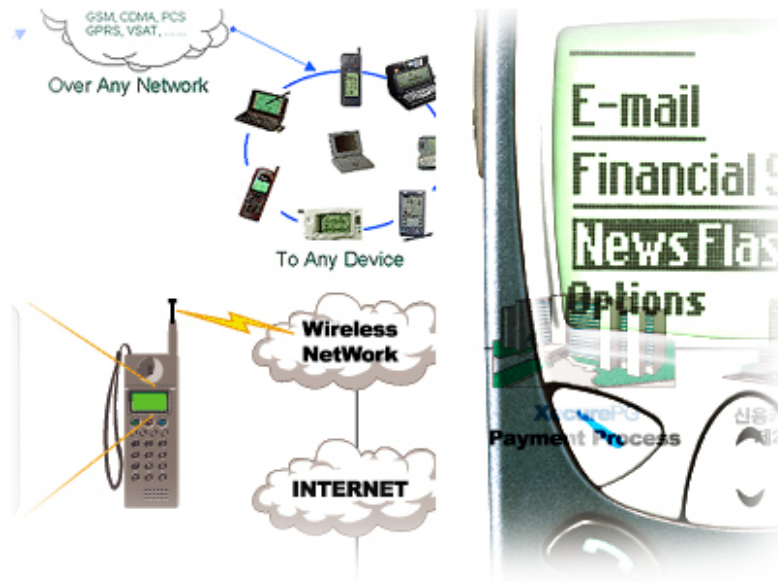


الاتصالات

أساسيات الاتصالات الرقمية

٢٣٧ تصل



مقدمة

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التتموي لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " أساسيات الاتصالات الرقمية " لمتدربي تخصص " الاتصالات " للولايات التقنية على موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا البرنامج.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالإستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تمهيد

بسم الله الرحمن الرحيم والصلاة والسلام على عبده ورسوله محمد سيد الأولين والآخرين. أما بعد ، فبمعون الله ورعايته نقدم حقيبة أساسيات الاتصالات الرقمية التي أنجزناها بتكليف من المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني شاكرين لها جهودها الرامية إلى تعريب المساقات التقنية خدمة للمتدربين الذين يزاولون تعليمهم في مختلف الكليات والمعاهد التابعة بالنظر للمؤسسة. نشكر المؤسسة أيضا على الثقة التي وضعتها فينا آمليين أن نكون قد وفقنا الله عز وجل في تأليف الحقيبة المذكورة. كما يسرنا أن نشكر المسؤولين في كلية الاتصالات بالرياض على دعمهم لجهودنا واهتمامهم البالغ بما أنجزناه، في هذا الصدد .

إن الاتصالات الرقمية تعتبر المحور الرئيس بالنسبة لميدان تقنية المعلومات عامة وميدان الاتصالات خاصة. وللدلالة على ذلك يكفي أن نستحضر أن التقنيات المستعملة في كل ميادين النقل أصبحت اليوم رقمية نذكر منها مثلاً:

- النقل السلكي للمكالمات الهاتفية الذي يعتمد اليوم على عمليات و تقنيات رقمية تطبق في البدالات الهاتفية ووسائل النقل المختلفة،
- النقل اللاسلكي للمكالمات الهاتفية الذي يمثله مثلاً الهاتف الجوال الذي يستعمل في كل معداته ووسائل وتقنيات رقمية
- النقل التلفزيوني والإذاعي العصري الذي يتم فيه شيئاً فشيئاً الاعتماد كلياً على التقنيات الرقمية
- نقل المعلومات بواسطة شبكات الحاسب العالمية (من منا لا يعرف الانترنت؟)
- والأمثلة كثيرة.

كما أن هناك ميادين أخرى تستعمل كثيراً من الطرق التي وضعت أساساً لنقل المعلومات لكنها أظهرت جدواها فيما بعد في تطبيقات أخرى. نذكر منها على سبيل المثال فقط ميدان تخزين المعلومات.

وتفسر أهمية التقنيات الرقمية عامة بما لها من نواح إيجابية كثيرة مقارنة بالتقنيات التماثلية. وأهم إيجابياتها هي:

- إمكانية استعمال دوائر رقمية وهي رخيصة نسبيا
 - إمكانية حماية البيانات الرقمية بواسطة تشفيرها
 - إمكانية دمج بيانات من مصادر متعددة ومختلفة على قناة بث واحدة
 - إمكانية إصلاح الأخطاء بواسطة شفرات خاصة
 - استعمال جهدين فقط متباينين كثيرا (عادة ٠ و 5V) للتعبير عن الرقمين الثنائيين المستعملين (٠ و ١) وهو ما يفسر صلابة البيانات الرقمية بالنسبة للضجيج الذي يمثل إشكالا رئيسا بالنسبة للإشارات التماثلية. ففي النقل الرقمي يصعب الخلط بين ٠ و ١ نظرا لتباين الجهدين حتى عند وجود ضجيج.
 - في النقل الطويل المدى لا تنتشر الأخطاء عبر المعاوذات (repeaters) كما هو الحال في النقل التماثلي وإنما يتم استرجاع النبضة الصحيحة في كل كمعاود.
- أما أهم سلبيات النقل الرقمي فهي:
- وجوب استعمال إشارات التزامن
 - الحاجة إلى عرض نطاق كبير جدا مقارنة بعرض نطاق الإشارة التماثلية.

إن التقنيات المستعملة تكتسي نوعا من التعقيد يتطلب من المتدرب الاهتمام والتركيز حتى يفهم النظريات التي تبنى عليها هذه التقنيات والتطبيق العملي لمختلف التقنيات. وإذا أولى هذا المقرر الاهتمام اللازم فإنه يجازى على ذلك بفهم أسس الاتصالات العصرية ومختلف تطبيقاتها، فيدخل بذلك ميدان التقنيات الرقمية من بابها الكبير.

تتناول هذه الحقبة النقاط التي تعتبر أساسية في ميدان الاتصالات الرقمية. لقد حاولنا أن نقدمها للمتدرب بطريقة سهلة دون إهمال المحتوى، وتم التركيز على محاولة إيصال المعلومة بشتى الطرق للمتدرب وإعطائه أكثر من فرصة للفهم. ولا يسعنا هنا إلا أن نؤكد على أن المتدرب سيجد فرصا كثيرة للفهم، ويجد أيضا تجارب عملية في الجزء العملي من هذه الحقبة تدعم إن شاء الله ما استوعبه في الجزء النظري.

يحتوي الجزء النظري للحقيبة ثلاثة محاور رئيسة نتناولها بالشرح والتفصيل . لهذا قسمنا المساق إلى ثلاث وحدات هي:

- الوحدة الأولى: أخذ العينات
- الوحدة الثانية: التضمين الرقمي
- الوحدة الثالثة: تضمين إمرار النطاق

ندرس في الوحدة الأولى طرق أخذ العينات من الإشارة التماثلية ثم استعمال طرق تضمين مختلفة هي

- تضمين سعة النبضات
- تضمين عرض النبضات
- تضمين موقع النبضات.

ندرس في الوحدة الثانية تشفير العينات بطريقتين مختلفتين هما

- تضمين شفرة النبضات
- تضمين دلتا

وتجدر الإشارة إلى أننا نعالج في هذه الوحدة أيضا نقطة رئيسة تعتبر من أهم الطرق المستعملة في الميدان الرقمي ألا وهي التجميع بالتقسيم الزمني الذي لولاه لما بلغت التقنيات الرقمية كل هذا التطور الذي نشهده، إذ تسمح هذه الطريقة بنقل عدد كبير من الإشارات (عدد كبير من المكالمات الهاتفية مثلا) على وسيط نقل واحد كالسلك الواحد مثلا. هناك صنفان نستعرضهما هنا وهما:

- التجميع بالتقسيم الزمني لتضمين سعة النبضات
- التجميع بالتقسيم الزمني لتضمين شفرة النبضات

ندرس في الوحدة الثالثة تضمين إمرار النطاق، وهو ثلاثة أصناف هي:

- التفتيح بإزاحة السعة
- التفتيح بإزاحة التردد
- التفتيح بإزاحة الطور

ويجد المتدرب في بداية كل وحدة معلومات مفيدة عن الجدارة والأهداف ومستوى الأداء والوقت المتوقع لدراسة الوحدة.

تحتوي الحقيبة كما ذكرنا سابقاً على جزء نظري (وهو ما استعرضناه سابقاً) وعلى جزء عملي وهو ما سيجده المتدرب في الجزء المذكور. نريد أن نلاحظ في هذا الصدد ما يلي:

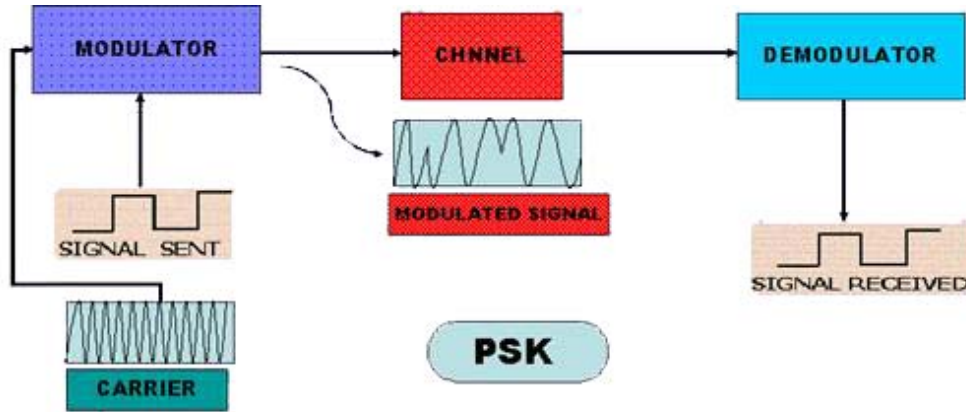
- نكرر التأكيد على أهمية هذا الجزء العملي في هذا المساق بالذات، ذلك لأن أغلب المفاهيم هي نظرية بحتة وعلى غاية من التعقيد، لذلك تمثل التجارب العملية فرصة عظيمة لفهم الجزء النظري
- حاولنا مراعاة إمكانية اختلاف المعدات من كلية إلى أخرى فأدرجنا في الأماكن المناسبة من المساق النظري ملحوظات عامة خاصة لمكونات كل تجربة وعلاقتها بالجزء النظري وأهدافها حتى نوصل للمتدرب معلومة تعينه على تعدي التجربة المرتبطة بمعدات ما إلى فهم الأهداف التي نريد بلوغها من وراء التجربة وربط هذه التجربة بالجزء النظري الذي تبنى عليه.

وتجدر الإشارة في هذا المقام إلى المصطلحات المستعملة. إن النظريات والتقنيات المرتبطة بميدان الاتصالات الرقمية تتطور بنسق سريع وهو ما ينجر عنه سيل من المصطلحات الإنجليزية التي يصعب الحصول على ترجمة موثقة لها باللغة العربية، رغم ما تبذله الجهات المعنية من جهود لمواكبة هذا النسق السريع. لقد حاولنا في هذا الإطار استعمال المصطلح الصحيح بالرجوع إلى القواميس والكتب المختصة، محاولين قدر الإمكان الابتعاد عن الارتجال واستعمال المفردات غير الموثقة.

وإذ نسأل الله سبحانه وتعالى أن يوفقنا جميعاً إلى الاستفادة من هذه الحقيبة، فإننا ندعو الجميع وبإلحاح إلى موافقتنا بكل ما يعين على تحسين الحقيبة وإثرائها وذلك مراعاة لمبدأ تعميم الفائدة على الجميع.

أساسيات الاتصالات الرقمية

أخذ العينات



الوحدة الأولى: أخذ العينات

Sampling

الجدارة: التعرف على طرق أخذ العينات من الإشارات التماثلية وتكمية هذه العينات للحصول على الإشارة الرقمية وشروط أخذ العينات حتى يصبح استرجاع الإشارة الأصلية من عيناتها ممكناً (احترام متطلبات مبرهنة شانون). كما تستعرض الوحدة التضمين التماثلي للنبضات وتجميع العينات بالتقسيم الزمني بغية استغلال الخطوط بجدوى عالية. نقدم في هذه الوحدة الأسس الرياضية للتحويل التماثلي الرقمي والتي تتمحور أساساً حول أخذ العينات بطرق تتماشى مع مبرهنة شانون ثم تكمية العينات فتشفيرها وتضمينها بغية نقلها باستعمال التجميع بواسطة التقسيم الزمني. نستعرض المصطلحات والمعادلات المستعملة للغرض.

الأهداف: أن يصل المتدرب إلى إتقان الجدارة بنسبة ٩٠٪.

الوقت المتوقع: ١٢ ساعة

الوسائل المساعدة: معمل أساسيات الاتصالات الرقمية. كتب ومراجع في الميدان.

متطلبات الجدارة: أن يكون المتدرب قد اجتاز مقرر الدوائر الكهربائية.

١- ١ مبرهنة أخذ العينات:

(Sampling Theorem or Shannon Theorem)

تؤخذ العينات من الإشارة التماثلية ذات تردد أقصى f_m بتردد f_s لا يقل عن $2f_m$ وبصورة منتظمة، وذلك حتى يمكن استرجاع الإشارة التماثلية من عيناتها باستعمال مرشح إمرار منخفض.

بعبارة أخرى، يكفي إرسال عينات بصورة منتظمة في الزمان عوضاً عن إرسال الإشارة التماثلية التي يوجد لها طيف في النطاق الأساسي فحسب (base band signal) بأكملها إذا احترمنا المبرهنة أعلاه

والعلاقة بين الترددين يجب أن تكون كما يلي:

$$f_s \geq 2f_m \quad (1-1)$$

حيث: f_s هو تردد أخذ العينات الذي نستعمله

f_m هو أقصى تردد في الإشارة التماثلية

أما دورة أخذ العينات فهي T_s حيث لدينا

$$T_s = 1/f_s \quad (1-2)$$

لاحظ: لكي تعطي العينات المعلومة كاملة عن الإشارة الأصلية يجب:

(١) أن تكون العينات متقاربة من بعضها

(٢) أن تكون المسافة بين العينة والتي تليها أقل من $1/2f_m$

(٣) أن تصغر المسافة المذكورة مع ازدياد التردد.

لتفادي خطأ التذكر (aliasing error) والذي يؤدي إلى التداخل بين مكونات طيف إشارة العينات،

يكون أصغر تردد ممكن لأخذ العينات هو $2f_m$ ويدعى هذا التردد تردد نايكوست (Nyquist frequency)، يعني ذلك

$$f_{s \min} = f_N = 2f_m$$

$$T_N = 1 / 2f_m \quad (1-3)$$

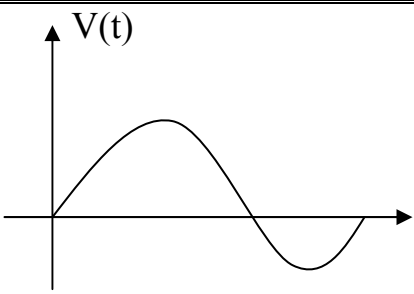
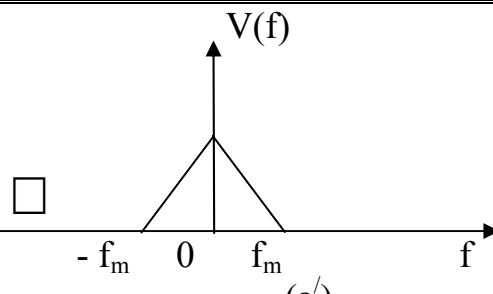
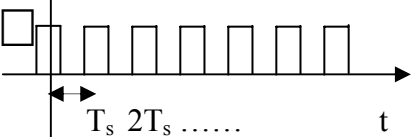
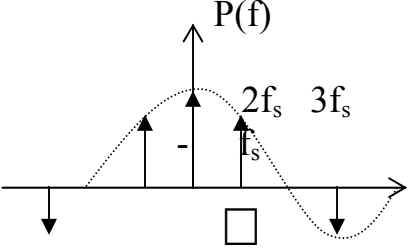
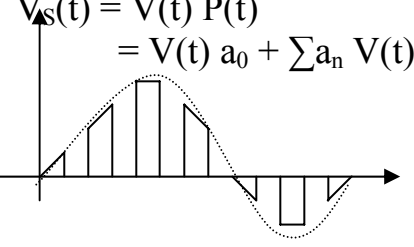
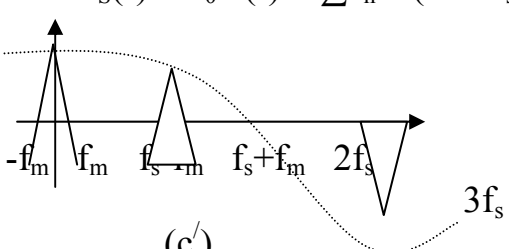
حيث: f_N هو تردد نايكوست (Nyquist frequency)

T_N هي مسافة أخذ العينات باعتبار تردد نايكوست.

فكرة أخذ العينات هي عملية ضرب الإشارة التماثلية $V(t)$ في سلسلة نبضات $P(t)$ للحصول على الإشارة

المكونة من العينات $V_s(t)$ (sampled signal). انظر الشكل ١- ١.

$$V_s(t) = V(t) * P(t) \quad (1-3)$$

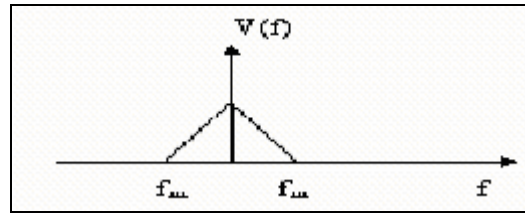
الموجات (في المجال الزمني)	الطيف (في مجال التردد)
 <p>(a)</p>	 <p>(a')</p>
$P(t) = a_0 + \sum a_n \cos 2\pi n f_s t$  <p>(b)</p>	 <p>(b')</p>
$V_s(t) = V(t) P(t)$ $= V(t) a_0 + \sum a_n V(t) \cos(2\pi n f_s t)$  <p>(c)</p>	$V_s(f) = a_0 V(f) + \sum a_n V(f - n f_s)$  <p>(c')</p>

الشكل ١-١: مثال موجات وأخذ العينات منها وانعكاس ذلك في ميدان التردد

عملية أخذ العينات تمثل عملية تبويب (gating) (فتح الباب لأخذ العينة وتعرف باسم sample ثم غلقه بمجرد القيام بذلك وتعرف باسم hold وإعادة العملية بانتظام). يظهر ذلك جليا في الشكل ١- ١.

البرهان: بين أن الإشارة التماثلية الأصلية يمكن استرجاعها بدون أخطاء من العينات.

$$(١) \quad V(f) \text{ الذي هو طيف الإشارة التماثلية الأصلية } V(t) \text{ محدود بين الترددات } f_m \text{ و } -f_m$$



الشكل ١- ٢ : طيف الإشارة التماثلية

$$(٢) \quad P(t) \text{ متردد}$$

$$(٤-١) \quad P(t) = a_0 + \sum a_n \cos 2\pi n f_s t$$

$$(٣) \quad \text{نتيجة عملية الضرب هي}$$

$$(٥-١) \quad \begin{aligned} V_s(t) &= S(t) P(t) \\ &= a_0 V(t) + \sum a_n V(t) \cos(2\pi n f_s t) \end{aligned}$$

$$(٤) \quad \text{كل عنصر في المجموع أعلاه عبارة عن } V(t) \text{ ضارب إشارة جيبية } \cos(2\pi n f_s t)$$

وبذلك فإن طيف المجموع ١- ٥ هو مجموع أطيف كل العناصر حيث تتم إزاحة كل عنصر بما يعادل تردد العامل $\cos(2\pi n f_s t)$ ، أي إزاحة بمقدار $n f_s$ لطيف العنصر عدد n فيكون بذلك الطيف الجملي:

$$(٦-١) \quad V_s(f) = a_0 V(f) + \sum a_n V(f - n f_s)$$

ملحوظات: (انظر الشكل ١- ١)

المثلث المتمركز في المصدر في الشكل ١- ١ هو طيف الإشارة التماثلية (والتي تعرف أيضا باسم إشارة النطاق الأساسي base band signal or analog signal) ضارب a_0 أي طيف $a_0 V(t)$ بينما الأشكال المزاحة تمثل أطيف بقية العناصر المكونة للمجموع ١- ٥.

$$(١) \quad \text{الأطيف المختلفة لا تتداخل لأنه تم احترام مبرهنة أخذ العينات، أي إن } f_s \geq 2f_m$$

(٢) لأن كل مكون من مكونات الطيف يحتل مجالا تردديا خاصا به ، فإنه يمكن بذلك عزله بواسطة مرشح إمرار منخفض واسترجاع العنصر الخاص به

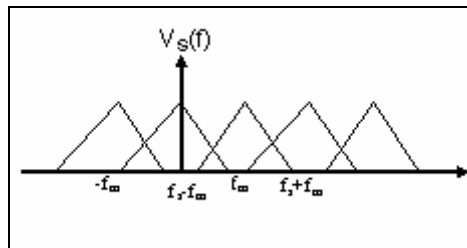
(٣) يمكن استعمال مرشح إمرار منخفض بتردد قطع قدره للحصول على طيف العنصر $\alpha_0 V(t)$ كما يظهر في الشكل أنه

- كلما صغرت المسافة T_s كبر التردد f_s وتباعدت بذلك مكونات الطيف (أضعاف $V(f)$ وهي التي تمثل تكرارا له) عن بعضها
- من ناحية أخرى ، كلما كبرت المسافة T_s صغر التردد f_s وتقاربت بذلك مكونات الطيف (أضعاف $V(f)$ وهي التي تمثل تكرارا له) لبعضها ، حتى تصل إلى درجة التداخل ويصعب بذلك فصل أي جزء عن البقية. تمثل الحالة $f_s = 2f_m$ أدنى قيمة لتردد أخذ العينات حيث تتلامس مكونات الطيف دون تداخل.

١ - ٢ التذكر (Aliasing)

إذا كان التردد الفعلي لأخذ العينات أقل من التردد الأدنى النظري (تردد نايكوست) ، تتداخل تكرارات الطيف الأساسي فيما بينها كما نرى في الشكل ١ - ٣ أسفله ، وهو ما يجعل استرجاع الإشارة التماثلية من عيناتها غير ممكن.

إذا تم أخذ العينات بتردد $f_s < 2f_m$ فإن التكرار الأول للطيف الأساسي يتداخل مع الطيف الذي يليه وكذلك يتداخل مع الطيف الأساسي وهو ما يجعل عزل الطيف الأساسي بشكل صحيح أمرا يكاد يكون مستحيلا ، بل تتجر عن ذلك أخطاء تعرف باسم أخطاء التذكر (Aliasing errors).



الشكل ١ - ٣: التذكر (تكرارات الطيف الأساسي).

لتفادي أخطاء التذكر المبينة فيما سبق، يجب أن

(١) نحد من عرض النطاق الأساسي باستعمال مرشح إمرار منخفض (low pass filter LPF) يعرف باسم المرشح المضاد للتذكر (anti-aliasing filter).

(٢) يكون تردد القطع (cut off frequency $f_{\text{cut off}}$) أقل من أقصى تردد في الإشارة التماثلية f_{max}

$$f_{\text{cut off}} \leq f_{\text{max}} \quad (٧-١)$$

لنفرض أن العدد الجملي للعينات اللازمة لاسترجاع الإشارة بشكل صحيح هو N ، علما بأن المدة الزمنية للإشارة هي t_p

• بما أن f_s هو تردد أخذ العينات أي عدد العينات في الثانية الواحدة، فإن

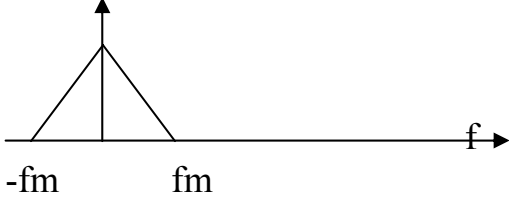
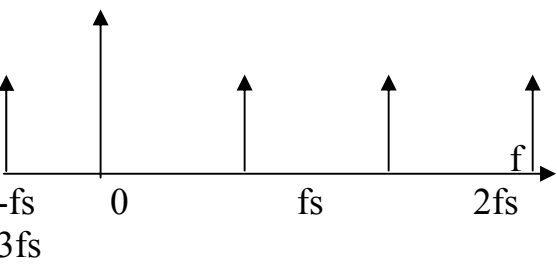
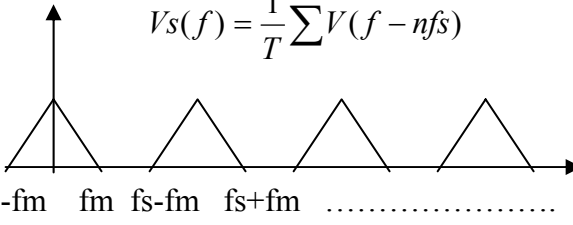
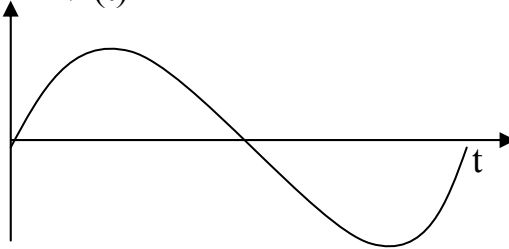
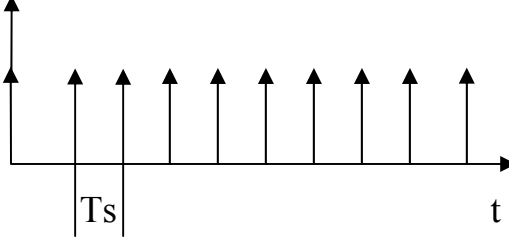
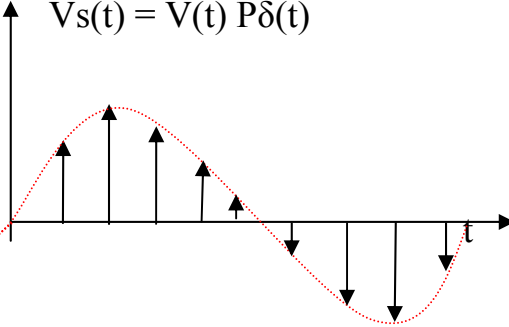
$$N = f_s t_p = t_p / T_s \quad (٨ - ١)$$

١- ٣: طرق أخذ العينات (Types of sampling)

توجد طرق متعددة لأخذ العينات نستعرض أهمها فيما يلي.

١- ٣- ١: الطريقة المثالية لأخذ العينات: (Ideal sampling)

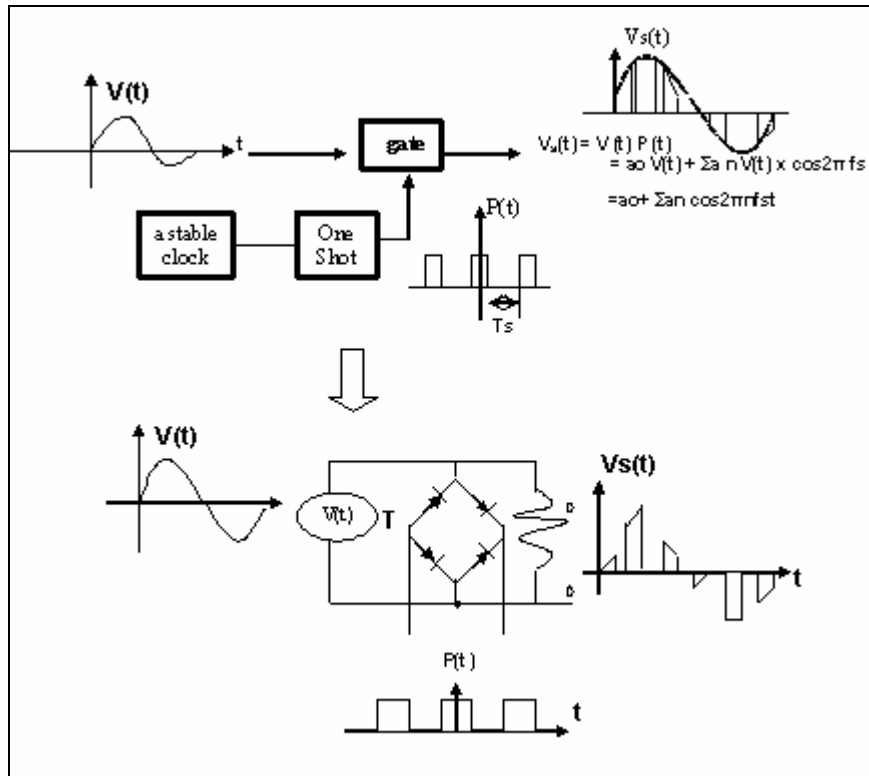
تؤخذ العينات باستعمال نبضات أحادية الوزن (unit weighted pulses). وهي الطريقة المستعملة مثلاً في تضمين سعة النبضات (PAM). انظر الشكل ١-٤ أسفله.

أطياف الإشارات الموجودة في العمود ١	الإشارة التماثلية وسلسلة النبضات الأحادية وأخذ العينات
<p>$V(f)$</p>  <p>$P(f) = \frac{1}{T} \sum \delta(f - nfs)$</p>  <p>$V_s(f) = \frac{1}{T} \sum V(f - nfs)$</p> 	<p>$V(t)$</p>  <p>$P\delta(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(t - nTs)$</p>  <p>$V_s(t) = V(t) P\delta(t)$</p> 

الشكل ١ - ٤: الطريقة المثالية لأخذ العينات

١ - ٣ - ٢ الطريقة الطبيعية لأخذ العينات (Natural sampling)

تؤخذ العينات هنا باستعمال نبضات مستطيلة الشكل حيث يتحدد ارتفاع العينة طبقاً لتغير الإشارة خلال النبضة. يبين الشكل ١ - ٥ هذه الطريقة.



الشكل ١- 5: معدات إنشاء عينات بالطريقة الطبيعية

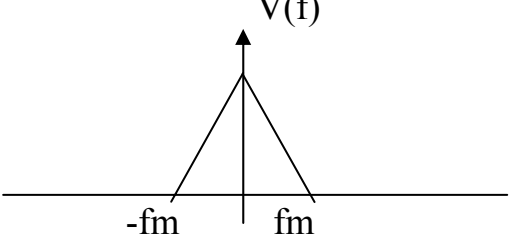
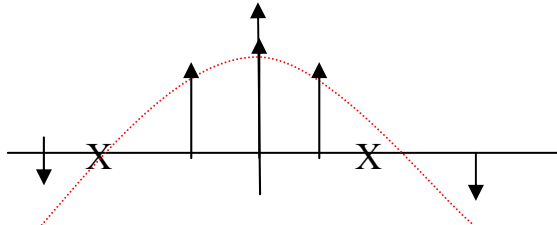
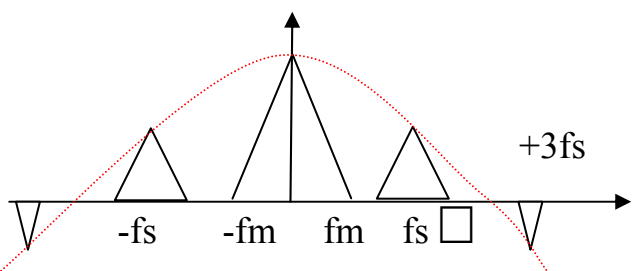
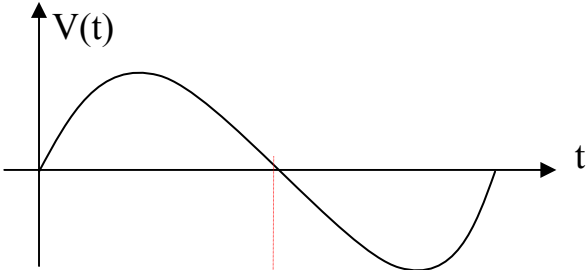
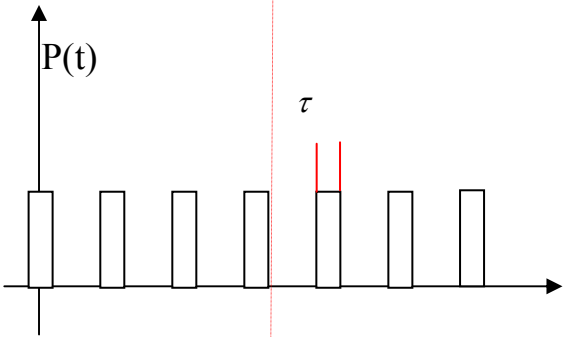
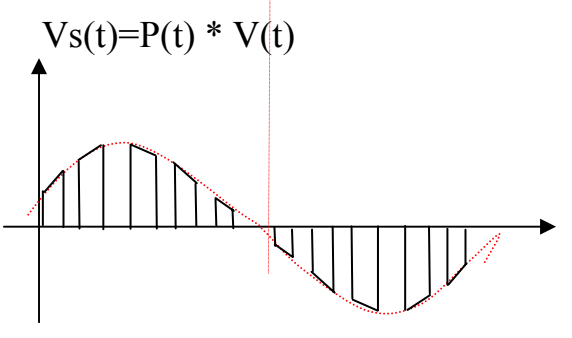
مبدأ العمل:

- (١) يعمل الترانزستور (FET) كمفتاح لأخذ العينات
- (٢) عندما يفتح يشحن المكثف بسرعة
- (٣) عندما يغلق، لا يفقد المكثف شحنته إلا بعد قراءتها.

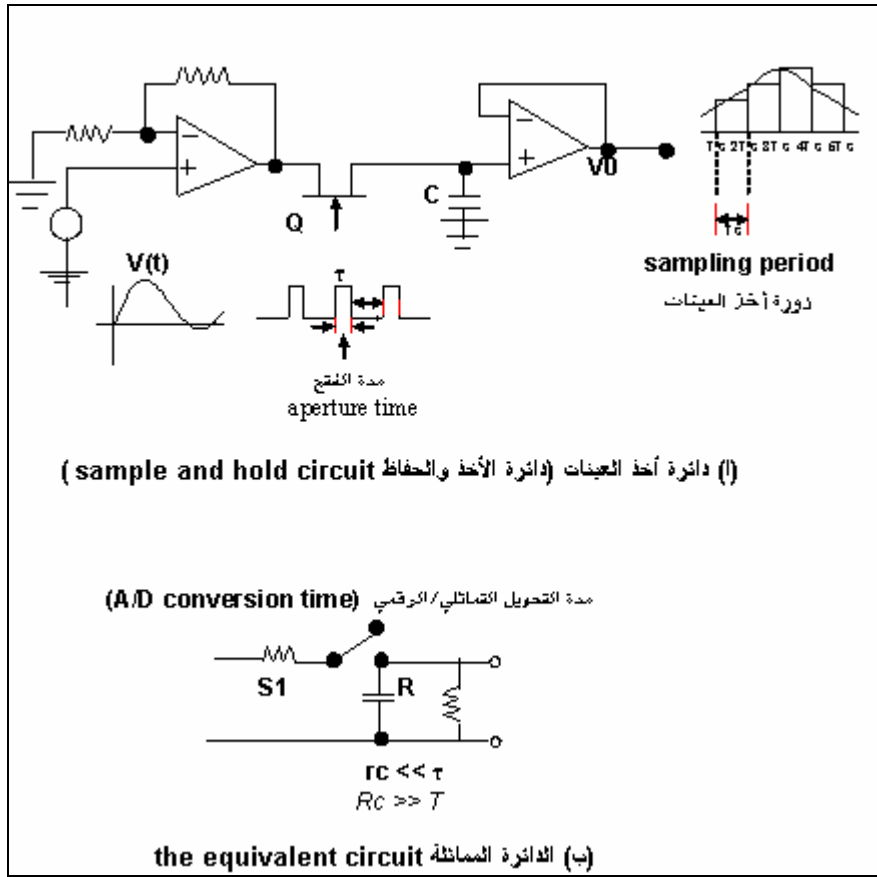
١- ٣- ٣ طريقة المستويات المسطحة لأخذ العينات (flat-top sampling)

يتم استعمال نبضات مستطيلة وتأخذ العينة قيمة تبقى ثابتة خلال دورة النبضة وهي القيمة المسجلة في نقطة أخذ العينة أي نقطة بداية النبضة (أنظر الشكل ١- ٥).

إنشاء العينات يتم هنا بواسطة دائرة كهربائية لأخذ العينة والمحافظة عليها خلال مدة النبضة (sample and hold circuit). (أنظر الشكل ١- 7).

أطياف الإشارات الموجودة في العمود ١	الإشارة التماثلية وسلسلة النبضات الأحادية وأخذ العينات
 $P(f) = \frac{\tau}{T} \sum Sa(\pi f \tau) \delta(f - nfs)$  $a_0 V(f) + \sum a_n V(f)$ $V_s(f) = \frac{\tau}{T} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} Sa\left(\frac{n\pi\tau}{T}\right) V(f - nfs)$ $= a_0 V(f) + \sum_{n=-\infty}^{+\infty} a_n V(f - nfs)$ 	  

الشكل ١ - 6: مثال لأخذ العينات بطريقة طبيعية

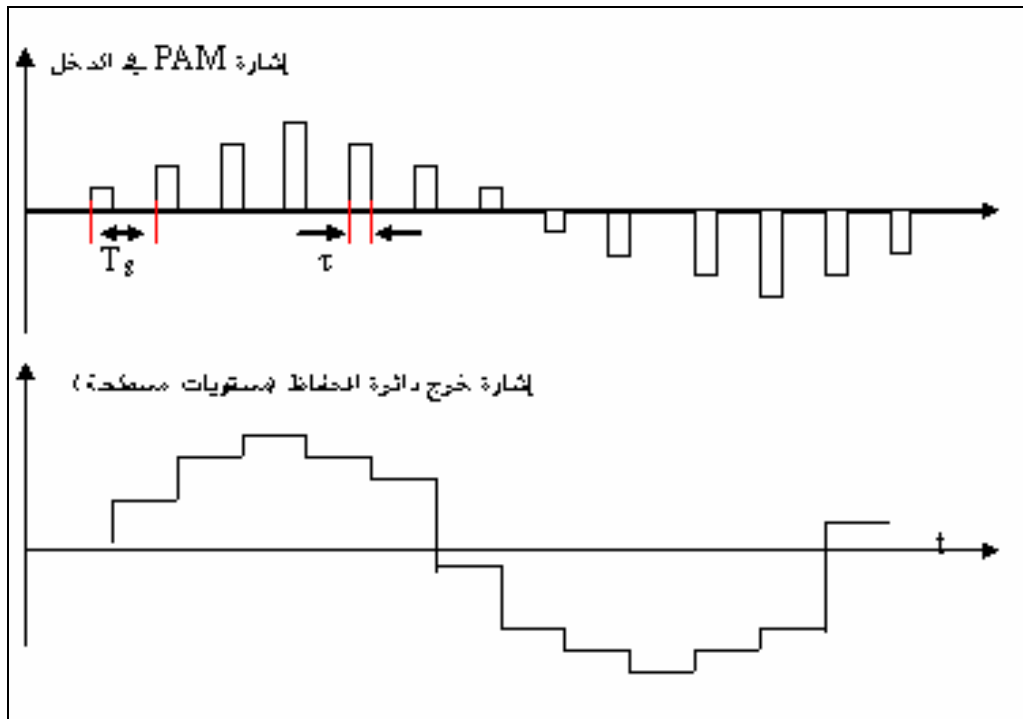


الشكل ١ - 7: معدات أخذ العينات بطريقة المستويات المسطحة

مبدأ العمل:

- (١) يعمل الترانزستور (FET) كمفتاح لأخذ العينات
- (٢) عندما يفتح يشحن المكثف بسرعة
- (٣) عندما يغلق، لا يفقد المكثف شحنته إلا بعد قراءتها.
- (٤) في الشكل يلعب الترانزستور (FET) دور الأخذ (sample) بينما يقوم المكثف C بدور الحفاظ (hold).

تأخذ الموجة شكلاً ذا مستويات مسطحة كما نرى في الشكل ١ - ٧. ترى في الشكل سلسلة النبضات المستطيلة الدورية المستعملة والإشارة التي نحصل عليها عندما نستعمل طريقة المستويات المسطحة.



الشكل ١ - 8: مثال لأخذ العينات بطريقة المستويات المسطحة

١ - ٤ عرض النطاق في تضمين سعة النبضات

(١) يحتوي طيف الإشارة في تضمين سعة النبضات PAM على طيف النطاق الأساسي (base band) وتكرارات لهذا الطيف مركزة في ترددات تساوي أضعاف تردد أخذ العينات f_s . (انظر الشكل ١ - ٤)

(٢) تضعف سعة التكرارات بازدياد التردد نظرا لوجود الضارب $\text{sinc}(x) = \frac{\sin x}{x}$ الذي يصغر كلما كبر x . لذلك يجب نقل عدد كاف من هذه التكرارات فقط للمحافظة على جودة الإشارة،

(٣) قيمة تقريبية جيدة لعرض النطاق اللازم للحفاظ على الجودة هي:

$$B_T = \frac{K1}{\tau} \quad (١ - ٩)$$

حيث هو عرض النبضة

الضارب $K1$ هي ثابتة تحدد باعتبار الفراغات بين النبضات وحدة تردد القطع (cut off frequency $f_{\text{cut off}}$).

استعمالات تضمين سعة النبضات PAM:

▪ الجزء الأول من تضمين شفرة النبضات PCM

▪ في التجميع بالتقسيم الزمني TDM

مسألة ١ - ١

لتكن $V(t)$ إشارة تماثلية وطيف سعتها كما نرى في الشكل أسفله ولنفرض تردد أخذ عينات $f_s = 5\text{KHz}$ ، وعرض كل عينة $\tau = 40\mu\text{s}$.

(أ) ارسم طيف إشارة العينات (من إلى أول مرور لسلسلة النبضات بنقطة الصفر)

(ب) احسب عرض نطاق النقل بالنسبة لـ $K_1 = 0.5$ و $K_1 = 1.0$.

(ت) عدد كل الترددات أقل من 25 KHz في الطيف.

مسألة ١ - ٢

لتكن $V(t)$ إشارة تماثلية تمتد تردداتها من ٠ إلى 8KHz . حدد

(أ) احسب التردد النظري الأدنى لأخذ العينات

(ب) احسب المسافة القصوى بين عينتين متتاليتين

مسألة ١ - ٣

حدد بالنسبة للإشارة $V(t)$ المعطاة في المسألة السابقة ١ - ١ أقل تردد لأخذ العينات في حال كان عرض الشريط الاحتياطي يساوي 6KHz .

(ملحوظة: شريط الاحتياط هو الفارق بين أعلى تردد في النطاق الأساسي وأدنى تردد في المكون الطيفي الذي يليه مباشرة).

مسألة ١ - ٤

لنفرض إشارة $V(t)$ تمتد على مدى ساعة واحدة، بينما يمتد طيفها من dc إلى 4 kHz. يتم أخذ عينات هذه الإشارة ثم تحويل العينات إلى أرقام وتخزينها في الذاكرة. يختار تردد أخذ عينات يفوق التردد النظري الأدنى ب ٥٠٪.

(أ) حدد أصغر عدد ممكن للعينات في هذه الحالة

(ب) حدد المسافة الزمنية بين عينتين متتاليتين

مسألة ١ - ٥

يعمل نظام معالجة إشارات رقمية بتردد قدره ١٠٠٠٠ عينة في الثانية (10000 Hz). حدد أكبر تردد ممكن في الإشارة التماثلية، إذا كان شريط الاحتياط (الفارق بين أعلى تردد في النطاق الأساسي وأدنى تردد في المكون الطيفي الذي يليه مباشرة guard band) يساوي 4KHz.

مسألة ١ - ٦

لنفرض أن $f_s = 9\text{KHz}$ ، أحسب f_m ، علماً بأن $f_s - f_m$ تكبر f_m ب ٢٥٪.

مسألة ١ - ٧

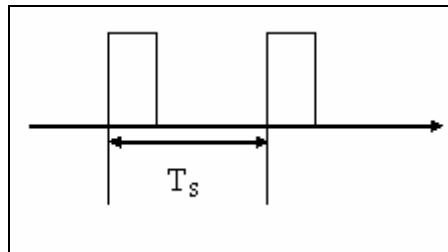
يتم أخذ عينات إشارة جيبيية ذات تردد أقصى قدره 500 Hz وذلك بمسافة أخذ عينات قدرها 0.25ms. احسب كل الترددات التي لا تفوق 18KHz في إشارة العينات.

مسألة ١ - ٨

تتكون إشارة تماثلية من إشارتين جيبيتين بترددين قدرهما 1 KHz و 2 KHz. يتم أخذ عيناتها بمسافة قدرها 0.1ms ثم تحويلها إلى رقمية بغية معالجتها بالحاسب الآلي. عدد كل الترددات الموجبة الأقل من 35KHz.

١ - ٥ تجميع الإشارات المضمنة بسعة النبضات بواسطة التقسيم الزمني (TDM of PAM signals)

التجميع بواسطة التقسيم الزمني: إشارات متعددة ترسل في مجموعة واحدة خلال دورة أخذ العينات التي تتقاسم فيها الإشارات حيزات زمنية متساوية. ترسل المجموعة كاملة على نفس التردد. يتم خلال الدورة أخذ عينة واحدة من كل إشارة وذلك بصفة تسلسلية (sequentially).
تجميع الإشارات المضمنة بسعة النبضات بواسطة التقسيم الزمني : يوجد بين العينتين المتتاليتين من كل إشارة مضمنة بسعة النبضات فراغ كالآتي.



الشكل ١ - ٩: دورة أخذ العينات

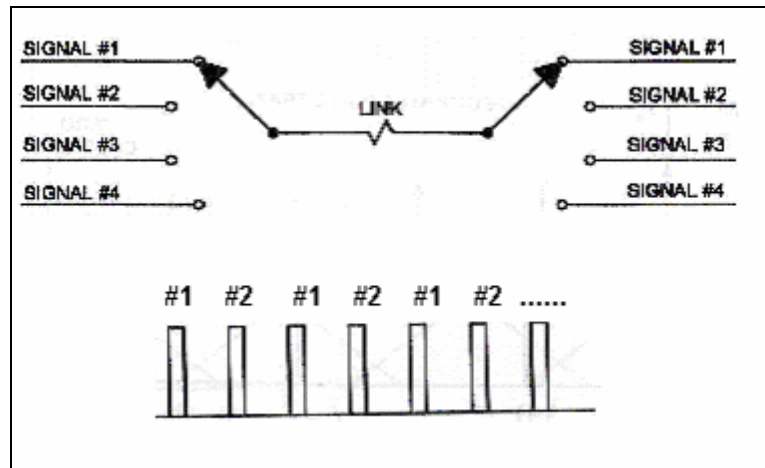
المبدأ:

- (١) تجمع عينات من إشارات مختلفة (عينة واحدة من كل إشارة!) في إطار طوله T_s ، يقسم إلى حيزات زمنية عددها يساوي عدد الإشارات، تحتل كل عينة حيزا ثابتا خلال عملية الإرسال.
- (٢) يشمل الإطار الأول العينات الأولى أي العينة الأولى من كل إشارة،
- (٣) يشمل الإطار الثاني العينات الثانية أي العينة الثانية من كل إشارة، وهكذا دواليك
- (٤) ترسل الأطارات على التوالي (تسلسليا)،
- (٥) لكي نحافظ على التسلسل الزمني الصحيح، ترسل إشارات تزامن في أول أو آخر كل إطار.

١- ٥- ١ أصناف التجميع بالتقسيم الزمني:

(أ) التجميع بالتقسيم الزمني لإشارات لها نفس تردد أخذ العينات:

(١) التجميع بالتقسيم الزمني لإشارتين فقط

يعطي الشكل التالي ١- ٩ مثالا بسيطا للتجميع بالتقسيم الزمني لإشارتين فقط هما $V_1(t)$ و $V_2(t)$.

الشكل ١- ١٠: تجميع إشارتين بطريقة التقسيم الزمني

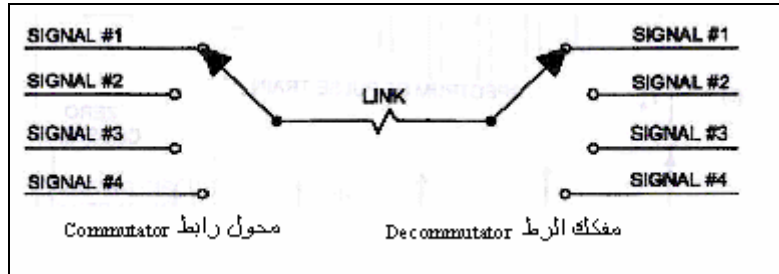
- يتردد المفتاحان بين الوضعيتين ١ و ٢ حيث تؤخذ عينة واحدة فقط من كل من الإشارتين في الدورة الواحدة،
- يعني ذلك إرسال عينتين على قناة الإرسال خلال كل دورة (T_s) . يعني ذلك أن نسق مرور البيانات في قناة الإرسال هو ضعف نسق تدفق البيانات على قنوات الدخل.

(٢) التجميع بالتقسيم الزمني لإشارات متعددة

يعطي الشكل التالي مثالا للتجميع بالتقسيم الزمني لإشارات متعددة هما signal

#1 إلى و signal #4. (نكتفي بأربع إشارات للتبسيط!)

- نحتاج هنا إلى محول رابط (commutator) في الدخل ومفكك الربط (decommutator) في الخرج.
- تتم هذه العملية آليا في المعدات العصرية، لكننا نفضل هنا أن نعطي مثالا للتوضيح باستعمال الوسائل الميكانيكية القديمة، كما يبين ذلك الشكل ١- 11 الموالي.



الشكل ١-١١: تجميع أكثر من إشارتين بطريقة التقسيم الزمني وباستعمال جامع ومفكك

(٣) يقوم المحول الرابط في الدخل بأخذ العينات تسلسليا خلال دورة واحدة باحترام مبرهنة أخذ العينات (sampling theorem) أي بتردد لا يقل عن تردد نايكوست الذي يعادل $(f_N = 2f_m)$.

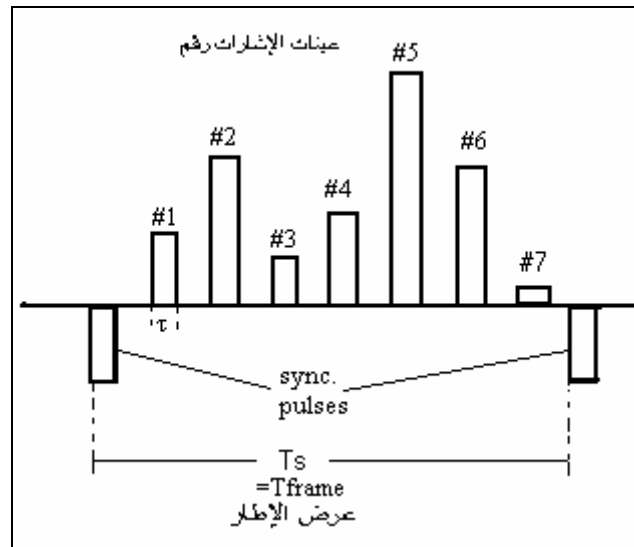
(٤) هنالك تزامن بين المحول الرابط في الدخل والمفكك في الخرج حيث يقوم الأخير بإيصال كل إشارة إلى وجهتها الصحيحة

(٥) يعطي الشكل ١-١١ مثالا لإشارة مركبة من ٧ إشارات مجمعة من ٧ خطوط مختلفة تكون إطارا واحدا

المدة الزمنية الفاصلة بين عينتين متتاليتين في الإطار هي $\tau = T_s/7$ وذلك لتفادي التداخل. تستعمل هنا طريقة المستويات المسطحة في أخذ العينات.

يشمل الإطار كما رأينا سابقا العينات السبع ونبضات تزامن لضمان النقل الصحيح.

(٦) يتم التزامن بطرق مختلفة. الطريقة المستعملة هنا تتم بزيادة سعة النبضات لجعلها موجبة كلها ثم إدخال نبضات سالبة تمثل نبضات التزامن كما نرى في الشكل التالي ١-١٢.



الشكل ١ - ١٢: تجميع ٧ عينات و نبضة تزامن في إطار واحد

أدنى عرض نطاق بالنسبة لتجميع تضمين سعة النبضات بالتقسيم الزمني

(١) لكي نرسل عددا كبيرا من القنوات، يكون الحيز الزمني المخصص لكل عينة صغيرا

نسبيا مقارنة مع عرض الإطار أي إن الكسر $\frac{\tau}{T_{frame}}$ يكون أقل بكثير من ١.

(١) عرض النطاق في الحالة المثلى

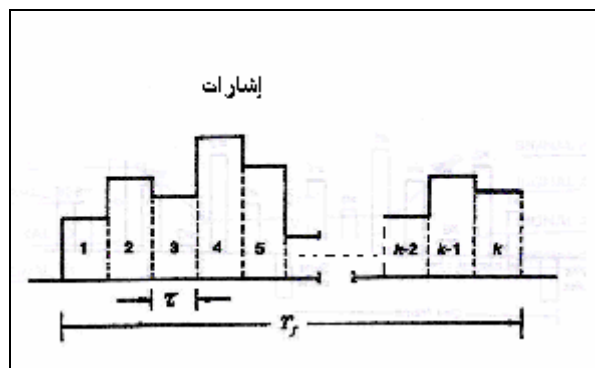
$$f_s = f_N = 2f_m$$

• لا توجد فراغات بين العينات

• لا توجد نبضات تزامن

• عرض نطاق الإشارة الواحدة هو $B = \frac{0.5}{\tau}$ وبذلك يكون عدد العينات N في

الإطار الواحد هو: $k = \frac{T_s}{\tau}$



الشكل ١ - ١٣: عدد العينات k في الإطار الواحد.

حساب العرض:

- (أ) لو فرضنا k إشارة تماثلية، وأن عرض نطاق كل واحدة منها هو f_m وأن هذه الإشارات يجب أن تؤخذ منها عينات وأن تجمعها بطريقة التقسيم الزمني لترسل على نظام نقل ما.
- (ب) نحصل في هذه الحالة على القيم التالية:

$$(١٠-١) \quad f_s = 2f_m, \quad T_s = \frac{1}{2f_m}, \quad T_{\text{frame}} = \frac{1}{2f_m}$$

- (ت) يحتوي كل إطار على k عينات وبذلك يكون عرض الحيز الزمني المخصص لكل عينة هو

$$(١١-١) \quad \tau = \frac{T_{\text{frame}}}{k}$$

- (ث) أما أدنى تردد فهو

$$(١٢-١) \quad B = \frac{0.5}{\tau} = \frac{0.5}{\frac{T_{\text{frame}}}{k}} = \frac{0.5}{T_s/k} = \frac{0.5k}{T_s}$$

$$= \frac{0.5k}{1/2f_m} = 0.5 k (2f_m) = k \times f_m$$

$$B_T = k f_m \quad \text{for the ration } B = \frac{1}{\tau}$$

$$(١٣-١) \quad B_T = 2k f_m.$$

وهكذا فإن عرض النطاق بالنسبة للإطار الواحد (أي عند النقل) = عرض نطاق الإشارة الواحدة \times عدد الإشارات المنقولة.

ملحوظات:

- كلما ازداد عدد القنوات، ازداد عرض النطاق اللازم لنقلها،
 - إذا أخذنا بعين الاعتبار الفراغات ونبضات التزامن، يصبح لدينا:
- في حالة $f_s = 2f_m$

$$BT = L \times f_m \quad (١٤ - ١)$$

حيث

$$L = \text{number of spaces} + \text{sync} + \text{data pulses}$$

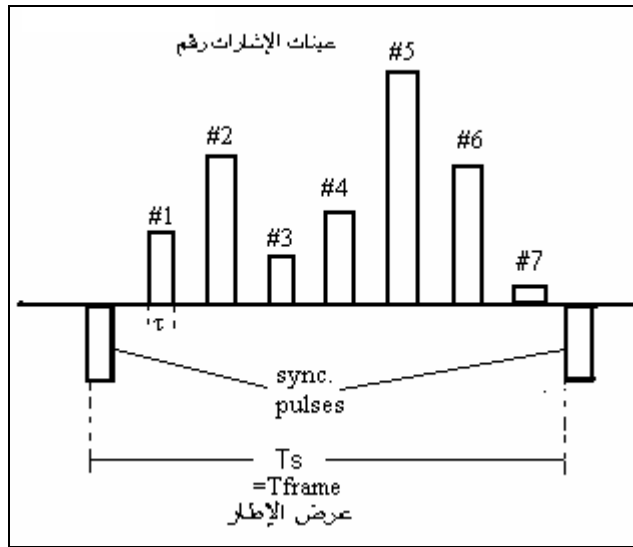
أما في حالة $f_s > 2f_m$ فلدينا

$$BT = L \times \frac{F_s}{2} \quad (١٥ - ١)$$

المسألة ١ - ٩ :

لنتأمل تجميع ٧ إشارات من صنف PAM بواسطة التقسيم الزمني وكل من هذه الإشارات تملك عرض نطاق $BW = 1 \text{ kHz}$ ، حدد عرض النطاق الأدنى.

المسألة ١ - ١٠: لنتأمل تجميع ٧ إشارات من صنف PAM بواسطة التقسيم الزمني حسب الطريقة التي نراها في الشكل ١ - ١٢ أسفله، حدد عرض النطاق الأدنى:



الشكل ١ - ١٤ تجميع ٧ إشارات ونبضة تزامن بالتقسيم الزمني

لنفرض أن $F_s = 1.25 \text{ fN}$

(أ) حدد عرض النطاق المطلوب بالنسبة للإشارة المجمعة

(ب) لنفرض أن الإشارة المركبة تضمن لحامل عالي التردد، حدد عرض النطاق المطلوب بالنسبة للإشارة العالية التردد.

(ب) التجميع بالتقسيم الزمني لإشارات لها ترددات مختلفة لأخذ العينات :

(Multiplexing of dissimilar channels)

توجد طريقتان للتجميع بواسطة التقسيم الزمني في حال إشارات تجميع إشارات ذات ترددات متباينة. وهما التجميع غير المتزامن والتجميع باستعمال التبديل الأدنى والأقصى (sub and super commutation).

(١) الأخذ غير المتزامن للعينات

- أخذ العينات من كل الإشارات بتردد يعادل أو يفوق تردد نايكوست بالنسبة للإشارة ذات أكبر عرض نطاق
- تستعمل ذاكرة لأخذ العينات ثم توزيعها بمعدل معين ثابت (fixed rate)
- هذه الطريقة لا تصلح في وجود فرق كبير في عرض النطاق بين الإشارات

(٢) طريقة استعمال التبديل الأدنى والأقصى

- تفترض هذه الطريقة أن تكون كل الترددات أضعافاً لتردد معين
- يتم في بعض الحالات أخذ العينات بتردد أعلى من اللازم حتى نلبي الشرط أعلاه. فلو كان هناك مثلاً إشارتان بترددين هما 8 kHz و 15.5 kHz ، فإننا نأخذ 16 kHz.

مفهوم التبديل الأدنى والأقصى:

يمكن تفسير التبديل الأدنى والأقصى بواسطة المثال التالي:

لنفرض أننا نريد أخذ العينات من الإشارات التالية

- قناة واحدة بمعدل 80 kHz

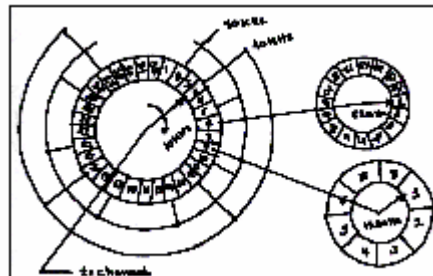
- قناة واحدة بمعدل 40 kHz

- ١٨ قناة بمعدل 10 kHz

- ٨ قنوات بمعدل 1250 Hz

- ١٦ قناة بمعدل 625 Hz

ويتم استعمال عجيلة بدال متكونة من ١٦ حيزاً كما يبين الشكل ١ - ١٤.



الشكل ١ - ١٥: عجيلة البدال ذات ال ٣٢ حيزاً

كيف ننفذ طريقة أخذ العينات بنسب مرتفعة تارة ومنخفضة أخرى؟
تنفيذ الطريقة:

- أ) تمثل كل نسب أخذ العينات أضعافاً لـ ٦٢٥ هرتز. وهذا يتفق مع شرط اختلاف الترددات
 - ب) لنفرض أن النسبة الأساسية لدوران عجلة المبدل هي ١٠٠٠٠ دورة في الثانية
 - ت) القنوات ذات الترددات العالية تؤخذ عيناتها بتردد مشترك عال، يعني ذلك
 - تأخذ كل من الـ ١٨ إشارة بتردد 10 kHz حيزاً واحداً على العجلة، أي أنها ستأخذ من كل إشارة منها عينة واحدة في كل دورة
 - تأخذ الإشارة بتردد 40 kHz ٤ حيزات على العجلة، أي أنها ستأخذ منها أربع عينات في كل دورة
 - تأخذ الإشارة بتردد 40 kHz ٤ حيزات على العجلة، أي أنها ستأخذ منها أربع عينات في كل دورة
 - تأخذ الإشارة بتردد 80 kHz 8 حيزات على العجلة، أي أنها ستأخذ منها ثمان عينات في كل دورة
 - تأخذ الإشارة بتردد 40 kHz ٤ حيزات على العجلة، أي أنها ستأخذ منها أربع عينات في كل دورة
- أما القنوات ذات الترددات التي تقل عن 10 kHz فتؤخذ عيناتها فقط عند دورات معينة، يعني ذلك مثلاً
- تؤخذ عينة واحدة من الإشارة ذات تردد 1250 Hz كل ثمان دورات،
 - تؤخذ عينة واحدة من الإشارة ذات تردد 625 Hz كل 16 دورة.

تتطلب هذه الطريقة أن يبدل بين القنوات ذات تردد 1250 Hz بواسطة عجلة تدور بسرعة ١٢٥٠ دورة في الثانية، حيث يتم ربط قناة واحدة بالعجلة الرئيسة كل 0.1 ms. بينما يبدل بين القنوات ذات تردد 625 Hz بواسطة عجلة تدور بسرعة 625 دورة في الثانية، حيث يتم ربط قناة واحدة بالعجلة الرئيسة كل 0.2 ms.

١- ٦ التضمين التماثلي للنبضات

(Pulse Analog Modulation)

١- ٦- ١: تمهيد

التضمين التماثلي للنبضات: تستعمل سلسلة نبضات مترددة كموجة حاملة ويتم تغيير خاصيات النبضات وهي السعة (amplitude) والمدة أو العرض (duration or width) و المكان (position) حسب قيمة العينات.

• تضمين سعة النبضات (Pulse Amplitude Modulation: PAM)

يكون هنا ارتفاع النبضة (سعة الموجة الحاملة في النقطة الزمنية المحددة) تتناسبيا لسعة الإشارة

المضمنة $S_{Ts}(t)$ في النقطة الزمنية ذاتها. نحصل بذلك على

$$\text{Pulse height} = V \propto V_s$$

حيث هي سعة العينة في النقطة الزمنية t

و $V \propto$ هو عامل تناسب السعة.

• تضمين عرض النبضات (Pulse Width Modulation: PWM)

يكون هنا عرض النبضة (مدة الموجة الحامل في النقطة الزمنية المحددة) تتناسبيا لسعة الإشارة

المضمنة $S_{Ts}(t)$ في النقطة الزمنية ذاتها. نحصل بذلك على

$$\text{Pulse width} = \tau \propto V_s$$

حيث V_s هي سعة العينة في النقطة الزمنية t

و $\tau \propto$ هو عامل تناسب المدة.

• تضمين مكان النبضات (Pulse Position Modulation: PPM)

يكون هنا موقع النبضة في الدورة (تأخيرها عن نقطة بداية الدورة أي بداية نبضة الموجة

الحاملة في النقطة الزمنية المحددة) تتناسبيا لسعة الإشارة المضمنة $S_{Ts}(t)$ في النقطة الزمنية

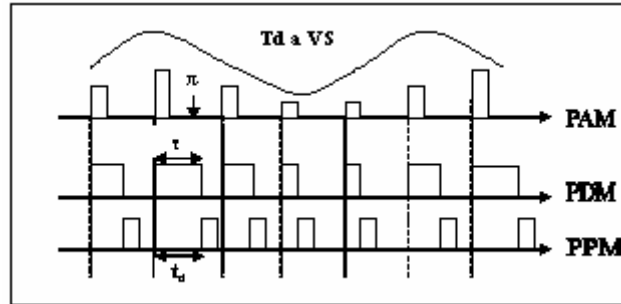
ذاتها. نحصل بذلك على

$$\text{Pulse position} = t_d \propto V_s$$

حيث V_s هي سعة العينة في النقطة الزمنية t

و t_d هو عامل تناسب الموقع.

يظهر الشكل ١- ١٦ الأصناف الثلاثة لتضمين النبضات التماثلي.



الشكل ١ - ١٧ الأصناف الثلاثة لتضمين النبضات التماثلي.

• مزايا تضمين النبضات وعيوبه:

(أ) المزايا:

- يتم الإرسال بتردد منخفض وذلك مناسب للمعدات كمعدات الميكروويف والليزر مثلاً
- يمكن ملء الفراغات بين عينات الإشارة الواحدة بعينات من إشارات أخرى وهو ما يتمشى مع متطلبات التجميع الزمني الذي سندرسه لاحقاً في هذا المساق

(ب) العيوب:

- يتطلب عرض نطاق عالي يمكن أن نستغله بإرسال مزيد من الإشارات.

١ - ٦ - ٢ أصناف تضمين النبضات

(أ) تضمين سعة النبضات (Pulse Amplitude Modulation: PAM)

يكون هنا ارتفاع النبضة (سعة الموجة الحاملة في النقطة الزمنية المحددة) تتناسباً لسعة الإشارة المضمنة $S_{Ts}(t)$ في النقطة الزمنية ذاتها.

- كلما كانت العينة مرتفعة، كلما كانت سعة النبضة أكبر

(أ) تضمين عرض النبضات

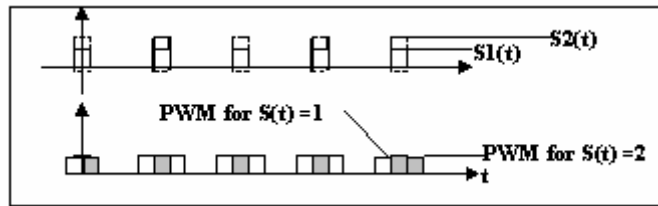
(Pulse Width Modulation: PWM)

أو (Pulse Duration Modulation: PDM)

يكون هنا عرض النبضة (مدتها) تتناسباً لسعة الإشارة المضمنة $S_{Ts}(t)$ في النقطة الزمنية ذاتها.

- كلما كانت العينة مرتفعة، كلما كانت مدة النبضة أطول،
- بما أن عرض النبضة غير ثابت، فإن طاقة الموجة غير ثابتة كذلك، فكلما كانت العينات مرتفعة كلما زادت الطاقة
- تضمين عرض النبضات تضمين لا خطي.

يظهر الشكل ١ - ١٨ هذا التضمين.



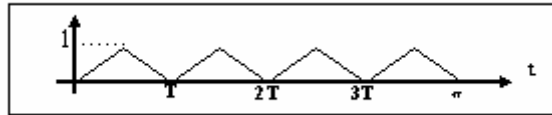
الشكل ١ - ١٨ تضمين عرض النبضات.

وصف تضمين عرض النبضات:

(١) إذا كانت الإشارة المضمنة ثابتة، أي $S_{Ts}(t)=1$ مثلاً، يكون عرض سلسلة النبضات ثابتاً كذلك

(٢) لو كان $S_{Ts}(t)=2$ ، تكون نبضات السلسلة متساوية لكنها أعرض من النبضات التي نحصل عليها في حالة $S_{Ts}(t)=1$ ،

(٣) يمكن التحويل بين تضمين عرض النبضات و تضمين سعة النبضات لأن بينهما علاقة. يتم التحويل مثلاً باستعمال إشارة المنشار التي نراها في الشكل ١ - ١٩ أسفله



الشكل ١ - ١٩ إشارة المنشار للتحويل بين تضمين عرض النبضات و تضمين سعة النبضات

لاحظ: تضمين عرض النبضات هو أقل تأثراً بالضجيج من تضمين سعة النبضات، لكن الطاقة تتغير بتغير سعة العينات وهو ما ينقص من فعالية هذا التضمين.

(ب) تضمين موقع النبضات

(Pulse Position Modulation: PPM)

يكون هنا موقع النبضة (مدتها) تناسبيا لسعة الإشارة المضمنة $S_T(t)$ في النقطة الزمنية ذاتها.

- كلما كانت العينة مرتفعة ، كلما وقع تأخير موقع النبضة عن بداية الدورة
- يتمتع تضمين موقع النبضات بإيجابيات تضمين عرض النبضات ألا وهي الصلابة ضد الضجيج دون أخذ سلبية وهي تغير الطاقة بتغير سعة العينات
- هناك علاقة بين تضمين موقع النبضات و تضمين عرض النبضات تتمثل في أن تغير موقع النبضة في الأول يعني تغير عرض النبضة في الثاني حيث إن موقع النبضة في الأول هو تماما موقع الحافة اليمنى (الأخيرة) للنبضة في الثاني.
- يمكن استعمال ما سلف في التحويل من تضمين عرض النبضات إلى تضمين موقع النبضات كما يلي:

- يتم أولا استخراج الحواف اليمنى من تضمين عرض النبضات
- يتم بعد ذلك وضع نبضات متساوية في الأماكن التي استخرجناها.

إنشاء تضمين عرض النبضات و تضمين موقع النبضات من تضمين سعة النبضات :

يعطي الشكل ١ - ٢٠ الدائرة المستعملة في الإنشاء. أما الشكل ١ - ٢١ فيعطي الإشارات الحاصل عليها في كل مرحلة من مراحل الإنشاء. والمراحل هي:

١. إنشاء إشارة PAM باستعمال دائرة أخذ العينات وهو ما يعطينا $S_1(t)$

٢. يتم تحديد التزامن بالنسبة لمولد المنصة (ramp generator) وتكون الإشارة هنا هي $S_2(t)$

٣. تجمع $S_1(t)$ مع $S_2(t)$ للحصول على $S_3(t)$ أي

$$S_3(t) = S_2(t) + S_1(t)$$

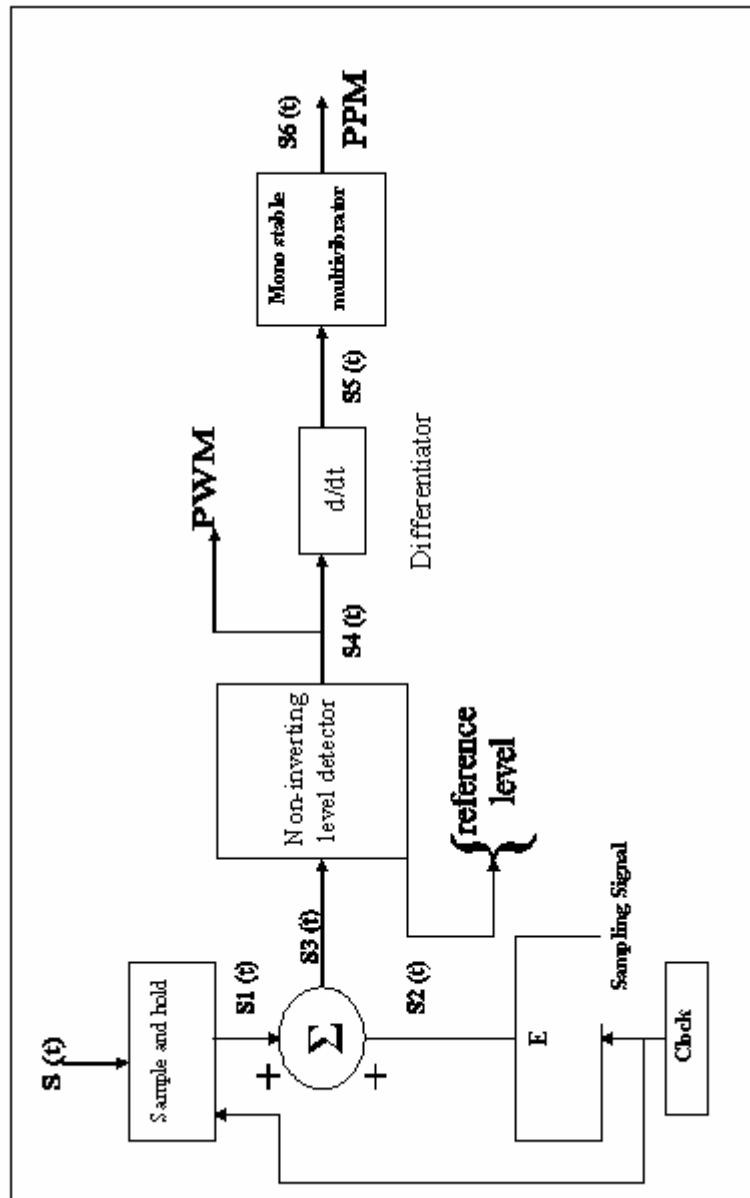
٤. الأماكن التي يكون فيها $S_3(t)$ موجبا تمثل فترات عرضها تناسبي لقيمة العينة الأصلية

٥. تطبيق دالة سن المنشار (saw tooth) على المقارن (comparator) الذي يعطي جهدا V_{cc} عاليا في

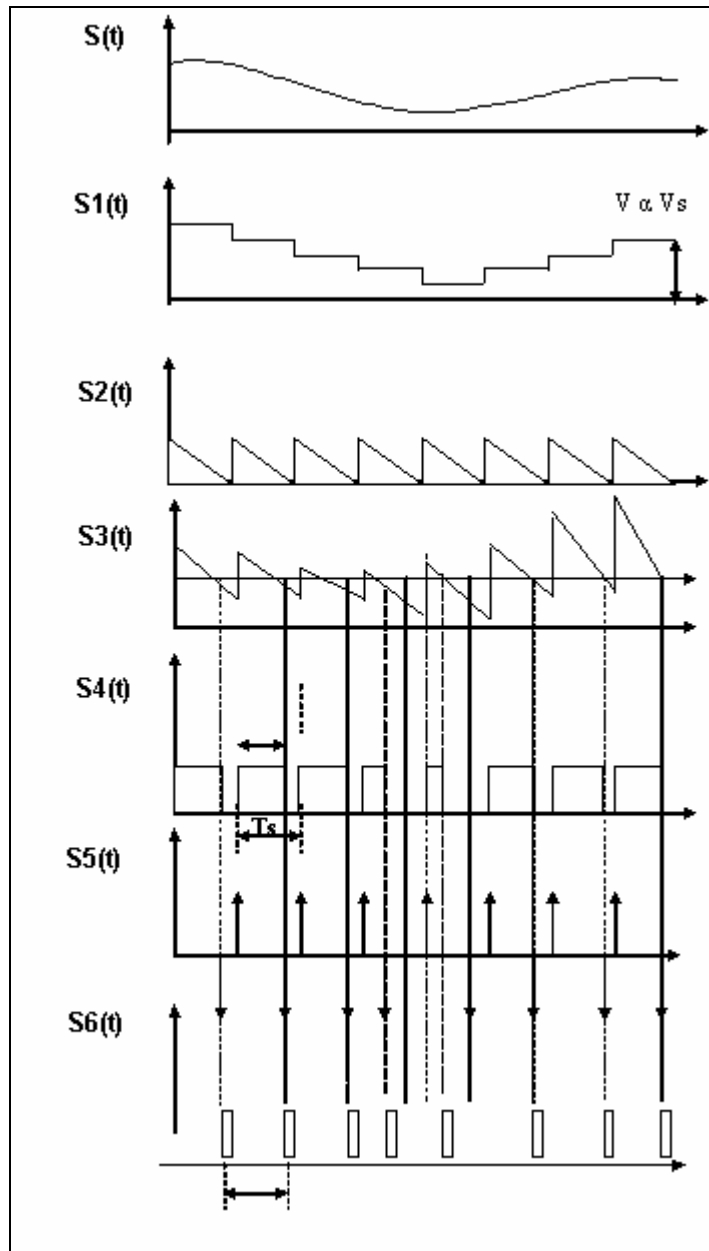
حال $S_3(t) > V_{ref}$ و ٠ عند الحال المغاير لذلك يعطي الموجة التي تمثل إشارة PWM $S_4(t)$.

٦. ندخل إشارة على مفاضل (differentiator) ونستعمل الحواف اليمنى الحاصل عليها ($S_5(t)$) فنحصل

على إشارة PPM $S_6(t)$.



الشكل ١- ٢٠ الدائرة المستعملة في الإنشاء.



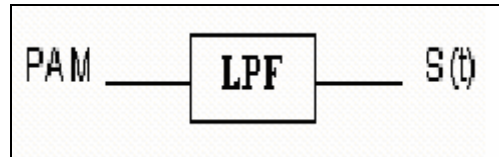
الشكل ١ - ٢١ الإشارات التي نحصل عليها في كل مرحلة من مراحل الإنشاء.

١ - ٧ استخلاص تضمين سعة النبضات وتضمين عرض النبضات وتضمين موقع النبضات

(Demodulation of PAM and PWM and PPM)

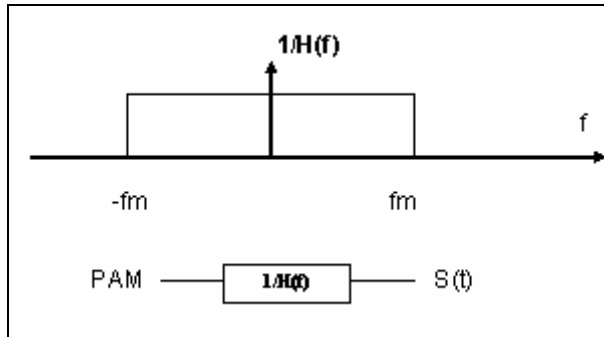
١ - ٧ - ١ استخلاص تضمين سعة النبضات:

(١) في حال كان أخذ العينات طبيعياً، يستخلص التضمين بواسطة مرشح إمرار منخفض (LPF)،



الشكل ١ - ٢٢ استخلاص الإشارة التماثلية من إشارة PAM باستعمال مرشح إمرار منخفض.

(٢) في حال كان أخذ العينات بشكل نقطي (instantaneous)، يستخلص التضمين بواسطة مرشح له خاصية تحويل ذات شكل (shaped transfer characteristics) يعرف باسم المسوّي (equalizer)،



الشكل ١ - ٢٣ استخلاص الإشارة التماثلية من إشارة PAM باستعمال مرشح إمرار منخفض.

(٣) استخلاص تضمين عرض النبضات و تضمين موقع النبضات

(أ) نحول أولاً الإشارة المستقبلية إلى إشارة PAM ثم نستعمل مستقبل PAM .

١ - ٧ - ٢ تحويل تضمين عرض النبضات إلى تضمين سعة النبضات

تحويل تضمين عرض النبضات PWM إلى PAM يتم بواسطة دائرة تكميل (integrator)

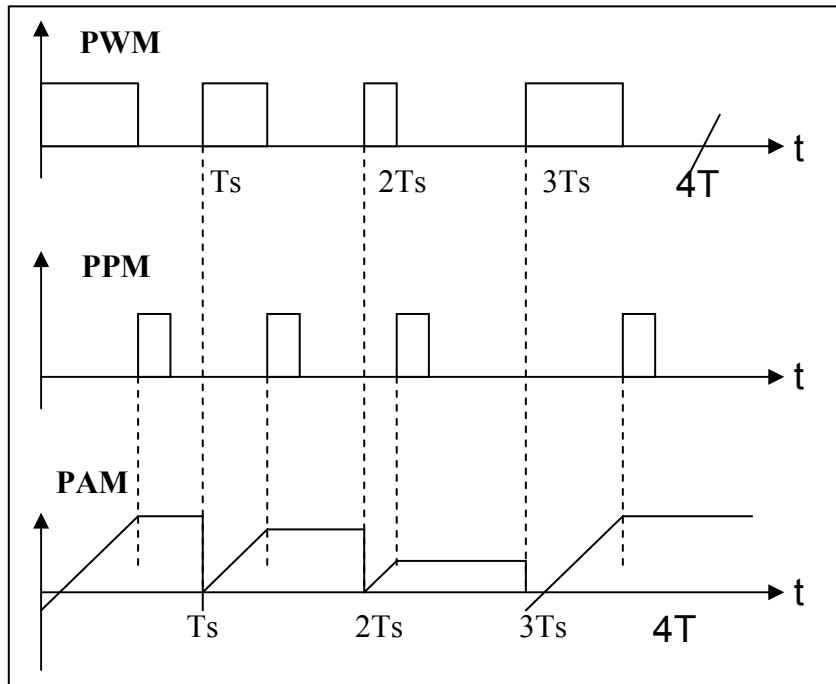
• نبدأ التكميل (integration) في نقطة أخذ العينات (sample point) ونقوم بتكملة

النبضة المستقبلية. بما أن سعة النبضة ثابتة، فإن التكملة متناسبة مع عرض النبضة،

- يتم أخذ العينة من خرج المكمل قبل المرور إلى دورة أخذ العينة الموالية وتنشئ العينات شكل الموجة،
- يبين الشكل ١- ٢٣ كيف تتم العملية. هناك ملاحظتان هامتان بالنسبة لهذا الشكل:
- أ) نستعمل هنا تضمين عرض النبضات الذي يضع الحافة اليسرى للنبضة في موقع العينة
- ب) تتم إزاحة إشارة PAM بدورة واحدة.

١- ٧- ٣ تحويل تضمين موقع النبضات إلى تضمين سعة النبضات

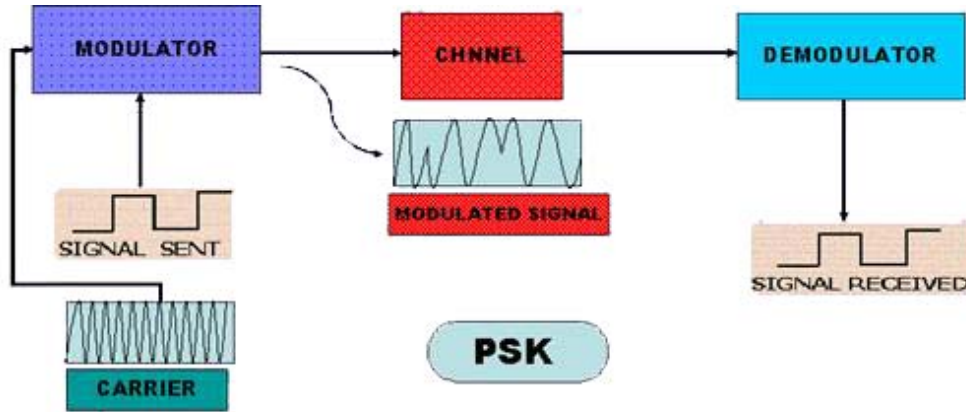
- نبدأ التكميل في كل نقطة أخذ عينة ونجعل المكمل يكمل قيمة ثابتة
- تقف التكملة عند قدوم النبضة المولية
- بما أن النبضة في إشارة PPM تقع في الحافة اليمنى لنبضة PWM، فإنه لا يوجد فارق يذكر بين هذا التحويل والتحويل من PWM إلى PAM.
- نرى طريقة التحويل في الشكل ١- ٢٤



الشكل ١- ٢٤ التحويل من إشارتي PWM و PPM إلى إشارة PAM.

أساسيات الاتصالات الرقمية

التضمين الرقمي



الوحدة الثانية: التضمين الرقمي

Digital modulation

الجدارة: التعرف على طرق التضمين الرقمي للإشارات الرقمية التي تحصل لنا التحويل التماثلي الرقمي (الذي استعرضناه في الوحدة الأولى). نتناول في هذه الوحدة التضمين الرقمي للنبضات. نستعرض أصنافه الثلاثة الهامة وهي تضمين الشفرة وتضمين السعة وتضمين الموقع فنعطي خصائص كل منها ونقارن بينها. نعطي أخيراً طرق التحويل بينها. نستعرض في الوحدة أيضاً طرق تشفير النبضات المختلفة لضمان نقل الإشارة الرقمية بطرق ذات جدوى وصلابة عند حدوث ضجيج خلال النقل.

الأهداف: أن يصل المتدرب إلى إتقان الجدارة بنسبة ٩٠٪.

الوقت المتوقع: ١٥ ساعة

الوسائل المساعدة: معمل أساسيات الاتصالات الرقمية

متطلبات الجدارة: أن يكون المتدرب قد اجتاز مقرر الدوائر الكهربائية ودرس الوحدة الأولى من هذه الحقيبة.

٢-١ تضمين شفرة النبضات والتزامن

التضمين الرقمي: هي عملية تحويل الإشارة التماثلية إلى إشارة رقمية (ثنائية) باستعمال طريقة أخذ العينات ثم التكمية فالتشفير. يعطي التشفير أعدادا ثنائية ذات طول ثابت ولكل واحد من هذه الأعداد قيمة تساوي قيمة العينة التي تمثلها الشفرة.

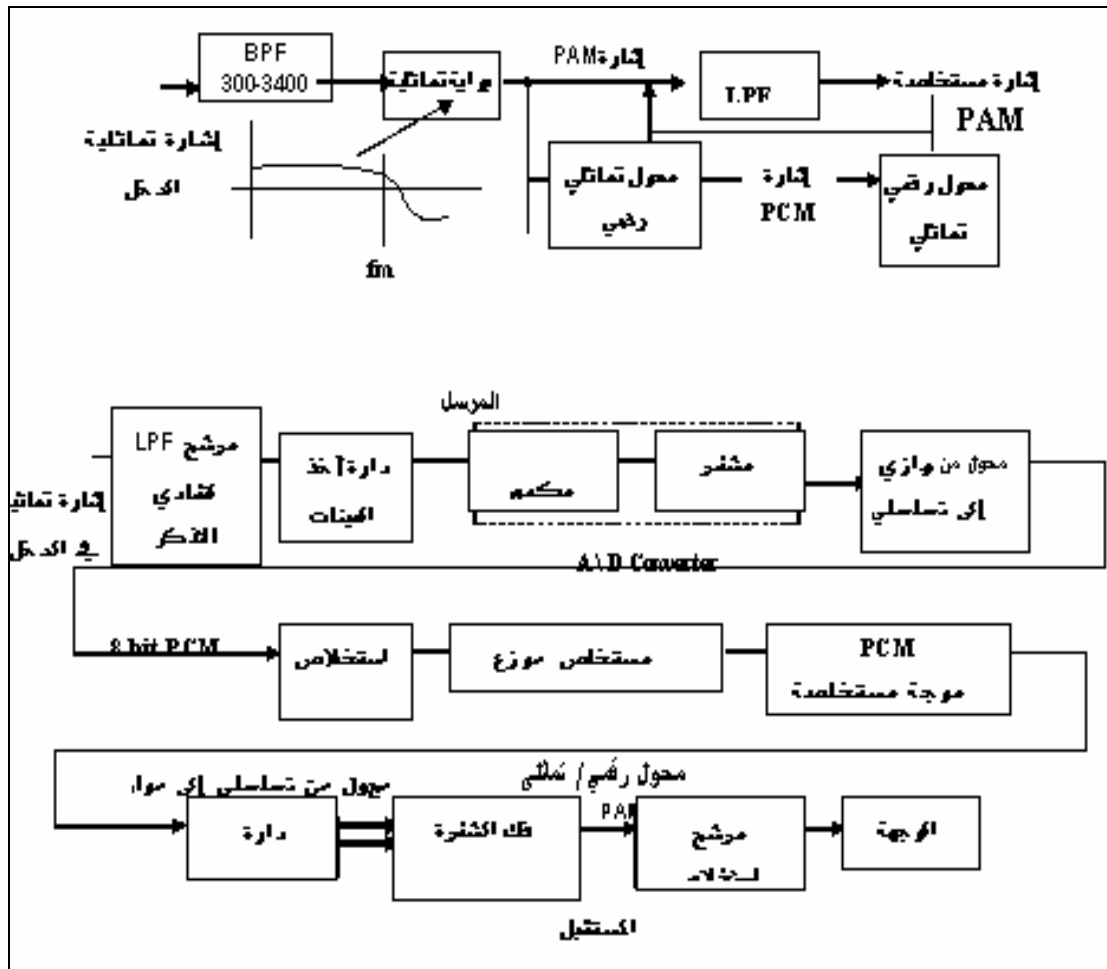
يعطي الشكل ٢ - ١ سلسلة المعدات الأساسية المستعملة في تضمين شفرة النبضات.

٢-١-١ الترقيم - لماذا؟

الإيجابيات:

١. يمكن الترقيم من استعمال التجميع الزمني () للإشارات وبذلك يتم استغلال وسائط النقل بصورة أفضل حيث تملأ الفراغات المتواجدة بين العينتين المتتاليتين من نفس الإشارة بعينات من إشارات أخرى،
٢. سلاسل النبضات لا تتأثر بسهولة بالضجيج والتداخل، لأن الحصانة ضد الضجيج والتداخل مرتفعة جدا في حالة الإشارات الرقمية لأن الأحاد لا تتحول بسهولة إلى أصفار والعكس صحيح أيضا،
٣. تتم معالجة الإشارات الرقمية بسهولة وتكلفة منخفضة مقارنة بالإشارات التماثلية وذلك لأنها تستعمل معدات أقل تكلفة،

كل ذلك جعل التطبيقات متعددة لأنها أسهل وأقل تكلفة في ميدان الاتصالات كنظم الهاتف والشبكات التي تستعمل الكوابل المحورية والألياف الضوئية مثلا. كما يمكن الترقيم من استعمال طرق لا يمكن استعمالها في التماثلي كالتجميع والتفكيك والعنونة واسترجاع الإشارات بدقة مثلا وهي طرق ذات جدوى اقتصادية عالية.



الشكل ٢ - ١: العناصر الأساسية في تضمين شفرة النبضات

السليبيات:

عرض نطاق كبير، ضوضاء التكمية.

٢ - ١ - ٢ طريقة الحصول على إشارة مضمّنة بشفرة النبضات:

١. يتم قطع الترددات العالية من الإشارة التماثلية وذلك بإدخالها إلى مرشح النطاق الأساسي (Band pass filter) وبذلك تقطع من الإشارة الترددات العالية التي تزيد تردد القطع (f_m cut frequency) .
٢. يتم أخذ العينات بتردد f_s حيث $f_s \geq f_N$ ،
٣. يتم تحويل الإشارة المضمّنة بالسعة (PAM) إلى إشارة مضمّنة بشفرة النبضات (PCM) بواسطة مشفر (Encoder) يحول كل عينة (Sample) إلى عدد ثنائي يسمى كلمة الشفرة (Code Word) لها طول محدد (عادة ٨ بت).

٤. أ - التكمية: هي عملية تحويل ارتفاع العينة إلى أقرب عدد لها (باستعمال مستويات مرقمة

quantization levels) واختيار أقرب مستوى لارتفاع العينة،

٥. يقسم النطاق الإجمالي للجهد (مثلاً ٠ - ١٠ فولت) إلى مستويات (خطوات متساوية) كثيرة حيث

تفصل بين المستويين المتتاليين مسافة ثابتة هي مسافة التكمية (quantization interval)،

• عدد المستويات يكون قوة ٢ أي 2^n حيث n هو عدد البتات في كلمة الشفرة،

• فمثلاً لو كان $n=8$ فإن عدد المستويات يكون ٢٥٦ (2^8) أي إن الأعداد الثنائية المستعملة هي ٠

إلى ٢٥٥.

٦. ب - التشفير: يتم التشفير بإسناد عدد ثنائي لكل مستوى، بدءاً من ٠ ووصولاً إلى أكبر رقم في

الشفرة (٢٥٥ مثلاً) ثم تمثيل كل عينة بواسطة عدد من هذه الأعداد الثنائية حسب ارتفاعها (سعتها)

ويسمى العدد المسند للعينة كلمة الشفرة (Code Word)،

٢- ١ - ٣ الأرقام الثنائية

نفرض أن M هو عدد مستويات التكمية، وهو يمثل عدد كلمات الشفرة المستعملة، وليكن N

عدد البتات في كلمة الشفرة، وهو ما يعني أن

$$M = 2^N \text{ (1 - 2)}$$

(١) إذا كان عدد المستويات M معروفاً فإنه يمكن حساب عدد البتات N كما يلي:

$$N = \log_2 M = 3.32 \log_{10} M \text{ (2-2)}$$

مثال ٢ - ١:

في تضمين تشفير النبضات القياسي (normalized PCM) يكون $M=256$ مستوى فيكون عدد البتات

$$N = \log_2 256 = \log_2 2^8 = 8 \text{ bit}$$

مثال ٢ - ٢:

إذا حصلنا على عدد غير صحيح، نستعمل أقرب عدد صحيح أكبر من العدد الذي حسبناه.

ليكن ٦,٦٤ ليس عدداً صحيحاً، لذلك نختار العدد الصحيح الذي يليه مباشرة أي ٧. وبذلك يكون

طول كلمة الشفرة هو سبعة ($N=7$) وهو ما يعني أن لدينا $2^7 = 128 = 2^N$ مستوى فعلياً عوضاً

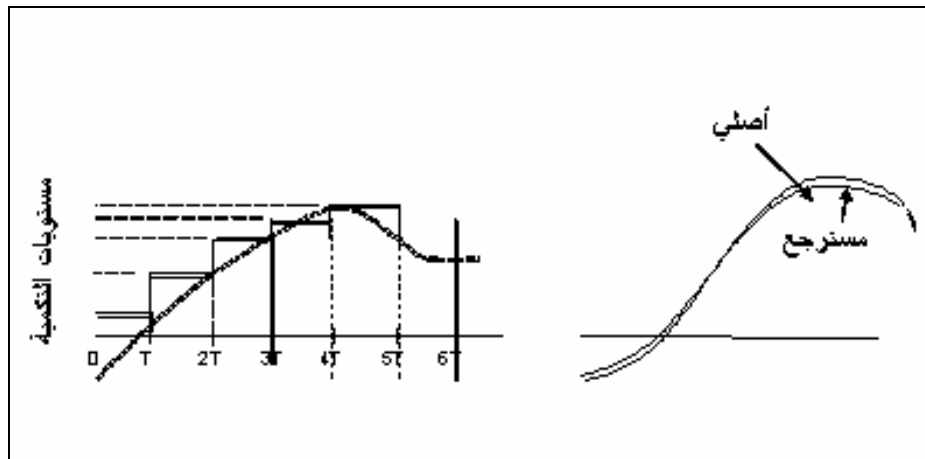
عن ١٠٠.

مسألة ٢ - ١

احسب N علما بأن $N=100$

مسألة ٢ - ٢

أحسب خاصيات تكمية وتشفير إشارة تماثلية باستعمال ٨ مستويات أي كلمة شفرة مكونة من ٣ بت.



الشكل ٢ - ٢: أخذ العينات والتكمية

(٢) عند الإستقبال يتم استرجاع الإشارة التماثلية من العينات بواسطة محول رقمي تماثلي ثم مرشح إمرار منخفض (Low Pass Filter LPF).

٢- ١ - ٤ عرض نطاق تضمين شفرة النبضات

(١) إن عرض نطاق تضمين شفرة النبضات (PCM) أكبر بكثير من النطاق الأساسي للإشارة التماثلية (Analog signal) وأكبر كذلك من عرض نطاق الإشارة المضمنة بالسعة (PAM signal).

(٢) أقصى تردد في النطاق الأساسي هو f_m .

تردد بايكوست $f_N = 2f_m$

أصغر تردد لأخذ العينات $f_s = f_N = 2f_m$

نسق البيانات $R_b = Nf_s = 2Nf_m$

عرض نطاق إرسال تضمين شفرة النبضات : $B_T = R_b = 2Nf_m$

مسألة ٢ - ٣ :

في مرور الإشارات الهاتفية القياسي يكون

$f_m = 4 \text{ KHZ}$, $n = 8$

أحسب عرض نطاق الإرسال

٢ - ١ - ٥ ضوضاء التكمية

٧. إحدى سلبيات تضمين شفرة النبضات هو تقهقر مضمون الإشارة حيث إن سعة

العينة المسترجعة في خرج المحول الرقمي التماثلي (D/A converter) يمكن أن

تحتوي على خطأ قد يصل إلى نصف مسافة التكمية (quantization interval)،

كما يبين ذلك الشكل ٢ - ٢

(١) التحليل:

• لنفرض أن تكمين الإشارة يتم في النطاق $-V$ إلى $+V$ فولت

أقصى فولتية هي V فولت

أقصى طاقة هي V^2 وات

• باستعمال N بت للعينة الواحدة تكون مسافة التكمية:

$$\Delta = \frac{2V}{2^N} \text{ volts} \quad (2-5)$$

• لذلك فإن أقصى خطأ ممكن في العينة المسترجعة هو

$$\frac{\Delta}{2} = \frac{2v}{2n} / 2 = \frac{V}{2^n} \text{ volts}$$

• طاقة الضجيج القصوى هي

$$N_Q = V^2 / 2^{2N} \text{ watts} \quad (2-6)$$

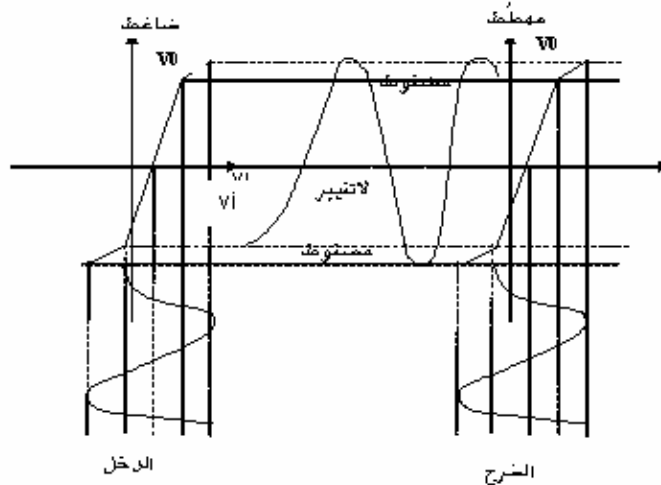
• نسبة الإشارة / الضجيج هي

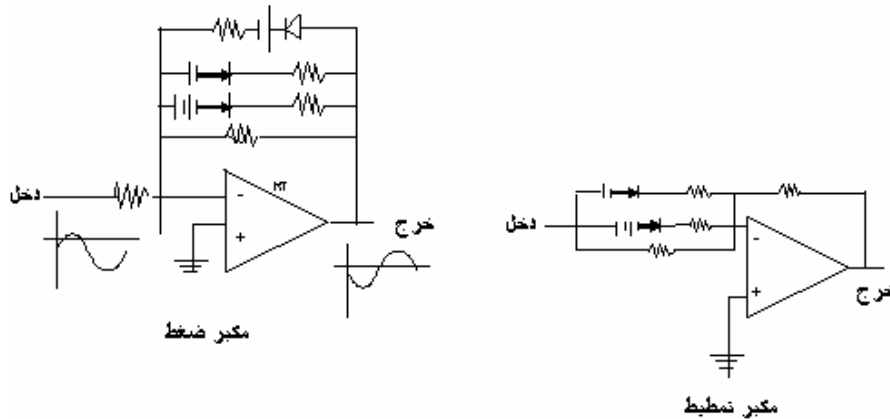
$$\therefore \left(\frac{S}{N} \right)_Q = \frac{SQ}{NQ} = V^2 \div \left(\frac{V^2}{2^{2N}} \right) = 2^{2N}$$

$$(2-7) \dots\dots\dots \therefore \left(\frac{S}{N} \right)_Q = 2^{2N}$$

يتم تشويه الإشارة التماثلية بطريقة محكمة قبل تكميته حيث تضغط قيمها الكبيرة عند الإرسال ثم تمطط هذه القيم عند الاستقبال. ينتج عن ذلك وجود مستويات كثيرة متقاربة بالنسبة للإشارات الصغرى و مستويات قليلة بالنسبة للإشارات الكبرى

يتم الضغط بواسطة مكبر لا خطي (Non linear amplifier) له منحنى (characteristic) معروف بينما يتم التمثيط بواسطة مكبر لا خطي له منحنى معاكس عند الاستقبال. بعبارة أخرى: يتم الضغط عند الإرسال والتمطيط عند الاستقبال للتقليل من ضجيج التكمية. يبين الشكل ٢ - ٣ عمليتي الضغط والتمطيط.





الشكل ٢- ٣ الضاغط والممط

٢- ١- ٦ طرق مستعملة للتقليل من ضجيج التكمية

- (١) لتقليل ضجيج التكمية يمكن زيادة طول كلمة الشفرة (عدد البت لكل عينة) لكن ذلك يزيد في كمية البت المرسلة وينقص من عدد القنوات التي يتم بثها،
- (٢) باستعمال طريقة الضغط السالف ذكرها نقل من ضجيج التكمية دون زيادة في كمية البت المرسلة
- (٣) استعمال مسافة تكمية غير ثابتة حيث نستعمل
 - للمستويات المنخفضة مسافات صغيرة
 - والمستويات المرتفعة مسافات كبيرة.

مسألة ٢- ٤:

لنأخذ إشارة صوتية. احسب

- (أ) معدل طاقة الإشارة
- (ب) قيمة مسافة التكمين باستعمال ١٠ بت للكلمة
- (ت) طاقة ضجيج التكمية
- (ث) نسبة الإشارة / الضجيج
- باستعمال PS/QN
- باستعمال $SNR = 2^{2N}$ و $N = 10 \text{ bit}$
- (ج) عدد بت كلمة الشفرة عندما تكون النسبة المذكورة تساوي 40dB

٢- ١- ٧ قوانين الضغط والتمطيط

(١) منحنى الضغط المستعمل في تضمين شفرة النبضات محدد بالمعادلة التالية

$$V_0 = V_{0\max} \frac{\ln\left(1 + \mu \frac{V_i}{V_{i\max}}\right)}{\ln(1 + \mu)} \quad \text{for } V_i \geq 0 \quad (2-8) \dots\dots\dots$$

حيث

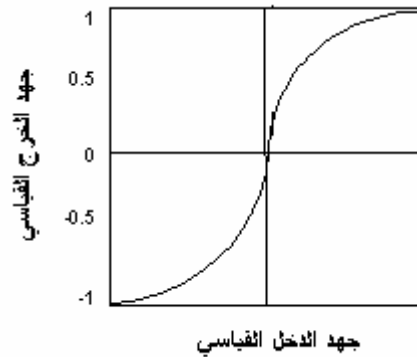
V_i هي فولتية الدخل

V_0 هي فولتية الخرج

$V_{i\max}$ هي فولتية الدخل القصوى

$V_{0\max}$ هي فولتية الخرج القصوى

μ هو وسيط الضغط (compression parameter) (٢٥٥)



الشكل ٢ - ٤: جهد الدخل وجهد الخرج القياسيان

(٢) منحنى الضغط في الإرسال له شكل لاخطي بالنسبة للفولتيات الموجبة و لاخطي معاكس

لذلك بالنسبة للفولتيات السالبة

(٣) يستعمل في الاستقبال منحنى تمطيط وهو لا خطي معاكس لمنحنى الضغط حسب القانون

التالي:

$$V_{ie} = \frac{V_{i\max}}{\mu} \left[(1 + \mu)^{\left[\frac{V_r}{V_{0\max}} \right]} \right] \quad \text{for } V_r \geq 0 \quad (2-9) \dots\dots\dots$$

حيث

Vie هي إشارة ممططة مستخلصة من الإشارة المستقبلية بعد فك الشفرة

(٤) تتم عمليات الضغط والتمطيط بواسطة نظام يعرف باسم كوداك (اختصار لكامتي كودر / ديكودر (codec: coder/decoder).

'كوداك - ١' هو معروف باسم A law (Europe) codec وخصائصه هي :

$$V_0 = V_{0\max} \left(\frac{1 + \lg Ax}{1 + \lg A} \right) \text{sign} \quad 1/A < X < 1 \dots \dots (2-10)$$

$$V_{0\max} \left(\frac{Ax}{1 + \lg A} \right) \quad 0 < X < 1/A \dots \dots (2-11)$$

$$A = 87.6$$

المسألة ٢ - ٥ :

لنفرض ضاغطا بقانون له الخصائص المولية

$$V_{\text{imax}} = 8V, V_{0\max} = 5V, \mu = 255$$

حدد فولتية الخرج بالنسبة لفولتيات الدخل 2v و 4v و 8v

٢- ١- ٨ التوفيق بين المضمون وعرض النطاق

(١) الخطأ في تضمين شفرة النبضات تناسبي لعدد المستويات M

(٢) نسبة الإشارة / الضجيج ترتفع كلما زاد M

(٣) عرض النطاق يكبر كلوغارتم M

مثلا عندما نتحول من ٨ بت إلى ٩ بت

- يرتفع عرض النطاق بنسبة ١٢,٥%

- ينخفض ضجيج التكمية بنسبة ٥٠%

وهكذا تكون نسبة تحسين الإشارة أكبر من نسبة تكبير النطاق.

٢ - ١ - ٩ أساسيات تشفير تضمين شفرة النبضات و التكمية

بما أن مستويات الفولتية في الدخل تختلف من إشارة إلى أخرى وكذلك الحال بالنسبة لعدد مستويات التكمية الذي هو رهين طول كلمة الشفرة المستعملة بالبت، فإنه من المفضل أن نقوم باستعمال أرقام قياسية (normalized values) في الدخل والخرج حيث تصبح السعة القصوى لكليهما تساوي ١. نستعمل لهذا الغرض المعادلات التالية:

$$\text{normalizes I/P analog voltage} = \frac{\text{actual I/P analog voltage}}{\text{full - scale voltage of A/D converter}}$$

$$X(t) = \frac{V_i}{V_{fs}}, \text{ where } V_{fs} = 2.5, 5, 10, 20 \dots$$

بالنسبة للمحول التماثلي / الرقمي، و

$$\left[\begin{array}{c} \text{actual out put} \\ \text{analog voltage} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{normalized value} \\ \text{of digital word} \end{array} \right] \times \left[\begin{array}{c} \text{full scale voltage} \\ \text{of D/A converter} \end{array} \right]$$

$$V_o = X(t) \times V_{fs}$$

بالنسبة للمحول الرقمي / التماثلي.

من حيث عدد الأقطاب يوجد صنفان من التشفير بالنسبة للتحويل التماثلي / الرقمي وهما:

التشفير أحادي القطب (unipolar encoding) وهو يستعمل أعدادا حقيقية موجبة تمتد من ٠,٠ إلى ١,٠
التشفير ثنائي القطب (bipolar encoding) وهو يستعمل أعدادا حقيقية موجبة وسالبة تمتد من -١,٠ إلى ١,٠.

يعطي الجدول التالي مثالا على هذا التشفير بالنسبة لإشارة ممثلة بكلمة شفرة طولها ٤ بت أي قيم ما بين ٠ و ١٦.

قيم عشرية قياسية ثنائية القطب	قيم عشرية قياسية أحادية القطب	قيم عشرية	أعداد ثنائية طبيعية
7/8=0.875	15/16=0.9375	15	1111
6/8=0.75	14/16=0.875	14	1110
5/8=0.625	13/16=0.8125	13	1101
4/8=0.5	12/16=0.75	12	1100
3/8=0.375	11/16=0.6875	11	1011
2/8=0.25	10/16=0.625	10	1010
1/8=0.125	9/16=0.5625	9	1001
0	8/16=0.5	8	1000
-1/8=-0.125	7/16=0.4375	7	0111
-2/8=-0.25	6/16=0.375	6	0110
-3/8=-0.375	5/16=0.3125	5	0101
-4/8=-0.5	4/16=0.25	4	0100
-5/8=-0.625	3/16=0.1875	3	0011
-6/8=-0.75	2/16=0.125	2	0010
-7/8=-0.875	1/16=0.0625	1	0001
-8/8=-1	0	0	0000

الجدول ٢- ١: مثال للتشفير الأحادي القطب والتشفير الثنائي القطب

في حال استعمال كلمة شفرة طولها ٤ بت.

٢- ١- ٩- ١ التشفير الأحادي القطب

(١) هو صالح للإشارات الموجبة (في حالة الإشارة السالبة يؤخذ عكسها)

مجال الإشارة القياسية هو $0 \leq X < 1$ the range of the normalized signal $X(t)$ is \therefore

حيث تبقى القيمة دائما أقل من ١

(٢) في حالة كلمة شفرة طولها ٤ بت أي $N = 2^4 = 16$ نرى في العمود الثالث من الجدول ٢-

١ تشفيراً أحادي القطب للإشارة ويستعمل كما نرى أعداداً عشرية حقيقية تتراوح دائماً بين

٠,٠ و ١,٠ (لاتصل أبداً للقيمة القصوى ١,٠) وتفسير ذلك في الجدول التالي:

القيمة القياسية (X_n)	العدد العشري المكمم	العدد الثنائي	ملحوظة
$\frac{0}{16} = 0$	$0 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^0$	0000	القيمة القصوى ١١١١ لا تصل إلى القيمة ١,٠ عند التشفير
$\frac{8}{16} = 0.5$	$1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = 8$	1000 LSB....MSB	
$\frac{15}{16} = 0.9375$	$1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 15$	1111	

(٣) خطوة التكمية القياسية هي

$$\Delta Xu = \frac{1}{2N} \quad \text{..... (٢- ١٣)}$$

(٤) أما خطوة التكمية الحقيقية فهي

$$\Delta Vu = \Delta \times u \quad \text{..... (٢- ١٤)} \quad V_{fs} = \frac{V_{fs}}{2N}$$

حيث تميل V_{fs} فولتية سلم الفولتية بأكمله.

(٥) أكبر قيمة مكممة تنقص عن ١ بقيمة خطوة تكمية واحدة:

$$Xu (\max) = 1 - \Delta \times u = 1 - \frac{1}{2N} \quad \text{..... (٢- ١٥)}$$

لاحظ:

- لا نصل أبدا للقيمة ١,٠
- توزيع مستويات التكمية ليس متناظرا بالنسبة للنقطة المركزية
- النقطة المركزية تمثل العدد الثنائي حيث $MSB=0$ وراءه أصفار فقط (مثلا ١٠٠٠ في حالة كلمة شفرة طولها ٤ بت)

(٦) منحني التكمية

(أ) نرى منحني التكمية في الشكل ٢ - ٥ أسفله

(ب) يمثل السلم الأفقي قيم الدخل وهي قيم قياسية للإشارة التماثلية في دخل المحول التماثلي الرقمي

يمثل السلم العمودي قيم الخرج وهي قيم قياسية للإشارة المكممة في خرج المحول التماثلي الرقمي

(ت) وهكذا يتم تمثيل كل قيمة من قيم الإشارة التماثلية بعدد عشري باستعمال إحدى الطريقتين التاليتين

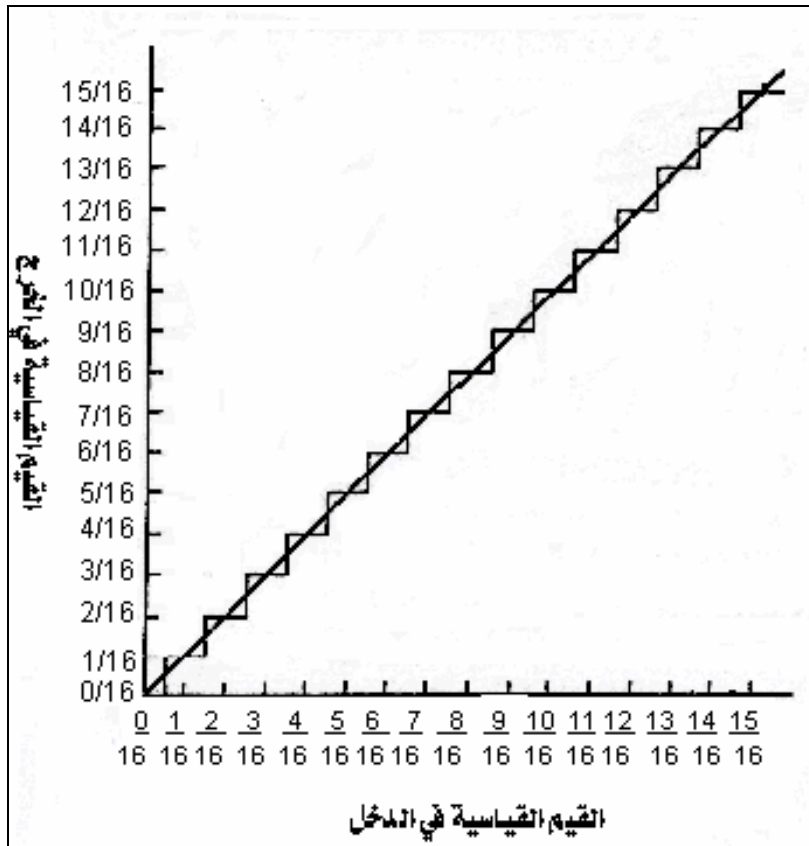
ت - (أ) تمثل قيمة العينة بواسطة أقرب مستوى من مستويات التكمية (مثلا تمثل

1.67/16 بواسطة 2/16 بينما تمثل 1.47/16 بواسطة 1/16)

ت - (ب) تمثل قيمة العينة بواسطة أقرب مستوى أصغر منها (مثلا تمثل 1.67/16

بواسطة 1/16)

يعطي الشكل ٢ - ٥ منحني التكمية في حالة تشفير أحادي القطبية وباستعمال ٤ بت للعينة



الشكل ٢ - ٥: التكمية الأحادية القطبية باستعمال ٤ بت

(٧) خطأ التكمية

عند إعطاء العينة أقرب قيمة لها ()

١ - أقصى خطأ تكمية يساوي نصف مسافة التكمية

$$\therefore Eu = \frac{\Delta \times u}{2} = \frac{1}{2^N \times 2} = \frac{1}{2^{N+1}} = 2^{-(N+1)}$$

..... (١٦ - ٢)

Where : Eu = the peak unipolar normalized error.

ب- الخطأ الفعلي الأحادي القطبية يساوي

$$\ell u = Eu \quad V_{fs} = \frac{V_{fs}}{2^{n+1}} = 2^{-(n+1)} \cdot V_{fs}$$

..... (١٧ - ٢)

مسألة ٢ - ٦ :

لنفرض أن لدينا محولا تماثلي/رقمي ب٦ بت حيث تشفر فولتية الخرج بواسطة نظام تضمين شفرة النبضات وحيث فولتية الدخل لها قيم تمتد من ٠ إلى ٢٠ فولت المشفر مرتبط بتشفير أحادي القطب. أحسب

(١) حجم الخطوة القياسي $\Delta \times u$

(ب) حجم الخطوة الفعلي $\Delta V u$

(ت) أقصى مستوى قياسي مكتم $Xu(\max)$

(ث) أقصى مستوى فعلي مكتم $Vu(\max)$

(ج) أقصى خطأ تكمية قياسي Eu

(ح) أقصى خطأ تكمية قياسي ℓu

التشفير الثنائي القطب

٢ - ١ - ٩ - ٢

(١) هو مناسب عندما تكون الإشارة التماثلية ثنائية القطب

(٢) المجال القياسي للإشارة هو -1 إلى +1 أي إن $-1 \leq X < 1$

(٣) في حال كلمة شفرة طولها ٤ بت، تكون لدينا ٢٤ أي ١٦ قيمة كما نراها في الجدول ٢ - ١.

ملحوظات	القيمة العشرية القياسية (Xb)	القيمة الثنائية
Xb قيمة عشرية قياسية ذات قطبين.	$\frac{-8}{8} = -1$	0000
.	.	.
.	.	.
.	.	.
	0	1000
.	.	.
.	.	.
.	.	.
	$\frac{7}{8} = 0.875$	1111

الجدول ٢- ١: القيم الفعلية والقيم القياسية للإشارة عند استعمال كلمة شفرة ذات ٤ بت

(٤) حجم الخطوة القياسي (ΔX_b) (يساوي دائماً 1 LSB) هو

$$\Delta X_b = \frac{1}{2^{n-1}} = 2^{-n+1} \quad (٢- ١٧)$$

(٥) حجم الخطوة الحقيقي ΔV_b هو

$$\Delta V_b = \Delta X_b V_{fs} = \frac{V_{fs}}{2^{N-1}} = 2^{-N+1} V_{fs} \quad (٢- ١٨)$$

(٦) القيمة القياسية الثنائية القطبية القصوى هي ضعف القيمة القياسية الأحادية القطبية

القصوى لأنها القيمة القياسية من قمة إلى قمة

$$X_b(\max) = 1 - \Delta X_b = 1 - 2^{-N+1} \quad (٢- ١٩)$$

ملحوظات: (أنظر الجدول ٢-١)

- هناك ٨ قيم قياسية سالبة

$$\frac{M}{2} = 2^{N-1} \quad (٢-٢٠)$$

- هناك ٨ قيم قياسية موجبة

$$\frac{M}{2} - 1 = 2^{N-1} - 1 \quad (٢-٢١)$$

القيمة الثنائية ١٠٠٠ تمثل الرقم القياسي ٠ وهي في نفس الوقت MSB

يمكن الحصول على القيمة التكميلية ل٢ () بتعويض البت الأكثر MSB وزنا بتكاملته المنطقية

$$(٢-٢٢) \text{ complement aries } \left[\begin{array}{l} 1 \quad 010 \rightarrow 2/8 \\ 0 \quad 010 \rightarrow -6/8 \end{array} \right]_{MSB} \left\{ \begin{array}{l} 0001 \rightarrow -7/8 \\ 1001 \rightarrow 1/8 \end{array} \right\} 8/8$$

(٧) يعطي الشكل ٢-٦ منحني التشفير الثنائي القطب

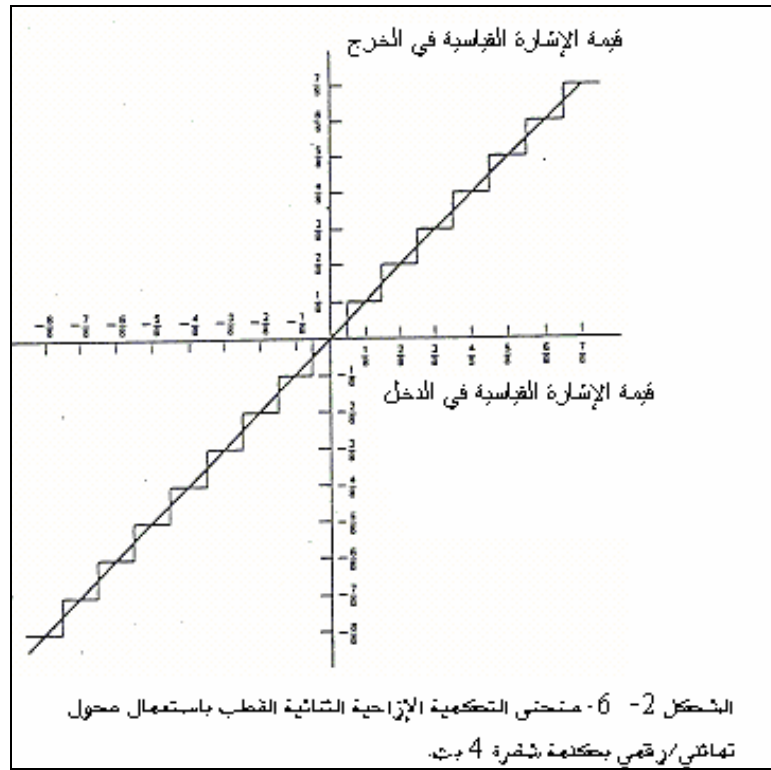
(٨) أخطاء التكمية

- الخطأ النسبي الأقصى الثنائي القطب ΔE_b هو

$$\Delta E_b = \frac{\Delta X_b}{2} = 2^{-N} \quad (٢-٢٣)$$

- الخطأ النسبي الحقيقي الثنائي القطب هو

$$\ell_b = E_b V_{fs} = 2^{-N} V_{fs} \quad (٢-٢٤)$$



٢-٢ تشفير الخط

تشفير الخط: هي تقنية تشفير مستعملة في نقل المعلومات حيث تحول كميات البيانات المنقولة إلى قوالب خاصة مناسبة للنقل.

٢-٢-١ العوامل الواجب مراعاتها عند اختيار التشفير

(١) جهد النقل والعنصر dc ومستويات النقل تصنف كالآتي:

- أحادية القطب وتشمل مستويين أحدهما يختلف عن الصفر ($-V$ أو $+V$) ويمثل ١ منطقي و $0V$ يمثل ٠ منطقي

- ثنائية وتشمل مستويين يختلفان عن الصفر وهما $+V$ ويمثل ١ منطقي و $-V$ ويمثل صفر (٠) منطقي

لاحظ: في النقل الرقمي لابد من إزالة العنصر المستمر dc لكي نسترجع على القيم الصحيحة في المخرج، لذا يجب استعمال القطبية الثنائية

(٢) دورة العمل duty cycle: طبقا لدورة النبضة المستعملة يوجد صنفان للنقل

- عدم الرجوع للصفر NRZ إذا احتفظنا بالنبضة لكامل مدة البت
- رجوع للصفر RZ إذا كانت مدة النبضة أقل من مدة البت

- (٣) حول عرض النطاق نلاحظ: أدنى عرض نطاق لازم لتمرير إشارة بتشفير الخط يحسب باعتبار
- أعلى تردد في طيف الإشارة والذي يحسب لأسوأ حالة ممكنة
 - أسوأ حالة ممكنة هي توالي الواحد و الصفر باستمرار

- (٤) استرجاع إشارات التزامن: لكي يتم استرجاع المعلومة الخاصة بالتزامن لا بد من أن تكون هناك كمية كافية من البيانات المنقولة. في دائرة استرجاع إشارة التزامن، يتم ببساطة تصحيح البيانات لكل موجة تامة ويتم بذلك إنشاء إشارة تزامن مستقلة عن البيانات ومساوية لمعدل البيانات المستقبلية. لذا يعتبر التشفير ثنائي القطبية مع عدم الرجوع للصفر (BPRZ) هو أحسن تشفير.

(٥) اكتشاف الأخطاء

- تملك بعض الأنماط القدرة على اكتشاف الأخطاء دون إدخال بتات للغرض في سلسلة البتات المنقولة
- باستعمال طرق التشفير UPNRZ و UPRZ و BPNRZ و BPR، لا يمكن تحديد ما إذا كانت هناك أخطاء من صنف BPRZ-AMI، أي وجود أخطاء متتالية لا تخل بحساب القطبية (خطأين فأكثر). لذلك توجد للتشفير الثنائي القطبية BPRZ-AMI آلية خاصة لاكتشاف الأخطاء.

٦) سهولة والاكتشاف وفك الشفرة

لأن النقل أحادي القطب يشمل نقل جهد أحادي القطب فقط، يعطي للإشارة معدلاً بقيمة $+V/2$ ، حيث

- معدل جهد النقل الثنائي القطب هو $0V$
- الجهد المستمر غير مرغوب فيه لأنه يؤثر سلباً على دخل المقارن () ويتسبب في استقبال خاطئ للنبضات الواردة
- لذا فإن النقل الثنائي القطب أفضل للنقل.

٢ - ٢ - ٢ قوالب تشفير الخط

(١) عدم الرجوع لمستوى الصفر (Non Return to Zero Level: NRZ-L)

- ١ منطقي: تبقى الإشارة في مستوى عال (HIGH) طوال دورة البت كاملة
 - ٠ منطقي: تبقى الإشارة في مستوى منخفض (LOW) طوال دورة البت كاملة
- سليباته:

- فولتية مستمرة عالية
- فقدان إشارة التزامن بالنسبة لمتتاليات الأحاد أو الأصفار
- لا بد من استعمال جزء سابق يحمل إشارة التزامن لضمان الفك الصحيح للتشفير عند الاستقبال.

(٢) عدم الرجوع لعلامة الصفر (Non Return to Zero Mark: NRZ-M) (التشفير

التفاضلي differential Coding)

- ١ منطقي: تغيير واحد في بداية دورة البت كاملة
- إذا كانت الإشارة قبل ذلك منخفضة، تصبح عالية
- إما إذا كانت الإشارة قبل ذلك عالية، فتصبح منخفضة
- ٠ منطقي: تبقى الإشارة في مستواها السابق وتحافظ عليه طوال دورة البت كاملة.

سليباته:

- فولتية مستمرة عالية
- فقدان إشارة التزامن بالنسبة لمتتاليات الأصفار

٣) عدم الرجوع لفراغ الصفر (Non Return to Zero Space: NRZ-S)

- ١ منطقي: تبقى الإشارة في مستواها السابق وتحافظ عليه طوال دورة البت كاملة

- 0 منطقي: تغيير واحد في بداية دورة البت كاملة
- إذا كانت الإشارة قبل ذلك منخفضة، تصبح عالية
- إما إذا كانت الإشارة قبل ذلك عالية، فتصبح منخفضة

سليباته:

- فولتية مستمرة عالية
- فقدان إشارة التزامن بالنسبة لمتتاليات الأحاد.

٤) الرجوع الأحادي القطبية لمستوى الصفر: (Unipolar Return to Zero: UPRZ)

- ١ منطقي: تغييران اثنان خلال دورة البت
 - التغير الأول في بداية الدورة من منخفض إلى عال
 - التغير الأول في منتصف الدورة من عال إلى منخفض
 - دورة العمل تساوي نصف دورة البت بالنسبة للأحاد
 - ٠ منطقي: تبقى الإشارة منخفضة طوال دورة البت كاملة
- سليباته:

- نقضان الفولتية المستمرة
- عرض نطاق يساوي ضعف عرض نطاق تشفير NRZ.

(٥) الرجوع الشائي القطبية لمستوى الصفر:

(Bipolar Return to Zero: BPRZ)

أو (Polar Return to Zero: BPRZ)

- ١ منطقي: تغييران اثنان خلال دورة البت
 - التغير الأول في بداية الدورة من منخفض 0V إلى جهد موجب
 - التغير الثاني في منتصف الدورة من جهد موجب إلى 0V
- ٠ منطقي: تغييران اثنان خلال دورة البت
 - التغير الأول في بداية الدورة من 0V إلى جهد سالب
 - التغير الثاني في منتصف الدورة من جهد سالب إلى 0V
- يعرف هذا التشفير أيضا باسم التشفير القطبي وكذلك باسم التشفير الثلاثي القطب، نظرا لاستعماله ثلاثة مستويات للفولتية (+V و 0V و -V)
- دورة العمل تساوي نصف دورة البت بالنسبة للأحاد

سليبيته: نقضان الفولتية المستمرة

إيجابيته: إشارة التزامن ضمن سلاسل البت.

(٦) الرجوع الصفر مع العكس المتعدد للمستوى:

(Return to Zero-Alternate Mark Inversion: RZ-AMI)

- ١ منطقي: تغييران اثنان خلال دورة البت
 - التغير الأول في بداية الدورة من 0V إلى إيجابي أو سلبي
 - التغير الثاني في منتصف الدورة من إيجابي أو سلبي إلى 0V
 - دورة العمل تساوي نصف دورة البت بالنسبة للأحاد
 - ٠ منطقي: تبقى الإشارة منخفضة (LOW) طوال دورة البت كاملة
- لاحظ:

الواحد الأول يغير الفولتية من ٠ إلى موجب بينما يغير الواحد الثاني الفولتية من ٠ إلى سالب وهكذا تتواصل التغيرات بالنسبة للأحاد.

سلبياته:

- فقدان إشارة التزامن بالنسبة لمتتاليات الأصفار.

إيجابيته:

- لا وجود لجهد مستمر
- عرض نطاق يساوي عرض نطاق شفرة NRZ.

(٧) شفرة العلامة الثنائية الطور أو شفرة مانشستر:

Biphase- Level (BI Φ -L) or Manchester II code

- ١ منطقي: تغييران اثنان خلال دورة البت

- التغير الأول في منتصف الدورة
- التغير الثاني في أول الدورة

- ٠ منطقي: تغيير في بداية الدورة

- دورة العمل تساوي نصف دورة البت بالنسبة للأحاد

سلبياته:

- جهد مستمر مرتفع
- عرض نطاق يساوي ضعف عرض نطاق شفرة NRZ.

إيجابيته:

- إشارة التزامن ضمن سلاسل البت.

(٨) شفرة العلامة الثنائية الطور أو شفرة مانشستر:

Biphase- Mark (BI Φ -M) or Manchester I code

- ١ منطقي: تغييران اثنان خلال دورة البت

- التغير الأول في منتصف الدورة
- التغير الثاني في أول الدورة

- ٠ منطقي: تغيير في بداية الدورة

سليباته:

- جهد مستمر مرتفع
- عرض نطاق يساوي ضعف عرض نطاق شفرة NRZ.

إيجابيته:

- إشارة التزامن ضمن سلاسل البت.

(٩) شفرة العلامة الثنائية الفراغ:

Biphase- Space (BI Φ -S) code

- ١ منطقي: تغيير في بداية الدورة
- ٠ منطقي: تغييران اثنان خلال دورة البت
- التغير الأول في بداية الدورة
- التغير الثاني في منتصف الدورة
- دورة العمل تساوي نصف دورة البت بالنسبة للأصفار

سليباته:

- جهد مستمر مرتفع جدا
- عرض نطاق يساوي ضعف عرض نطاق شفرة NRZ.

إيجابيته:

- إشارة التزامن ضمن سلاسل البت.

(١٠) شفرة تضمين التأخير أو شفرة ملر:

Delay modulation (DM) or miller code

- ١ منطقي: تغيير في منتصف الدورة
- ٠ منطقي: لا تغيير خلال الدورة إلا في حالة وجود ٠ ثاني، حيث يتم التغيير بالنسبة للصفر الثاني في بداية الدورة ويكون معاكسا للتغيير السابق

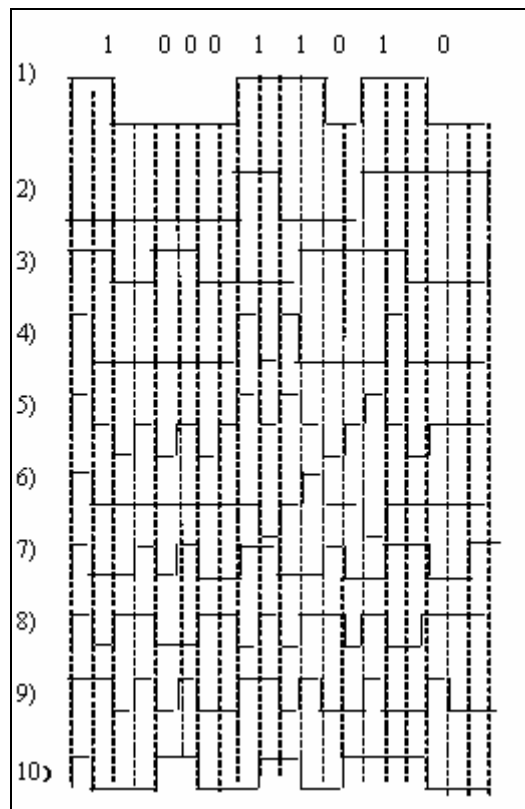
سليباته:

- تخفيض الجهد المستمر

إيجابيته:

- إشارة التزامن ضمن سلاسل البت.
- عرض نطاق يساوي ضعف عرض نطاق شفرة NRZ.

قالب الشفرة	أدنى عرض نطاق	معدل DC	استرجاع الساعة	اكتشاف الأخطاء
UPNRZ	$\sqrt{f_b/2}$	$+V/2$	سيئ	لا
BPNRZ	$\sqrt{f_b/2}$	$\sqrt{0}$	سيئ	لا
UPPZ	f_b	$+V/4$	حسن	لا
BPRZ	f_b	$\sqrt{0} \quad V$	الأحسن	لا
BPRZ-AMI	$\sqrt{f_b/2}$	$\sqrt{0} \quad V$	حسن	نعم ✓



الشكل ٢- ٧: الموجات والقواعد

(١) NRZ – L ١ منطقي يبقى ١

٠ منطقي يبقى ٠

(٢) NRZ – M ١ منطقي يتغير عن الوضع السابق
٠ منطقي لا يتغير عن الوضع السابق

(٣) NRZ – S ١ منطقي لا يتغير عن الوضع السابق
٠ منطقي يتغير عن الوضع السابق

(٤) URZ – ١ منطقي يصبح ١٠
٠ منطقي يبقى ٠

(٥) PRZ و BPRZ ١ منطقي يصبح ١٠
٠ منطقي يصبح ١٠ -

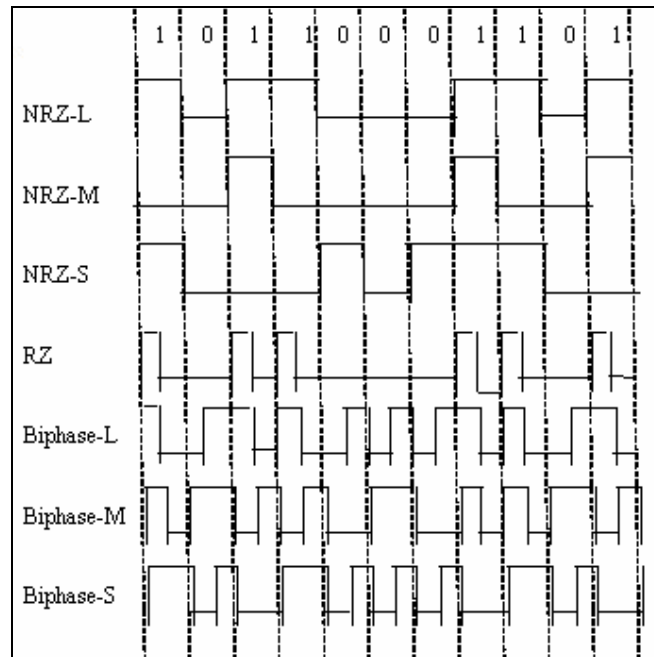
(٦) BRZ – AMI ١ منطقي
الأول يصبح ١٠
الموالي يصبح ١٠ -
٠ منطقي يبقى ٠

(٧) BIΦ-L ١ منطقي يصبح ١٠
٠ منطقي يصبح ٠١

(٨) BIΦ – M ١ منطقي يصبح ١٠ أو ٠١
٠ منطقي يتغير عن الوضع السابق

(٩) BIΦ – S ١ منطقي يتغير عن الوضع السابق
٠ منطقي يصبح ١٠ أو ٠١

- (١٠) DM ١ منطقي يتغير مرة واحدة في وسط الدورة
- ٠ منطق الأول لا يتغير عن الوضع السابق
- الثاني يتغير عن الوضع السابق.



الشكل ٢ - ٨ أمثلة لتشفير الخط

٢-٣ التجميع بالتقسيم الزمني في تضمين شفرة النبضات

PCM/TDM

التجميع بالتقسيم الزمني في تضمين شفرة النبضات: إشارات من مصادر مختلفة للمعلومات (قنوات) يقع أخذ عيناتها ثم تشفيرها ثم تجميعها في إطارات بهدف نقلها. يشمل كل إطار عينة (كلمة شفرة) من كل إشارة.

٢-٣-١ الحد الأدنى لعرض النطاق

(١) إرسال مجموعة من العينات في دورة واحدة يعني عرض نطاق أكبر بكثير من عرض نطاق التجميع بالتقسيم الزمني في تضمين سعة النبضات (PAM/TDM).

(٢) البرهان: لنفرض أن علينا تجميع K إشارة حيث إن

• كل واحدة منها لها عرض نطاق يساوي f_N . وأن

$$F_s = f_n = 2 f_m$$

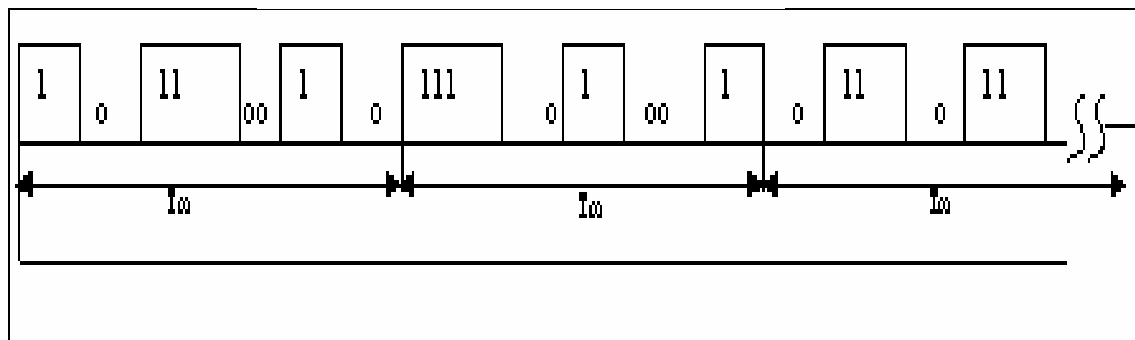
• وأنه لا توجد فراغات ولا إشارات تزامن

• النبضة الثنائية البت تحتل كامل دورة البت (هناك أصناف من هذا التشفير لا تحتل فيها النبضة كامل الدورة)

(٣) بالرجوع إلى الشكل ٢-٩ أسفله نلاحظ وجود ثلاث فترات زمنية لها أهمية وهي

• مدة الإطار (frame time)

$$(2) - (1) \quad T_f = T_N = \frac{1}{2 f_m}$$



الشكل ٢-٩: الفترات الزمنية

- مدة الكلمة (word time)

$$(21 - 2) \quad T_w = \frac{T_f}{2K} \quad \text{fm}$$

- مدة البت (bit duration)

$$(22 - 2) \quad \tau = \frac{T_w}{N} = \frac{1}{2K N \text{ fm}}$$

(٤) أدنى عرض نطاق بالنسبة للتجميع بالتقسيم الزمني في تضمين شفرة النبضات هو:

$$B_T = \frac{0.5}{\tau} = 0.5 (2KN \text{ fm}) = k \text{ fm} \log_2 M$$

Transmission Bandwidth

$B_T = \text{No of signals} \times \text{The Bw per signal} \times \log_2 \text{ of the number of bits per sample}$

لاحظ: عرض نطاق التجميع بالتقسيم الزمني في تضمين شفرة النبضات يساوي أضعاف عرض نطاق التجميع بالتقسيم الزمني في تضمين سعة النبضات.

٢ - ٣ - ٢ مصطلحات التجميع بالتقسيم الزمني

هناك نظامان للتجميع بالتقسيم الزمني، الأول مستعمل في أمريكا الشمالية وبعض الدول الأخرى و يسمى نظام ٢٤ قناة (US - 24 Channel System) والثاني مستعمل في بقية دول العالم و يسمى نظام ٣٢ قناة.

٢ - ٣ - ٢ - ١ نظام ٢٤ قناة (أمريكا الشمالية) : (US - 24 Channel System)

(١) يتكون الإطار هنا من ٢٤ كلمة شفرة (Code Words). تحتل كل كلمة حيزا زمنيا في الإطار وطول الحيز الزمني ثابت يضاف إلى ذلك بت واحد في البداية يسمى بت التزامن

- ترقم الحيزات من 1 إلى 24.

- توجد في أول الإطار (حيز رقم ٠) بة التزامن بينما تؤخذ الكلمات المتبقية (حيز ١ إلى حيز ٢٤)

من القنوات بمعدل كلمة من كل قناة.

رقم القناة																							
٠	1	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	١١	١٢	١٣	.....	٢٠	٢١	٢٢	٢٣	٢٤			
١) بتة تزامن (بت		٢٤ كلمة شفرة من القنوات المنقولة (مكالمات هاتفية مثلا) طول كل كلمة ٨ بت																					
طول الإطار بالببت هو: ٢٤ x ٨ بت = ١٩٢ بت + ١ بت تزامن = ١٩٣ بت																							

- أي إن عدد القنوات الحقيقية المنقولة هو 24 أما القناة رقم ٠ فهي للترزامن فقط.
- مدة الإطار هي $\frac{1}{8000}$ أي $125\mu s$
- يتم التزامن الإطار ويحافظ على هذا التزامن بفضل مجموعة بت تنقل في الحيزات الأولى رقم ٠.
- تسمى هذه المجموعة كلمة اصطفااف الإطار (Frame Alignment Word: FAW).
- في نظام عدم الرجوع إلى الصفر و إطار يحتوي على ٢٤ قناة، يكون طول كلمة اصطفااف الإطار ١٢ بت توزع على الكلمة المستعملة وهي المعروفة باسم TI FAW وهي
١٠٠٠١١٠١١١٠٠
- تكون ١٢ إطار متتالية (كما سبق أعلاه) إطارا أكبر (Superframe)

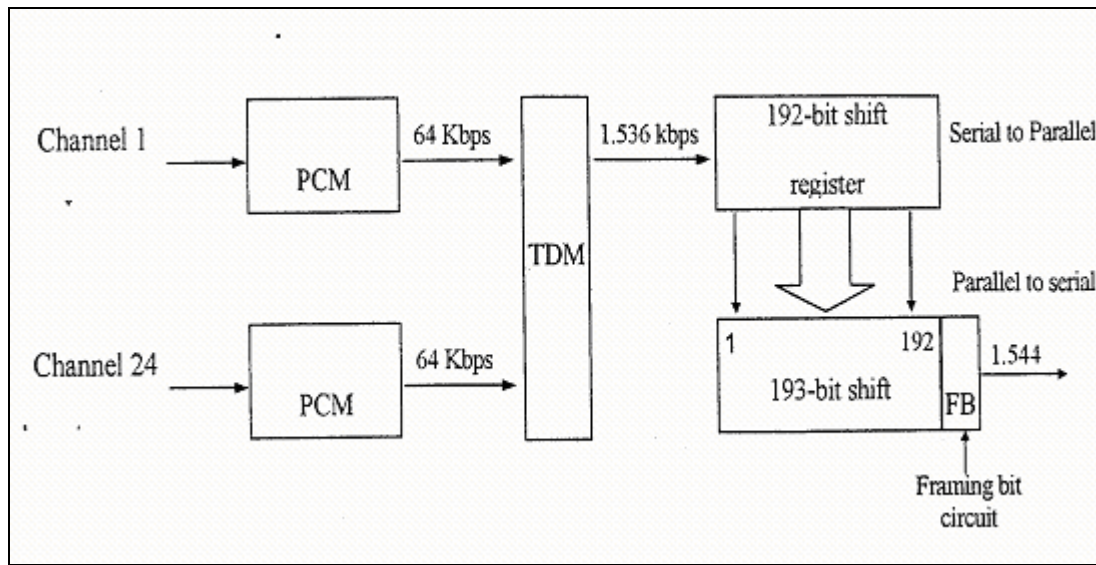
تشغيل نظام التجميع ٢٤ قناة:

١. يأخذ المجمع تي آي (TI Multiplexer) إشارات صوتية من ٢٤ قناة هاتفية مشفرة بنظام وبمعدل PCM كلمة واحدة (٨ بت) من كل قناة وفي كل الدورة ($125\mu s$)
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 الاصطفااف 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

بناء نظام التجميع ٢٤ قناة:

يبني نظام التجميع ٢٤ قناة كما نرى في الشكل أسفله. يجمع المجمع الأربع وعشرين قناة كما سبق أن شرحنا فنحصل على إطار مكون من ١٩٢ بت. ثم يضاف بواسطة سجل إزاحة () البت الخاص بالتزامن فيصبح لدينا إطار مكون من ١٩٣ بت. نظرا إلى أن تردد إرسال الأطر هو ٨٠٠٠ إطار في الثانية، نحصل على

$$٨٠٠٠ \times ١٩٣ \text{ بت في الثانية } ١٥٤٤٠٠٠ \text{ بت في الثانية.}$$



الشكل ٢- ١٠: نظام تجميع ٢٤ قناة

حساب معدل تدفق البيانات عرض نطاق نظام التجميع ٣٢ قناة:

(معدل تدفق البيانات = عرض النطاق Bit rate Bandwidth)

- تردد أخذ العينات هو ثابت $f_s = 8\text{kHz}$ وكذلك مدة الإطار $125\mu\text{s}$
- عدد البت في الإطار الواحد $193 = 8 \times 24 + 1$ بت
- مدة البت الواحد هي

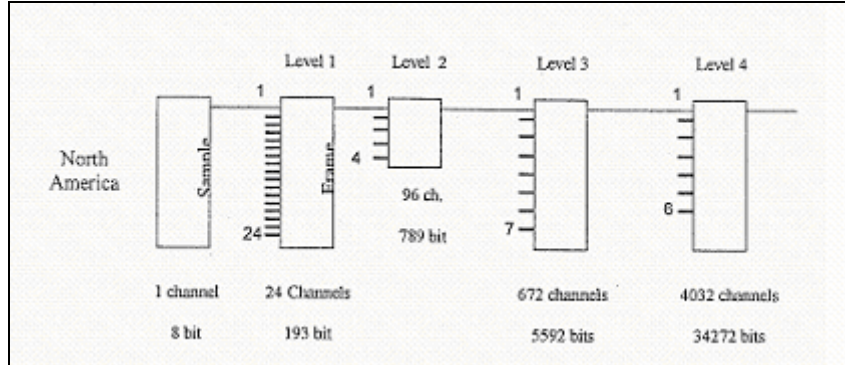
$$T_b = \frac{125\mu\text{s}}{193} \approx 0.647668\mu\text{s}$$

- معدل تدفق البيانات هو

$$R_b = \frac{1}{T_b} = \frac{193}{125\mu\text{s}} = 1.544 \text{ Mbit / s}$$

- أي إنه يتم نقل ١,٥٤٤ مليون بت في الثانية الواحدة وعرض النطاق هو

$$B_T = \frac{1}{T_B} = \frac{1}{0.64766} = 1.544 \text{ MHz}$$



الشكل ٢- ١١ : بنية الإطار الأساسي والأطر الكبيرة في نظام النقل ٢٤ قناة

٢- ٣- ٢- ٢ نظام ٣٢ قناة (أوروبا وبقية الدول الأخرى) : (32 Channel System)

(١) يتكون الإطار هنا من ٣٢ كلمة شفرة (Code Words) تحتل كل كلمة حيزاً زمنياً في الإطار وطول الحيز الزمني ثابت.

- ترقيم الحيزات من ٠ إلى ٣١.
- توجد في الحيزين الأول (رقم ٠) والسابع عشر (رقم ١٦) كلمتا التزامن والتحكم بينما تؤخذ الكلمات المتبقية (حيز رقم ١ إلى حيز ١٥ ثم حيز رقم ١٧ إلى حيز ٣١) من القنوات بمعدل كلمة من كل قناة.

رقم القناة															
٠	1	١	٢	٣	٤	.....	١٣	١٤	١٥	١٦	١٧	.....	٢٩	٣٠	٣١
كلمة	١٥ كلمة شفرة من القنوات المنقولة (مكالمات									كلمة	١٥ كلمة شفرة من القنوات المنقولة				
تزامن	هاتفية مثلاً) طول كل كلمة ٨ بت									تزامن	(مكالمات هاتفية مثلاً) طول كل كلمة ٨ بت				
طول الإطار بالببت هو: ٢٤ x ٨ بت = ١٩٢ بت + ١ بت تزامن = ١٩٣ بت															

- أي إن عدد القنوات الحقيقية المنقولة هو ٣٠ أما القنوات رقم ٠ و ١٦ فهي للترزامن فقط.
- مدة الإطار هي $\frac{1}{8000}$ أي ١٢٥ μs
- يتم تزامن الإطار ويحافظ على هذا التزامن بفضل كلمتي التزامن والتحكم (Synchronization and signaling) المنقولتين على القنوات رقم ٠ ورقم ١٦.

تشغيل نظام التجميع ٣٢ قناة:

١. يأخذ المجمع تي أي 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 الموائية من القنوات الثلاث في الذاكرة ويكون الإطار الموالي بنفس الطريقة ثم يرسل بدوره وهكذا....

حساب معدل تدفق البيانات عرض نطاق نظام التجميع ٢٤ قناة:

(معدل تدفق البيانات = عرض النطاق Bandwidth = Bit rate)

- تردد أخذ العينات هو ثابت $f_s = 8\text{kHz}$ وكذلك مدة الإطار $125\mu\text{s}$
- عدد البت في الإطار الواحد $256 = 8 \times 32$ بت
- مدة البت الواحد هي

$$T_b = \frac{125\mu\text{s}}{256} \approx 0.488\mu\text{s}$$

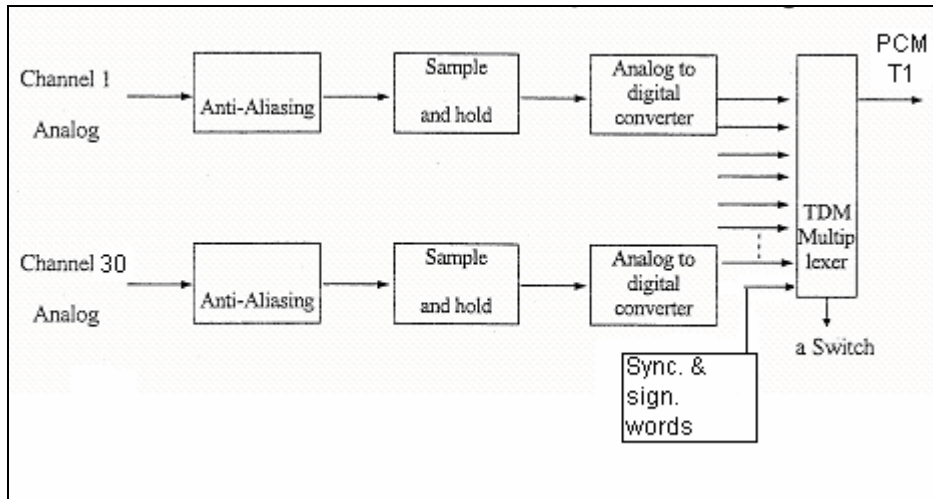
- معدل تدفق البيانات هو

$$R_b = \frac{1}{T_b} = \frac{256}{125\mu\text{s}} = 2 \text{ Mbit/s}$$

- أي إنه يتم نقل ١,٥٤٤ مليون بت في الثانية الواحدة وعرض النطاق هو

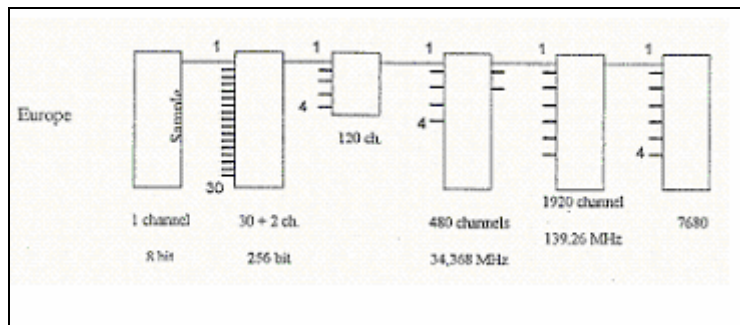
$$B_T = \frac{1}{T_B} = \frac{1}{0.488} = 2 \text{ MHz}$$

بناء نظام التجميع ٣٢ قناة و عرض نطاقه:



الشكل ٢- ١٢: نظام النقل ٣٢ قناة المعتمد في أوروبا وبقيّة بلدان العالم

بنية الإطار الأساسي والإطارات الأكبر بالنسبة لنظام النقل ٣٢



الشكل ٢- ١٣: بنية الإطار الأساسي والأطر الكبيرة في نظام النقل ٣٢ قناة

ويظهر الشكل ٢- ١٣ خصائص نظام النقل ٣٢/٣٠ قناة الخاصة بالإطار الأساسي والأطر الكبيرة.

٢-٤ تضمين دلتا

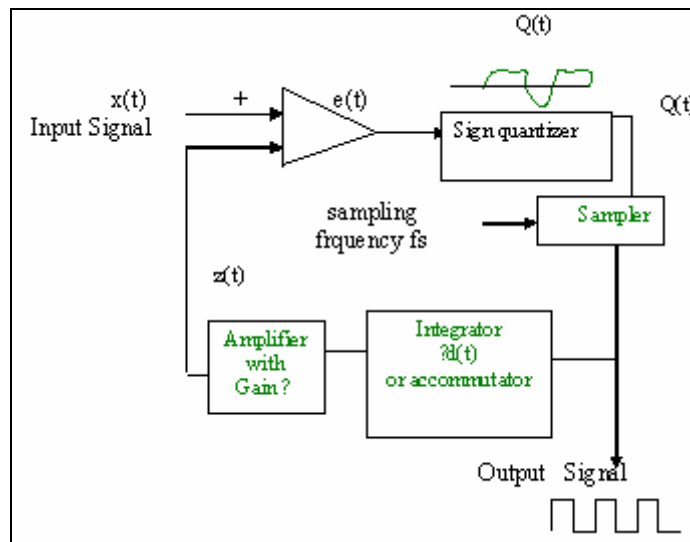
(Delta Modulation: DM)

تضمين دلتا: هي تقنية بسيطة تقلل من حجم البيانات المنقولة التي يجب تشفيرها، حيث يتم إرسال الفارق بين العينة والعينة السابقة عوضا عن إرسال القيمة الفعلية للعينة.

- يتم إرسال ١ إذا حدث ارتفاع بالنسبة للقيمة السابقة و ٠ إذا حدث ارتفاع بالنسبة للقيمة السابقة.
- تضمين دلتا لا يحتاج للتكمية ولا للتحويل التماثلي/الرقمي ولا للتحويل الرقمي/التماثلي.

٢-٤-١ تشغيل تضمين دلتا الخطي (Linear Delta Modulation: DM)

يتم تشغيل تضمين دلتا الخطي بواسطة الدائرة التالية



الشكل ٢-٤: دائرة تضمين دلتا

(١) تحدد الدائرة التفاضلية (differential circuit) الفارق بين الإشارة الداخلة $x(t)$ والإشارة التقريبية $z(t)$ وتحسب فولتية الخرج $e(t)$.

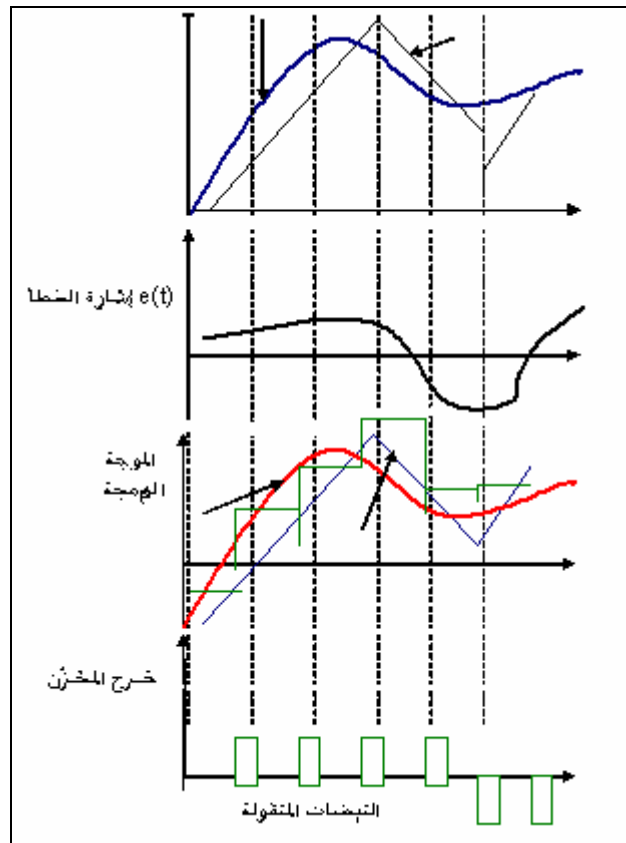
$$e(t) = x(t) - z(t)$$

(٢) يعطي مكمم الإشارة (signal quantizer) مؤشر الإشارة $Q(t)$ الذي يكون موجبا إذا كان الجهد $e(t)$ موجبا ويكون سالبا إذا كان الجهد $e(t)$ سالبا.

٣) تقوم دائرة أخذ العينات بأخذ العينات من $e(t)$ وتعطي نبضة موجبة (+1) إذا كان $e(t)$ موجبا وتعطي نبضة سالبة (-1) إذا كان $e(t)$ سالبة.

٤) ننشئ بإدماج النبضات وضرب الناتج في حجم الخطوة Δ (step size).

نرى هذه الخطوات في الشكل الموالي ٢- ١٥



الشكل ٢- ١٥ : الإشارات المختلفة في تضمين دلتا

ملحوظة:

إذا كان الدخل ثابتا، فإن الخرج سيكون قريبا من القيمة الفعلية، يكبرها تارة ويصغرها تارة أخرى.

جدوى تضمين دلتا:

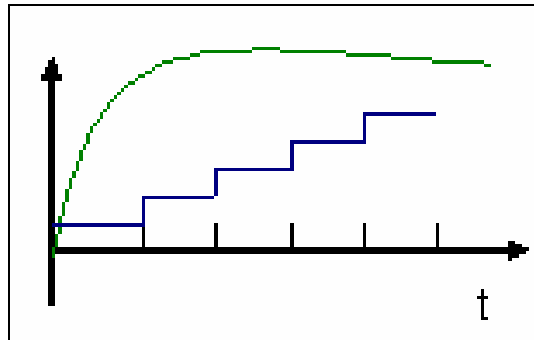
• تتحدد جدوى تضمين دلتا بعاملين هما:

- حجم الخطوة Δ (step size)

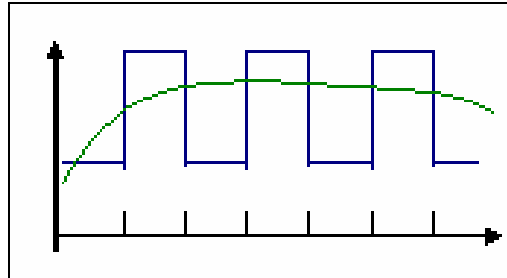
- تردد أخذ العينات f_s

• هناك نوعان من الأخطاء هما :

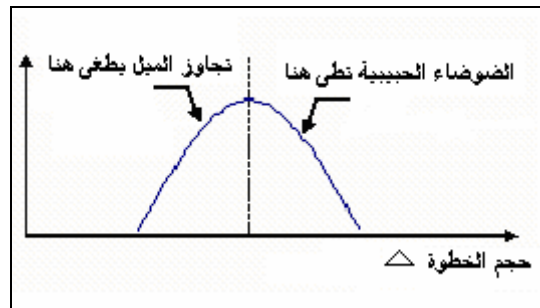
- تجاوز الميل (slope overload)
- الضجيج الحبيبي (granular noise) الذي يتكون عندما يحوم النظام حول دخل ثابت. في هذه الحال تتغير نسبة الإشارة \ الضجيج (signal to noise ratio S/N) بتغير حجم الخطوة Δ .



الشكل ٢- ١٦ : تجاوز الميل (slope overload)



الشكل ٢- ١٧ : الضوضاء الحبيبية (granular noise)



الشكل ٢- ١٨ : علاقة نسبة الإشارة / الضجيج (S/N) بحجم الخطوة Δ

٢-٤-٢ تضمين دلتا المكيف (adaptive delta modulation)

- (١) عندما تتغير الإشارة بسرعة، يعين تكبير حجم الخطوة على تفادي تجاوز الميل، أما عندما تتغير ببطء، فإن تصغير حجم الخطوة يقلل من الضوضاء الحبيبية
 - (٢) تضمين دلتا المكيف هي تقنية تعين على ضبط حجم الخطوة حسب خصائص الإشارة التماثلية
 - (٣) يجب أن يكون المستقبل قادرا على تكييف الخطوة طبقا لما يحدث في المرسل تماما حتى نستطيع استرجاع الإشارة المكتمة، أي أن تكون للثلاثين نفس الدالة المدرجة (stair case function)
 - (٤) بما أن النقل يتمثل في سلاسل بت، فإن الخطوة يجب أن تستخلص من هذه السلاسل:
- إذا كانت سلاسل البت تحتوي على مجموعة آحاد ومجموعة أصفار بنفس العدد، فإن ذلك يعني أن الدالة تتذبذب حول إشارة تتغير ببطء. في هذه الحال نصغر حجم الخطوة
 - أما إذا كانت إحدى المجموعتين أصغر من الثانية فإن ذلك يعني تغيرا سريعا وهو ما يعني أن الدالة تحاول متابعة الإشارة. في هذه الحال نكبر حجم الخطوة.

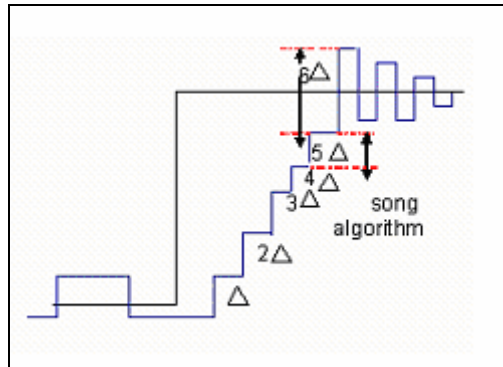
٢-٤-٣ إنجاز تضمين دلتا

(١) المعدات:

- التحكم في حجم الخطوة يتم بواسطة مكمل (integrator)
- يجمع المكمل عدد البت خلال دورة محددة، ويحدد بذلك الزيادة أو عدم الزيادة
- يحول المجموع إلى جهد يكون دخل المكبر ذا كسب متغير (variable gain amplifier).
- يكون الكسب صغيرا جدا عندما يكون عدد الآحاد وعدد الأصفار في سلاسل البت متساويين.

(٢) البرامج:

- تستعمل خوارزميات خاصة كخوارزمي سنج وخوارزمي المركبة الفضائية
- خوارزمي سنج (Song algorithm)
- يقارن بين البت الحالي والبت السابق ويزيد حجم الخطوة بمقدار Δ في حالة المساواة وينقص حجم الخطوة بمقدار Δ في حالة عدم المساواة. يتغير إذا حجم الخطوة باستمرار كما نرى في الشكل أسفله.

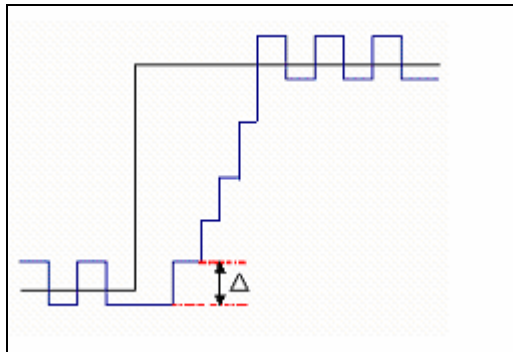


الشكل ٢ - ١٩: خوارزمية سنج (Song algorithm)

لاحظ أن هناك ذبذبة مخمدة (damped oscillation) بسبب التغير السريع

- خوارزمية المكوك الفضائي (Space shuttle algorithm)

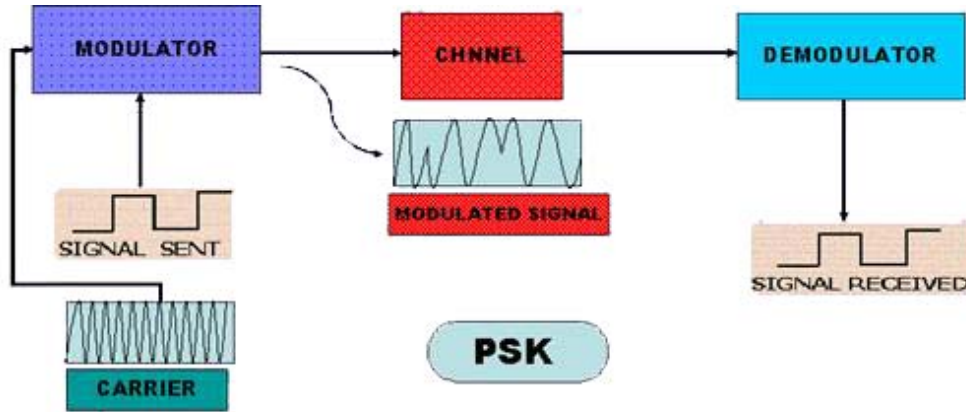
يمثل خوارزمية المكوك الفضائي تطويرا لخوارزمية سنج يزيل الذبذبة المخمدة. لما يكون البت الحالي متساويا مع البت السابق، يتم تكبير الخطوة. أما إذا كانا غير متساويين، فتعود الخطوة إلى أصغر حجم لها. انظر الشكل الموالي.



الشكل ٢ - ٢٠: خوارزمية مكوك الفضاء (Space shuttle algorithm)

أساسيات الاتصالات الرقمية

تضمين إمرار النطاق



الوحدة الثالثة: تضمين إمرار النطاق

Band Pass Modulation (BPM)

الجدارة: نحصل على هذا النوع من التضمين عندما يقوم سيل من الخانات الثنائية (إشارة تضمين الدخل الثنائية) بتغيير أحد معاملات إشارة التردد المرتفع (الإشارة الحاملة).

هذه المعاملات هي: السعة، التردد، الطور

يوجد ثلاثة أشكال رئيسية لتضمين إمرار النطاق وهي:

- تضمين إزاحة السعة مفتاحيا (ASK) (Amplitude shift keying)
- تضمين إزاحة التردد مفتاحيا (FSK) (Frequency shift keying)
- تضمين إزاحة الطور مفتاحيا (PSK) (Phase Shift keying)

الأهداف: أن يصل المتدرب إلى إتقان الجدارة بنسبة ٩٠٪.

الوقت المتوقع: ١٥ ساعة

الوسائل المساعدة: معمل أساسيات الاتصالات الرقمية

متطلبات الجدارة: أن يكون المتدرب قد اجتاز مقرر الدوائر الكهربائية ودروس الوحدة الأولى و الوحدة الثانية من هذه الحقيبة.

1-3 العلاقة بين معدل الخانات (bit rate) ومعدل الرموز (Baud rate)

كل نوع من أنواع تضمين الامرار النطاقي (ASK,FSK,PSK) يمكن أن تكون ثنائية أو تعامدية أو متعددة المستوى (ممييه).

١- التضمين الثنائي (Binary modulation):

كل خانة (bit) على المدخل مسؤول عن تغيير رمز واحد في احدى معاملات الموجة الحاملة على المخرج وعليه فإن :

$$R_b = R_s$$

$$M = 2^N$$

$$N = \log M = \log 2^2 = 1 \quad (1-3)$$

حيث :

R_b : سرعة الخانات أو سرعة البيانات (وتعني معدل التغيرات على مدخل المضمن وهي تمثل عدد الخانات المرسل في الثانية الواحدة ووحدتها bit/sec)

R_s : سرعة الرموز أو السرعة البودية (سرعة التغيرات على مخرج المضمن وهي تمثل عدد التغيرات في أحد معاملات الموجة الحاملة : السعة أو التردد والطور) .

M : العدد الكلي للرموز المحتملة .

N : عدد الخانات المحمولة ضمناً في كل رمز (عدد الخانات المسؤولة عن الرمز الواحد)

٢- التضمين التعامدي (Quadrature modulation):

كل اثنين من الخانات مسؤولة عن رمز واحد (تغير واحد في الموجة الحاملة) وعليه فإن :

$$R_s = R_b/2$$

$$M = 2^N = 2^2 = 4 \quad (2-3)$$

$$N = \log_2 M = \log_2 4 = 2$$

٣- أنظمة التضمين المتعددة المستوى (الميميه) :

كل عدد (N) من الخانات مسؤول عن تغيير واحد في الموجة الحاملة (أي رمز واحد) وعليه فإن :

$$R_s = R_b/N = R_b/\log_2 M$$

$$M = 2^N$$

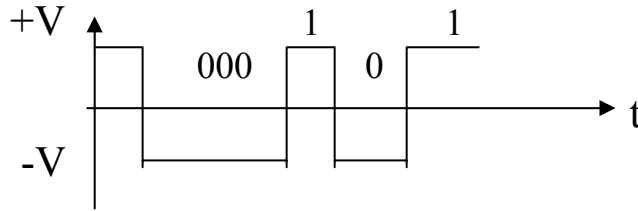
$$N = \log_2 M \quad (3-3)$$

2-3 تضمين إزاحة السعة مفتاحيا (ASK) :

ويقصد به إزاحة سعة الموجة الحاملة $(A_c \sin wct)$ أو $(A_c \cos wst)$ من القيمة الأدنى في حالة الصفر المنطقي (٠) إلى القيمة العليا في حالة الواحد المنطقي (١) ولهذا النوع من التضمين حالتان:

أولاً: الحالة العامة

توليد إشارة (ASK) باستخدام إشارة التضمين ثنائية القطبية (تحمل مواصفات التضمين التماثلي من نوع التضمين السعوي ذي النطاق الجانبي المزدوج مع الحامل (AM.DSBTC) كما هو موضح بالمثال (1-3)



شكل (1-3) إشارة تضمين النطاق الأساسي على المدخل

(١) نفترض أن إشارة النطاق الأساسي $V_m(t)$ من النمط (NRZ-L) ثنائية القطبية والموجة الحاملة هي

$$V_c(t) = A_c \cos 2\pi fct$$

(٢) باستخدام القاعدة المعروفة والخاصة بالتضمين السعوي نحصل على معادلات (ASK) كما يلي:

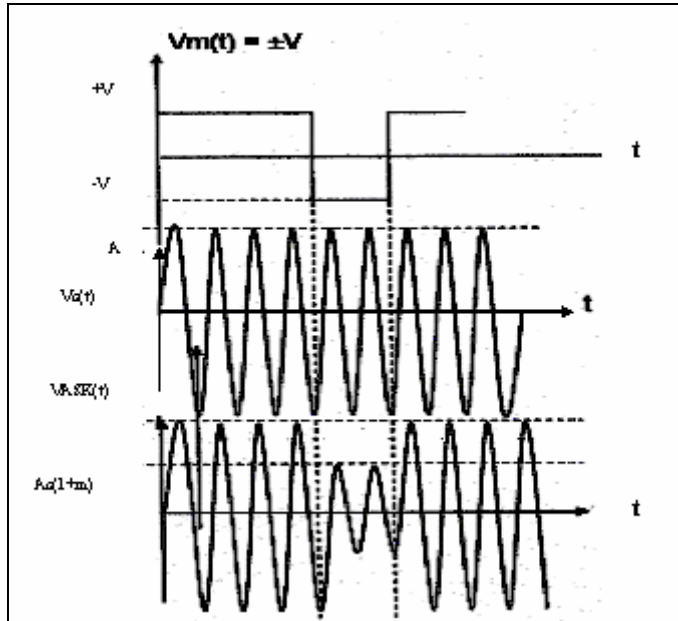
$$\begin{aligned} V_{ASK(t)} &= [A \pm V_{m(t)}] \cos 2\pi fct \\ &= [Ft \pm v] \cos 2\pi fct \\ &= A[1 \pm V/A] \cos 2\pi fct \\ &= A[1 \pm m] \cos 2\pi fct \end{aligned}$$

وأخيراً فالشكل العام لإشارة (ASK) كالتالي

$$V_{ASK(t)} = A [1 \pm m] \cos 2\pi fct \quad (4-3)$$

حيث (m) هو معامل التضمين

والشكل البياني للموجات موضح بالشكل (2-3)



الشكل (2-3) تضمين (ASK)

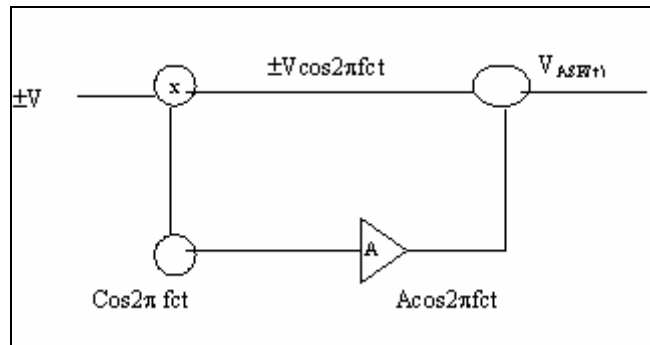
الفاعلية القصوى لإشارة (ASK) (Efficiency)

ونحصل عليها عندما يكون معامل التضمين $m = 1$ وفي هذه الحالة تزداد السعة ما بين $(0V$ إلى $2A)$

توليد (ASK) (مضمن ASK)

تستخدم نفس الدائرة الوظيفية المستخدمة في توليد التضمين السعوي التماثلي كما هو مبين في

الشكل (3-3)



شكل (3-3) مضمن (ASK)

كشف (ASK) (كاشف ASK)

يستخدم كاشف الغلاف (Envelope detector)

ثانيا : الحالة الخاصة

وهي تشبه التضمين التماثلي من نوع النطاق المزدوج مع طرد الحامل (DSB-SC) ويطلق على هذا النوع اسما خاصا هو تضمين الفتح والقفل (OOK) (ON-OFF KEYING) ويمكن توضيح هذا التضمين بالخطوات التالية :

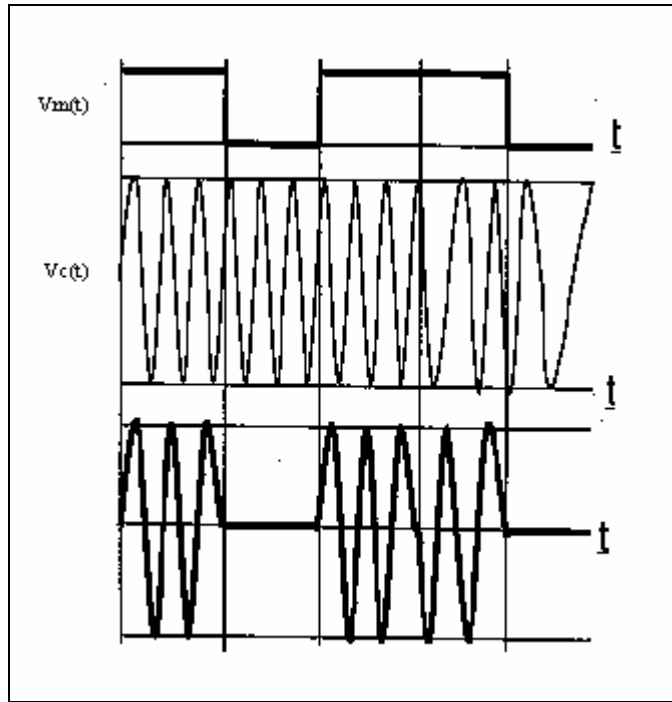
(١) يستخدم سيل الخانات الثنائي أحادي القطبية (unipolar) كإشارة تضمين (modulating signal)

$$V_m(t) = \begin{cases} +1 \text{ V} & \text{logic 1} \\ \text{or} \\ 0 \text{ V} & \text{logic 0} \end{cases}$$

(٢) إشارة OOK نحصل عليها كنتيجة لعملية ضرب إشارة الموجة الجيبية الحاملة وإشارة التضمين حسب المعادلة (5-3)

$$\begin{aligned} V_{ook}(t) &= V_m(t) * V_c(t) \\ &= V_m * A_c \cos w_c t \\ &= \begin{cases} A_c * \cos w_c t & \text{for logic (1)} \\ 0 & \text{for logic (0)} \end{cases} \end{aligned} \quad (5-3)$$

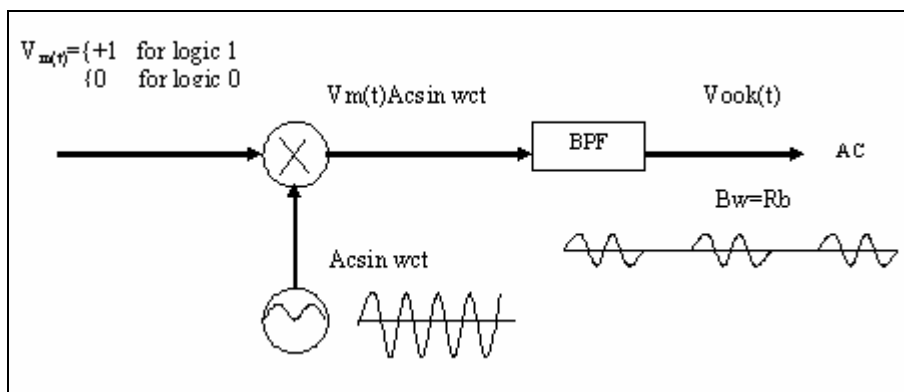
ويمكن توضيح هذه العملية بالرسوم البيانية في الشكل (4-3)



شكل (3-4) تعديل (OOK)

توليد إشارة تضمين (OOK) (مضمن OOK)

تستخدم دائرة مماثلة كتلك التي درستها في مقرر الاتصالات وتعتمد على استخدام المضمنات المترنة (Balanced Modulators) (المضمن الحلقي كمثال على ذلك) الشكل (3-5) توليد إشارة (OOK) باستخدام المضمن المترن



شكل (3-5) دائرة توليد (OOK)

كشف تضمين الفتح والقفل (OOK Detection)

يوجد نوعان من الكشف:

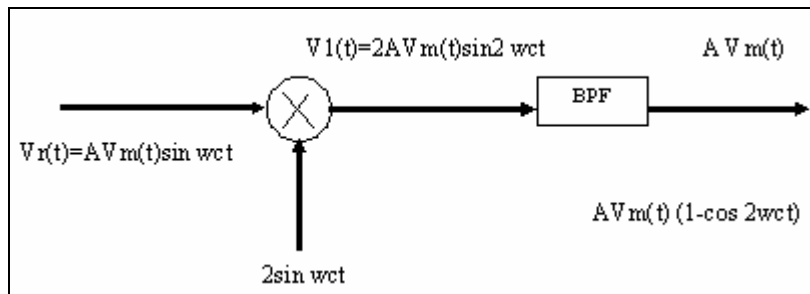
(١) الكشف الترابطي (coherent detection)

أو التزامني (synchronous detection)

هذا النوع من الكشف يتطلب موجة حاملة مرجعية (reference carrier) يتم توليدها في جهاز الاستقبال بدلا من الموجة الحاملة التي تم ضغطها في المرسل. آخذين في الاعتبار أن الموجة الحاملة التي يتم توليدها في المستقبل يجب أن تكون متوافقة من حيث التردد والطور مع تلك التي تم ضغطها في المرسل وإذا لم يتم مراعاة هذه الشروط يحدث تشوه في الإشارة يسمى عدم توافق الطور والتردد

(phase & frequency mismatch distortion)

الشكل (6-3) يبين دائرة الكشف الترابطي وهي نفس الدائرة المستخدمة في كشف تضمين (AMDSB-SC) بواسطة الكشف التزامني (synchronous detection)

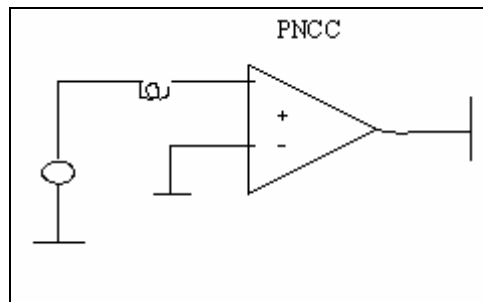


شكل (6-3) دائرة كشف ترابطي (OOK)

(٢) الكشف اللا ترابطي (Non Coherent Detection)

أو اللا تزامني (Asynchronous detection)

في هذا النوع لا داعي لتوليد الموجة الحاملة في جهاز الاستقبال ونستطيع استخدام كاشف الغلاف (Envelope detector) كما هو موضح بالشكل (7-3)



شكل (7-3) (المخطط الوظائف) لدائرة الكاشف اللا ترابطي

مبدأ العمل:

(١) النصف الموجب من الموجة يسمح له بالمرور عبر الصمام الثنائي (diode) وهو أحد أجزاء كاشف الغلاف ومن ثم يقوم المكثف بالشحن السريع لأن تأثير زمن الشحن (time constant of charge) صغير جدا بسبب صغر مقاومة التوصيل للصمام (forward resistance) بينما يكون الصمام في حالة قطع (reverse biased) عند قدوم نصف الموجة السالب من إشارة المدخل يحاول المكثف التفريغ عبر المقاومة الكبيرة (R) لكنه لا يستطيع ذلك لأن ثابت زمن التفريغ مرتفع حسب $T = R * C$ باستثناء عمليات تفريغ ضئيلة جدا تؤدي إلى تكون تموج على إشارة المخرج لكاشف الغلاف

(٢) ولكن يتم تنعيم هذا التموج باستخدام دائرة المرشح الإمراري المنخفض والنتيجة نبضات ليست منتظمة الشكل تماما

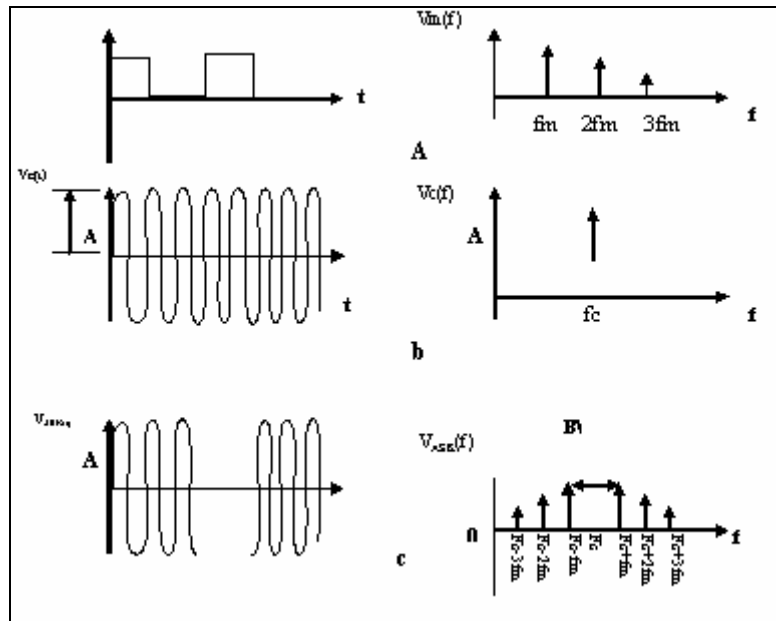
(٣) استرجاع الشكل المثالي لهذه النبضات يتم بتمريرها عبر استرجاع شكل الموجة الثنائية (binary restoration) باستخدام دائرة المقارن (comparator)

عرض النطاق في أنظمة (OOK) (OOK Bandwidth)

(١) يحسب عرض النطاق للحالة الأسوأ أي عندما تكون إشارة التضمين $V_m(t)$ عبارة عن إشارة (pcm) مكونة من تتابع دوري للواحد والصفر (ones followed by zeros) في هذه الحالة يكون أقل زمن دوري $T_m = 2T_b$ وأقصى تردد أساسي $f_m = 1/T_m = 1/2T_b = R_b/2$

(٢) إشارة (OOK) نحصل عليها من حاصل ضرب الموجة الحاملة بتردد (Fc) مع الموجة المربعة $V_m(t)$ (إشارة التضمين)

الطيف الترددي للموجة الناتجة موضح بالشكل (3-8) وهو مكون من خط عند تردد (Fc) ومجموعة مركبات ترددية متباعدة بمقدار المضاعفات الفردية لتردد (Fm) على كلا جانبي (Fc)



شكل (8-3) الطيف الترددي للإشارات الناتجة من (OOK)

ومن الشكل (8c-3) نرى أن العلاقة التي تربط (F_m) مع سرعة المعلومات (data rate) (R_b) يمكن توضيحها بالعلاقة التالية:

$$R_b = 1/T_b = 1/(T_m/2) = 2F_m$$

٤) وكما هو معروف فإن عرض النطاق يحدد بمقدار المركبات الترددية على كلا جانبي (F_c) مما يعني أن عرض النطاق يمكن أن يكون لانهائي وهذا غير مسموح به وإذا اقتصرنا على زوج المركبات الجانبية الأول باعتبار أن معظم الطاقة محصورة بين هذه المركبات فإن عرض النطاق (Bandwidth) يكون حسب المعادلة (3-3):

$$BT = R_b = 2F_m \quad (6-3)$$

مسألة 1-3 :

إشارة (NRZ-PCM) ثنائية بسرعة معلومات تساوي (200 Kbit/sec) تقوم بتضمين إشارة حاملة حسب النمط (ASK) أوجد عرض نطاق الإشارة المرسلة

الأداء : (نسبة الخطأ في الخانات ونسبة الخطأ في الرموز)

Performance: (bit error rate & symbol error rate)

(١) في أنظمة الاتصالات الرقمية يتم الحكم على أداء وجودة النظام بما يسمى معدل الخطأ في الخانات

(BER) أو احتمالية الخطأ في الخانات (Probability of bit error) ويرمز لها (PB)

كما يستخدم أيضاً مصطلح معدل الخطأ في الرموز (Probability of symbol error) ويرمز لها بالرمز (PE)

(٢) الخطأ في الخانات يحدث كنتيجة لحدوث خطأ في الرمز (تغير إحدى معاملات الموجة الحاملة كالسعة أو التردد أو الطور يسمى رمزا) أثناء الإرسال كنتيجة للضوضاء أو التداخل أو تداخل الرموز وغيرها .

(٣) لتوضيح العلاقة بين (BER) و (SER) نلقي نظرة على أنظمة التضمين المختلفة فمثلا :

- في أنظمة التضمين الثنائية (BASK,BFSK,BPSK)

فإن كل رمز (symbol) يحمل ضمناً خانة واحدة (1 bit) أو بمعنى آخر كل خانة مسؤولة عن تغيير واحد (الرمز) في إحدى معاملات الموجة الحاملة .

وعليه يكون : $BER = SER$ أو $PB = PE$

- في أنظمة التضمين التعامدية (QASK,QFSK,QPSK)

فإن كل رمز يحمل ضمناً خانتين (2 bit) وعليه تكون $BER = 1/2 SER$ أو $PB = 1/2 PE$

- في أنظمة التضمين الميمية ($\mu ASK, \mu FSK, \mu PSK$)

فإن كل رمز يحمل (N) من الخانات أو كل (N) من الخانات تؤدي إلى تغيير رمز واحد من الرموز الممكنة للموجة الحاملة وعليه يكون :

$$PB = PE / N = PE / \log_2 M$$

حيث إن (M): العدد الكلي للرموز الممكنة (تغيرات السعة أو التردد أو الطور)

فمثلا في نظام (16-PSK) فإن $M = 16$ و $N = \log_2 16 = 4$ مما يعني أن : $PB = PE / 4$ وهكذا

(٤) معدل الخطأ في الخانات (BER) تعني حصراً (احتمالية استقبال الخانة المرسله عبر خط الاتصالات بشكل خاطئ .

(٥) ولقد ثبت رياضياً أن (تعني حصراً) احتمالية استقبال الخانة المرسله عبر خط الاتصالات بشكل خاطئ .

(٦) ولقد ثبت رياضياً أن (BER) يتناسب مع (E_b / N_0) وأن (SER) يتناسب مع (E_s / N_0) حيث إن :

E_b, E_s = متوسط الطاقة لكل خانة أول كل رمز بالترتيب

N_0 = الكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء (W/HZ)

أداء أنظمة (BASK) الثنائية

(Performance of binary BASK)

إن العلاقات الرياضية المستخدمة في تحديد الأداء سهلة الاستعمال ولكنها صعبة الاشتقاق ويعتمد على نظرية الاحتمالات ولذلك سنكتفي بسرد هذه العلاقات والإكثار من الأمثلة التي تساعد المتدرب على استخدامها .

وتعتمد هذه العلاقات على طبيعة الدوائر المستخدمة في استخلاص التضمين من كونها ترابطية أو لا ترابطية

(١) الكشف الترابطي : (Coherent detection)

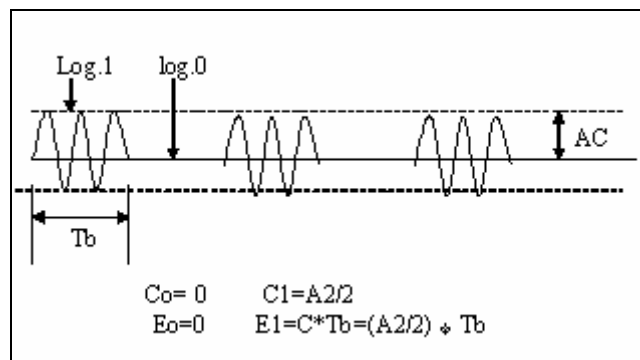
$$P_B = P_E = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{E_b / 2N_0} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} (\sqrt{C / 4N})$$

$$= \frac{1}{2} \operatorname{erfc} (\sqrt{A^2 T_b / 8N_0}) \quad (7-3)$$

(٢) الكشف اللا ترابطي : (Non Coherent detection)

$$P_B = P_E = e^{-(E_b / 2N_0)} = \frac{1}{2} e^{-(C / 4N)} = \frac{1}{2} e^{-(A^2 T_b / 8N_0)} \quad (8-3)$$

حيث إن $E_b = (E_1 + E_0) / 2$ متوسط القدرة لكل خانة (bit) (جول)
انظر إلى الشكل (9-3) الذي يوضح ذلك



شكل (9-3) إشارة (BASK) حالة (OOK)

$$E_1 = C_1 * T_b = A^2 T_b / 2$$

الطاقة لكل خانة عند إرسال الواحد المنطقي

$$E_0 = 0$$

الطاقة لكل خانة عند إرسال الصفر المنطقي
وبالتالي يمكن كتابة :

$$E_b = E_1 + E_2 / 2 = C T_b / 2 = A^2 * T_b / 4$$

$$C_1 = C = A^2 / 2$$

قدرة الموجة الحاملة عند مدخل المستقبل عندما يكون الواحد المنطقي هو المرسل

$$C_0 = 0$$

القدرة عند إرسال الصفر المنطقي

السعة العظمى للحامل المستقبل (A) (A – Peak amplitude of the received carrier (v))

$$N_0 = N / BT = N / R_b = K T \quad (W / HZ)$$

الكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء

$$N = K T * B T \quad (W)$$

قدرة الضوضاء عند مدخل المستقبل

$$K = (1.38 * 10^{-23} \text{ JK})$$

ثابت بولتسمان

$$T = (T_A + T_R)$$

درجة الضوضاء الكلية عند مدخل المستقبل (K)

TA: : درجة ضوضاء الهوائي (ناتجة عن الضجيج الخارجي)

$$T_R = T_1 + T_2 / a_1 = T_3 / a_1 + a_2 + \dots$$

درجة ضوضاء المستقبل (ناجمة عن الضجيج الداخلي)

$$T_1, T_2, T_3, \dots$$

درجة ضوضاء وحدات المستقبل المتتابة

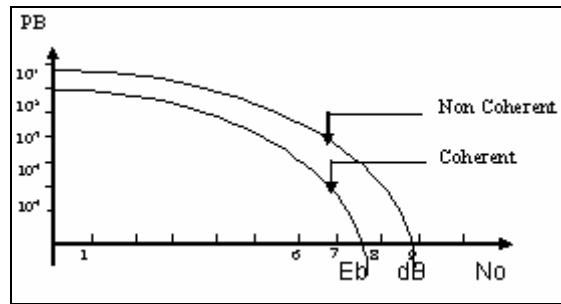
$$G_1, G_2, G_2, \dots$$

معامل تكبير القدرة لوحدات المستقبل

$$C / N$$

نسبة قدرة الحامل إلى قدرة الضوضاء عند مدخل المستقبل

أداء أنظمة (BASK) الثنائية باستخدام منحنيات (BER) :



شكل (10-3) منحنيات (BER)

مسألة 2-3:

معلومة ثنائية أرسلت بمعدل (10 Kbit/s) باستخدام (OOK) وتردد الحامل يساوي (10MHz) وسعة الحامل تساوي (2V) (-10) والكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء المضافة تساوي (5*10⁻⁵ W/HZ) صمم كاشفا ترابطيا وأوجد معدل الخطأ في الخانات (BER)

3-3 تضمين إزاحة التردد مفتاحيا

Frequency Shift Keying (FSK)

تردد الموجة الجيبية الحاملة ذات التردد المرتفع يزاح من (Fs) (تردد الفراغ) في حالة الصفر المنطقي إلى (Fm) (تردد العلامة) في حالة الواحد المنطقي عند استخدام إشارة نطاق أساسي (base band) ثنائية القطبية (polar).

وبكلمات أخرى:

الواحد المنطقي والصفر المنطقي ترسل على ترددات مختلفة ذات انحراف ترددي ΔF ثابتة عن تردد الحامل (FC)

تحليل FSK:

(١) التعبير العام لإشارة (FSK) الثنائية هو :

$$V_{FSK}(t) = (A \cos \{ 2 \pi (f_c + V_M(t)) \Delta f \} t) \quad (9-3)$$

حيث: V_{FSK} - موجة (FSK) الثنائية

- A سعة الحامل العظمى (Volts)

- F_c تردد الحامل المركزي (بدون انحراف) (HZ)

- Δf انحراف التردد الأقصى وتحده سعة وقطبية الإشارة (Vm (t)) (HZ)

- $V_m(t)$ إشارة التضمين الثنائية على المداخل (± 1)

$$\text{Logic (1)} = +1, \text{ Logic (0)} = -1$$

(٢) وبناء عليه فإن المعادلة (9-3) يمكن كتابتها بالشكل التالي :

$$(a) V_{FSK}(t) = A \cos [2\pi (f_c + \Delta f) t] = A \cos 2\pi f_m t.$$

$$\text{for a logic 1, } V_m(t) = +1 \quad (3-10)$$

$$(b) V_{FSK}(t) = A \cos [2\pi (f_c - \Delta f) t] = A \cos 2\pi f_s t$$

$$\text{for a logic 0, } V_m(t) = -1$$

ملحوظات :

(أ) كلما تغيرت إشارة المدخل الثنائية من (Logic 0) إلى (Logic 1) وبالعكس فإنه تحدث إزاحة للتردد

على المخرج (مخرج المضمن) بين ترددين هما :

تردد العلامة أو تردد (Logic 1) ويساوي $F_m = F_c + \Delta F$

وتردد الفراغ أو تردد (Logic 0) ويساوي $F_s = F_c - \Delta F$

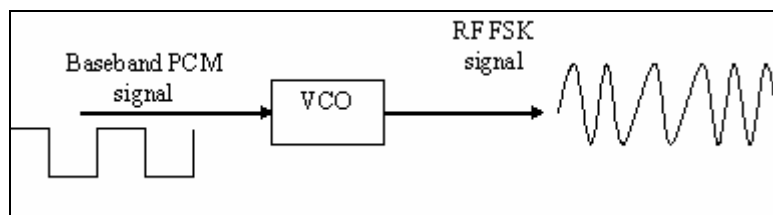
(ب) ترددات العلامة والفراغ (F_m & F_s) متباعدة عن تردد الحامل (F_c) بمقدار انحراف التردد الأقصى

أي ($F_c \pm \Delta F$)

توليد إشارة (FSK) :

(١) إشارة (FSK) يتم توليدها بواسطة جهاز يسمى المذبذب المحكوم بالفولت (VCO) أو

(Voltage Controlled Oscillator) وهو عبارة عن دائرة متكاملة في شريحة إلكترونية واحدة



شكل (12-3) مذبذب (VCO)

(٢) مبدأ عمل جهاز الـ (VCO):

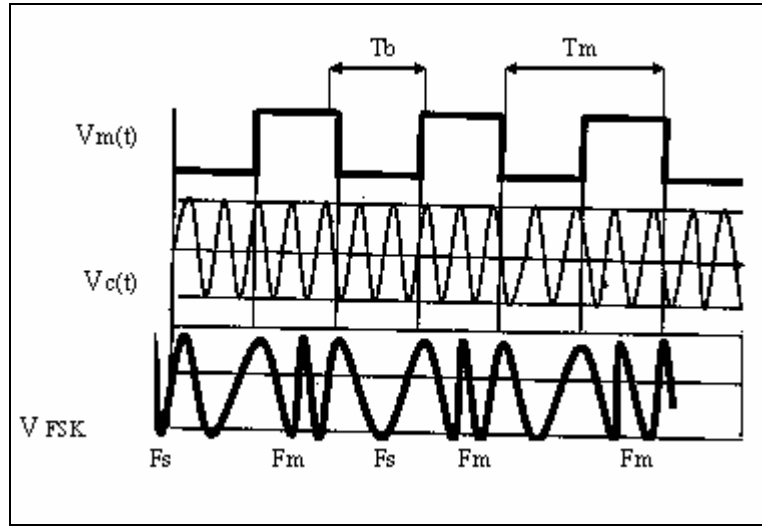
يعتمد على كون الجهد (Voltage) على مدخله يحدد مقدار تردد الإشارة على مخرجه.

وتستخدم إشارة التضمين الثنائية كإشارة تحكم ، في حين أن إشارة المخرج هي عبارة عن إشارة (FSK)

(٣) وحيث إن إشارة التضمين تأخذ إحدى قيمتين ($V_m(t) = \pm 1$) ، فإن الـ (VCO) يولد أحد الترددين

(F, F_s)

موجات (FSK):



شكل (13-3) إشارة (FSK)

حيث :

- T_m - زمن الدورة الأقصر (sec)
- F_m - التردد الأساسي الأقصى لإشارة التضمين $V_m(t)$ (HZ)
- R_b - معدل الخانات (bits) على المدخل ($R_b = 2F_m$) (bit/sec)
- F_m - تردد العلامة (Mark Frequency)
- F_s - تردد الفراغ (Space Frequency)

معدل الخانات (bits) (R_b) ومعدل البودات (Baud rate) في تضمين (FSK) :

(١) في تضمين (FSK) الثنائي هناك تغير في التردد على مخرج المضمن في كل مرة تتغير فيها الحالة المنطقية لإشارة المدخل الثنائية .

(٢) وبالتالي فإن معدل التغير على المخرج يساوي معدل التغير على المدخل.

(٣) في التضمين الرقمي:

معدل الخانات (bit rate) أو (R_b) : ويعني معدل التغير على مدخل المضمن ويرمز إلى سرعة البيانات المعدل البودي أو معدل الرمز (Baud rate or symbol rate) : ويعني معدل التغيرات على مخرج المضمن

(٤) وكما هو واضح من الشكل (3-9) فإن تغيرات المخرج من تردد العلامة (F_m) لتردد الفراغ (F_s)

وبالعكس هو نفس معدل تغيرات حالات المدخل من الواحد المنطقي إلى الصفر المنطقي .

$$\text{Bit rate} = \text{Symbol rate (Baud rate)}$$

$$R_b \text{ (bit/sec)} = R_s \text{ (Symbol/sec)} = \text{Baud rate (baud)}$$

أي إن

نطاق الإمرار لتضمين (FSK) : (FSK Bandwidth)

(١) عرض نطاق الإمرار الأدنى (BT) لتضمين (FSK) يمكن أن نجده باستخدام قاعدة كارلسون المستخدمة في تضمين (FM) التماثلي حسب المعادلة (3-11)

$$B_T = 2 (\Delta f + f_m) \quad (11-3)$$

حيث : $(\Delta F = F_m - F_s/2)$

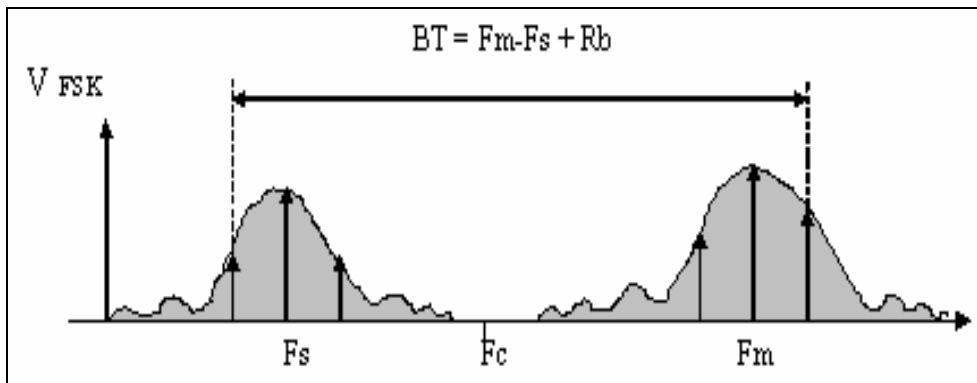
: مقدار الانحراف الترددي على كلا جانبي تردد الحامل في زمن الاستراحة (F_c) $F_m = R_b/2$

: التردد الأساسي الأقصى لإشارة التضمين الثنائية للحالة الأسوأ (أي موجة مربعة) الناتجة عن تعاقب الواحد والصفر

(٢) بتعويض قيم (F_m) و (ΔF) في المعادلة (11-3) فنحصل على المعادلة (١٢-٣)

$$B_T = 2 \Delta f + 2 f_m = f_m - f_s + R_b \quad (12-3)$$

إيجاد (BT) باستخدام الطيف الترددي لإشارة (FSK)



شكل (14-3) الطيف الترددي لإشارة (FSK)

الموجات الجيبية المنبضعة (Pulsed sinusoidal waves) لها أطيايف ترددية حسب الدالات $(\sin x/x)$ ولذلك

نستطيع أن نعرض طيف إشارة (FSK) الخارجة كما هو في الشكل (12-3)

وفيه نرى أن التردد الأساسي (F_m) يكون الأعلى ومساويا لنصف معدل الخانات (R_b) أي إن :

$$R_b = 2F_m$$

وإذا افترضنا أن إشارة التضمين الثنائية تحتوي على تتابع عشوائي للأصفار والآحاد أي ليست مربعة فإن الطيف الترددي في هذه الحالة لا يحتوي على مركبات منفصلة كما هو في الشكل (3-14) بل يكون حسب الجزء المضلل في نفس الشكل .

مسألة 3-3:

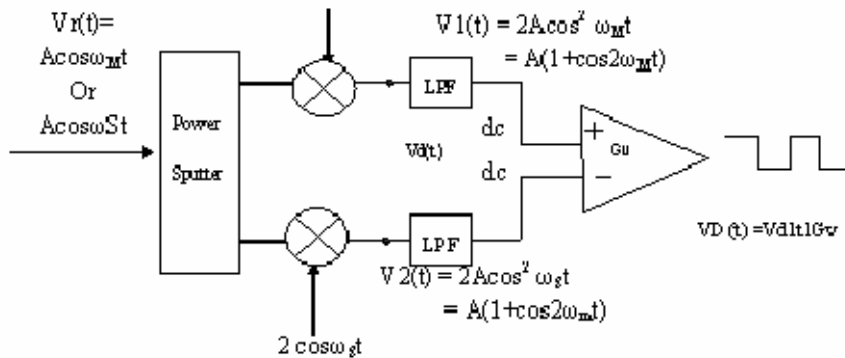
إشارة (PCM) ثنائية من النوع (NRZ-L) ذات معدل تراسلي (200 K bit / sec) تضمن موجة حاملة لاسلكية في نظام (FSK) ، الترددان الراديويان متباعداً عن بعضهما بمقدار (150KHZ) . أوجد عرض نطاق الإرسال

مبدأ العمل :

- ١- تمرر الإشارة المستقبلية إلى اثنين من مرشحات الإمرار النطاقي أحدهما تم ضبطه على تردد (Fm) والآخر على تردد (Fs) .
- ٢- عند إرسال الواحد المنطقي (Logic 1) فإن مخرج المرشح العلوي يكون عند القيمة القصوى بينما قيمة مخرج المرشح السفلي تكون ضئيلة وتنعكس النتائج على مخرج المرشحات عندما يتم إرسال الصفر المنطقي (Logic 0)
- ٣- يقوم كاشف الغلاف في كل مسار بتحويل الإشارة الراديوية المنبضعة (Pulsed RF Signal) إلى نبضات النطاق الأساسي للبيانات (base band)
- ٤- أخيراً فإن النبضات من كلا المسارين تتحد للحصول على إشارة النطاق الأساسي للبيانات .
- ٥- عادة ماتكون النبضات الناتجة قد تعرضت للتشوه إضافة إلى تأثير الضوضاء عليها ولذلك فإنه يجب تمريرها عبر دائرة استعادة الشكل الثنائي (Binary restoration) وهي عبارة عن دائرة مقارنة .

ب (الكشف الترابطي لتضمين (FSK):

FSK Coherent detection



شكل (3-15) الكشف الترابطي لإشارة (FSK)

مبدأ العمل :

١. في هذا النظام يجب توليد الموجات الحاملة محليا بحيث يكون لها نفس الطور والتردد كتلك التي تم ضغطها في المرسل وفيما عدا ذلك سيتكون تشوه للإشارة يسمى اللا توافق الترددي والطوري يؤدي إلى خفوت الإشارة في حالة اللا توافق الطوري أو صعودها وهبوطها باستمرار في حالة اللا توافق الترددي.

- نفترض ان الواحد المنطقي (Logic 1) هو المرسل عندها تكون الإشارة المستقبلية :

$$V_r(t) = A \cos \omega_m(t) \quad (13-3)$$

- على مخرج المضمن المتزن للذراع العلوي نحصل على :

$$V_c(t) = 2A \cos(2) \omega_m t = A(1 + \cos 2\omega_m t) \quad (14-3)$$

٢. الحد الأخير من الجهة اليمنى للمعادلة (14-3) يمكن إزالته بواسطة مرشح الإمرار المنخفض فنحصل

على المدخل الموجب لمكبرالفرق (differential amp.) على إشارة تيار ثابت موجبة في حين أن الفولتية على المدخل السالب لها تكون صفراً والمحصلة تكون إشارة ثابتة موجبة على مخرجة حسب المعادلة (15-3) :

$$V_o(t) = G_v \quad V_d(t) = A * G_v = \text{positive constant} \quad (15-3)$$

أي بكلمات أخرى القيمة على المخرج معادلة لقيمة الواحد المنطقي (Logic 1)

٣. خطوات مماثلة تحدث على المسار السفلي في حالة إرسال الصفر المنطقي (Logic 0) وتكون النتيجة فولتية ثابتة ذات إشارة سالبة .

الأداء (Performance) :

(أ) الكشف الترابطي :

$$\begin{aligned} \text{BER} = \text{PB} &= \frac{1}{2} \text{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{2N_o}} \right) \\ &= \frac{1}{2} \text{erfc} \left(\sqrt{\frac{P_c T_b}{2N_o}} \right) \\ &= \frac{1}{2} \text{erfc} \left(\sqrt{\frac{A^2 T_b}{4N_o}} \right) \end{aligned} \quad (3-16)$$

$$E_b = P_c T_b$$

$$P_c = \frac{A^2}{2}$$

$$N_o = \frac{P_N}{B_T}$$

حيث :

(Eb) الطاقة لكل خانة

(Pc) طاقة الموجة الحاملة

(No) الكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء

(ب) الكشف اللاترابطي

$$\begin{aligned} \text{BER} = \text{PB} &= \frac{1}{2} \exp \left(\frac{-E_b}{2N_o} \right) \\ &= \frac{1}{2} \text{erfc} \left(\sqrt{\frac{A^2 T_b}{2N_o}} \right) \end{aligned} \quad (3-17)$$

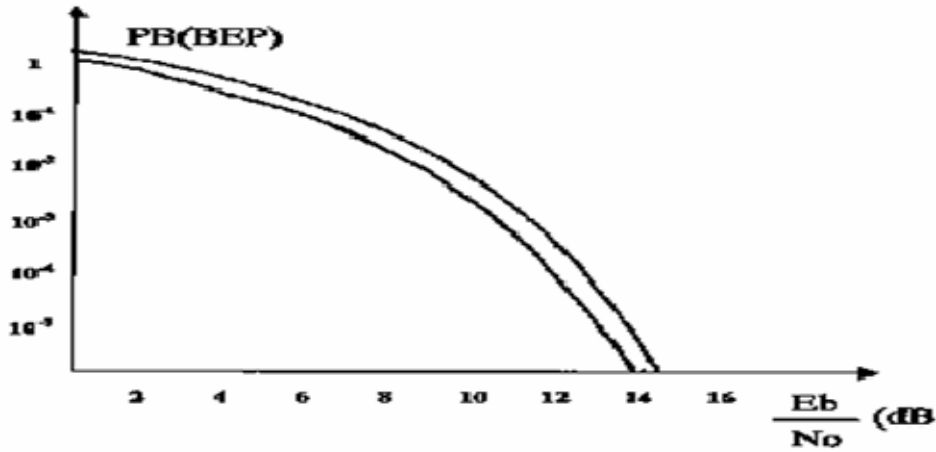
مقارنة بين أداء الكشف الترابطي واللاترابطي

يمكن إيجاد احتمالات الخطأ في الخانات (bits) لكلا الطريقتين باستخدام المنحنيات كما بالشكل

(16-3) حيث تعتمد احتمالية الخطأ (PB) على مخرج الكاشف على نسبة الإشارة إلى الضوضاء عند

مدخل المستقبل

$$PB = F \left(\frac{-E_b}{2N_0} \right) = F(C/N)$$



شكل (16-3) مقارنة الأداء في كشف أنظمة (FSK)

مسألة 4-3 :

أوجد (BER) لكلا الحالتين : الكشف الترابطي واللا ترابطي عند استخدامها من قبل نظام (FSK) حيث إن فترة الخانة (bit) هي (2sec) وسعة الإشارة (0.4 V) والترددات المستخدمة هي: (1KHZ, 2KHZ) الضوضاء المضافة ذات كثافة قدرة تساوي (10(-12) w/HZ) استخدم المنحنيات الشكل (13-3) ومن ثم الحسابات لإيجاد (BER)

4-3 تضمين إزاحة الطور مفتاحياً

Phase Shift Keying (PSK)

هذا النوع هو الأكثر شيوعاً في الاتصالات الرقمية (حيث إن طور الموجة الحاملة يتغير حسب إشارة المدخل الثنائية) وهذا يعود إلى الأسباب التالية :

- صغر عرض النطاق كما هو في أنظمة (ASK).
- يتمتع هذا النظام بجودة عالية كما هو في أنظمة (FSK) لابل أفضل منها .

أنواع تضمين الإزاحة الطورية مفتاحيا :

(١) PSK ثنائية الحالة أودات الطورين وتسمى تضمين إزاحة الطور الثنائي مفتاحيا (Binary PSK)

وهي تقنية تضمين رقمية حيث طور الموجة الحاملة يأخذ إحدى قيمتين محتملتين (

(٢) PSK التعامدية ذات الحالات الأربع وتسمى تضمين إزاحة الطور التعامدي مفتاحيا (Quadrature PSK)

وهي تقنية تضمين رقمية حيث يأخذ طور الموجة الحاملة أحد أربع قيم محتملة).

(٣) PSK متعددة المستويات وتسمى (PSK الميمية) (μ -PSK)

(عندما يأخذ طور الموجة الحاملة قيمة معينة من ضمن (M) من القيم المحتملة (الرموز المحتملة) وهذا

يعتمد على إشارة النطاق الأساسي الثنائية .

رياضيا :

$$N_b = \log_2 M \Rightarrow M = 2^{N_b}$$

(18-3)

حيث :

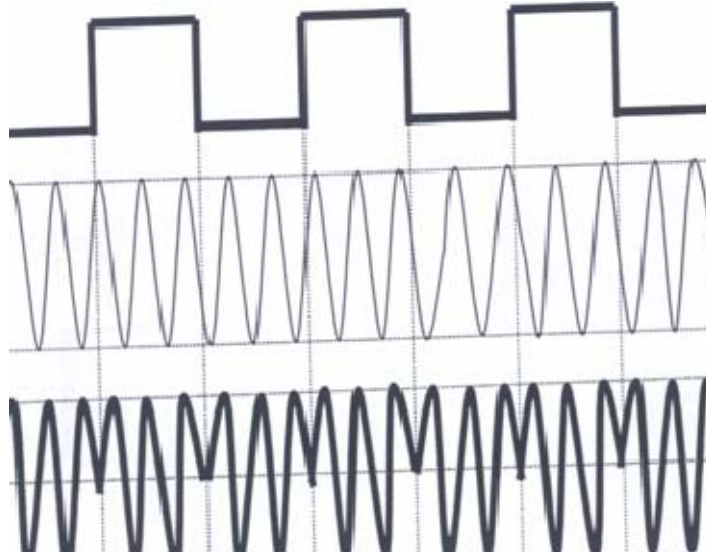
-Nb عدد الخانات لكل رمز (طور)

-M عدد الحالات الممكنة (الأطوار المختلفة)

مسألة 5-3 :

ل نظام (PSK) $M=2$. احسب في حال كل من الأطوار ذات خانة وخانتين و ثلاث خانات.

تضمين إزاحة الطور مفتاحيا الثنائي (Binary PSK)



شكل (17-3) تضمين إزاحة الطور مفتاحيا الثنائي (BPSK)

١- سيل الخانات ثنائية القطبية على مدخل المضمن $U(t)$ إشارة (PCM) تحدد قيمة الطور للحامل ليكون إما (90°) أو (-90°) .

٢- فإذا اعتبرنا (U_i) هو الخانة رقم (i) عندها يكون الحامل المرسل (أي الإشارة المضمنة) حسب المعادلة :

$$U_{BPSK} = V \cos (wct - U_i \pi / 2) \quad (19-3)$$

حيث :

$-V$ - سعة الحامل (volts)

$-U_i$ - إشارة النطاق الأساسي

$$U_i = \begin{cases} +1 & \text{for logic (1)} \\ -1 & \text{for logic (0)} \end{cases}$$

نستنتج من المعادلة (19-3) مايلي :

- logic (1) يرسل ضمناً بجعل الطور مساوياً $\pi/2$ -

- logic (0) يرسل ضمناً بجعل الطور مساوياً $-\pi/2$ +

٣- وباستخدام العلاقات المثلثية يمكن كتابة المعادلة (19-3) بالشكل التالي :

$$\begin{aligned} U_{BPSK} &= V \cos(wct - U_i \pi / 2) \\ &= V \left\{ \underbrace{\cos wct \cos U_i \pi / 2}_{=0} + \underbrace{\sin wct \sin U_i \pi / 2}_{=1 \text{ or } -1} \right\} \\ &= V \left\{ \sin wct \times \underbrace{U_i}_{=1 \text{ or } -1} \right\} \end{aligned}$$

$$\therefore U_{BPSK} = V U_i \sin wct$$

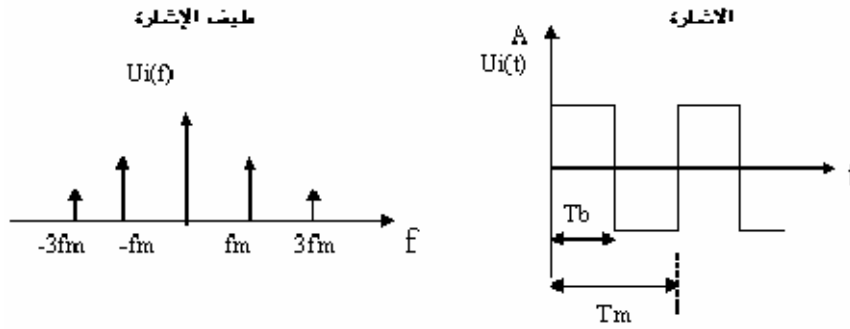
$$= \begin{cases} -\sin wct & \text{when } U_i = -1 \\ \sin wct & \text{when } U_i = 1 \end{cases}$$

assuming that $V=L$

(20-3)

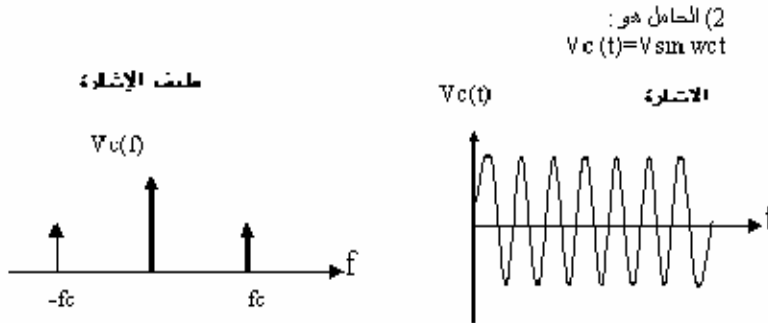
حسابات عرض النطاق في أنظمة (BPSK) :

- (١) في حالة التضمين (BPSK) يمكن الحصول على عرض نطاق ترددي عندما تكون إشارة البيانات الثنائية متتالية ناتجة عن تتابع (١ و ٠)



شكل (18-3) إشارة التضمين في نظام (BPSK)

(٢) الحامل هو :
 $V_c(t) = V \sin wct$

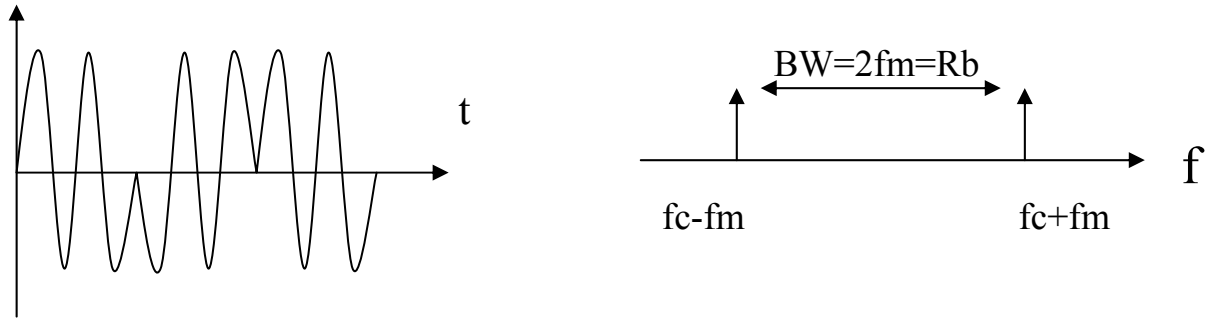


شكل (19-3) إشارة الحامل في نظام (BPSK)

٣) إشارة $V_{BPSK}(t)$:

هي حاصل ضرب إشارتي المدخل

$V_{BPSK}(t)$



شكل (20-3) الإشارة المضمنة (VBPSK)

٤) فإذا افترضنا أنه من الكفاية أن نرسل فقط التردد الأساسي لإشارة التضمين (عبارة عن إشارة مربعة) فإن:

$$V_{BPSK}(t) = \sin 2\pi F_m t * \sin 2\pi f_c t$$

$$= 1/2 [\cos 2\pi (f_c - f_m)t - 1/2 \cos 2\pi (f_c + f_m)t]$$

وهذا يعني أن عرض النطاق :

$$B = (f_c + f_m) - (f_c - f_m) = 2f_m = R_b$$

إذا : $B T = R_b$

(وهذا هو الحد الأدنى لعرض النطاق)

ويمكننا أيضاً استخدام قاعدة كارسون حيث :

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

ولكن : $2\Delta f = 0$

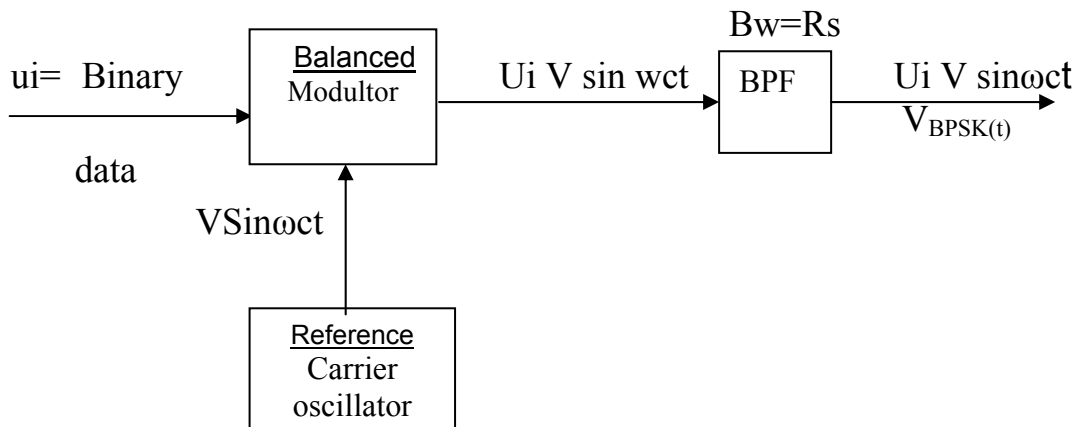
لأن التردد ثابت إذا :

$$B = 2f_m = R_b$$

المضمن والكاشف في أنظمة (BPSK)

أ) مضمن (BPSK) :

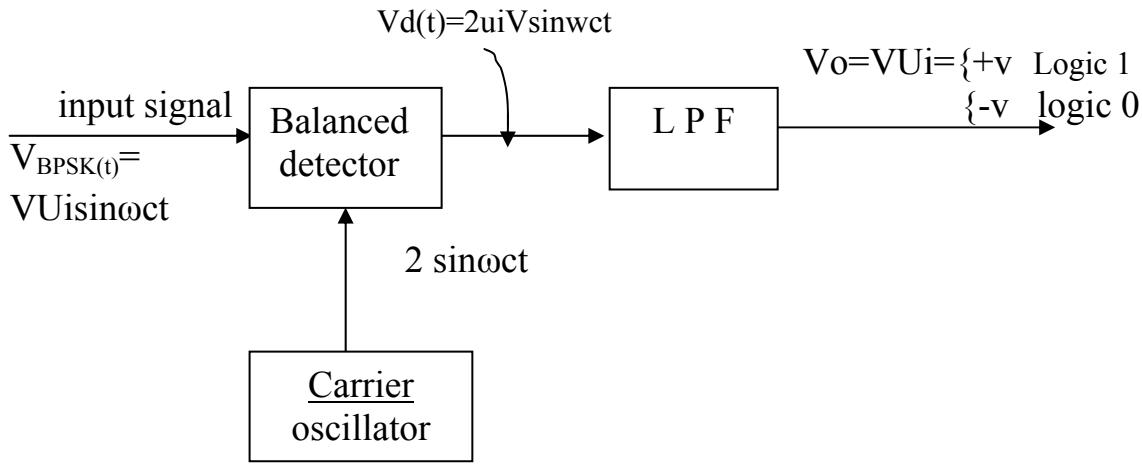
دائرة المضمن موضحة بالشكل (21-3) وهي تشبه دائرة المضمن في نظام (OOK) باستثناء أن إشارة المدخل هنا ثنائية القطبية أما في مضمن (OOK) فكانت أحادية القطبية .



شكل (21-3) مضمن (BPSK)

ب) كاشف (BPSK) :

حتى نستطيع استرجاع الإشارة الأصلية (U_i) فإن المستقبل عليه مقارنة طور الإشارة المستقبلية مع طور الإشارة التي تم توليدها في المستقبل والتي لها نفس طور الموجة الحاملة بدون تضمين باستخدام الكاشف المتزن (balanced modulator) ناهيك عن أن الترددات يجب أن تكون متساوية وهي نفس فكرة الكاشف الترابطي التي شرحت سابقا .



شكل (22-3) كاشف إشارة (BPSK)

- الكاشف الترابطي رياضيا :
- الإشارة على مخرج الكاشف المتزن :

$$\begin{aligned}
 V_d &= V_{U_i} \sin \omega t \times 2 \sin \omega t \\
 &= 2 V_{U_i} \sin^2 \omega t = 2 V_{U_i} \times \frac{1}{2} (1 - \cos 2 \omega t) \\
 &= V_{U_i} - \underbrace{V_{U_i} \cos 2 \omega t}_{\text{will be filtered by a L.P.F}}
 \end{aligned}$$

الجزء الثاني في المعادلة الأخيرة سستتم إزالته بواسطة المرشح (LPF) وتكون الإشارة على مخرج المرشح:

$$\therefore V_0 = V_{U_i} = \begin{cases} +1 \\ -1 \end{cases} \quad \text{assuming } V = 1$$

- هذه التقنية تسمى الكشف التوافقي كونها تتطلب فولتية مرجعية تولد في المستقبل وتوافقته من حيث الطور والتردد مع الحامل المولد في المرسل.

الأداء (Performance) :

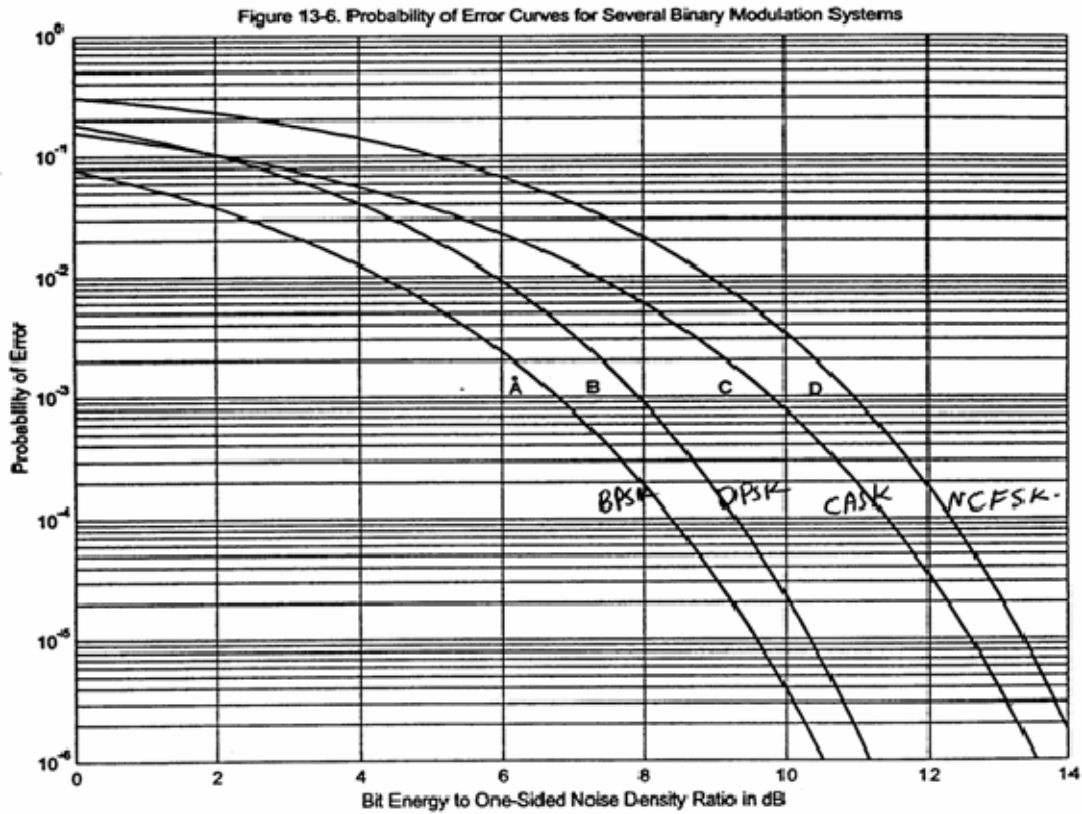
$$PB = PE = 1/2 \operatorname{erfc} (\sqrt{EB/NO})$$

$$= 1/2 \operatorname{erfc} (\sqrt{c * Tb / No})$$

(21-3)

$$= 1/2 \operatorname{erfc} (\sqrt{v^2 Tb / 2No})$$

- يمكن استخدام المنحنيات التي تبين علاقة (PB مع Eb/No) لإيجاد (BER)
- كما هو موضح بالشكل (22-3)



شكل (23-3)

تضمين إزاحة الطور التعامدي مفتاحيا (QPSK) : Quadrature phase shift keying

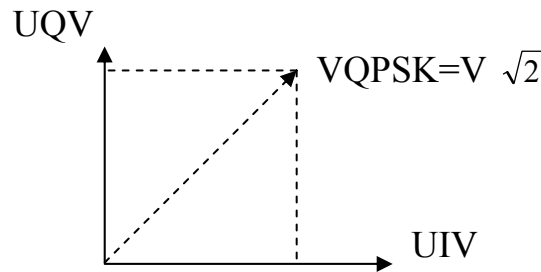
(١) في تضمين (QPSK) بواسطة المضمن يتم إعطاء طور الحامل أحد أربع قيم محتملة حسب إشارة التضمين الثنائية على مدخله .

(٢) يمكن توليد موجة (QPSK) عن طريق جمع موجتي (BPSK) بشكل متعامد والذي يمكن كتابته رياضياً بالشكل التالي :

$$V_{QPSK} = U_i V \cos \omega t + U_Q V \sin \omega t \quad (22-3)$$

حيث إن :

- الحد الأول يمثل إشارة (BPSK) متوافقة بطورها مع الحامل وتسمى بالقنال (I)
- الحد الثاني هو أيضاً إشارة (BPSK) ولكنها متعامدة بطورها مع الحامل وتسمى بالقنال (Q)
- اتساع موجة الإشارة (V QPSK) يمكن إيجادها بواسطة مخطط المتجهات التالي :



$$|V_{QPSK}| = (U_i V)^2 + (U_Q V)^2 = 2 v^2 = V \quad (23-3)$$

٣) لوقمنا بقسمة المعادلة (46-3) على المعادلة (47-3) لحصلنا على :

$$\begin{aligned} \frac{V_{QPSK}}{|V_{QPSK}|} &= \frac{\sqrt{UIV}}{V\sqrt{2}} \cos \omega_c t + \frac{\sqrt{UQV}}{U\sqrt{2}} \sin \omega_c t \\ &= \cos \Phi \cos \omega_c t + \sin \Phi \sin \omega_c t \\ &= \cos(\omega_c t - \Phi) \end{aligned}$$

وأخيرا :

$$\cos(\omega_c t - \Phi) \sqrt{2} V_{QPSK} = V$$

حيث إن :

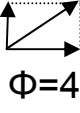



Φ - طور الحامل المرسل بعد التضمين

$$\Phi = \tan^{-1} \frac{UQ}{UI}$$

(24-3)

Φ تأخذ القيم التالية $(\pi/4, 3\pi/4, 5\pi/4, 7\pi/4)$

حسب الجدول التالي (1-3) الذي يبين العلاقة بين سيل الخانات المستخدمة في التضمين (UI, UQ) والزاوية الطورية (Φ) لموجة (QPSK) المضمن .

VQPSK (eq. 72)	VQPSK (eq. 74)	Phasor	Transmitted bite	
			UI	UQ
$V \cos \omega_c t + v \sin \omega_c t$	$v \sqrt{2} \cos(\omega_c t - \pi/4)$	 $\Phi=45$	1	1
$-v \cos \omega_c t + v \sin \omega_c t$	$v \sqrt{2} \cos(\omega_c t - 3\pi/4)$	 $\Phi=135$	-1	1
$-v \cos \omega_c t - v \sin \omega_c t$	$v \sqrt{2} \cos(\omega_c t - 5\pi/4)$	 $\Phi=225$	-1	-1
$-v \cos \omega_c t + v \sin \omega_c t$	$v \sqrt{2} \cos(\omega_c t - 7\pi/4)$	 $\Phi=315$	1	-1

جدول (1-3)

خصائص إزاحة الطور مفتاحيا :

(أ) معدل الرموز (R_s) على مخرج مضمن (PSK) يمكن إيجاده حسب المعادلة التالية :

$$R_s = \frac{R_b}{N} \text{ symbols/s}$$

حيث إن :

R_b - معدل البيانات أو معدل الخانات

N - عدد الخانات لكل رمز

(ب) العدد الكلي للرموز المحتملة على مخرج المضمن

$$M = 2^N \text{ symbols}$$

(ج) الفرق الطوري بين الرموز المتجاورة

$$P = \frac{360}{M} = \frac{2\pi}{M} \text{ rad}$$

(د) معدل الخانات الأقصى على مدخل المضمن

$$C = B \log_2 M$$

حيث إن :

B - عرض النطاق للإشارة التماثلية

نسبة الإشارة إلى الضوضاء على مخرج المستقبل (S/N) :

(عند استخلاص تضمين (PCM))

(أ) الجودة أو الأداء في الأنظمة الرقمية على مخرج المستقبل يمكن تحديدها بطريقتين :

(أ) معدل الخطأ في الخانات (BER) :

وهو الخطأ في الخانات الناتج عن الضوضاء الحرارية (Thermal noise) وهذا تم شرحه سابقا ونحصل

عليه على مخرج المضمن المفتاحي .

(ب) نسبة الإشارة إلى الضوضاء (S/N) :

ونحصل عليه على مخرج كاشف (PCM)

ويعتمد على عاملين هما :

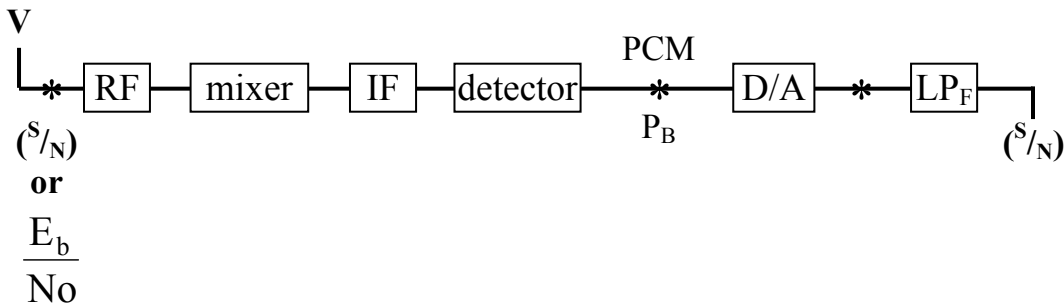
- الضجيج الحراري : ويتم قياس أثره بواسطة (BER)
 - ضوضاء التكمية (Quantization noise):
- وسبق أن تم شرحها ويتم قياس أثرها حسب المعادلة:

$$(S/N)_Q = 2^{2N} = M^2$$

حيث إن :

- M عدد مستويات التكمية .
- N عدد الخانات في الكلمة المشفرة.

٢) المخطط الوظيفي للمستقبل التالي يبين النقاط التي يتم فيها تحديد معاملات قياس الأداء ASK,FSK,PSK



نسبة الإشارة الخارجة إلى الضوضاء على مخرج كاشف تضمين (PCM) يمكن إيجادها بواسطة المعادلة التالية :

$$\left(\frac{S}{N_{\text{output}}} \right) = \frac{M^2}{1 + 4M^2 P_B} = \frac{2^{2N}}{1 + 4 \times 2^{2N} P_B}$$

مسألة 3-6 :

في نظام اتصالات رقمية ثنائي قدرة الحامل المستقبلية على مخرج الهوائي هي 200fw ($200 \times 10^{-15}\text{W}$).

درجة ضوضاء الهوائي المكافئة هي (300K) ودرجة ضوضاء المستقبل الفاعلة مقاسة عند مدخله هي (425K).

حدد نسبة الإشارة الخارجة إلى الضوضاء في حالة إرسال إشارة (PCM) بكلمات مشفرة مكونة من ست خانات بمعدل بيانات (معدل خانات bit) هو (2Mbit/sec) للحالات التالية :

أ) كشف ترابطي (PSK)

ب) كشف ترابطي (ASK)

ج) كشف الغلاف اللا ترابطي (ASK)

د) كشف ترابطي (QPSK)

المراجع

1. Ashok Ambardar, 'Analog and Digital Signal Processing', Thomson Learning Inc, 1999.
2. John B. Anderson, 'Digital Transmission Engineering', Prentice Hall, 1999.
3. A.B.Carlson, 'Communication Systems' McGraw-Hill, 1992.
4. Simon Haykin: 'Communication Systems', 4th Edition, Wiley & Sons, 2001.
5. Simon Haykin and Barry Van Veen: 'Signals and Systems', John Willey & Sons, Inc, 1999.
6. Simon Haykins, 'Digital Communication', John Wiley, 2001.
7. B.P.Lathi, 'Analog and Digital Communication Systems', PHI, 1992.
8. Douglas K. Lindner, 'Signals and Systems', McGraw-Hill International, 1999.
9. John Pearson : 'Basic Communication Theory', Prentice Hall, 2000
- 10.J. Proakis: 'Digital Communications', McGraw Hill, 1995.
- 11.J. Proakis and M. Salehi: 'Contemporary Communication Systems Using MATLAB', Bookware Companion Series, PWS Publishing, 1998.
12. Proakis, 'Digital Communication', McGraw-Hill, 1992.
13. Martin Roben: 'Analog and Digital Communication Systems', 4th Edition, Prentice Hall, 1998
14. K.Sam Shanmugam: 'Digital and Analog Communication Systems', John Wiley, 1985.
15. Bernard Sklar: 'Digital Communications, Fundamentals and Applications', Second Edition, Prentice Hall, 2001.
16. Taub & Schilling: 'Principles of Communication', McGraw-Hill Publication, 1990.
- 17.Wayne Tomasi: 'Advanced Electronic Communication Systems', Prentice Hall, 2001
- 18.Rodger E. Ziemer and Roger L. Peterson: 'Introduction to Digital Communication', 2nd Edition, Prentice-Hall, 2001.
19. Roger E. Zeimer et al.: 'Signals and Systems, Continuous and Discrete', McMillan, 2nd Edition, 1990.

المحتويات

.....	مقدمة
.....	تمهيد
١	الوحدة الأولى: أخذ العينات
٢	١ - ١ مبرهنة أخذ العينات:
٥	١ - ٢ التذكر (Aliasing)
٦	١ - ٣ طرق أخذ العينات (Types of sampling)
١١	١ - ٤ عرض النطاق في تضمين سعة النبضات
١٤	١ - ٥ تجميع الإشارات المضمنة بسعة النبضات بواسطة التقسيم الزمني
٢٤	١ - ٦ التضمين التماثلي للنبضات
٣٠	١ - ٧ استخلاص تضمين سعة النبضات وتضمين عرض النبضات وتضمين موقع النبضات
٣٢	الوحدة الثانية: التضمين الرقمي
٣٣	٢ - ١ تضمين شفرة النبضات والتزامن
٤٩	٢ - ٢ تشفير الخط
٥٩	٢ - ٣ التجميع بالتقسيم الزمني في تضمين شفرة النبضات PCM/TDM
٦٦	٢ - ٤ تضمين دلتا
٧١	الوحدة الثالثة: تضمين إمرار النطاق
٧٢	1-3 العلاقة بين معدل الخانات (bit rate) ومعدل الرموز (Baud rate)
٧٣	2-3 تضمين إزاحة السعة مفتاحيا (ASK):
٨٣	3-3 تضمين إزاحة التردد مفتاحيا
٩٠	4-3 تضمين إزاحة الطور مفتاحيا
١٠٣	المراجع

تقدر المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني الدعم
المالي المقدم من شركة بي آيه إي سيستمز (العمليات) المحدودة
GOTEVOT appreciates the financial support provided by BAE SYSTEMS

BAE SYSTEMS