماً متغيرة ومتواصلة دون انقطاع خلال فترة زمنية محددة، مثل الإشارة الكهربائية الجيبية الصادرة عن مصدر كهربائي كما في الشكل (1)، أو الإشارة الكهربائية الصادرة عن ميكرفون الهاتف كما في شكل (2).



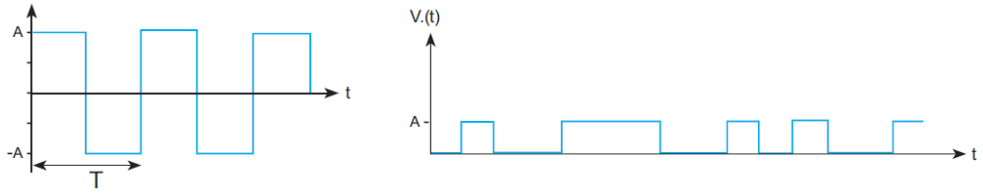
شكل (١): موجة جيبية



شكل (٢): إشارات ميكروفون

٢. الإشارات الرقمية (Digital Signals)

هي تلك الإشارات التي تأخذ قيماً محددة عند تغيرها مع الزمن، ومثال ذلك الإشارات الصادرة عن الحاسوب والتلغراف . . .) لاحظ شكل (3).



شكل (٣): إشارات رقمية

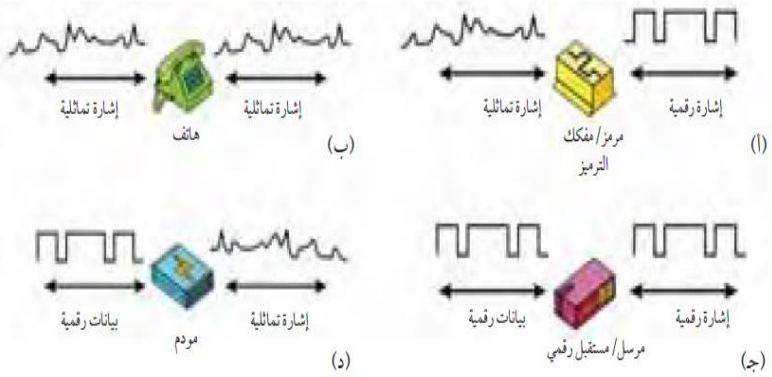
يبين شكل(٤) بعض التطبيقات العملية على تحويل وتعديل هذه الإشارات :

١. إشارة تماثلية – إشارة رقمية الشكل (٤-أ).

٢. إشارة تماثلية – إشارة تماثلية الشكل(٤- ب).

٣. إشارة رقمية – إشارة رقمية الشكل(٤-جـ).

٤. إشارة رقمية – إشارة تماثلية الشكل (٤- د).



شكل (٤): تطبيقات عملية على تحويل وتعديل الاشارات

مقارنة بين أنظمة الاتصالات الرقمية والتماثلية

تمتاز انظمة الاتصال الرقمية عن التماثلية بما ياتي :

١. الجودة والكفاءة العالية لنوعية المعلومات في المستقبل الرقمي .

٢. تمتاز أجهزة الاتصال الرقمية بفعالية واستقرارية ووثوقية بالعمل أفضل من أجهزة الاتصال التماثلية .

٣. يكون تأثير التشويش (Noise) على الأنظمة الرقمية أقل منه في الأنظمة التماثلية؛ لإمكانية تصحيح الأخطاء .

٤. إمكانية دمج عدد من الإشارات على نفس قناة البث في الأنظمة الرقمية باستخدام تقنيات الإرسال الرقمي المتعدد .

٥. تعتمد الأنظمة الرقمية على تشفير البيانات؛ مما يعطيها ميزة عالية بالأمن والحماية .

٦. تعدّ الأنظمة الرقمية أكثر اقتصادية من الأنظمة التماثلية .

٧. تستخدم الأنظمة الرقمية التقنيات المحوسبة في معالجة الإشارات الرقمية (تخزين، تشفير، تحكم . .) .

ورغم الإيجابيات المتعددة للأنظمة الرقمية إلا أن لها سلبيات منها :

١. تعدّ الأنظمة الرقمية أكثر تعقيداً من الأنظمة التماثلية .

٢. حاجتها لعرض نطاق كبير جداً مقارنة مع الأنظمة التماثلية .

الفصل الأول

التعديل النبضي

تعتمد هذه الطرق على استخدام سلسلة نبضات منتظمة كموجة حاملة ,ويتم تغيير خصائص النبضات من حيث المطال (الاتساع)-العرض-الموقع.حسب قيمة العينات .

لذلك تم تصنيف هذه الطرق إلى ثلاث :

1- تعديل مطال نبضة PAM.

2- تعديل عرض نبضة PWM.

3- تعديل موقع نبضة PPM.

1-تعديل مطال نبضة PAM:

في هذا النوع من التعديل يتناسب مطال النبضة تناسباً طردياً مع مطال إشارة المعلومات في نفس الزمن.

و المرحلة الأولى في التعديل النبضي بأنواعه الثلاث هي مرحلة أخذ العينات.

مرحلة أخذ العينات :

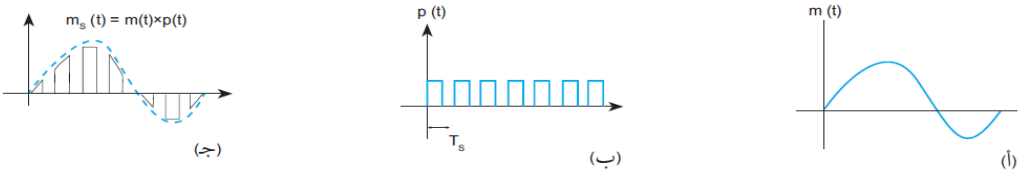
مرحلة أخذ العينات (نظرية التجزئة)هي الخطوة الأولى في التعديل المطالي للنبضة .و هذه التجزئة تتم على المعلومات حيث تردد نبضات التجزئة fs أكبر بكثير من تردد إشارة المعلومات fm.حيث الإشارة(m(t هي إشارة المعلومات المراد تجزئتها ,و الإشارة (s(t هي إشارة نبضية ذات عرض نبضة ضيق جداً .

تمثل عملية أخذ العينات عملية تبويب (gating) (فتح الباب لأخذ العينة (sample) ثم غلقه بمجرد القيام بذلك، وتعرف باسم hold، وتتكرر العملية بانتظام)؛ أي أخذ قيم منفصلة بشكل منتظم لسعة إشارة تماثلية. وهنا لابد من تعريف **نظرية العينات** (Sampling Theorem) والتي تنص على أنه يتم أخذ عينات من الإشارة التماثلية ذات التردد الأقصى (f_m) بتردد أخذ العينات (fs) لا يقل عن $2f_m$ وبصورة منتظمة $f_s \geq 2f_m$، ؛ ذلك حتى يمكن استرجاع الإشارة التماثلية من عيناتها.

يدعى التردد الذي يتساوى فيه التردد f_s مع التردد $2f_m$ **بتردد نايكوست**، أما إذا قل تردد اخذ العينات f_s عن $2f_m$ يحدث خطأ التداخل (aliasing error) بين مكونات طيف إشارة العينات.

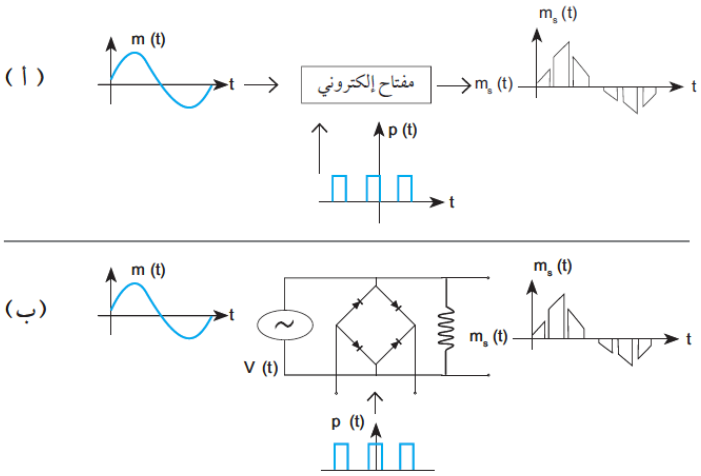
أمثلة على عملية أخذ العينات

يبين شكل (8) مثالاً توضيحياً لعملية اخذ العينات.



شكل (٨): مثال على أخذ العينات

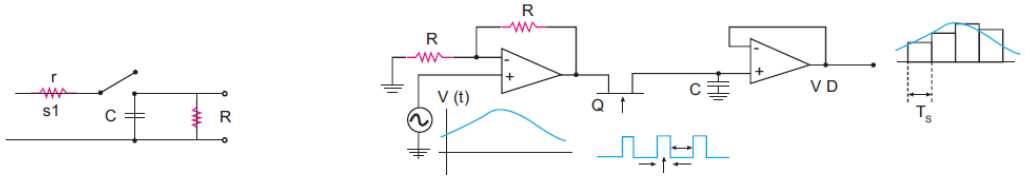
نلاحظ من شكل(8) أن عملية أخذ العينات تعتمد على ضرب إشارة نبضية p (t) (نبضات متماثلة بالشكل ومتساوية بالاتساع والعرض والتباعد) بإشارة المعلومات m (t)، ومن ثم الحصول على عينات معبرة عن الإشارة الأصلية ، ويمكن استخدام العديد من الدارات العملية لأخذ العينات كما هو موضح في الشكل (9).



شكل (٩): مثال لأخذ العينات بطريقة المفتاح الإلكتروني

S/H Sample and Hold

كما ويمكن أخذ العينات باستخدام دارة الأخذ والحفاظ (S/H) التي تعتمد على مدة إغلاق المفتاح (τ) بحيث تكون كافية لشحن المواسع كما في الشكل (10).



شكل (١٠): مثال لأخذ العينات بطريقة الأخذ والحفاظ (S/H)

و الفرق بين عمليتي أخذ العينات السابقتين أن عملية أخذ عينات معبرة عن الإشارة الأصلية أي القمم تلاحق المعلومات تستخدم غالباً في الاتصالات حيث يتم استرجاعها بمرشح تمرير منخفض.

أما أخذ العينات بطريقة الأخذ و الحفظ (S/H)فتستخدم غالباً في الترددات المرتفعة في نظم التحكم الرقمي و المحاكاة الرقمية حيث لا يمكن استرجاعها بمرشح تمرير منخفض.

إذا يمكن وصف عملية أخذ العينات بأنها :

1-رياضياً:هي عملية ضرب إشارة المعلومات بقطار نبضات مربعة ذات عرض ضيق .

2-الكترونياً:هي عملية فتح وإغلاق مفتاح الكتروني بتردد أعلى من تردد المعلومات ,و يكون ذلك باستخدام ترانزيستور أو دارة S/H أو ديودات أو بوابة AND .....

تحديد قيم التجزئة للإشارات الصوتية:

بما أن مصدر المعلومات الأساسي هو الصوت و الصورة ,و نحن في دراستنا نعالج إشارة الصوت و مجال التردد الصوتي المستخدم بالاتصالات الهاتفية هو (300Hz.....3400Hz)فيكون شرطا أخذ العينات:

1-مجال تردد إشارة المعلومات بين 300Hz.....3400Hz.

2-تردد التجزئة *fs* أكبر أو يساوي التردد الأعظمي للمعلومات أي fs≥fmax.

و بذلك يكون fs=6800hz لذلك تم اختيار تردد التجزئة fs=8000hz=8khz كقيمة موحدة عالمية .

و بعد أن تم توليد نبضات التجزئة ذات المطالات المتغيرة و التي تمثل المطالات المتغيرة للمعلومات PAM , سيتم إرسال هذه النبضات ,والمسافة بين النبضات تكون قريبة عند استخدام تقنية تجميع الزمن.

لذا سوف يطرأ تشويه على شكل النبضة عبر خط النقل و المسافات البعيدة و بالتالي يمكن أن يحدث تداخلات بين النبضات .

هذا التشويه له تأثير سيئ جداً على عملية فصل و اختيار النبضات للحصول على معلومات ذات إشارة كهربائية مطابقة تماماً لإشارة الإرسال .

إضافة لأن مطال هذه النبضات سوف يطرأ عليها تغيير بسبب العوامل الجوية,أو نقصان بسبب التخميد الشديد نظراً لطول المسافة. التداخل بين النبضات يمكن أن نلغي وجوده عند الاستقبال بإدخال هذه النبضات على قادح سميث حيث يقوم بتصحيح شكل النبضة و لكن قادح سميث لا يتأثر بمطال النبضة ,لأن أي إشارة نبضية ذات مطال بين (4...6) فولت على مدخل قادح سميث سوف نحصل على إشارة نبضية مطالها يقارب جهد التغذية .ولكن إذا تغير عرض النبضة عند الدخل فسوف يتغير عرض النبضة عند الخرج ,ولو كان هذا التغير صغير جداً .

إذاً إذا تم تحويل إشارة المعلومات إلى نبضات ذات عرض متغير يتناسب تماماً مع تغير إشارة المعلومات , فإن أي تداخل بين نبضات التجزئة يمكن إصلاحه عند الاستقبال .و بالتالي يمكن فصل النبضات عن بعضها حسب المعلومات التي تمثلها و استقبالها في القناة المخصصة لها .

و من هنا ظهر التعديل الزمني للنبضة بنوعيه :تعديل عرض نبضةPWM وتعديل موقع نبضة PPM .

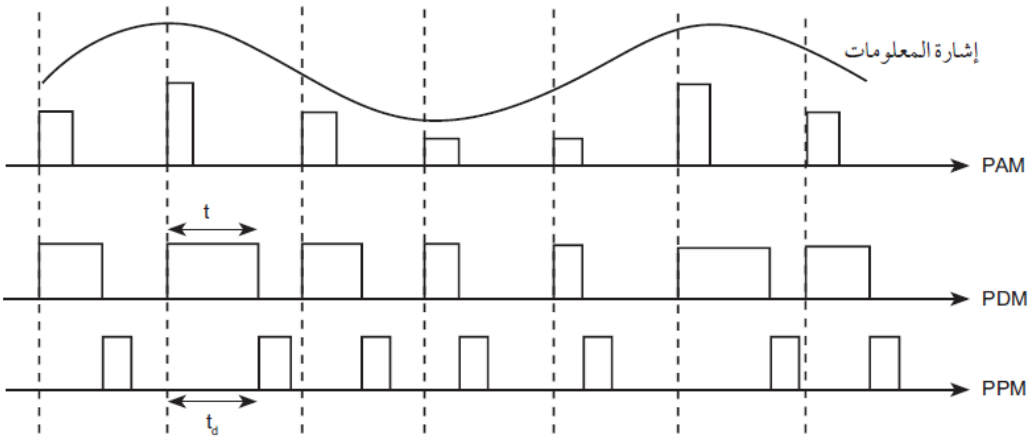
2-تعديل عرض نبضة PWM :

يتناسب عرض النبضة (فترة الموجة الحاملة في النقطة الزمنية المحددة) تناسباً طردياً مع اتساع إشارة المعلومات في نفس اللحظة الزمنية مع بقاء اتساع النبضة ثابتاً، حيث يزداد عرض النبضة بازدياد ارتفاع العينة، ويعدّ هذا التضمين أقل تأثراً بالتشويش مقارنة مع تضمين سعة النبضة .

3-تعديل موقع نبضة PPM:

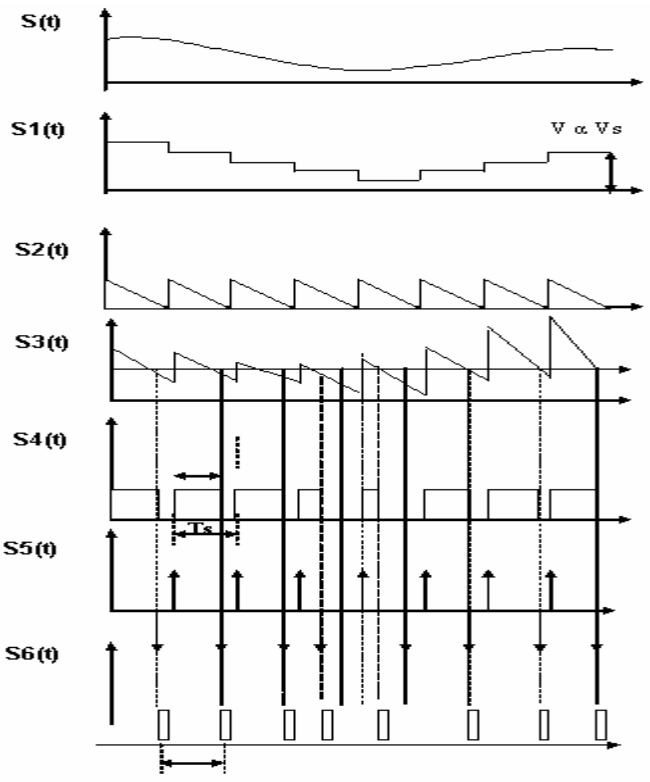
يتناسب موقع النبضة (بداية نبضة الموجة الحاملة في النقطة الزمنية المحددة) تناسباً طردياً مع اتساع إشارة المعلومات في نفس اللحظة الزمنية، مع بقاء اتساع وعرض النبضة ثابتين، حيث يزداد تأخير موقع النبضة بازدياد اتساع العينة، ويعدّ الأقل تأثراً بالتشويش.

يوضح الشكل (11)الأشكال الثلاثة للتعديل النبضي التماثلي



تستخدم هذه الأنظمة في معدات الميكروويف والليزر وأنظمة الاتصالات قصيرة المدى، ومن سيئاتها أنها تحتاج إلى عرض نطاق ترددي كبير، يمكن استخدامه في إرسال مزيد من الإشارات.

للحصول على التعديل الزمني بنوعيه لابد من اتباع المخطط الزمني المبين بالشكل (*12*)



إشارة المعلومات

إشارة PAM

سن المنشار

جمع سن المنشار للإشارة المعدلة مطالياً ومقارنتها بمستوى جهد ثابت

إشارةpwm

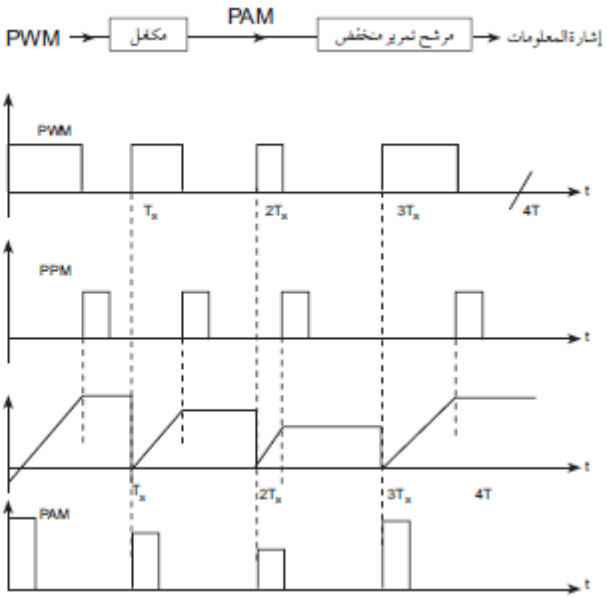
إشارة PPM :s6(t)

كشف التعديل النبضي :

يتم كشف إشارات تعديل مطال نبضة PAM بواسطة مرشح تمرير منخفض LPF كما في الشكل *(15)*

الشكل (١٥): كشف إشارة PAM

كما ويتم كشف إشارة تعديل عرض نبضة PWMو تعديل موقع نبضة PPMباستخدام دارة تكامل لتحويل النبضات ذات العرض المتغير إلى نبضات ذات مطال متغير أي إشارة PAMو من ثم كشفها باستخدام مرشح تردد منخفض كما في الشكل (16).



◄ شكل (١٦): التحويل من إشارتي PPM، PWM إلى إشارة PAM

ميزات التعديل النبضي:

1-الاستطاعة المرسلة مركزة بدفعات ,مما يناسب الليزر و صمامات الموجات المايكروية التي تعمل بشكل نبضي .

2-أثناء الفترة الزمنية بين النبضات يمكن إرسال نبضات معدلة لإشارات أخرى TDM.

ملاحظة هامة:في التعديل النبضي التعديل على المعلومات و ليس على الإشارة الحاملة.

التجميع بتقسيم الزمن – TDM في التعديل المطالي للنبضة(هام)

كما درسنا في التعديل المطالي للنبضة يتم أخذ العينات في فترات زمنية متساوية ,و قد تم تحديد تردد التقطيع للإشارة الصوتية كقيمة ثابتة Fs=8000Hz=8KHz .و هي قيمة موحدة دولية.

فيكون الزمن بين كل نبضة و أخرى ثابت و يساوي : $T=\frac{1}{Fs}=125\mu s$

أما عرض النبضة فيجب أن يكون ثابت و ضيق جداً : $t=3.9\mu s$

و هذا التردد أصغر تردد يمكن أن تجزأ به إشارة

المعلومات لتصبح على شكل قيم نبضية ,

كما في الشكل(17) .

و يمكن استعادتها إلى شكلها الجيبي باستخدام مرشح تمرير منخفض .

بما أن زمن التجزئة T أكبر بكثير من زمن النبضة t و بحساب بسيط يمكن أن يستوعب زمن التجزئة T و الذي يدعى زمن الإطار عدد كبير من النبضات و يساوي: $N=\frac{125}{3.9}=32$ نبضة مختلفة تكون لـ *32* إشارة معلومات مختلفة .

هذا الاستيعاب (التحشية) يطلق عليه اسم التجميع بتقسيم الزمن .

ليكن لدينا الإشارة $x_1(t)$ وقد تم تجزئتها

بنبضات (*1*)كما في الشكل (*18*) .

نرى أن كل مسافة بين كل نبضة و نبضة

(المنحني *TDM*) كافيه لكي يتواجد بينهما

نبضات أخرى (*2,3,4*) لإشارات كهربائية

أخرى $x_2(t),x_3(t),x_3(t)$.

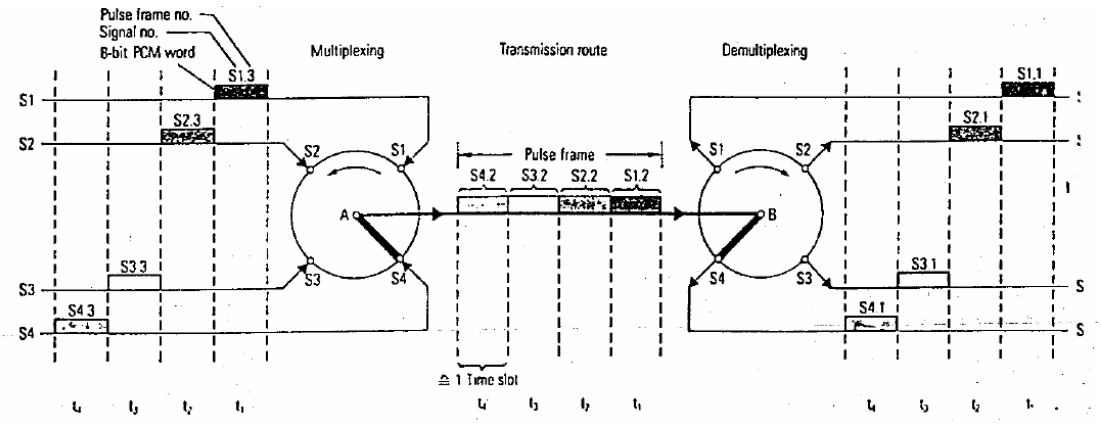
بما أن كل النبضات (*1,2,3,4*) غير متداخلة

في هذه الحالة يمكن إرسالها بالتتابع

و نحصل على الإشارة الكهربائية بدون تداخل فيما بينها كما في الشكل (*19*)

حيث الشكل المبين أعلاه يبين نبضات التجزئة *(1,2,3)* و التي تمثل في طياتها الإشارة الكهربائية للمعلومات المراد إرسالها .الشرط الأساسي لهذا التجميع هو أن يكون تردد أخذ العينات متساوي.

الشكل (*20*) يبين المخطط الصندوقي لإرسال عدد كبير من المعلومات من خلال قناة واحدة.



بعد تجزئة المعلومات يتم إدخال كل معلومة مجزأة إلى قناة . تجتمع هذه القنوات عند المفتاح *A* والذي يمثل قسم الإرسال.

وفي الطرف الآخر (الاستقبال) لدينا المفتاح *B* و الذي يقوم بتوزيع النبضات كل حسب قناته .

عند ورود النبضة *S1* يكون المفتاح *A*على الوضعية *S1* و المفتاح *B*على الوضعية *S1* ,عندها تنتقل النبضة *1*عبر خط النقل (أمواج مايكروية ,ألياف بصرية تردد عالي ....) إلى المفتاح *B* و منه إلى قناة الاستقبال *S1* . و عند ورود النبضة *S2* يكزن المفتاح *A* قد انتقل إلى الوضعية *S2* و كذلك في طرف الاستقبال يكون المفتاح *B* قد انتقل إلى الوضعية *S2*.عندئذ يتم نقل النبضة *S2*فقط على نفس الخط من المرسل إلى المستقبل .

وهكذا حتى يتم نقل نبضات تجزئة لكافة المعلومات .و بهذه الطريقة يمكن نقل عدد كبير من المعلومات بدون الأخذ بعين الاعتبار تردد هذه المعلومات أو شكلها أو قيمتها .لأنه عند الاستقبال سوف يعاد تشكيل هذه النبضات و الحصول على شكل و قيمة كل معلومة على حده حسب الشكل (21)

عدد دورات كل من المفتاح *A,B* هو *fs*.

دارة التجميع باستخدام مفتاح الكتروني :

في الدارة شكل (*22*) تعمل القلابات على تفعيل مفتاح واحد عند ورود كل نبضة ساعة,

تردد الساعة: fclk=m.fs ,تردد تقطيع كل إشارة على حده : fs.

تردد إشارة خرج المجمع : m.fs .

تمرين(1) :لدينا خمس قنوات للمعطيات في نظام للقياس عن بعد .قيم عرض المجال لها :

F_1=1.5KHz, F_2=350Hz, F_3=300Hz , F_4=250Hz

صمم مجمع يقوم بتجميع الإشارات بعد تقطيعها . و احسب عدد نبضات الخرج وعدد دورات المفتاح في المجمع ,وعرض المجال الترددیز

تمرين(2):أعد التمرين السابق للإشارات التالية :

F_1=2KHz, F_2=4KHz, F_3=8KHz

الفصل الثاني

التعديل الترميزي للنبضة PCM-Puls Code Modulation:

يعد هذا النوع من التعديل من أكثر الأنظمة شيوعاً و استخداماً في أنظمة الاتصال الهاتفية لما يتميز به من :

1-فعالية عالية ضد التشويش .

2-استخدامه في التجميع الرقمي TDM.

و من عيوبه :

1-الحاجة إلى عرض نطاق ترددي كبير .

2-تعقيد أجهزة الإرسال و الاستقبال الخاصة به.

هذا التعديل هو تحويل إشارة المعلومات الجيبية إلى قيم رقمية .و يعتبر هذا التعديل أساس و عصب الاتصالات الحديثة .حيث يتم تصنيع أجهزة تعتمد على هذا المبدأ مما ساعد على استخدام أجهزة الحاسب للربط فيما بينها ,وأهم أداة ربط هي الانترنيت .

مراحل التعديل الترميزي للنبضة :

1-تحويل إشارة المعلومات الجيبية إلى تعديل مطالي للنبضة .

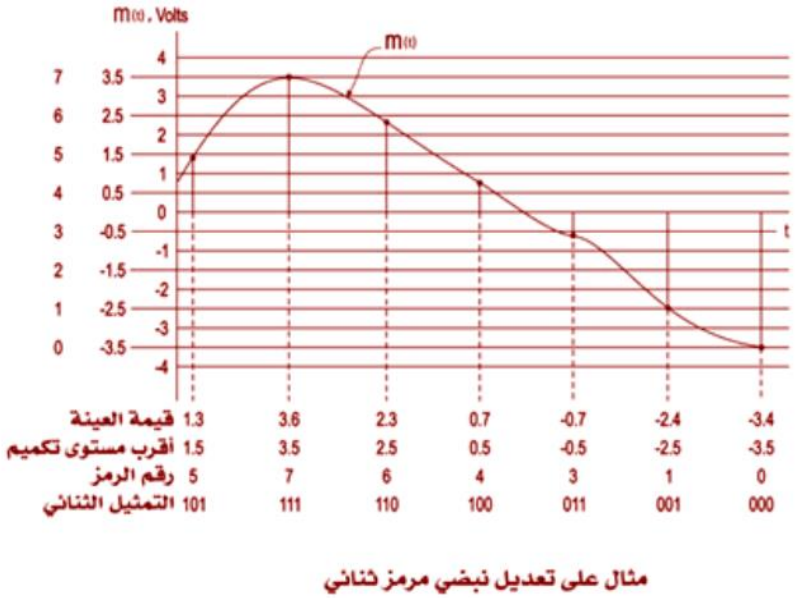
2-تكميم مطال النبضات (العينات) بواسطة دارة التكميم ,حيث يقوم المكمم بتقريب العينة إلى أقرب مستوى .

3-تحويل النبضات إلى قيم رقمية باستخدام مبدل تمثيلي / رقمي و هذا ما يعرف بترميز العينات ويتم بواسطة دارة الترميز ,وذلك بتمثيل كل مستوى بعدد ثنائي مكون من 8bit.

ليكن لدينا الإشارة الجيبية للمعلومات m(t).و تم تقسيم هذه الإشارة إلى أربع مستويات موجبة(*4.....0*) و أربع مستويات سالبة(*4-.....0*) وكل مستوى تم تقسيمه إلى مستويين فأصبح لدينا (*0.5,1.5,2.5,3.5*)ذات إشارة موجبة ,كذلك نفس الشيء بالنسبة للإشارة في الطرف السالب .

يتم تطبيق النبضات ذات الزمن الثابت فيما بينها اتجزئة إشارة المعلومات و الحصول على نبضات ذات مطال متغير (تعديل مطالي للنبضة).

يعتبر أدنى طرف من الإشارة الجيبية (القسم السالب)ذات مطال نبضة يساوي صفر فولت . في حين اعتبر أعلى طرف من الإشارة الجيبية (القسم الموجب) ذات مطال أعظمي .كما في الشكل (*23*)



مثال على تعديل نبضي مرمز ثنائي

الشكل (23)

لنأخذ النبضة *a* فإن مطالها يساوي *+1.3v* .أي أن هذه النبضة مطالها يساوي *4.7v* حسب تقسيم المستويات المذكور أعلاه .لكن القيمة *4.7v*ليس لها قيمة محددة ,لذلك يعاد تقييم هذه القيمة إلى أقرب رقم نحصل منه على قيمة رقمية محددة وهي *5* وهذه هي عملية التكميم .

و بإدخال هذه القيمة إلى مبدل تمثيلي /رقمي نحصل في خرجه على الرمز *101*.

النبضة *b* قيمتها حسب تقسيم المستويات *7.1v* و بإعادة تقييم هذه القيمة إلى أقرب رقم نحصل منه على قيمة رقمية محددة نحصل على القيمة *7* و بإدخالها على المبدل نحصل الرمز *111* .

إذا إعادة التقييم هو تكميم النبضات .

كذلك الحال بالنسبة لبقية النبضات (*c,d,e,f,g*) ,النبضة *e*تأخذ قيمة *3* حسب تقسيم المستويات و هي بالطرف السالب من النبضة الجيبية ,لذلك تأخذ القيمة *011* .

وقد تم حصر المستويات في الفترة $[\frac{-7\Delta}{2} , \frac{7\Delta}{2}]$، أي في الفترة [3.5 , -3.5] وبزيادة $\Delta = 1$ لكل مستوى عن المستوى الذي يسبقه.

الجدول (1) يوضح رقم كل عينة، القيمة الحقيقية للعينة، القيمة التقريبية للعينة، خطأ التكميم (Quantization Error)، المستوى التي قربت إليه العينة، وترميز كل عينة.

ملاحظـة خطأ التكميم = (القيمة الحقيقية للعينة) – (القيمة التقريبية للعينة).

رقم العينة	القيمة الحقيقية للعينة (مدخل المكمم)	القيمة التقريبية للعينة (مخرج المكمم)	خطأ التكميم	المستوى التي قربت إليه العينة	الترميز (n = 3)
1	0	0.5	-0.5	5	100
2	2.2	2.5	-0.3	7	110
3	3.8	3.5	0.3	8	111
4	3.8	3.5	0.3	8	111
5	2.2	2.5	-0.3	7	110
6	0	0.5	-0.5	5	100

7	-2.2	-2.5	0.3	2	001
8	-3.8	-3.5	-0.3	1	000
9	-3.8	-3.5	-0.3	1	000
10	-2.2	-2.5	0.3	2	001

جدول (١):

تشويش التكميم Quantization Noise:

نلاحظ من جدول (1) أن هناك فرقاً بين القيمة الحقيقية للعينة (عند مدخل المكمم) والقيمة التقريبية للعينة (عند مخرج المكمم)، ويدعى هذا الفرق تشويش التكميم ويكون هذا التشويش محدوداً بالفترة $[\frac{-\Delta}{2}, \frac{\Delta}{2}]$ أي [0.5, -0.5]، ويعبر رياضياً عن تشويش التكميم من خلال المعادلات الآتية:

معدل الطاقة في الإشارة الجيبية:

$$S = \frac{A^2}{2} \quad \text{.....} \quad (2)$$

حيث: A تمثل اتساع الإشارة الجيبية.

معدل الطاقة في تشويش التكميم:

$$N_q = \frac{\Delta^2}{12} = \frac{A^2}{3L^2} \quad \text{.....} \quad (3)$$

حيث: L عدد المستويات المستخدمة في دارة المكمم.

وبقسمة المعادلة (2) على المعادلة (3) نحصل على نسبة قدرة الإشارة إلى قدرة إشارة التشويش (SNR) بالمعادلة الآتية:

$$SNR = \left\{\frac{S}{N_q}\right\} = \frac{3}{2} L^2 \quad \text{.....} \quad (4)$$

من المعادلة (4)، لاحظ أن SNR تتناسب تناسباً طردياً مع مربع عدد المستويات L^2؛ أي كلما زاد عدد المستويات المستخدمة في دارة المكمم، كانت SNR أعلى؛ الأمر الذي يؤدي إلى تخفيض تأثير التشويش.

مثـــال (٢): إذا علمت أن الإشارة الجيبية $m(t) = 4 \sin(2\pi\ 100\ t)$، أرسلت بواسطة نظام تضمين نبضي مرمز PCM، والذي يستخدم عدد المستويات $L = 8$ ، $\Delta = 1$ Volt. أوجد ما يأتي:

الحـــل: ـ معدل الطاقة S من المعادلة (2)

$$S = \frac{A^2}{2} = \frac{4^2}{2} = \frac{16}{2} = 8\text{Watt}$$

- معدل طاقة تشويش التكميم N_q من المعادلة (3)

$$N_q = \frac{\Delta^2}{12} = \frac{A^2}{3L^2} = 0.083Watt$$

- مقدار SNR من المعادلة (4):

$$SNR = \left\{\frac{S}{N_q}\right\} = \frac{8}{0.083} = 96.4$$

ونستطيع أيضا أن نحسبها بطريقة أخرى:

$$SNR = \frac{3}{2}L^2 = \frac{3}{2}8^2 = 96$$

نكتفي بهذه الطريقة

لحساب نسبة الإشارة للضجيج S/N *أو* SNR

-احسب عدد البتات المرسلة :

لدينا $L = 2^n = 8$ فتكون $n = \log_2 8 = 3$ عدد البتات المرسلة

-كيف تم حساب مقدار الخطوة؟

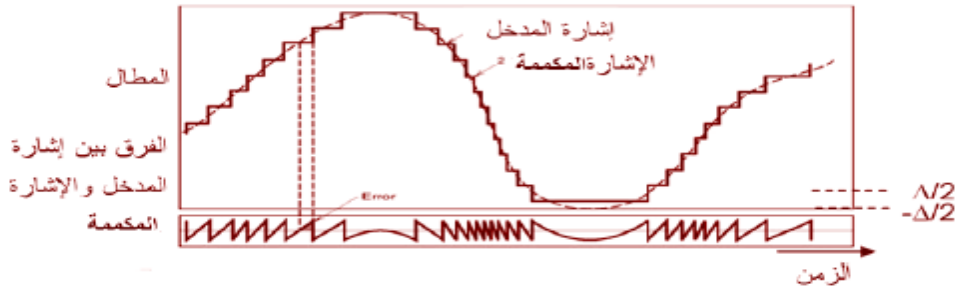
$$\Delta = \frac{2A}{L} = \frac{2*4}{8} = 1\ V$$

-ما هو مقدار الأعظمي للخطأ: $\frac{\Delta}{2} = 0.5$

وبسبب هذا الخطأ فإنَّ الإشارة الّتي سنعيدها في طرف الاستقبال ستكون مختلفة عن ذات الإشارة المرسلة بمقدار هو خطأ التّكميم الّذي يساوي نصف قيمة خطوة الكم كأقصى حد، أي بما أنَّ المستقبل في نظام (PCM) يستطيع فقط معالجة الأعداد الثنائيَّة المستقبلة كقيم مكمَّمة، فلا بدَّ من حدوث فرق بين قيمة مطال العينة الأصليَّة والقيمة الّتي سيتمُّ تركيبها في المستقبل. يظهر هذا الفرق كضجيج متوضع على الإشارة المستقبلة ، وهو ما يسمى بالضَّجيج الكمي (أو التشويش الكمي) .

- ينتج عن عمليَّة التَّكميم خطأ يسمى خطأ التَّكميم أو ضجيج التَّكميم.

يبيِّن الشَّكل(1–16) إشارة دخل تماثلية ونسخة مكمَّمة منها، وكذلك إشارة خطأ التَّكميم ، (انتبه للإشارة على مخرج المكمِّم شكل درجي)



الشَّكل (1–16) منحني الفرق بين إشارة المدخل والإشارة المكممة

خطأ التكميم = القيمة الحقيقية للعينة– القيمة التقريبية للعينة

الضجيج في نظام PCM:

يوجد نوعان من الضَّجيج في نظام PCM :

الأوَّل: ضجيج التَّكميم (Quantization Error) وينتج عند خرج المرسل فقط.

الثَّاني: ضجيج القناة ناتج عن نبضات زائفة ناتجة عن معالجة خاطئة لمطال النبضات عند المستقبل أو المكرِّر يؤدّي إلى حدوث أخطاء في كشف البتَّات المستقبلة فنستقبل الرَّمز 1 عوضاً عن الرَّمز 0 وبالعكس.

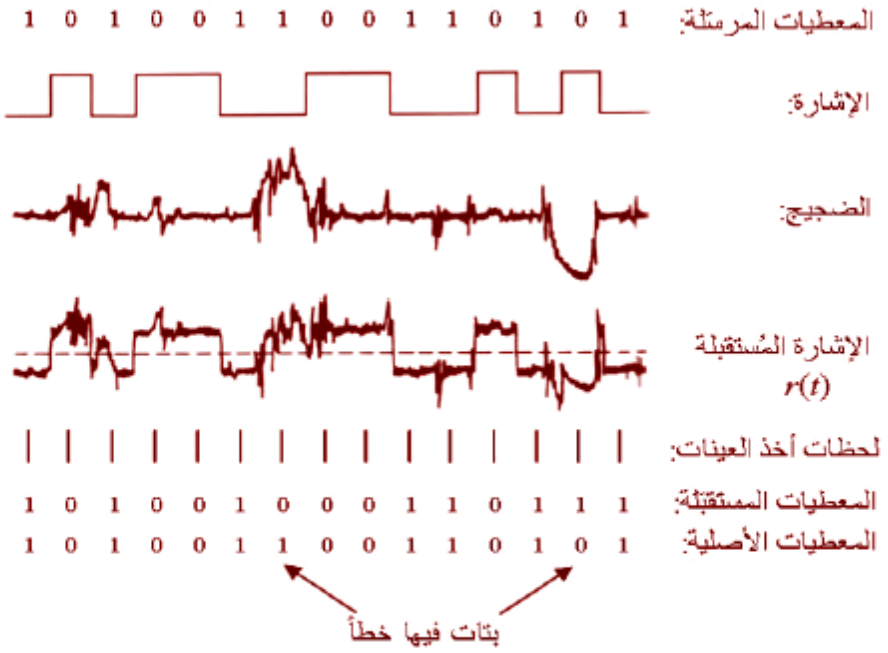
يمكن أن يظهر النوع الثاني من الضَّجيج في أي مكان بين المرسل والمستقبل، ويعتبر هذا الضَّجيج تراكمياً، ويمكن تخفيض هذا النوع من الضَّجيج بزيادة استطاعة الإشارة المرسلة بشكل يزيد عن جهد العتبة، ولذلك سيكون مهملاً أثناء الناحية العمليَّة وتصميم النِّظام .

وكنتيجة لما سبق نخلص إلى القول إن الضَّجيج الفعلي في نظام PCM هو الضَّجيج الكمِّي فقط أو ما يسمى ضجيج التَّكميم النَّاتج عن تكميم العيِّنات المُتقطِّعة (الموجودة على خرج المكمم).

أثناء تقييم أي نظام اتِّصال معيَّن لا بدَّ من إدخال مفهوم نسبة الإشارة إلى الضَّجيج كمعيار لجودة النِّظام، فكلَّما زاد معدّل حدوث الأخطاء زاد الفرق بين الإشارة على خرج مفكِّك التَّرميز والإشارة الأصليَّة على مدخل نظام PCM.

غالباً ما تعبَّر عن دقَّة إرسال المعلومات في نظام PCM بمعدّل الخطأ(Error Ratio).

يوضِّح الشَّكل(1–25) الفرق بين الإشارة المرسلة الأصليَّة والإشارة المستقبلة بسبب إشارات الضجيج



الشَّكل (1–25) الفرق بين الإشارتين المرسلة الأصليَّة والمستقبلة

و يبقى ضجيج التكميم هو المشكلة الأكبر في التعديل الترميزي للنبضة ة لابد من دراسة طرق التقليل منه

الطرق المستخدمة للتقليل من ضجيج التكميم

للتقليل من ضجيج التكميم نلجأ إلى:

1_زيادة طول كلمة الشيفرة (عدد البتات لكل عينة) ولكن ذلك يزيد في كميو البتات المرسلة وينقص عدد القنوات التي يمكن بثها .

2-استخدام طريقة الضغط و بذلك نقلل من كمية ضجيج التكميم دون زيادة في كمية البتات المرسلة

3-استعمال خطوات تكميم غير ثابتة حيث نستخدم للمطالات الكبيرة خطوات تكميم كبيرة و للمطالات الصغيرة خطوات تكميم صغيرة.

في الحالتين الثانية و الثالثة يسمى التكميم بالتكميم الغير منتظم

يمكن الحصول على تكميم غير منتظم:

1. بضغط عيِّنات إشارة الدخل باستخدام خواص ضاغط غير منتظم (Non-Uniform Compressor)(c(x.
2. ومن ثم تكميم العيِّنات المضغوطة باستخدام مكمم منتظم.

يمنح الضاغط ربحاً أعلى للإشارات الضعيفة منه للإشارات القوية عند الإرسال.

وعند طرف الاستقبال يجري فك الضَّغط أو توسيع Expanding للإشارة المكممة باستعمال خواص معاكسة لخواص الضاغط في جهة الإرسال كما هو موضَّح في الشكل (1-18).

معدل الإرسال و سعة القناة: هام

تكون القيم المعيارية لكل من النظاميين الأوربي و الأمريكي كما يلي:

1-النظام الأوربي :

تردد أخذ العينات =8khz عرض الإطار =125μs

عرض النبضة(العينة) =3.9μs عدد العينات في الإطار الواحد=32

عرض البت الواحد =8 ÷ 480ns=3.9 عدد البتات في العينة الواحدة =8bit

معدل الإرسال(النقل)لإشارة PCM واحدة =8bit/s ×8=64bit/s

معدل الإرسال (النقل) لإشارة PCM/TDM =64× 32bit/s=2048kbit/s

2-النظام الأمريكي :

تردد أخذ العينات =8khz عرض الإطار =125ɲs

عرض النبضة(العينة) =5.18ɲs عدد العينات في الإطار الواحد=24

عرض البت الواحد =8 ÷ 640ns=5.18 عدد البتات في العينة الواحدة =8bit

معدل الإرسال (النقل) لإشارة PCM واحدة =8bit/s ×8=64bit/s

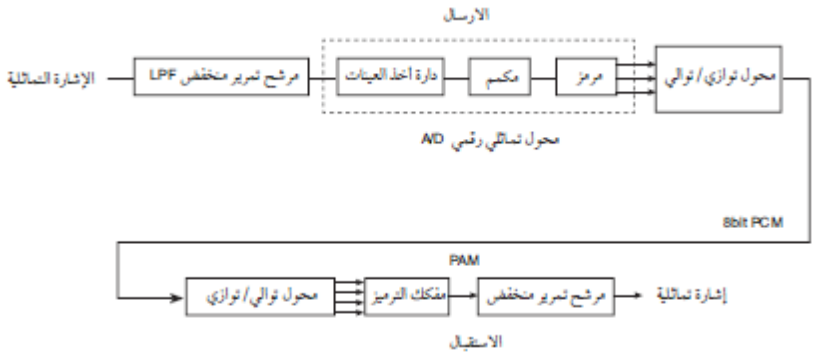
معدل الإرسال (النقل) لإشارة PCM/TDM =64× 24bit/s=1544kbit/s

مسجل الإزاحة في التعديل الترميزي للنبضة:

.و بعد أن تم تكميم الإشارة تدخل إلى محول تفرعي/ تسلسلي لتحويل الإشارة التفرعية على خرج المبدل إلى إشارة تسلسلية لتتم معالجتها و إرسالها .

و تدخل الإشارة المستقبلة إلى مسجل إزاحة تسلسلي/ تفرعي ليتم إدخالها إلى مبدل D/A *واسترجاع إشارة المعلومات*.

و الشكل (29)يبين المخطط الصندوقي للمكونات الرئيسية لعملية توليد إشارة PCM و آلية كشف هذه الإشارة



يمكن تلخيص آلية توليد إشارة PCM على النحو الآتي:

١. يتم إدخال الإشارة التماثلية إلى مرشح تمرير منخفض (LPF)؛ وذلك لتمرير الترددات الصوتية ضمن المجال الترددي (0.4kHz .... 3.4kHz).

٢. تؤخذ العينات بوساطة دارة أخذ العينات بتردد $f_s \geq 2f_m$ (f_m تردد إشارة القناة الهاتفية)، و بمعدل يساوي 8000 عينة/ ثانية؛ أي إن $f_s = 8kH_z$، (وهذا أكبر من 6.8KHz)، لماذا؟

٣. يتم تكميم العينات بوساطة دارة التكميم، حيث يقوم المكمم بتقريب العينة إلى أقرب مستوى، ويستخدم 256 مستوى في حالة اعتماد 8bit لكل عينة في مرحلة الترميز ($2^8 = 256$).

٤. يتم ترميز العينات بوساطة دارة الترميز، وذلك بتمثيل كل مستوى بعدد ثنائي مكون من 8bit، وتخرج هذه الإشارات بشكل متوازٍ.

٥. يستخدم محول توازٍ/ توالٍ لتحويل الاشارات المتوازية إلى اشارات متوالية.

٦. تسمى الإشارة الخارجة من محول توازي/ توالي إشارة PCM بسرعة تساوي (8*8000 = 64000) 64kbit/sec.

أما كشف إشارة PCM فيتم على النحو الآتي:

١. تدخل إشارة PCM المستقبلة إلى محول توالٍ/ توازٍ لتحويل إشارة PCM المتوالية إلى اشارات متوازية.

٢. يقوم مفكك الترميز بتحول الإشارات المتوازية إلى نبضات تضمين الاتساع PAM.

٣. يستخدم مرشح تمرير منخفض LPF للحصول على الإشارة الصوتية المرسلة.

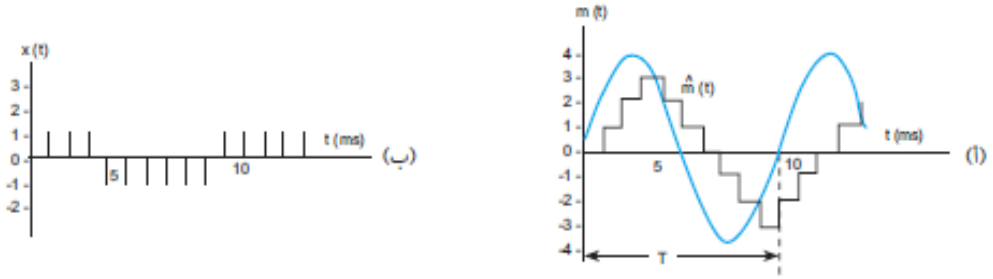
التضمين النبضي-الرمزي التفاضلي

في هذا التضمين يتم إرسال كل عينة على شكل قيمة تفاضلية نسبة إلى العينة السابقة، بدلاً من إرسالها كقيمة مطلقة ،لذلك يعمل هذا التضمين على تقليل عرض النطاق الترددي المطلوب، وبتقليل عدد البتات الممثلة للعينة، ولا يفضل استخدام هذا التضمين في حالة كان الفرق بين العينة الحالية والعينة السابقة كبيراً.

تضمين دلتا (Delta Modulation Δ M)

في هذا التضمين يتم إرسال نبضة موجبة في حال كان الفرق بين العينة الحالية والعينة السابقة موجباً، ونبضة سالبة في حال كان الفرق سالباً، وتمثل النبضة بقيمة صغيرة ثابتة تسمى Δ، وبهذا نلاحظ أنه تم تقليل النطاق الترددي مقارنة بـ PCM. لاحظ الشكل (18-أ / 18-ب).

وتتميز الدارات الإلكترونية المستخدمة في توليد إشارة تضمين Δ بسهولة تركيبها وبساطتها.



شكل (١٨): (أ) إشارة المعلومات والتقريب الدرجي منها/ (ب) إشارة تضمين دلتا

مقارنة بين نظامي PCM, Δ M

يبين الجدول الآتي مقارنة بين PCM، Δ M

الرقم	الخاصية	نظام PCM	نظام Δ M
1	نظام الإرسال	معقد	بسيط
2	التكلفة	عالية	متوسطة
3	عدد البتات للعينة	تمثل العينة بأكثر من بت	تمثل العينة بيت واحد
4	عرض النطاق الترددي	كبير	صغير
5	محولات D/A، A/D	يحتاج إلى وجود محولات	لا يحتاج

عملياً يعدّ نظام PCM أكثر شيوعاً واستخداماً؛ لاعتماد هذا النظام عالمياً في الإرسال الهاتفي.

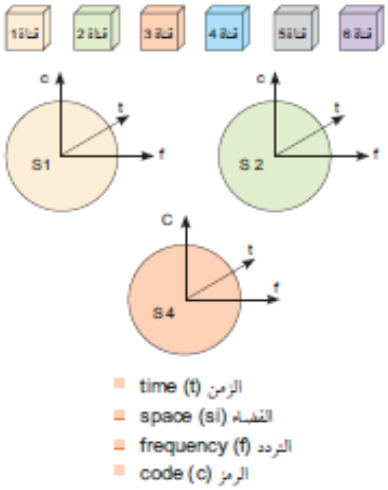
الفصل الثالث

الإرسال المتعدد

الإرسال المتعدد

تستخدم تقنيات التجميع لإرسال إشارات متعددة على نفس القناة، ذلك للاستغلال الكامل لعرض النطاق الترددي لقناة الاتصال، فمثلاً في الاتصالات الهاتفية تستخدم عمليات الإرسال المتعدد لإرسال عدد كبير من المكالمات الهاتفية بين المقاسم على نفس قناة الاتصال، وفي الاتصالات اللاسلكية فإن الفضاء يشكل نفس قناة الاتصال، عندها لابد من استخدام الإرسال المتعدد لكي يمكن نقل أكثر من إشارة في الوقت نفسه، شكل (19).

وهناك خمسة أنواع من الإرسال المتعدد:



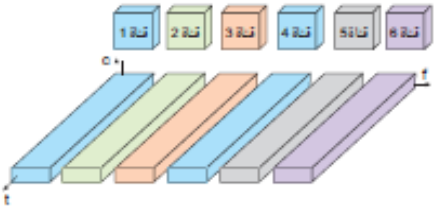
شكل (١٩): SDM

١. الإرسال المتعدد بالتقسيم المكاني SDM

تقسم الترددات والقنوات المتاحة على المناطق الجغرافية في الاتصالات اللاسلكية، حيث تعطى كل منطقة نطاقاً من الترددات يختلف عن المنطقة المجاورة لها لمنع حدوث التداخل، ويعاد تكرار الترددات في مناطق أبعد، ويمكن استخدام الأنواع الأخرى من الإرسال المتعدد في كل منطقة.

٢. الارسال المتعدد بالتقسيم الترددي FDM

يعتمد عمل هذا النوع على فصل ترددات الإشارات المرسلة وذلك بتخصيص نطاق ترددي معين لكل جهاز إرسال، ويتم ذلك بتعديل ترددات إشارة المعلومات بإشارات حاملة للحصول على نطاقات ترددية منفصلة، وإرسالها معاً في نفس الوقت على نفس قناة الاتصال. لاحظ شكل (20).



شكل (٢٠): FDM

ويقوم جهاز الاستقبال بفصل هذه الإشارات باستخدام مرشحات تمرير النطاق.

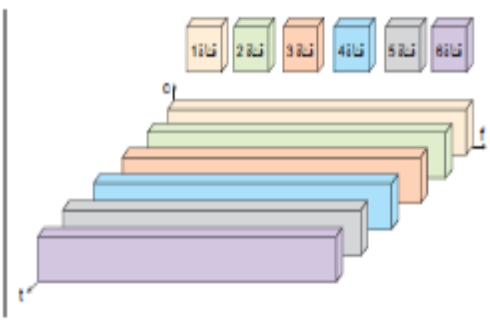
SDM Space Division Multiplexing
FDM Frequency Division Multiplexing
TDM Time Division Multiplexing
CDM Code Division Multiplexing

الإرسال المتعدد بالتقسيم الزمني TDM

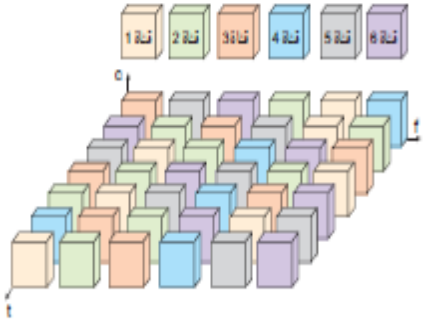
يعتمد مبدأ عمل هذا النوع على تقسيم الزمن بين أجهزة الإرسال في خط اتصال واحد، وذلك بالاستفادة من الفترات الزمنية الخالية، وهذا يؤدي إلى زيادة سعة أنظمة الاتصالات، ويتطلب هذا التقسيم المزامنة بين أجهزة الإرسال والاستقبال. لاحظ شكل (21).

الإرسال المتعدد بالتقسيم الزمني و الترددي TDM ,FDM

في هذا النوع يتم الاستفادة من ميزات التقسيم الزمني والترددي، وذلك بتخصيص أكثر من نطاق ترددي للبث وتقسيم هذه النطاقات زمنياً بين أجهزة الاستقبال والإرسال، لكن هذا النوع يحتاج إلى مزامنة وتنسيق كبير بين أجهزة الاستقبال والرسال بالإضافة إلى تعقيد هذه الأجهزة. لاحظ شكل (22).



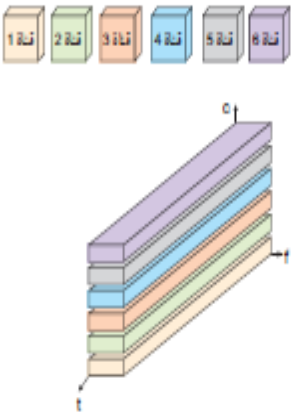
شكل (٢١): TDM



شكل (٢٢): TDM. FDM

الإرسال المتعدد بالتقسيم الرمزي CDMA:

في هذا النوع من الإرسال المتعدد تستغل كافة القنوات المتاحة في عملية الإرسال، وذلك بإعطاء كل جهاز إرسال رمزاً خاصاً، ومن ثم استخدام كامل النطاق المتاح للإرسال. وفي جهاز الاستقبال يمكن التعرف على إشارات كل جهاز بناء على رمزه، وهذا يؤدي إلى زيادة سعة الأنظمة التي تستخدمه مقارنة بالانظمة السابقة، كما انه لايحتاج إلى مزامنة بين جهاز الإرسال والاستقبال. لاحظ شكل (23).



شكل (٢٣): CDMA

أمثلة عملية عن الإرسال المتعدد :

1-الإرسال المتعدد بالتقسيم المكاني SDM:

شبكات الهاتف الأرضي –محطات الراديو –شبكات الهاتف المحمول –الإرسال الفضائي بواسطة الأقمار الصنعية-....

2-الإرسال المتعدد بالتقسيم الترددي FDM:

محطات الراديو –محطات التلفزيون الأرضي- الإرسال الفضائي التمثيلي - الجيل الأول من الخليوي.

3-الإرسال المتعدد بالتقسيم الزماني TDM:

المقاسم الهاتفية - جهاز الراوتر .

4-الإرسال المتعدد بالتقسيم الترددي و الزماني TDM-FDM:

شبكات الهاتف المحمول- الإرسال الفضائي الرقمي (مثال :باقات المحطات الفضائية).

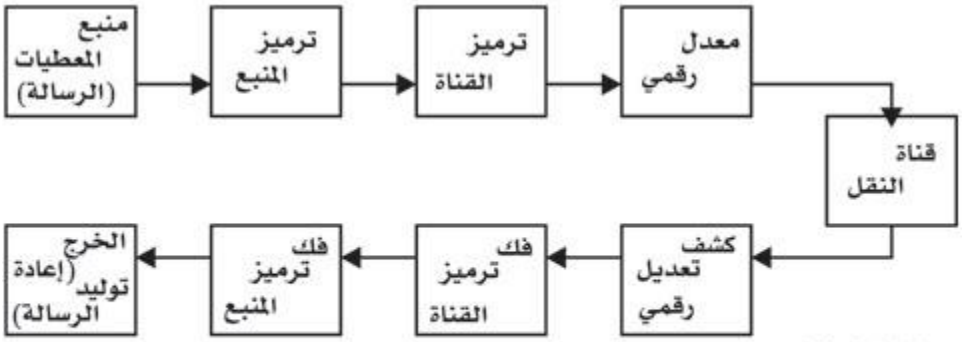
5-الإرسال المتعدد بالتقسيم الرمزي CDM:

الجيل الثاني و النصف وما بعده من الهاتف المحمول و ما يليه- الاتصالات اللاسلكية الحديثة.

الفصل الرابع

الترميز coding

تطلق كلمة الترميز coding في العلوم الهندسية على مختلف القواعد التي تسمح باستبدال جزء من المعلومات مثل حرف أو كلمة أو جملة بحرف أو كلمة أو جملة مكافئة. ويجري ذلك في مواقع مختلفة من نظام الاتصالات الرقمي ولأغراض مختلفة.



الشكل (١)

العناصر الأساسية لنظام اتصالات رقمي

إن المسألة المطروحة في الاتصالات هي مسألة إعادة توليد رسالة مختارة في نقطة ما ثم توليدها (منبع الإشارة) على نحو كامل أو تقريبي في نقطة أخرى تفصلها عن النقطة الأولى قناة اتصال ما. ولتحقيق ذلك يبنى نظام الاتصال الرقمي المؤلف من العناصر الأساسية المبينة في الشكل (1).

قد تكون الرسالة تمثيلية أو رقمية، تجري عليها مجموعة من العمليات لملاءمتها للنقل عبر القناة، من هذه العمليات ترميز المنبع، وترميز الخط والترميز المصحح للخطأ.

وقد تمت ترميز المنبع ,و من أنواعه التعديل الترميزي للنبضة *PCM* وتعديل دلتا .أما الترميز المصحح للخطأ فسوف تتم دراسته لاحقاً ,و سندرس الآن ترميز خط النقل .

انواع الترميز في الاتصالات الرقمية:

1-ترميز المنبع: من أنواعه العديل الترميزي للنبضة بأنواعه PCM و تعديل دلتا

2-ترميز خط النقل: .RZ-NRZ-AMI-BIPHAS.....

3-ترميز القناة: طلب إعادة الإرسال الآلي- تصحيح الخطأ الإمامي.....

2-ترميز خط النقل(الترميز الكهربائي للإشارة الرقمية):

لتنظيم و ترتيب الرموز الثنائية المعبرة عن المعلومات الثنائية المرسلة بواسطة خط الاتصال .يستخدم ترميز الخط بنماذج مختلفة بهدف :

1-تقليل النطاق الترددي ,لتلائم مع النطاق الترددي لخط النقل .

2-تقليل مركبة الفولتية المستمرة (DC).

3-زيادة سرعة الإرسال عبر قناة الاتصال .

مبدأ ترميز خط النقل: يوجد نظامين أساسيين لإرسال المعلومات بشكل متسلسل و هما :

1-العودة للصفر :RZ.

2-عدم العودة للصفر : NRZ.

أما بالنسبة للاستقطاب فيوجد نظامين أساسيين للاستقطاب و هما:

1-استقطاب واحد : *Unipolar*

2-ثنائي الاستقطاب: *Polar* (بعض المراجع يدعى *Bipolar*).

يمتاز النظام NRZ بأن له عرض مجال أقل و له تطبيقات واسعة و لكن تظهر فيه مشكلة ورود عدد كبير من الواحدات فسوف يكون هناك عرض نبضة كبير جداً ,هذا يجعل من الصعوبة تمييزها في الاستقبال مع صعوبة إضافة نبضات علام .

كما وأن أكثر وسائل الإرسال الرقمي لا تتأثر بالتيار المستمر مما يجعل الإشارة الرقمية المرسلة تبتعد عن الشكل الصحيح بسبب ما يسمى انزياح التيار المستمر .

لذلك تم اللجوء إلى نماذج ترميز متعددة :بعضها يعتمد على تغيير الاستقطاب ,و البعض الآخر يعتمد على العودة إلى الصفر ,و البعض الآخر يعتمد على الاثنان معاً .

في أحد الحالتين المنطقتين [1,0] أو كليهما .

لكل ترميز خصائصه التي تميزه عن غيره .

وأهم الجوانب التي يجب مراعاتها في الترميز :

1-كشف الأخطاء .

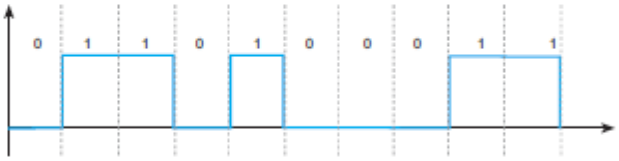
2- عرض المجال .

3- عدم حدوث تداخلات و انزياحات تيار مستمر.

ولا يوجد ترميز يعطي أفضل النتائج لكل الجوانب التي يجب مراعاتها ,فلكل ترميز خصائصه و ميزاته ,فيقوم نظام الإرسال باختيار الترميز المناسب حسب حاجته .

و في ما يلي بعض النماذج الشهيرة للترميز :

١ . نموذج أحادي القطبية مع عدم العودة للصفر (UNRZ) ، وتمثل حالة المنطق (1) بوساطة نبضة ثابتة الاتساع ، في حين تمثل حالة المنطق (0) بقطع الإشارة كما هو موضح بشكل (24).



شكل (٢٤): UNRZ

ومن عيوبه أنه يحتوي على مركبة الفولتية مستمرة (DC)، ولذلك فهو لا يستخدم إلا في المسافات القريبة .

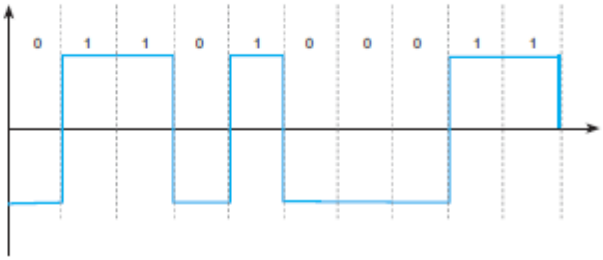
٢ . نموذج أحادي القطبية مع العودة إلى الصفر (URZ)، تمثل حالة المنطق (1) بوساطة نبضة ثابتة الاتساع ، ولكن بعرض نطاق يعادل نصف زمن الثنائية (bit)، ولا ترسل إشارة في حالة الصفر (0) كما هو موضح بشكل (25).

UNRZ Unipolar Non Return to Zero
URZ Unipolar Return to Zero

شكل (٢٥): URZ

يعدّ هذا النموذج أفضل من النموذج السابق، لأنه يقلل مركبة الفولتية المستمرة (DC)

٣ . نموذج ثنائي القطبية مع عدم العودة إلى الصفر (BNRZ)، تمثل حالة المنطق (1) وحالة المنطق (0) بوساطة نبضات ثابتة الاتساع ومتعاكسة في القطبية، كما هو موضح بشكل (26).



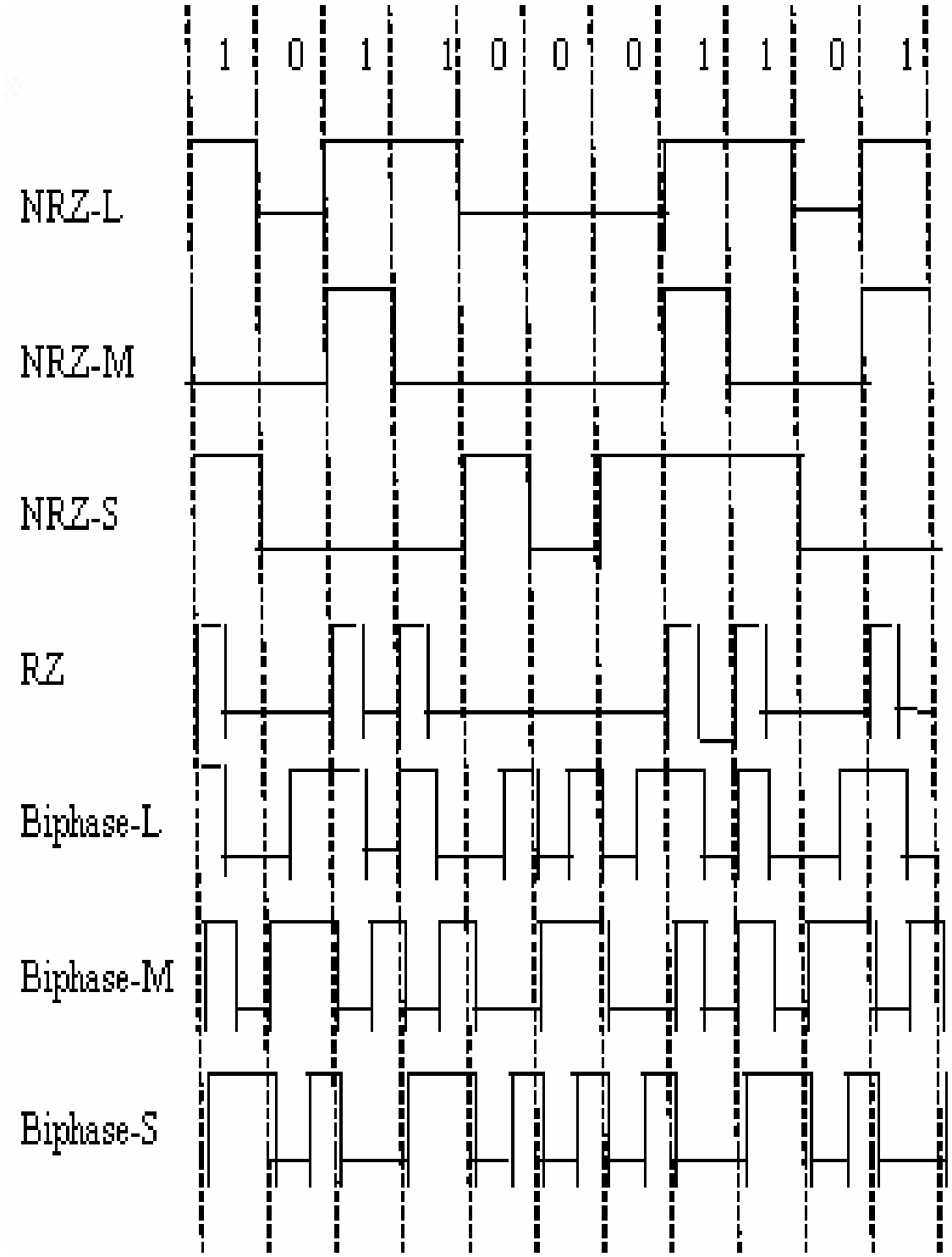
شكل (٢٦): BNRZ

ويمتاز هذا النوع بانخفاض فولتية المركبة المستمرة مقارنة مع النموذج أحادي القطبية .

إن النظام *NRZ* له تطبيقات واسعة في الحياة العملية ,ويحتلج إلى عرض مجال ترددي يساوي نصف المجال الترددي لنظام *RZ*

وفي ما يلي جدول بأهم طرق الترميز المستخدمة مع مبدأ عملها و محاسنها و مساوئها

اسم الترميز	مبدأ العمل	الميزات	المساوئ
UNRZ	*-واحد منطقي يأخذ قطبية(1)بدون العودة للصفر* *-صفر منطقي يأخذ قطبية(0) فقط*	*-عرض مجال قليل* *-بساطة في التوليد* *-سهولة الكشف* *-يستخدم للمسافات القريبة*	*-عدم تمييز الواحدات عند إرسال عدد كبير من الواحدات* *-انزياح التيار المستمر* *-لا يوجد كشف أخطاء*
PNRZ	*-واحد منطقي يأخذ قطبية(1)بدون العودة للانحياز السالب* *-صفر منطقي يأخذ قطبية (1-)فقط*	-عرض مجال قليل -بساطة في التوليد و الكشف يستخدم للمسافات القريبة	-عدم تمييز الواحدات عند إرسال عدد كبير منها -انزياح التيار المستمر -عدم كشف الأخطاء
URZ	*-واحد منطقي يأخذ قطبية (1)مع العودة للصفر* *-صفر منطقي يأخذ قطبية (0)فقط*	-لا يوجد انزياح تيار مستمر بالنسبة للواحدات	-عرض المجال أكبر -يوجد انزياح تيار مستمر بالنسبة للأصفار -لا يوجد كشف أخطاء
PRZ	*-واحد منطقي يأخذ قطبية (1)مع العودة للانحياز السالب* *-صفر منطقي يأخذ قطبية (1-)فقط*	-لا يوجد انزياح تيار مستمر بالنسبة للواحدات	-نفس السابق
RZ3 (BRZ)	*-واحد منطقي يأخذ قطبية (1) مع العودة للصفر* *-صفر منطقي يأخذ قطبية (0)مع العودة للصفر*	-لايوجد انزياح تيار مستمر بنوعيه(خفض المركبة المستمرة) -يستخدم على نطاق واسع للإرسال	-عرض مجال كبير -لا يوجد كشف أخطاء -صعوبة الكشف كهربائياً لوجود ثلاث مستويات أي نقاط انتقال كثيرة
AMI للواحدات	-واحد منطقي يأخذ قطبية متناوبة بين (1)و (1-) مع العودة للصفر في كل مرة -صفر منطقي يأخذ قطبية (0)فقط	-كشف عالي للأخطاء -استهلاك طاقة أقل (لا يعمل بالأصفار)	-صعوبة الكشف كهربائياً (ثلاث مستويات استقطاب) -انزياح تيار مستمر للأصفار
AMI للقطبية	-تتناوب القطبية بين (1)و (1-)عند الانتقال من واحد منطقي إلى صفر منطقي و بالعكس,أما عند تماثل البتات المتتالية فلا يوجد أي ترميز	-كشف عالي للأخطاء -استهلاك طاقة أقل	-صعوبة الكشف كهربائياً -انزياح التيار المستمر عند توالي عدد كبير من القطبيات المتماثلة
BIPH	-واحد منطقي يأخذ قطبية (1)مع العودة للصفر -صفر منطقي بالتناوب مرة قطبية (1)بدون العودة للصفر ومرة بقطبية صفر فقط . -عند ورود صفر منطقي بقطبية واحد و يأتي بعده واحد منطقي يأخذ هذا الواحد قطبية (1) بالنصف الثاني من البت	-كشف عالي للأخطاء -استقطابين فقط	
MANC	-واحد منطقي يأخذ قطبية واحد مع العودة للصفر في النصف الأول للبت -صفر منطقي يأخذ قطبية (1)في النصف الثاني من البت		
HDB	هو نفس AMIللواحدات ,ولكن كل رابع صفر من الأصفار المتتالية يتم تحويله إلى نبضة V. نبضات *V*المتتالية تكون ذات قطبية متعاكسة فيما بينها .وعند حدوث تماثل مع نبضات الواحدات (عدد الواحدات زوجي) يتم إضافة نبضة *P*عند أول صفر من الأصفار المتتابعة لعكس ترتيب الواحدات	-لا يوجد انزياح تيار مستمر (مركبة مستمرة) بنوعيه	-كشف الأخطاء أقل من AMIبنسبة بسيطة (فقط بالصفر الرابع)



أمثلة لتشفير الخط

قم بالبحث عن انواع أخرى من التشفير من الانترنيت و طبقها على كلمات رقمية مختلفة

3-ترميز القناة:

يهدف الثنائي ترميز وفك ترميز القناة إلى إعادة توليد نسخة موثوقة لسلسلة البتات المولّدة في المرسل. ترمز سلسلة المعلومات بوساطة مرمّز القناة، إذ يدخل بعض الحشو في سلسلة المعطيات الثنائية، ثم يستخدم هذا الحشو في جهاز الاستقبال للتغلب على آثار الضجيج والتداخل الناشئة عن نقل الإشارة عبر قناة الاتصال ,والتي تتسبب في أخطاء الاستقبال. يساعد هذا الحشو على رفع وثوقية المعطيات ويحسّن من تطابق سلسلة المعطيات المستقبَلة مع سلسلة المعطيات الأصلية، وذلك بتصحيح الأخطاء المكتشفة في المستقبِل استناداً إلى المعرفة المسبقة لمواصفات الترميز (الحشو) .

فعلى سبيل المثال الحل البديهي لترميز سلسلة المعطيات الثنائية هو تكرار كل بت عدداً من المرات. الحل الآخر الأقل بديهية والأكثر فعالية هو تقسيم المعلومات إلى مجموعات من K بت تؤلف كل منها كلمة ثم مقابلة كل كلمة من هذه الكلمات بكلمة أخرى من N بت حيث N أكبر من K ويؤلف الفرق N - K الحشو المضاف على نحو معروف، والكلمات الناتجة هي كلمات الرمز. تقاس نسبة الحشو في المعلومات المرمّزة في هذه الحالة **بالنسبة N/ K التي تسمى معدل الترميز.**

لترميز القناة أنواع منها:

أ ـ طلب إعادة إرسال آلي (automatic repeat request) ARQ : حين يكتشف المستقبِل وجود خطأ في المعطيات يهمل هذه المعطيات ويطلب إلى المرسل إعادة إرسالها من جديد. تستخدم هذه الطريقة في حال إمكان انتظار رسالة المستقبِل لمعرفة ما إذا كان قد نجح في الاستقبال، كأن توجد قناة ثانية لإرسال مثل هذه المعلومات أو أن تكون نسبة الخطأ منخفضة بحيث تجعل إعادة الإرسال قليلة التواتر. بوجه عام تستخدم هذه الطريقة في الأنظمة المعلوماتية مثل شبكات الحواسيب.و يوجد لهذا النوع ثلاث تقنيات :

1- Stop –Wait :

2-الطريقة المستمرة

3-الطريقة المستمرة بدون إعادة

ب ـ تصحيح الخطأ الأمامي (forward error correction codes) FEC : يُدخل الحشو بطريقةٍ مراقبة بحيث يستطيع المستقبِل عند اكتشاف الخطأ، أن يصحح عدداً من الأخطاء لمعرفته بالترميز. يستخدم هذا الترميز في حال تعذر انتظار رسالة المستقبل المؤكدة لنجاحه في الاستقبال، ويحدث ذلك عندما يكون زمن النقل طويلاً أو عندما تكون نسبة الخطأ عالية فتتسبب في إعادة إرسال متكرر غير مقبول.

يقسم الترميز الأمامي المصحح للخطأ إلى قسمين كبير ين رئيسيين: ترميز الكتلة block coding والترميز التلفيفي coding convolutional .

من أنواع ترميز الكتلة: ترميز هامينغ Hamming ، وترميز ريد سولومون Reed-Solomon ، و ترميزغولاي Golay ، وترميز ريد مولر Reed-Mulle وهي تراميز معروفة بأسماء أصحابها.

الفصل الخامس (هام)

نظم التعديل الرقمي للموجات الحاملة

لا بد من استخدام تقنيات خاصة لتعديل المواج الرقمية المكونة من مجموعة النبضات المرمزة .لأن بعض التطبيقات تتطلب نقل معلومات رقمية بين أمكنة متباعدة و هذا يتأثر بأنواع مختلفة من الضجيج.

ومن هذه التقنيات طرائق تغيير الموجة الحاملة من حيث المطال أو التردد أو الطور بواسطة مجموعة من النبضات الحاملة للمعلومات .و ذلك على غرار ما كان يحدث في الاتصالات التمثيلية .

فالإشارة الرقمية لا يمكن إرسالها لاسلكياً إلا بتحميلها على إشارة تمثيلية في الأنظمة اللاسلكية .

و قد تم إدخال بعض التحسينات عليها بغرض :

1-تقليل تأثير التشويش 2-زيادة سرعة النقل 3-تقليل عرض المجال

و تستخدم هذه الطرق في العديد من التطبيقات اللاسلكية مثل الهواتف اللاسلكية و الخليويةو المناداة و المايكرويف و الأقمار الصناعية وأنظمة التحكم ...كما تستخدم في الموديم و في الاتصالات السلكية .

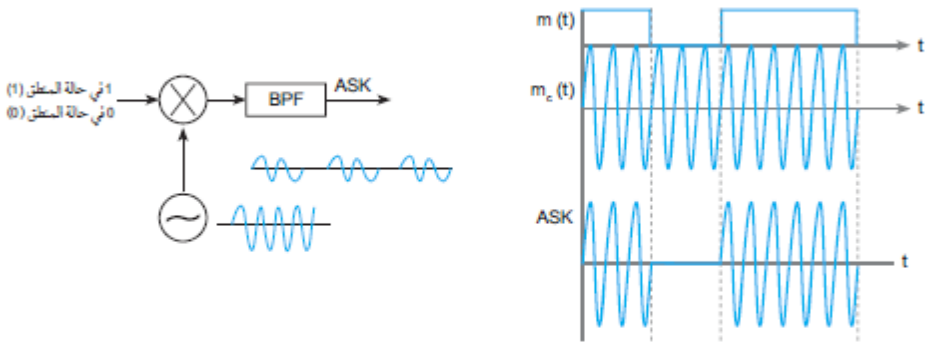
تدعى هذه التقنيات بالإبدال أو الإقفال Keying التي تستخدم التعديل و كشف التعديل بين المرسل و المستقبل في ما يسمى معدل كاشف (MODEM)

تقوم الموديمات بتعديل الموجة الحاملة للإشارة الرقمية بأشكال مختلفة مثل :

ا-الإقفال بإزاحة المطال (ASK) 2-الإقفال بإزاحة التردد(FSK) 3-الإقفال بإزاحة الطور

1-الإقفال بإزاحة المطال ASK:

يقصد به إزاحة اتساع الموجة الحاملة من القيمة الأدنى في حالة الصفر (0) إلى القيمة العليا في حالة الواحد (1)، ويوضح شكل (29) مفهوم هذا التضمين .



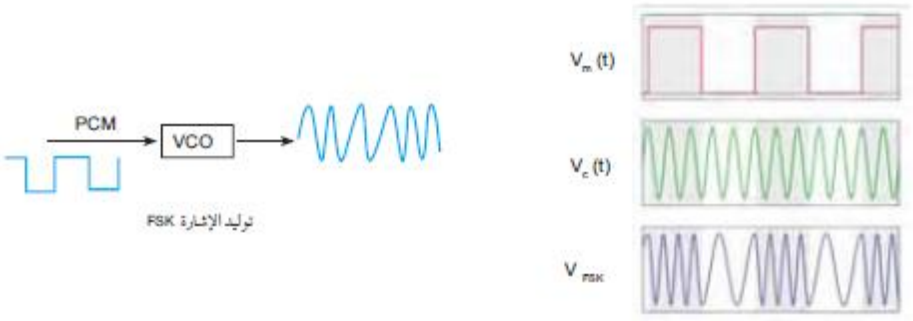
شكل (٢٩) : تضمين إزاحة الاتساع

يتم كشف هذه الإشارة باستخدام كاشف الغلاف (Envelope Detector) ومن مميزاته :

١ . يستخدم عرض نطاق ترددي قليل. ٢ . حساس جدا للتغيرات غير الخطية.

2-الإقفال بإزاحة التردد FSK:

يقصد بهذا التعديل إرسال الواحد المنطقي و الصفر المنطقي على ترددات مختلفة بحيث تأخذ إحدى الحالتين (أي تكون قيمة أحد الترددين أعلى من قيمة التردد الآخر) ,كما في الشكل ( )



توليد الإشارة FSK

شكل (٣٠): تضمين الإزاحة الترددية

VCO : مذبذب متحكم به بالفولت، ويستخدم في الكثير من الأنظمة اللاسلكية.

3-الإقفال بإزاحة الطور :

يعتمد هذا التضمين على تغير فرق الطور، حيث يتغير طور الإشارة الحاملة حسب إشارة المدخل الثنائية، ويعدّ من أكثر الأنواع شيوعاً واستخداماً في الاتصالات الرقمية، وهذا يعود للأسباب الآتية :

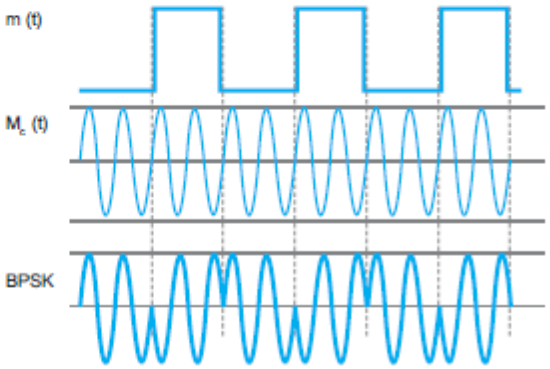
١. صغر عرض النطاق الترددي.
٢. يتمتع هذا التضمين بجودة عالية.
٣. غير حساس للتغيرات غير الخطية في الاتساع.
٤. يحتاج إلى قدرة إرسال أقل من الأنظمة الأخرى.

ASK	Amplitude Shift Keying
FSK	Frequency Shift Keying
VCO	Voltage Controlled Oscillator
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
PSK	Phase Shift Keying
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying

ومن أنواعه :

أ. تضمين الإزاحة الطورية الثنائية (Binary PSK)

وفيه يأخذ طور الموجة الحاملة إحدى قيمتين محتملتين، يبين شكل (31) مفهوم هذا التضمين.

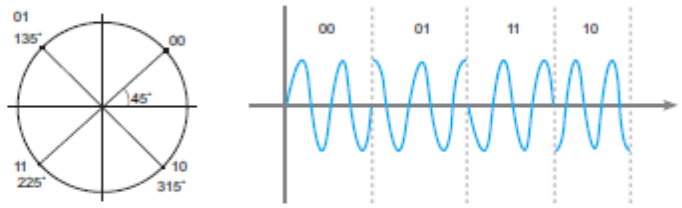


◄ الشكل (٣١): تضمين إزاحة الطور الثنائي (BPSK)

ب . تضمين الإزاحة الطورية الرباعية (QPSK)

هو عبارة عن تقنية تضمين رقمي بحيث يأخذ طور الموجة الحاملة أحد أربع قيم محتملة، هي :

$[0, \frac{\pi}{2}, \pi, 2\pi]$، لاحظ شكل (32).



◄ الشكل (٣٢): تضمين الإزاحة الطورية الرباعية (QPSK)

جـ . تضمين الإزاحة الطورية متعددة المستويات (MPSK).

هو تقنية تضمين رقمي، بحيث يأخذ طور الموجة الحاملة قيمة معينة من ضمن مجموعة من القيم المحتملة وهذا يعتمد على إشارة النطاق الأساسي الثنائية، حيث :

$$N_b = L_2 og\ M \longrightarrow = M = 2^N$$

حيث إن : Nb : هو عدد الخانات لكل رمز (طور).

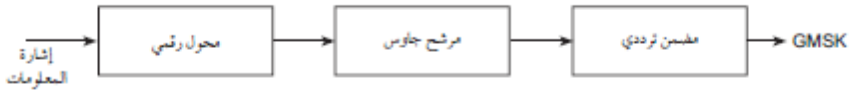
M : هو عدد الحالات الممكنة (الأطوار المختلفة).

نشـــــاط

إبحث عن نظام تضمين الإزاحة الطورية الثماني (8PSK).

د . تضمين لإزاحة الدنيا الجاوسي GMSK

هو نوع من تضمين الإزاحة الترددية ذات الطور المتصل، وتحول المعلومات الرقمية 1- ← 0 ، 1 ← 1 ثم يستخدم مرشح جاوس لتمرير التردد المنخفض، ويتم تضمين الإشارة باستخدام مضمن ترددي FM لتصبح الإشارة إشارة GMSK. إن استخدام مرشح جاوس يقلل من النطاق الترددي اللازم للإرسال، ويقلل من حدوث التداخل بين القنوات المجاورة. لاحظ شكل (33).



شكل (٣٣) : تضمين الإزاحة الدنيا الجاوسي

الفصل السادس

نبضات التزامن و نبضات التأشير في الاتصالات الرقمية :

مهمة نبضات التأشير هي تأمين عمل النظام ,مثل الرنين (التنبيه) للهاتف ,وإرسال الرقم المطلوب ,وعملية فتح الخط و إغلاقه

أما نبضات التزامن مهمتها تأمين تعريف جهاز الاستقبال على القناة الأولى في بداية كل مجال جديد.

و سندرس توضع كل من هذه النبضات في النظامين الأوربي و الأمريكي:

1-النظام الأوربي:

يتألف الإطار من 32 قناة ,القناة رقم صفر تحمل رموز التزامن للقنوات المرسلة و دائماً تأخذ الترميز 0011011 - هذه كلمة التزامن ترسل باستمرار في القناة صفر و نلاحظ أن البت الأول تم حجزه لتحديد المكالمة الداخلية من المكالمة الدولية أو الخارجية.

القناة السابعة عشر رقمها القناة *16* تحمل نبضات التأشير ,هذه الكلمة تأخذ قيم رقمية مختلفة حسب نوع التأشير المرسل مثل تنبيه الرنين للهاتف-إرسال الرقم المطلوب –فتح الخط وإغلاقه.

الشكل( ) يبين توضع هذه النبضات .

رقم القناة																
٠	1	١	٢	٣	٤	.....	١٣	١٤	١٥	١٦	١٧	.....	٢٩	٣٠	٣١
كلمة تزامن	١٥ كلمة شفرة من القنوات المنقولة (مكالمات هاتفية مثلا) طول كل كلمة ٨ بت									كلمة تزامن	١٥ كلمة شفرة من القنوات المنقولة (مكالمات هاتفية مثلا) طول كل كلمة ٨ بت					

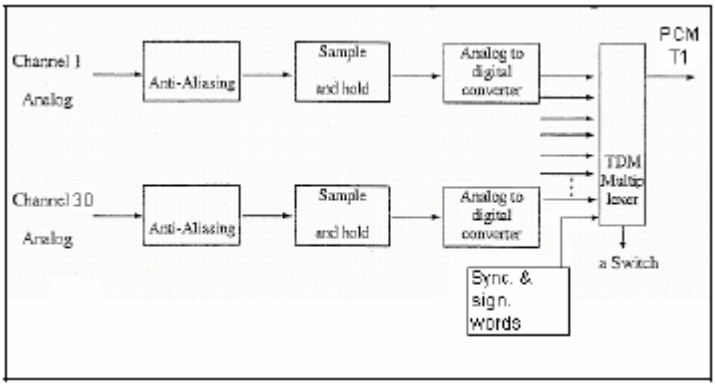
أي أن عدد القنوات الحقيقية المنقولة هو ثلاثون قناة . أما القناتان*0*و *16* فهي للتزامن و التأشير .

هذا بالإضافة لنبضات التحكم التي تتم إضافتها وفق ما يلي:

بالحساب الدقيق نجد أن عرض النبضات في الثانية هو :3.9 × 8000 ×32=0.9984 ثانية فيكون لدينا

1600=1000000-998400 ميكرو ثانية .هذا الزمن االفارغ يمكن وضع نبضات تحكم فيه.

يكون بناء نظام التجميع كما في الشكل التالي .



2- النظام الأمريكي:

يتكون الإطار هنا من 24 كلمة مشفرة .تحتل كل كلمة حيزاً زمنياً في ٱلإطار ,وطول الحيز الزمني ثابت يضاف إلى ذلك بت واحد في البداية يسمى بت التزامن.

ترقم القنوات من *1*إلى*24*.توجد في أول الإطار (القناة رقم *0*) بت التزامن ,بينما تؤخذ الكلمات المتبقية (1....24) من القنوات بمعدل كلمة من كل قناة

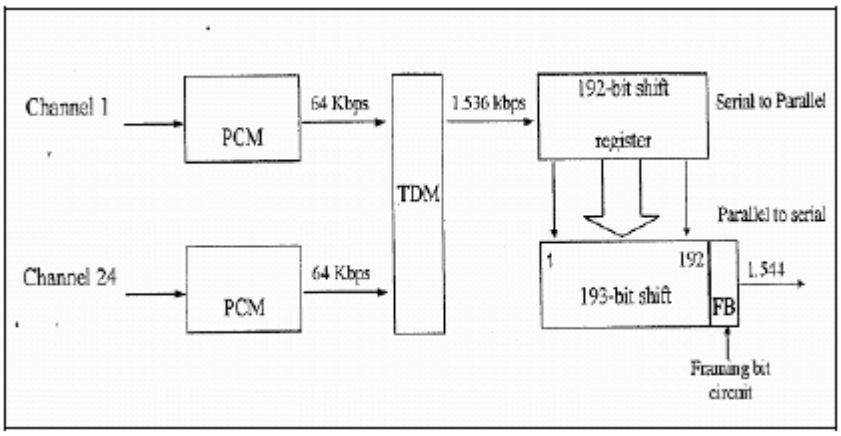
الشكل( ) يبين توضع هذه النبضات

رقم القناة																							
.	1	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	١١	١٢	١٣	.....	٢٠	٢١	٢٢	٢٣	٢٤
بتة تزامن (١ بت)		٢٤ كلمة شفرة من القنوات المنقولة (مكالمات هاتفية مثلا) طول كل كلمة ٨ بت																					
طول الإطار بالبت هو: ٢٤ X ٨ بت = ١٩٢ بت + ١ بت تزامن = ١٩٣ بت																							

أما الحصول على نبضة التزامن فيكون بالشكل التالي:

بالحساب الدقيق يكون عرض النبضات في الثانية:8000 × 5.18 ×24=0.9936 ثانية فيكون لدينا

993600-100000=6400 ميكرو ثانية ,هذا الزمن للتزامن و التأشير.أما بناء نظام التجميع فيكون بالشكل التالي.



و يمكن أن نلخص عمل المجمعات في كل من النظامين الأوربي و الأمريكي بوجود نبضات التزامن و التأشير على الشكل لتالي:

تشغيل نظام التجميع ٣٢ قناة:

١. يأخذ المجمع تي آي إشارات صوتية من ٣٠ قناة هاتفية مشفرة بنظام وبمعدل PCM كلمة واحدة (٨ بت) من كل قناة وفي كل الدورة (١٢٥μs)

٢. تدخل الكلمات إلى ذاكرة المجمع الخاصة بذلك في انتظار قراءتها وتجميعها

٣. تجمع الكلمات في خرج المجمع في إطار وترسل على القناة . الإطار مركب كما سبق أن وصفناه، أي: كلمة تزامن في الحيز الأول ثم ٨ بت من القناة الأولى ثم ٨ بت من القناة الثانية ثم ٨ بت من القناة الثالثة، وهكذا دواليك إلى حدود القناة ١٥ أي الحيز السادس عشر. وهكذا نكون قد أتممنا الجزء الأول من الإطار. ثم تكون مجموعة مماثلة في الجزء الثاني من الإطار أي كلمة تزامن في الحيز السابع عشر ثم ٨ بت من القناة ١٦ ثم ٨ بت من القناة ١٧ ثم ٨ بت من القناة ١٨، وهكذا دواليك إلى حدود القناة ٣١ أي الحيز ٣٢.

٤. يتم إرسال الإطار ثم تقرأ الكلمات الموالية من القنوات الثلاث في الذاكرة ويكون الإطار الموالي بنفس الطريقة ثم يرسل بدوره وهكذا....

تشغيل نظام التجميع ٢٤ قناة:

١. يأخذ المجمع تي آي (TI Multiplexer) إشارات صوتية من ٢٤ قناة هاتفية مشفرة بنظام PCM ويمعدل كلمة واحدة (٨ بت) من كل قناة وفي كل الدورة (١٢٥µs)

٢. تدخل الكلمات إلى ذاكرة المجمع الخاصة بذلك في انتظار قراءتها وتجميعها

٣. تجمع الكلمات في خرج المجمع في إطار وترسل على القناة . الإطار مركب كما سبق أن وصفناه، أي: بت من كلمة الاصطفاف ثم ٨ بت من القناة الأولى ثم ٨ بت من القناة الثانية ثم ٨ بت من القناة الثالثة، وهكذا دواليك إلى حدود القناة ٢٤.

٤. يتم إرسال الإطار ثم تقرأ الكلمات الموالية من القنوات الأربع والعشرين في الذاكرة ويكون الإطار الموالي بنفس الطريقة ثم يرسل بدوره وهكذا....

٥. إذا أرسلنا ١٢ إطارا متتالية نكون قد أرسلنا إطارا أكبر وأتممنا إرسال كلمة التزامن TI FAW

.