الأكاديمية العربية الدولية
Arab International Academy

الأكاديمية العربية الدولية

المقررات الجامعية

www.aiacademy.info | care@aiacademy.info

المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

الكليات التقنية

الحقيبة التدريبية :

أساسيات الاتصالات الرقمية

في تخصص الاتصالات

مقدمة

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

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني 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 ذاتيًا على الله ثم على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدمًا في دفع عجلة التقدم التنموي: 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 للتدريب التقني والمهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقًا بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية "**أساسيات الاتصالات الرقمية**" لمتدربي تخصص **الاتصالات** " للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجلّ أن تسهم بالشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، مدعم 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

الفهـرس

الموضوع	رقم الصفحة
تمهيد	٤
الوحدة الأولى: مقدمة في الاتصالات الرقمية	٦
١- ١ أنواع الإشارات	٨
١- ٢ المخطط العام لنظام الاتصالات الرقمية	٩
١- ٣ إيجابيات وسلبيات الاتصالات الرقمية	١٢
١- ٤ الترميز الرقمي	١٣
تدريبات على الوحدة الأولى	١٦
الوحدة الثانية: نظرية أخذ العينات	١٧
٢- ١ فكرة أخذ العينات	١٩
٢- ٢ إشارة النبضة المثالية	٢٠
٢- ٣ تحويل فوريير	٢٣
٢- ٤ نظرية أخذ العينات	٢٧
تدريبات على الوحدة الثانية	٣٧
الوحدة الثالثة: تعديل النبضات	٣٩
٣- ١ أشكال النبضات	٤١
٣- ٢ تعديل سعة النبضات	٤٣
٣- ٢ تعديل عرض النبضات	٤٥
٣- ٤ تعديل موقع النبضات	٤٧
تدريبات على الوحدة الثالثة	٥٠
الوحدة الرابعة: تعديل ترميز النبضات	٥٢
٤- ١ تقنيات التعديل الرقمي	٥٣
٤- ٢ مراحل نظام تعديل ترميز النبضات	٥٤
٤- ٣ عملية التكمية	٥٦
٤- ٤ نسبة الإشارة إلى الضوضاء للنبضات المكمية	٦٩
٤- ٥ تطبيقات نظام تعديل ترميز النبضات	٧١

الموضوع	رقم الصفحة
تدريبات على الوحدة الرابعة	٧٣
الوحدة الخامسة : تعديل دلتا	٧٦
٥- ١ التعديل الرقمي في النطاق الأساسي	٧٨
٥- ٢ تعديل ترميز النبضات التفاضلي	٧٨
٥- ٣ تعديل دلتا	٨١
٥- ٤ تعديل دلتا المتكيف	٨٤
تدريبات على الوحدة الخامسة	٨٦
الوحدة السادسة : التعدد بالتقسيم الزمني	٨٨
٦- ١ تقنيات التعدد	٩٠
٦- ٢ أساسيات التعدد بتقسيم الزمن	٩١
٦- ٣ التعدد بتقسيم الزمن مع تعديل سعة النبضة	٩٢
٦- ٤ التعدد بتقسيم الزمن مع تعديل ترميز النبضات	٩٥
٦- ٥ أنظمة الحامل الرقمية	٩٧
٦- ٦ النظام الهرمي المتزامن	١٠١
تدريبات على الوحدة السادسة	١٠٣
الوحدة السابعة : التراسل الرقمي	١٠٥
٧- ١ حالات الإرسال	١٠٧
٧- ٢ أنماط الإرسال	١٠٨
٧- ٣ ترميز القناة	١١١
تدريبات على الوحدة السابعة	١٢١
الوحدة الثامنة : التعديل الرقمي البيني	١٢٣
٨- ١ تقنيات التعديل الرقمي البيني	١٢٥
٨- ٢ تعديل إزاحة السعة	١٢٧
٨- ٣ تعديل إزاحة التردد	١٣٣
٨- ٤ تعديل إزاحة الطور	١٣٦
٨- ٥ تعديل الإزاحة الدنيا	١٤٦

الموضوع	رقم الصفحة
٨- ٦ تعديل الإزاحة الدنيا الجاوسي	١٤٧
٨- ٧ تعديل السعة التعامدي	١٤٩
٨- ٩ سعة المعلومات	١٥٢
تدريبات على الوحدة الثامنة	١٥٤
الوحدة التاسعة: ترميز المصدر	١٥٧
٩- ١ طرق ترميز المصدر	١٥٩
٩- ٢ ترميز هوفمان	١٥٩
٩- ٣ ترميز هامنج	١٦٢
٩- ٤ ترميز غراي	١٦٦
تدريبات على الوحدة التاسعة	١٧٠
الوحدة العاشرة: الصيغ الرقمية للصورة والصوت والفيديو	١٧٢
١٠- ١ ضغط المعلومات	١٧٤
١٠- ٢ الصيغ الرقمية للصورة	١٧٦
١٠- ٣ الصيغ الرقمية للصوت	١٧٩
١٠- ٤ الصيغ الرقمية للفيديو	١٨٢
تدريبات على الوحدة العاشرة	١٩٠
المصطلحات والرموز	١٩٢
المراجع	٢٠٥

تمهيد

شهدت أنظمة الاتصالات على امتداد تاريخها جملة من التطورات جعلتها تلعب دورا أساسيًا وبالغ الأهمية في مختلف مجالات حياة الإنسان. لعل أهم حدث عرفه قطاع هندسة الاتصالات والمعلومات هو إدخال التقنية الرقمية في مجال معالجة الإشارات ونقلها ، مما جعله يتحول من مجرد قطاع مساعد لبعض الأنشطة إلى قطاع أساسي ومؤثر في مختلف المجالات، الاقتصادية والاجتماعية والثقافية.

تعتبر الاتصالات الرقمية من أهم قطاعات أنظمة الاتصالات ونقل المعلومات نظرًا لاستخدامها في مختلف الميادين، حيث تستخدم بشكل أساسي في الاتصالات الهاتفية السلكية واللاسلكية،ونقل البيانات بين أجهزة الحاسب،والبث الإذاعي الرقمي،والبث التلفزيوني الرقمي والإنترنت وغيرها الكثير من المجالات.

تتناول هذه الحقيبة التدريبية الجزء النظري من مقرر أساسيات الاتصالات الرقمية بواقع خمس ساعات معتمدة (أربع ساعات نظري + ساعة عملي) حيث تم تقسيمها إلى عشر وحدات وذلك وفقًا للخطة الدراسية لتخصص الاتصالات في أقسام تقنية الاتصالات.

فتتناول الوحدة الأولى أساسيات الاتصالات الرقمية من حيث المكونات الأساسية للنظام، وإيجابيات وسلبيات تلك الأنظمة.

تتناول الوحدة الثانية دراسة نظرية أخذ العينات بنوعيها المثالي والطبيعي والتي تشكل المرحلة الأولى والأساسية لتحويل الإشارات التماثلية إلى رقمية من أجل إرسالها عبر النظام الرقمي.

تتناول الوحدة الثالثة التعرف على أنواع تعديل النبضات، تعديل سعة النبضة،وتعديل عرض النبضة وتعديل موقع النبضة.

تتناول الوحدة الرابعة دراسة تعديل ترميز النبضات والذي يعتبر أهم أنواع التعديل الرقمي، مع التركيز على مراحل عملية التعديل؛ التكمية والترميز بأنواعها المختلفة.

تتناول الوحدة الخامسة دراسة تعديل دلتا مع التطرق إلى تعديل ترميز النبضات التفاضلي وتعديل دلتا المتكيّف.

تتناول الوحدة السادسة دراسة نظام التعدد بالتقسيم الزمني (TDM) لإشارات تعديل سعة النبضات وتعديل ترميز النبضات مع التعرف على النظام الهرمي الأمريكي والأوروبي للتعدد بالتقسيم الزمني.

تتناول الوحدة السابعة دراسة موضوع التراسل الرقمي، طرق الإرسال وطرق ترميز الخط المختلفة والتي تستخدم لنقل البيانات في مرحلة نطاق الترددات الأساسية (Baseband).

تتناول الوحدة الثامنة دراسة أنواع التعديل الرقمي في مرحلة نطاق الترددات العالية (Passband) وأهمها؛ تعديل إزاحة السعة، وتعديل إزاحة التردد، وتعديل إزاحة الطور بأشكالها المختلفة، وتعديل الإزاحة الدنيا، وتعديل الإزاحة الدنيا الجاوسي وتعديل السعة التعامدي، بالإضافة إلى موضوع حساب سعة المعلومات للنظام.

تتناول الوحدة التاسعة دراسة تقنية ترميز المصدر مع التركيز على ترميز هوفمان، وترميز هامنج وترميز غراي.

تتناول الوحدة العاشرة التعرف على الصيغ الرقمية المعتمدة لضغط الصورة، والصوت والفيديو والتي تستخدم في أنظمة الاتصالات الرقمية والحاسب الآلي.

تم تزويد كل وحدة في الحقيبة التدريبية بعدد من الأمثلة المحلولة بالإضافة لعدد من الأسئلة والتمارين في نهاية كل وحدة.

مع تمنياتي للجميع بالتوفيق والنجاح

الوحدة الأولى

مقدمة في الاتصالات الرقمية

مقدمة في الاتصالات الرقمية

Introduction to Digital Communications

الهدف العام:

التعرف على المفاهيم والمكونات الرئيسية في أنظمة الاتصالات الرقمية مع توضيح إيجابيات وسلبيات تلك الأنظمة.

الأهداف التفصيلية:

عندما تكتمل هذه الوحدة يكون المتدرب قادرًا على أن يتعرف على:

١. المفاهيم والمصطلحات المستخدمة في أنظمة الاتصالات الرقمية.
٢. المخطط العام لنظام الاتصالات الرقمي ومكوناته الرئيسة.
٣. إيجابيات وسلبيات أنظمة الاتصالات الرقمية.
٤. أنواع الترميز الرقمي.

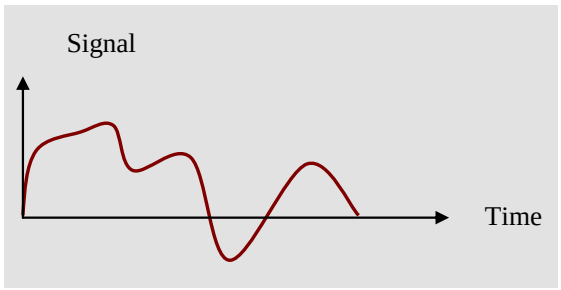
مقدمة

تتناول هذه الوحدة مقدمة لأساسيات الاتصالات الرقمية، حيث يتم التعرف على أنواع الإشارات المستخدمة في أنظمة الاتصالات الرقمية، المخطط العام لنظام الاتصالات الرقمية ومكوناته الرئيسة، إيجابيات وسلبيات أنظمة الاتصالات الرقمية والتعرف على بعض أنواع الترميز الأساسية المستخدمة في أنظمة الاتصالات الرقمية.

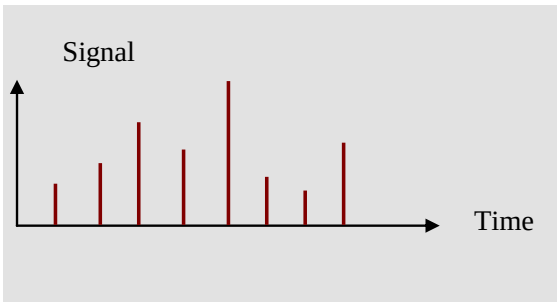
١- ١ أنواع الإشارات Signal Types:

تنقسم الإشارات المستخدمة في أنظمة الاتصالات إلى نوعين رئيسين:

- **إشارات تماثلية** (Analog) وهي الإشارات التي تتغير مع الزمن بشكل مستمر ويكون لها قيمة في أي لحظة زمنية ضمن نطاق وجودها. إن مثل هذه الإشارات لا يمكن إرسالها عبر النظام الرقمي إلا بعد معالجتها وتهيئتها للإرسال.
- **إشارات رقمية** (Digital) وهي الإشارات التي تتغير مع الزمن بشكل متقطع وليس مستمر (عند قيم زمنية محددة) ومثل هذه الإشارات يسهل إرسالها في النظام الرقمي مباشرة.



أ- إشارة تماثلية



ب- إشارة رقمية

الشكل (١- ١): الإشارات التماثلية والرقمية

بناء على ما سبق، وحسب نوع الإشارات المستخدمة في أنظمة الاتصالات، فإنها تنقسم إلى:

- أنظمة اتصالات تماثلية Analog Communication Systems.
- أنظمة اتصالات رقمية Digital Communication Systems.

وهنالك تقسيمات أخرى للإشارات من المفيد التعرف عليها:

وفقًا لقيم الإشارات تقسم إلى:

- إشارات ذات قيم محددة (Deterministic Signals)، حيث تكون ذات قيم معلومة ومحددة وفقًا لصيغة أو قانون أو دالة رياضية معينة.

- إشارات ذات قيم عشوائية (Random Signals)، حيث تتغير قيمها بشكل مستمر وبطريقة عشوائية غير منتظمة. إن أبسط أنواع هذه الإشارات هي الضوضاء التي تؤثر على أداء أنظمة الاتصالات المختلفة.

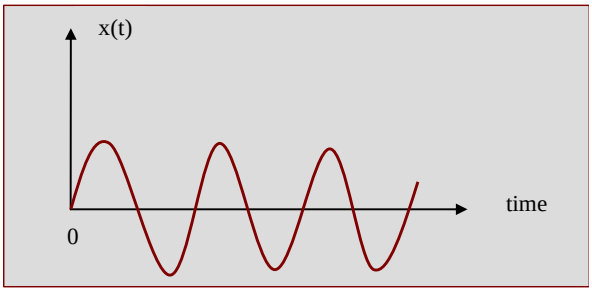
وفقًا لتكرار الإشارات تقسم إلى:

- **إشارات دورية** (Periodic Signals) والتي تعيد نفسها بانتظام بزمن يعرف بالزمن الدوري (Period).

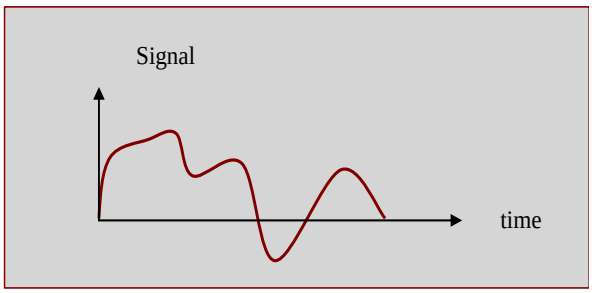
إن أبسط وأهم مثال على هذه الإشارات هي الإشارات الجيبية وإشارة النبضات على اختلاف أشكالها.

- **إشارات غير دورية** (Aperiodic Signals) والتي لا تعيد نفسها بانتظام، حيث تأخذ أشكال مختلفة.

لمزيد من التوضيح، أنظر الشكل (١- ٢).



-أ-



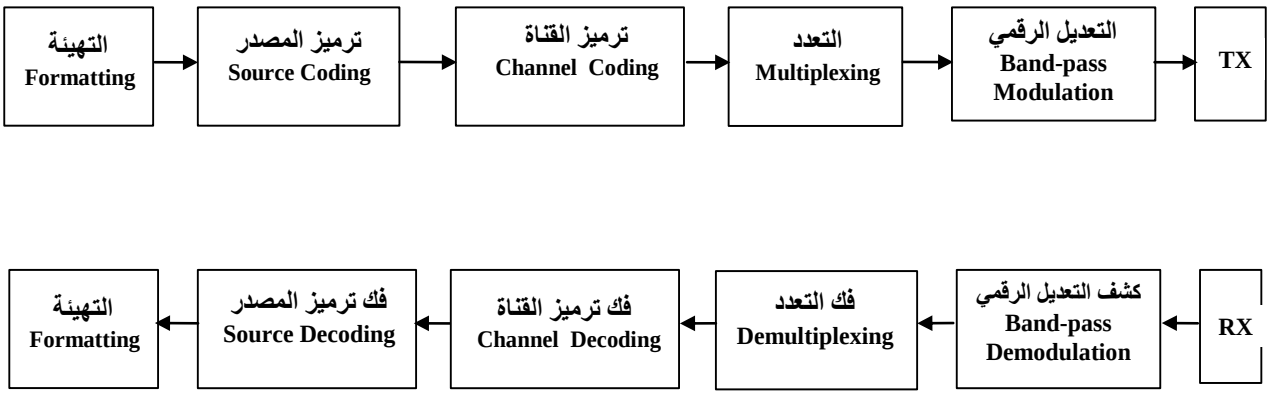
- ب-

الشكل (١- ٢): (أ) إشارة دورية (ب) إشارة غير دورية

كذلك تنقسم الإشارات المستخدمة في أنظمة الاتصالات إلى إشارات جيبية (Sinusoidal Signals) وإشارات غير جيبية (Nonsinusoidal) وأهمها إشارات النبضات (Pulse Signals) بأشكالها المختلفة (المربعة، المثلثة، المسننة ...).

١- ٢ المخطط العام لنظام الاتصالات الرقمية General Block Diagram

يظهر الشكل (١- ٣) المخطط الوصفي لنظام الاتصالات الرقمي موضحًا المكونات الرئيسة ووظيفة كل مكون كما يلي.



الشكل (١- ٣): المخطط العام لنظام الاتصالات الرقمية

- **التهيئة** Formatting:

يتم في هذه المرحلة تحويل المعلومات الواردة من المصدر إلى رموز رقمية (Digital Symbols) حيث تتضمن مرحلة أخذ العينات (Sampling) ومرحلة التكمية (Quantization) حيث يتم تحديد قيمة كل عينة وذلك من ضمن المستويات أو القيم المتاحة (Quantized Levels).

- **ترميز المصدر** Source Encoding:

يتم ترميز الرموز الرقمية الواردة من المرحلة السابقة وذلك لضغط البيانات للتخلص من المعلومات الزائدة (Redundant Information). أما في حالة الإشارات التماثلية فإن ترميز المصدر يقوم بعملية التحويل من تماثلي إلى رقمي (Analog to Digital Conversion).

- **ترميز القناة** Channel Encoding:

عند إرسال الإشارات عبر قنوات الاتصال (Channels) فإنها تتعرض للضوضاء والتشويش بأنواعه مما يتطلب ترميزها بطريقة تسمح بتقليل تأثير تلك العوامل السلبية. أحياناً يلزم إضافة معلومات زائدة للمساعدة في اكتشاف الأخطاء وتصحيحها.

- **التعدد** Multiplexing:

تسمح عملية التعدد بإرسال العديد من الإشارات من مصادرها المختلفة عبر قناة واحدة وبنفس الوقت. عادة ما تستخدم طريقة التعدد بالتقسيم الزمني (Time Division Multiplexing) والتي تعرف اختصارًا (TDM) أو طريقة الوصول المتعدد باستخدام الترميز (Code Division Multiple Access) والتي تعرف اختصارًا (CDMA).

- **التعديل الرقمي** Band-pass Digital Modulatio:

يتم في هذه المرحلة تحويل البيانات الرقمية إلى موجات رقمية (Digital Waveforms) مناسبة للإرسال عبر قنوات الاتصال، حيث تستخدم الموجات الراديوية (Radio Frequencies) في حالة الإرسال اللاسلكي، والموجات الصوتية (Audio Frequencies) في حالة الإرسال السلكي.

- **كشف التعديل الرقمي** Band-pass Digital Demodulation:

في هذه المرحلة يتم عكس ما تم في مرحلة التعديل الرقمي حيث يتم استرجاع البيانات الرقمية المحمّلة على الموجات الرقمية باستخدام تقنية كشف التعديل المناسبة.

- **فك التعدد** Demultiplexing:

في هذه المرحلة يتم عكس ما تم في مرحلة التعدد حيث يتم توزيع الإشارات المرسلة إلى مصادرها المختلفة.

- **فك ترميز القناة** Channel Decoding:

في هذه المرحلة يتم عكس ما تم في مرحلة ترميز القناة حيث يتم استرجاع الكلمات الرقمية الأساسية بعد ما تمت عملية اكتشاف الأخطاء وتصحيحها أحياناً.

- **فك ترميز المصدر** Source Decoding:

في هذه المرحلة يتم عكس ما تم في مرحلة ترميز المصدر حيث يتم استرجاع المعلومات الرقمية إلى صيغتها الأولى قبل عملية ترميز المصدر.

عادة ما تحتاج أنظمة الاتصالات الرقمية إلى عملية التزامن (Synchronization) وذلك لتنسيق العمل بين المرسل والمستقبل وبالتالي عمل النظام ككل. أحيانًا بعض الأنظمة الرقمية تتطلب إجراء عملية التعمية في مرحلة الإرسال (Encryption) وذلك للحفاظ على سرية المعلومات سواء من ناحية الحصول عليها أو التأثير عليها مما يتطلب عملية فك التعمية في الاستقبال (Decryption).

١- ٣ إيجابيات وسلبيات الاتصالات الرقمية

Advantages and Disadvantages of Digital Communications

- **الإيجابيات:**

١. البساطة في إعادة توليد الإشارات (Regeneration) المتأثرة بالتشويش والضوضاء.
٢. قلة التأثر بالتشويش والضوضاء لأن جهاز الاستقبال يتعامل مع قيمتين للإشارة (النظام الثنائي) وعدد محدد من القيم (حالة M-ary).
٣. إمكانية إجراء المعالجات المتقدمة للإشارة (الترميز بأنواعه، التعمية، التعدد، التخزين).
٤. المكونات المادية (Hardware) المستخدمة بسيطة و ذات وثوقية ومرونة عالية.
٥. البساطة في استخدام أنظمة التعدد (TDM and CDMA) مقارنة مع التعدد بالتقسيم الترددي (FDM) في الأنظمة التماثلية.
٦. إمكانية إرسال واستقبال مختلف أنواع المعلومات في نفس الوقت وعبر نفس القناة والذي من غير الممكن الحصول عليه في الأنظمة التماثلية.
٧. إمكانية الحصول على جودة عالية عند استقبال المعلومات.
٨. ملاءمتها وسهولة استخدامها مع أنظمة الحاسب وتخزين البيانات.
٩. قلة التكاليف.

- **السلبيات:**

١. تتطلب عرض نطاق ترددي أوسع من الأنظمة التماثلية (للمقارنة، المكالمة الهاتفية التماثلية الواحدة تتطلب "4kHz" بينما تتطلب المكالمة الهاتفية الرقمية الواحدة "64kb/s").
٢. الحاجة إلى نظام تزامن (Synchronization) لتنسيق عمل المرسل والمستقبل.
٣. الحاجة إلى تحويل الإشارات التماثلية إلى رقمية ومن ثم إرسالها عبر النظام الرقمي.
٤. عدم المواءمة مع الأنظمة التماثلية الموجودة.

عند تصميم أنظمة الاتصالات الرقمية تجب مراعاة الأمور التالية:

- الحصول على أعلى سرعة ممكنة لإرسال البيانات.
- تحقيق أقل معدل لخطأ البتات (BER).
- تخفيض قدرة الإرسال لأقل حد ممكن.

- تقليل عرض النطاق الترددي (BW) لأقل حد ممكن.
- المناعة ضد تأثير الضوضاء والتداخل.
- البساطة في الدوائر الإلكترونية المستخدمة.

١- ٤ الترميز الرقمي Digital Coding

كما هو معروف من مقرر الدوائر المنطقية، فإنه يمكننا استخدام النظام الثنائي لتحويل الأرقام، سوف نتعرف في هذا الجزء على بعض الطرق المستخدمة لترميز الحروف والأرقام والرموز المختلفة لتحويلها إلى بيانات رقمية.

- **ترميز مورس Morse Code:**

يعتبر ترميز مورس أقدم الأنواع المستخدمة لترميز الحروف والأرقام (منذ العام ١٨٣٦م) للاستخدام في نظام التلغراف، حيث تم استخدام الإشارات القصيرة (Dot) والإشارات الطويلة (Dash) كما هو موضح في الجدول (١- ١).

آلية ترميز مورس:

- كل حرف من الحروف الأبجدية يقابله ترميز معين مكون من نقاط وشرطات.
- كل شرطة (▬) تعادل ثلاث نقاط (•).
- الفراغ ضمن الحرف الواحد يساوي نقطة واحدة.
- الفراغ بين كل حرف وآخر يساوي ثلاث نقاط.
- الفراغ بين الكلمتين يساوي سبع نقاط.

الجدول (١- ١): ترميز مورس

A •▬	N ▬•	, ▬▬••▬▬
B ▬•••	O ▬▬▬	. •▬•▬•▬
C ▬•▬•	P •▬▬•	1 •▬▬▬▬
D ▬••	Q ▬▬•▬	2 ••▬▬▬
E •	R •▬•	3 •••▬▬
F ••▬•	S •••	4 ••••▬
G ▬▬•	T ▬	5 •••••
H ••••	U ••▬	6 ▬••••
I ••	V •••▬	7 ▬▬•••
J •▬▬▬	W •▬▬	8 ▬▬▬••
K ▬•▬	X ▬••▬	9 ▬▬▬▬•
L •▬••	Y ▬•▬▬	0 ▬▬▬▬▬
M ▬▬	Z ▬▬••	

مثال ١- ١:- قم بترميز الأحرف والأرقام التالية باستخدام ترميز مورس.

A, F, X, 4, 8

الحل

الجدول (١- ٢): حل مثال ١- ١

الترميز	القيمة
•—	A
••—•	F
—••—	X
••••—	4
——••	8
——••——	,

- **ترميز باودت** Baudot Code:

يعتبر ترميز باودت من أقدم أنواع الترميز (عام ١٨٧٠م) والذي تم تطويره للاستخدام مع أجهزة المبرقة الكاتبة (Teleprinter). يستخدم ترميز باودت خمسة بتات (مما يعطي 32 حالة مختلفة) لترميز الحروف والأرقام وبعض الرموز الكتابية الأخرى كما هو موضح في الجدول (١- ٣).

لا تستخدم أجهزة المبرقة الكاتبة في وقتنا الحاضر، لكننا نقدم هذا النوع من الترميز للتعرف ومن ناحية تاريخية فقط.

الجدول (١- ٣): ترميز باودت

Character Shift		Binary Code						Character Shift		Binary Code					
Letter	Figure	Bit:	4	3	2	1	0	Letter	Figure	Bit:	4	3	2	1	0
A	–		1	1	0	0	0	Q	1		1	1	1	0	1
B	?		1	0	0	1	1	R	4		0	1	0	1	0
C	:		0	1	1	1	0	S	bel		1	0	1	0	0
D	$		1	0	0	1	0	T	5		0	0	0	0	1
E	3		1	0	0	0	0	U	7		1	1	1	0	0
F	!		1	0	1	1	0	V	;		0	1	1	1	1
G	&		0	1	0	1	1	W	2		1	1	0	0	1
H	#		0	0	1	0	1	X	/		1	0	1	1	1
I	8		0	1	1	0	0	Y	6		1	0	1	0	1
J	'		1	1	0	1	0	Z	"		1	0	0	0	1
K	(		1	1	1	1	0	Figure shift			1	1	1	1	1
L	)		0	1	0	0	1	Letter shift			1	1	0	1	1
M	.		0	0	1	1	1	Space			0	0	1	0	0
N	,		0	0	1	1	0	Line feed (LF)			0	1	0	0	0
O	9		0	0	0	1	1	Blank (null)			0	0	0	0	0
P	0		0	1	1	0	1								

- **ترميز** ASCII:

يعتبر الترميز القياسي الأمريكي لتبادل المعلومات (American Standard Code for Information Interchange) من أشهر أنواع الترميز المستخدمة في اتصالات البيانات (Communications) حيث يتم ترميز الحروف والأرقام والرموز الكتابية إلى ترميز ثنائي مكون من سبعة بتات مما يسمح بعدد من الحالات يساوي "128". لمزيد من التوضيح، انظر الجدول (١- ٤). عند استخدام الجدول أدناه، ويجب الانتباه لترتيب البتات من الأول ولغاية السابع.

الجدول (١- ٤): ترميز ASCII

Bits								
7	0	0	0	0	1	1	1	1
6	0	0	1	1	0	0	1	1
5	0	1	0	1	0	1	0	1
Bits 4321								
0000	NUL	DLE	SP	0	@	P	`	p
0001	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0010	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0011	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0100	EOT	DC4	$	4	D	T	d	t
0101	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0110	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0111	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
1000	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1001	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1010	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1011	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
1100	FF	FS	,	<	L	\	l	|
1101	CR	GS	-	=	M	]	m	}
1110	SO	RS	.	>	N	^	n	~
1111	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

مثال ١- ٢:- قم بترميز القيم التالية باستخدام ترميز ASCII.

A, N, y, 9, :

الحل

A → 1 0 0 0 0 0 1, N → 0 1 1 1 0 0 1, y → 1 0 0 1 1 1 1
9 → 1 0 0 1 1 1 0 : → 0 1 0 1 1 1 0

تدريبات على الوحدة الأولى

(١-١) ما أنواع الإشارات المستخدمة في أنظمة الاتصالات؟

(١-٢) أعط مثالاً من الواقع لكل من الإشارات التالية:

- إشارة تماثلية
- إشارة رقمية
- إشارة دورية
- إشارة غير دورية
- إشارة ذات قيمة محددة
- إشارة ذات قيمة غير محددة

(١-٣) ما المقصود بمصدر المعلومات مع إعطاء أمثلة عليه؟

(١-٤) ما العمليات التي تتم في مرحلة التهيئة للإشارات التماثلية والرقمية؟

(١-٥) ما العمليات التي تتم في مرحلة ترميز المصدر؟

(١-٦) ما الهدف من إجراء ترميز القناة ؟

(١-٧) ما أنواع التعدد المستخدمة في أنظمة الاتصالات؟

(١-٨) ما الهدف من إجراء عملية التعديل الرقمي؟

(١-٩) ما أهم إيجابيات أنظمة الاتصالات الرقمية؟

(١-١٠) ما أهم سلبيات أنظمة الاتصالات الرقمية؟

(١-١١) ما الأمور التي يجب مراعاتها عند تصميم أنظمة الاتصالات الرقمية.

(١-١٢) قم بترميز الأحرف والأرقام التالية باستخدام ترميز مورس

C, m, p, 1, 7

(١-١٣) قم بترميز القيم التالية باستخدام ترميز ASCII.

K, W, s , 6,), +

الوحدة الثانية

نظرية أخذ العينات

نظرية أخذ العينات
Sampling Theory

الهدف العام:

التعرف على نظرية أخذ العينات المثالية وغير المثالية (الطبيعية).

الأهداف التفصيلية:

عندما تكتمل هذه الوحدة يكون المتدرب قادرًا على أن:

١. يراجع تحويل فوريير.
٢. يتعرف على إشارة النبضة المثالية.
٣. يتعرف على نظرية أخذ العينات (الحالة المثالية).
٤. يتعرف على نظرية أخذ العينات (الحالة غير المثالية).

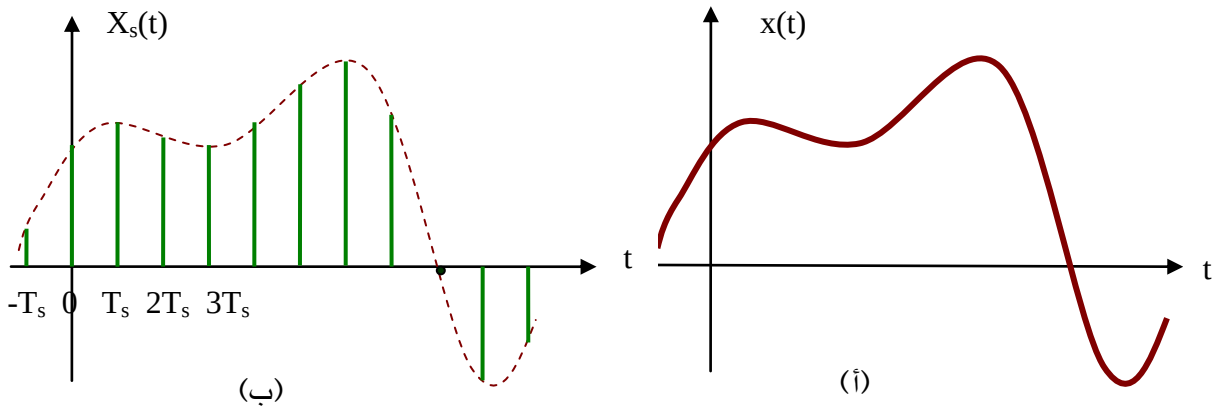
مقدمة

تتناول هذه الوحدة التعرف على إشارة النبضة المثالية التي تستخدم لتوضيح عملية أخذ العينات، تحويل فوريير لبعض النبضات المشهورة، نظرية أخذ العينات بنوعيها المثالي والطبيعي مع توضيح مبرهنة أخذ العينات مع الأمثلة.

٢- ١ فكرة أخذ العينات Notion of Sampling

كما أشرنا سابقاً، تنقسم الإشارات إلى تماثلية ورقمية، والتي تمثل زمنيًا كإشارات متصلة ومتقطعة زمنياً. إن عملية إرسال الإشارات ذات الطبيعة الرقمية تتم بشكل سهل ومباشر في أنظمة الاتصالات الرقمية، بينما في حالة الإشارات التماثلية (مثل الإشارات الصوتية والمرئية) فلا يمكن الإرسال قبل معالجتها بشكل يسمح بتحويلها من إشارات متصلة زمنيًا إلى إشارات متقطعة زمنيًا وهو ما يسمى عملية أخذ العينات (Sampling).

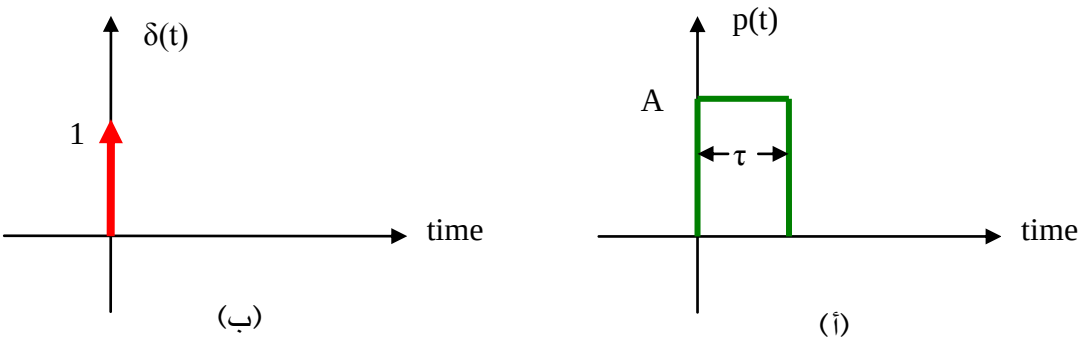
إن المقصود بأخذ العينات هو تحويل الإشارة التماثلية، المتصلة زمنيًا (Continues-time Signal) إلى إشارة متقطعة زمنيًا (Discrete-time Signal) وذلك بأخذ عينات من تلك الإشارة في فترات زمنية محددة متباعدة بنفس القيمة والتي تسمى زمن أخذ العينة (Sampling Time) وسوف نرمز لها اختصارًا "T_s". يظهر الشكل (٢- ١) إشارة متصلة زمنيًا وما يقابلها من إشارة متقطعة زمنيًا بعد عملية أخذ العينات.



الشكل (٢- ١): (أ) الإشارة المتصلة زمنيًا و (ب) عينات الإشارة

٢-٢ إشارة النبضة المثالية Unit Impulse Signal

عادة ما تتميز النبضات العادية بارتفاع وعرض زمني محددين، بينما يقصد بإشارة النبضة المثالية والتي يرمز لها "δ(t)" كما هو موضح على الشكل (٢- ٢)، بأنها نبضة ذات ارتفاع ما لا نهائي وعرض زمني يساوي الصفر.



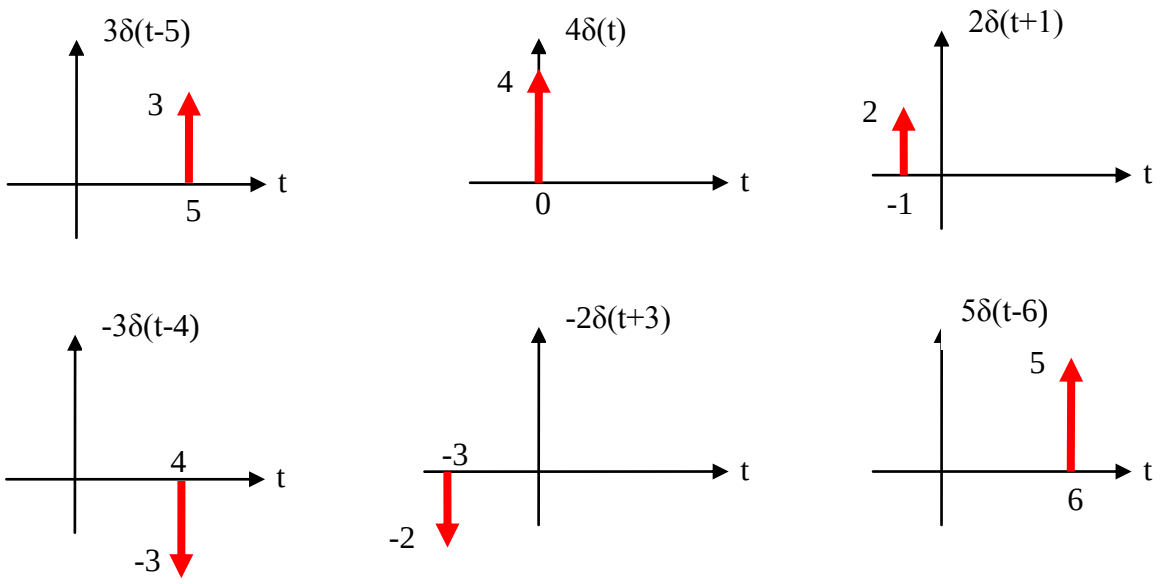
الشكل (٢- ٢): (أ) النبضة العادية و (ب) المثالية

تتميز النبضة المثالية بالخصائص التالية:

- الارتفاع يساوي مالا نهاية.
- العرض الزمني يساوي الصفر.
- الموقع عند نقطة الصفر.
- المساحة تساوي وحدة واحدة، مما يعني أن تكامل الإشارة يساوي الوحدة.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t)\,dt = 1 \qquad (2.1)$$

النبضة المثالية تأخذ وضعيات مختلفة من ناحية الموقع والمساحة وفقًا للشكل (٢- ٣). وتؤول النبضة العادية إلى نبضة مثالية عندما يؤول عرضها للصفر وارتفاعها إلى ما لا نهاية. حيث إنه لا يمكننا تمثيل قيمة ما لا نهاية على الرسم نلجأ لاستخدام إشارة السهم لتدل على أن ارتفاع الإشارة مستمر إلى ما لا نهاية.



الشكل (٢- ٣): إشارة النبضة المثالية

يظهر الشكل (٢- ٤) إشارة نبضة مثالية دورية تعيد نفسها بانتظام، حيث يمكننا صياغتها وفقًا للعلاقة التالية:

$$P(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} a\,\delta(t - nT_s) \qquad (2.2)$$

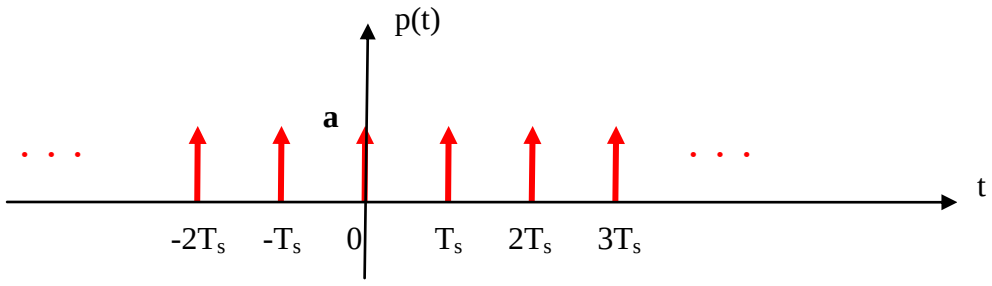
حيث إن:

P(t) = إشارة النبضة.

a = مساحة النبضة.

T_s = الفترة الزمنية بين النبضات.

n = عدد صحيح لتحديد النبضة.



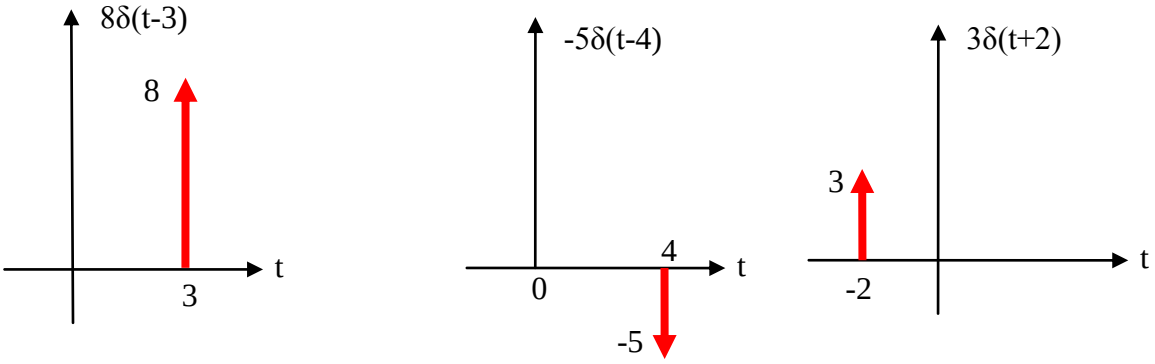
الشكل (٢- ٤): سلسلة نبضات مثالية

تكمن أهمية النبضة المثالية في استخدامها في عملية أخذ العينات (الحالة المثالية) كما سنشرح ذلك لاحقاً.

مثال٢- ١:- ارسم الإشارات التالية:

أ- $8\,\delta(t-3)$ ب- $-5\,\delta(t-4)$ ج- $3\,\delta(t+2)$

الحل



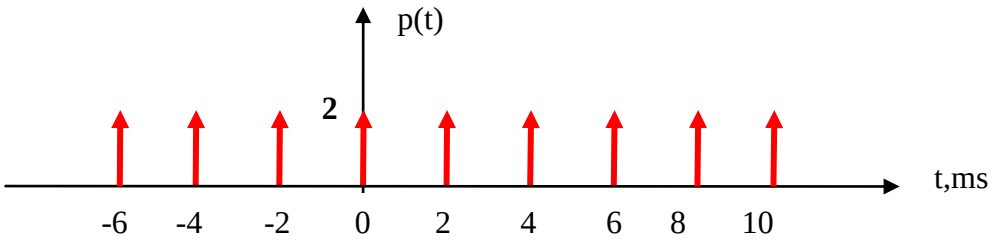
الشكل (٢- ٥): حل مثال ٢- ١

مثال٢- ٢:- ارسم الإشارة التالية:

$$P(t)=\sum_{n=-3}^{+5}2\delta(t-nT_s)$$

علمًا بأن $T_s = 2ms$.

الحل



الشكل (٢- ٦): حل مثال ٢- ٢

٢- ٣ تحويل فوريير Fourier Transform

يمكننا تمثيل الإشارات المستخدمة في أنظمة الاتصالات بطريقتين:

الأولى: في المجال الزمني (Time Domain)، حيث تتغير قيم الإشارة مع تغير الزمن ويمكننا تمثيلها باستخدام دوال رياضية بالاعتماد على متغير الزمن (t). لمشاهدة مثل هذه الإشارات، يمكننا استخدام جهاز راسم الإشارة (Oscilloscope).

الثانية: في المجال الترددي (Frequency Domain)، حيث تتغير قيم الإشارة مع تغير التردد ويمكننا تمثيلها باستخدام دوال رياضية بالاعتماد على متغير التردد (f). لمشاهدة مثل هذه الإشارات، يمكننا استخدام جهاز محلل الطيف الترددي (Spectrum Analyzer).

لتحويل الإشارات من المجال الزمني للمجال الترددي وبالعكس نستخدم طريقة فوريير (Fourier Method) ، حيث تستخدم متسلسلة فوريير (Fourier Series) للإشارات الدورية (Periodic Signals) وتحويل فوريير (Fourier Transform) للإشارات الدورية و غير الدورية.

سوف نتناول في هذا الجزء تحويل فوريير بشكل مختصر، وذلك للحاجة لاستخدامه في الأجزاء القادمة. لتحويل الإشارة من المجال الزمني، $x(t)$ للمجال الترددي $X(\omega)$ نستخدم العلاقة التالية، حيث يجرى التكامل بالنسبة للزمن

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t}\, dt \qquad (2.3)$$

حيث إن

ترمز ω إلى التردد الزاوي (Angular Frequency) وتقاس بوحدة (radian/second).

للتحويل إلى التردد العادي f بالهيرتز، نستخدم العلاقة ($\omega = 2\pi f$).

لتحويل الإشارة من المجال الترددي، $X(\omega)$ للمجال الزمني، $x(t)$ نستخدم العلاقة التالية،

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega) e^{+j\omega t}\, d\omega \qquad (2.4)$$

حيث يجرى التكامل بالنسبة للتردد.

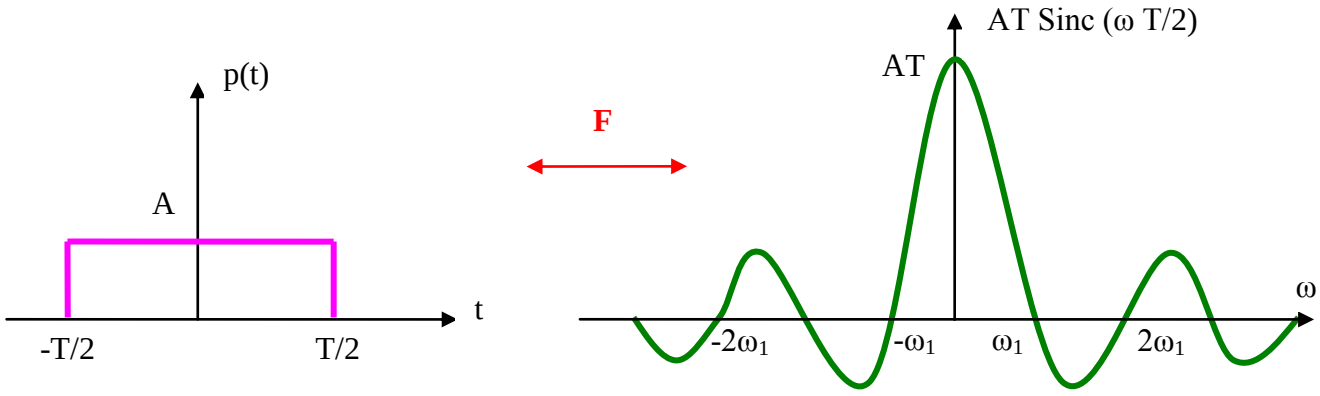
سوف نركز على نوعين من الإشارات، النبضة المربعة والنبضة المثلثة، بينما نقدم في الجدول (٢- ١) تحويل فوريير لبعض الإشارات المشهورة.

الجدول (٢- ١): تحويل فوريير لبعض الإشارات المعروفة

Time Function, f(t)	Frequency Spectrum, F(ω)
$\delta(t)$	1
u(t)	$\pi\,\delta(\omega) + 1/j\,\omega$
1	$2\pi\,\delta(\omega)$
$e^{-at}\,u(t)$	$1/(a + j\,\omega)$
$\sin(2\pi f_o t)$	$0.5\,[\,\delta(f-f_o) - \delta(f-f_o)\,]$
$\cos(2\pi f_o t)$	$0.5\,[\,\delta(f-f_o) + \delta(f-f_o)\,]$
$te^{-at}\,u(t)$	$1/(a + j\,\omega)^2$

- **النبضة المربعة** Rectangular Pulse:

للتسهيل، سوف نقوم باستخدام النتيجة الجاهزة لتحويل فوريير للنبضة المربعة بدون إجراء عملية التكامل. يمثل الشكل (٢- ٧) نبضة مربعة وتحويل فوريير لها.



الشكل (٢- ٧): النبضة المربعة وتحويل فوريير

الرموز المستخدمة:

Sinc: دالة مثلثية خاصة (sinc x = sin x/x)

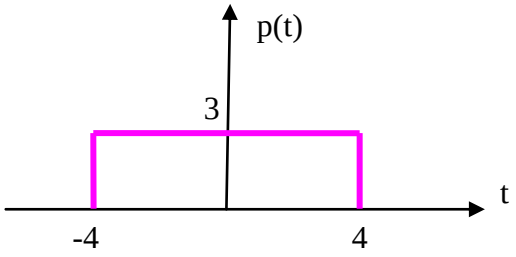
T: عرض النبضة (بوحدة الزمن)، Pulse Width

A: سعة النبضة (الارتفاع)، Amplitude

ω_1: التردد الأول (الأساسي) وقيمته ($= 2\pi/T$)، Fundamental Frequency

$2\omega_1$: التردد الثاني ($= 4\pi/T$) وهكذا بالنسبة لبقية الترددات والتي هي مضاعفات التردد الأول والتي سوف تستمر إلى ما لا نهاية. كلما ازداد التردد نقص ارتفاع دالة (sinc).

مثال ٢- ٣:- أوجد تحويل فوريير للإشارة على الشكل (٢- ٨).



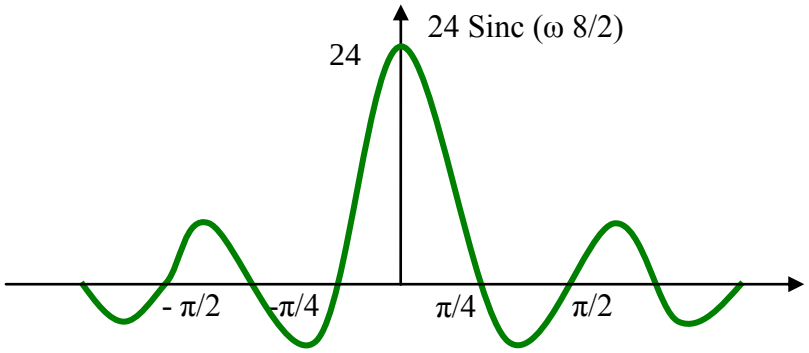
الشكل (٢- ٨)

الحل:

يتضح من الشكل أعلاه، بأن T = 8 و A = 3 وبذلك تكون الترددات:

$\omega_1 = 2\pi/T = 2\pi/8 = \pi/4,\ 2\omega_1 = 4\pi/T = 4\pi/8 = \pi/2, \ldots..$

وبناء على ذلك يكون تحويل فوريير:



الشكل (٢- ٩) : حل مثال ٢- ٣

- **النبضة المثلثة** Triangular Pulse:

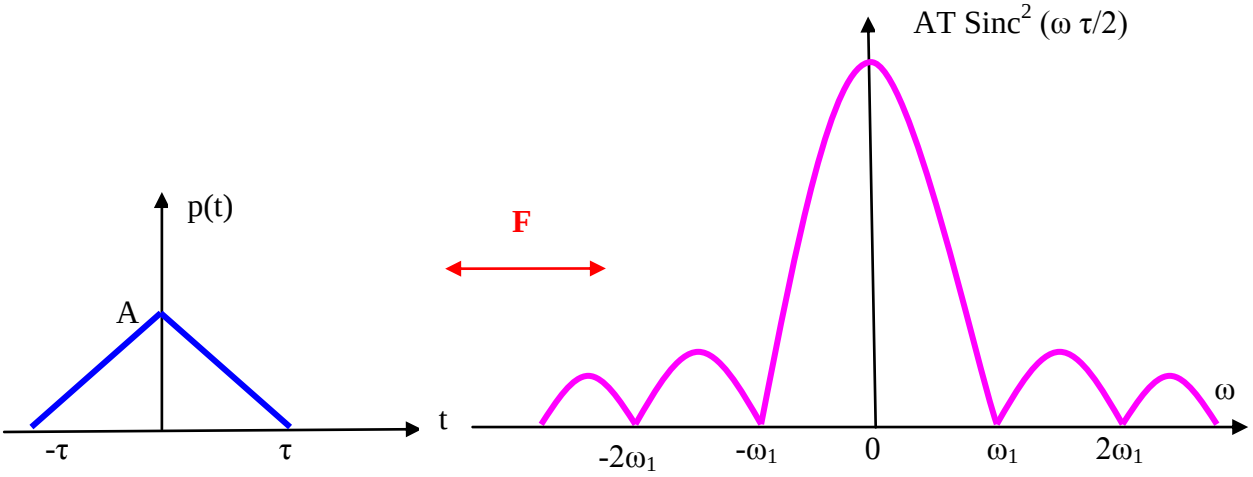
للتسهيل، سوف نقوم باستخدام النتيجة الجاهزة لتحويل فوريير للنبضة المثلثة بدون إجراء عملية التكامل. يمثل الشكل (٢- ١٠) نبضة مثلثة وتحويل فوريير لها، حيث ان:

2τ: عرض قاعدة النبضة (بوحدة الزمن). يكون عرض النبضة يساوي "τ" على مستوى نصف الارتفاع.

A: سعة النبضة (الارتفاع)، Amplitude

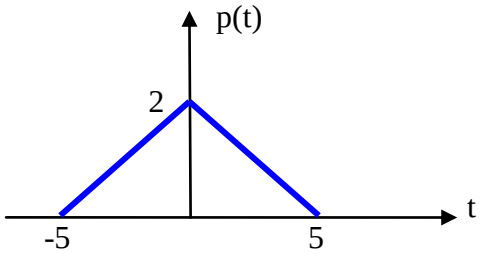
ω_1: التردد الأول (الأساسي) وقيمته ($= 2\pi/\tau$)، Fundamental Frequency

$2\omega_1$: التردد الثاني ($= 4\pi/\tau$) وهكذا بالنسبة لبقية الترددات والتي هي مضاعفات التردد الأول والتي سوف تستمر إلى ما لا نهاية. كلما ازداد التردد نقص ارتفاع دالة ($sinc^2$). من الملاحظ أن التربيع يلغي الأجزاء السالبة حيث تصبح موجبة.



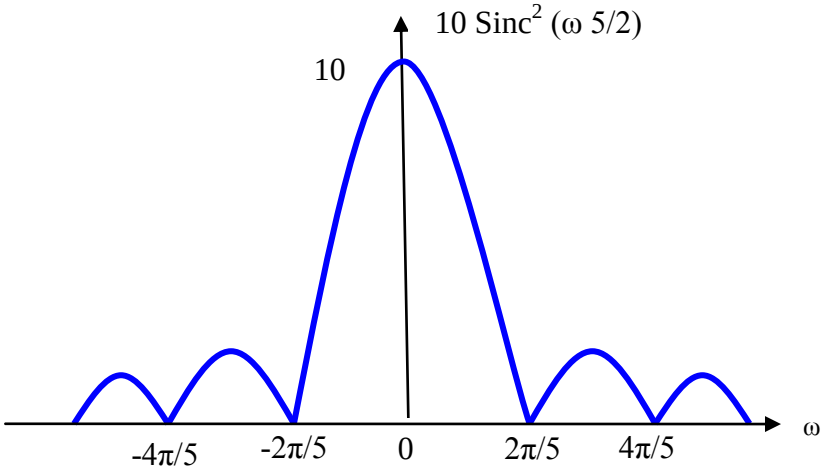
الشكل (٢- ١٠): النبضة المثلثة وتحويل فوريير

مثال٢- ٤:- أوجد تحويل فوريير للإشارة على الشكل (٢- ١١).



الشكل (٢- ١١)

الحل



الشكل (٢- ١٢): حل مثال ٢- ٤

٢- ٤ نظرية أخذ العينات Sampling Theory

إن أشهر أنواع الإشارات المستخدمة في أنظمة الاتصالات المختلفة هي الإشارات الصوتية (Audio) والمرئية (Video)، وهذه الإشارات بطبيعتها تماثلية، أي أنها إشارات متصلة مع الزمن. لكي نستطيع إرسال تلك الإشارات عبر أنظمة الاتصالات الرقمية،يجب تحويلها إلى صيغة تناسب إرسالها عبر النظام الرقمي، حيث تسمى هذه العملية بالتحويل من التماثلي للرقمي (Analog to Digital Conversion) والتي تعرف اختصارًا (A/D)، بينما التحويل العكسي في المستقبل يعرف بـ (D/A). إن أول مرحلة في هذا التحويل هو تحويل المتغير الزمني (t) من متغير متصل إلى متغير متقطع عند قيم زمنية محددة والتي تعيد نفسها بانتظام مما يسمح بأخذ عينات الإشارة التماثلية (Sampling) عند تلك القيم الزمنية مما يسمح بإرسالها عبر النظام الرقمي بعد إجراء عدد من العمليات عليها والتي سنتعرف عليها في الوحدات القادمة. إن الهدف من نظرية أخذ العينات هو تحديد العدد المناسب للعينات في الثانية الواحدة حتى نتمكن من استرجاع الإشارة الأصلية في المستقبل. هنالك نوعان من عملية أخذ العينات، النوع المثالي والنوع الطبيعي (غير المثالي).

- **أخذ العينات المثالي** Ideal Sampling:

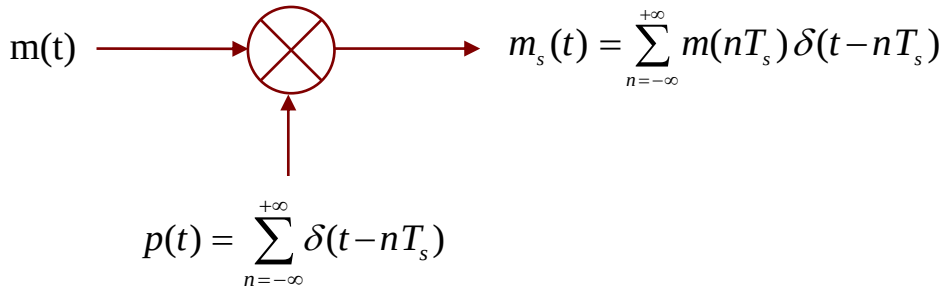
إن ما يميز الطريقة المثالية لأخذ العينات هو استخدام إشارة النبضات المثالية "δ(t)" (Unit Impulses) والتي سوف تقوم بتقطيع الإشارة التماثلية "m(t)" وتحويلها إلى عينات عند نقاط زمنية محددة تسمى الزمن الدوري للعينات (Sampling Period) ورمزها "T_s". إن الإشارة الناتجة هي مجموعة من العينات المتباعدة عن بعضها البعض بمقدار "T_s" والتي سنرمز لها بالرمز "$m_s(t)$". رياضيًا سوف نعبر عن ذلك من خلال العلاقات البسيطة التالية:

$$p(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(t - nT_s) \qquad (2.5)$$

$$m_s(t) = m(t) \times p(t) \qquad (2.6)$$

$$m_s(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} m(t)\delta(t - nT_s) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} m(nT_s)\delta(t - nT_s) \qquad (2.7)$$

يوضح الشكل (٢- ١٣) المخطط البسيط لعملية أخذ العينات المثالية، حيث يتم إدخال إشارة النبضات المثالية والإشارة التماثلية على دائرة تقوم بعملية الضرب (Multiplier or Mixer) ناتجها هو إشارة العينات.



الشكل (٢- ١٣): مخطط عملية أخذ العينات المثالية

إن مقلوب قيمة "T_s" يسمى تردد العينات (Sampling Frequency) ورمزه (f) ويمثل عدد العينات الواجب أخذها للإشارة التماثلية في الثانية الواحدة. يظهر الشكل (٢- ١٤)، عملية أخذ العينات لإشارة تماثلية، حيث تظهر جميع الإشارات بدلالة الزمن (رسم توضيحي في المجال الزمني).

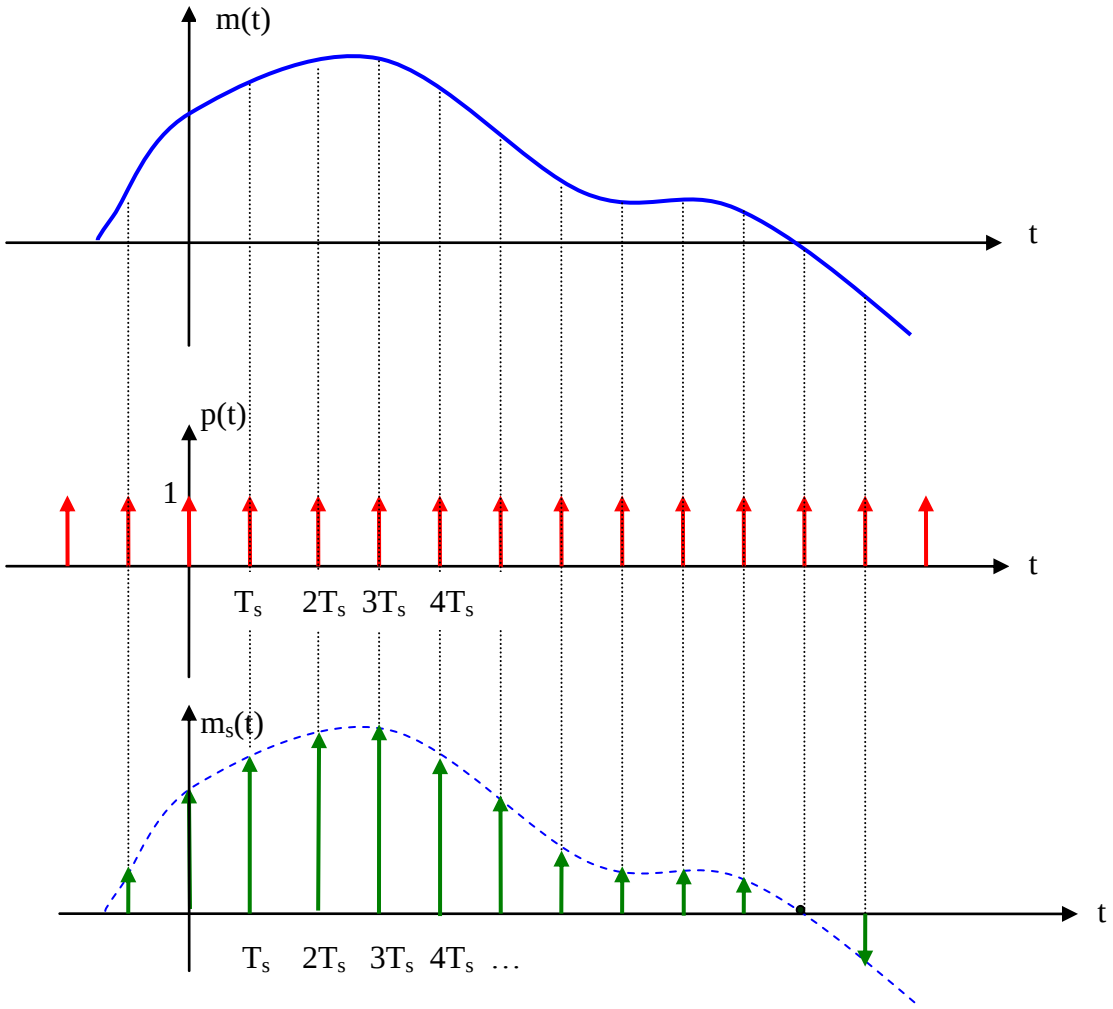
لتوضيح عملية أخذ العينات في المجال الترددي، يجب معرفة تحويل فوريير للإشارة التماثلية "m(t)"، (ذات ترددات من صفر ولغاية W هيرتز) والذي سنرمز له "M(f)" وإشارة النبضات "p(t)" والتي سنرمز لها "P(f)" وإشارة العينات "$m_s(t)$" والتي سنرمز لها "$M_s(f)$".

رياضياً، سوف نعبر عن ذلك من خلال العلاقات البسيطة التالية:

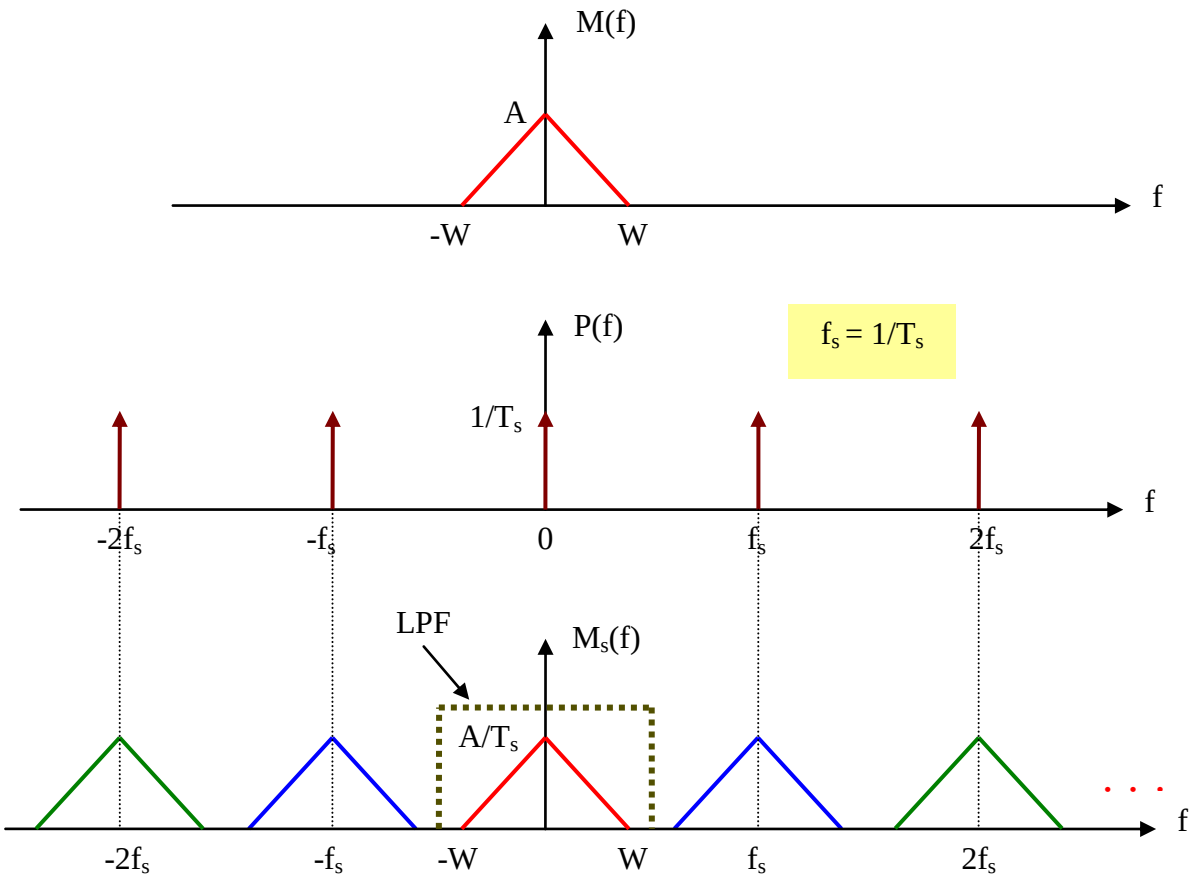
$$P(f) = \frac{1}{T_s}\sum_{n=-\infty}^{\infty}\delta(f-nf_s) \qquad (2.8)$$

$$M_s(f) = \frac{1}{T_s}\sum_{n=-\infty}^{\infty}M(f-nf_s) \qquad (2.9)$$

يظهر الشكل (٢- ١٥) عملية أخذ العينات لإشارة تماثلية في المجال الترددي. وكما هو موضح على الشكل (٢- ١٥)، فإن الطيف الترددي لإشارة العينات "$M_s(f)$" يحتوي الإشارة الأصلية "M(f)" ونسخ مكررة منها ولكن بمواقع جديدة (عند تردد f_s ومضاعفاته) وتستمر نظريًا إلى ما لا نهاية. إن ما يهمنا في الاستقبال هو استرجاع الإشارة الأصلية وذلك من خلال اختيارها لوحدها من الطيف الترددي وذلك باستخدام المرشح منخفض التردد (LPF) والذي سيلغي جميع المكونات الترددية أعلى من تردد الإشارة الأصلية "W".



الشكل (٢- ١٤): عملية أخذ العينات المثالية



الشكل (٢- ١٥) عملية أخذ العينات في المجال الترددي

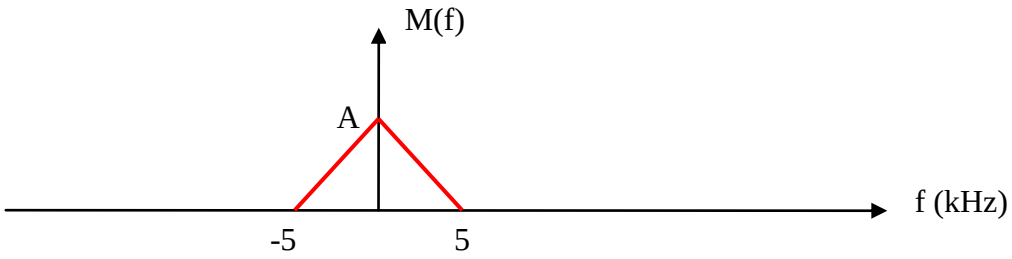
- تنص نظرية أخذ العينات (Sampling Theorem) على:

لتكن "m(t)" إشارة تماثلية ذات نطاق ترددي من صفر إلى "W" هيرتز (أعلى تردد تحتويه هو "W" هيرتز)، لكي نستطيع تحويلها إلى عينات بشكل يسمح باسترجاعها في المستقبل بالشكل والجودة المناسبة يجب أن يكون تردد أخذ العينات وفقاً للعلاقة التالية:

$$f_s \geq 2W \qquad (2.10)$$

إن حالة ($f_s = 2W$) تعتبر أقل قيمة تردد مسموح به وتسمى معدل أو تردد (Nyquist). في الحالات العملية، يجب أن يكون تردد العينات أكبر من تردد (Nyquist)، مما يسهل تصميم المرشح المستخدم في المستقبل لتمرير ترددات الإشارة الأصلية للتمكن من استرجاعها. ولتوضيح ذلك، نقوم بحل الأمثلة التالية.

مثال ٢- ٥:- لديك إشارة تماثلية "m(t)" ذات طيف ترددي كما هو موضح على الشكل أدناه، يراد أخذ عيناتها من أجل تحويلها إلى إشارة رقمية. ارسم الطيف الترددي لإشارة العينات على اعتبار أن تردد العينات "f_s" بمعدل "٢٠٪" أعلى من تردد (Nyquist).



الحل

من الشكل أعلاه، يتضح أن أعلى تردد للإشارة "m(t)" هو "5kHz" وبالتالي فإن تردد العينات يساوي:

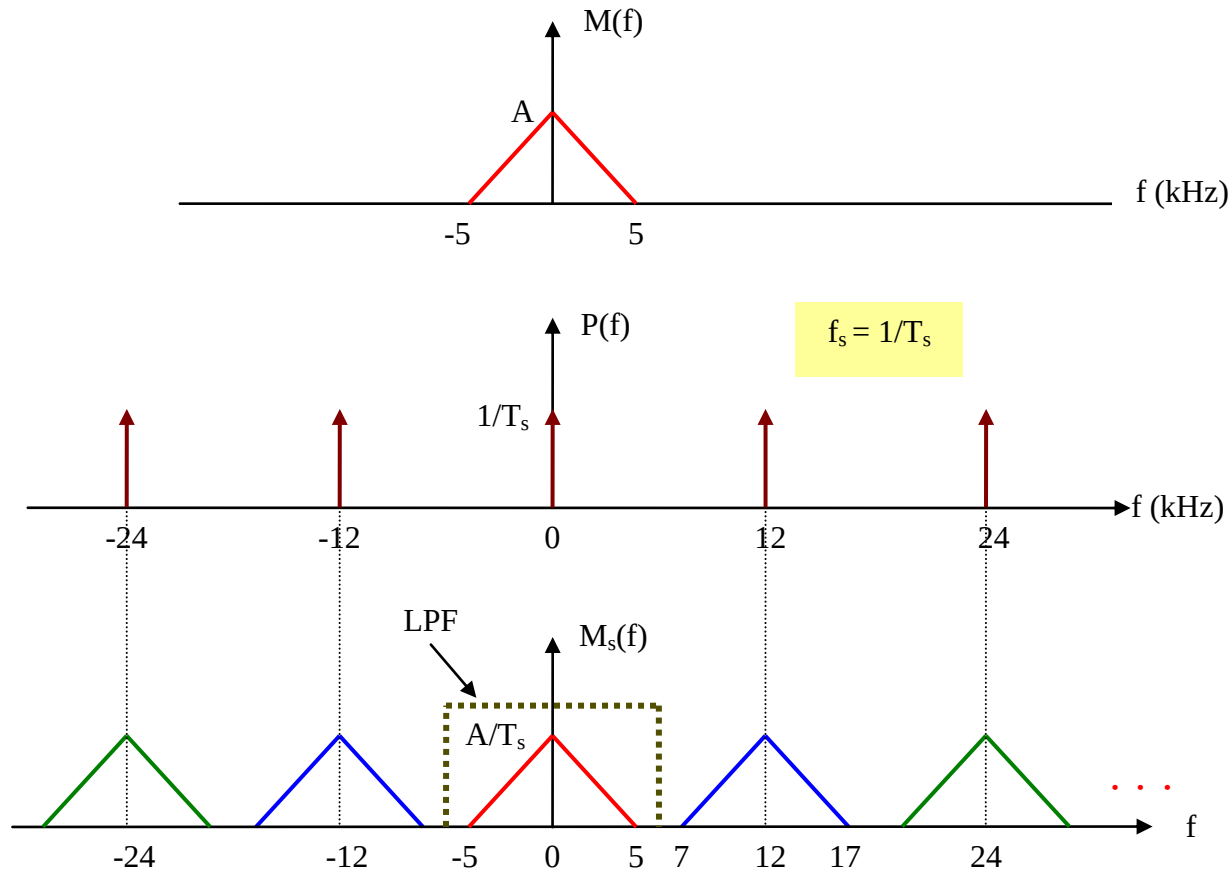
$$f_s = (1 + 0.2) \times 2 \times 5 \text{ kHz} = 12 \text{ kHz}$$

أي أن عدد العينات المطلوب لتحويل الإشارة "m(t)" من تماثلية إلى رقمية سيكون "12" ألف عينة في الثانية الواحدة.

كما هو واضح من الشكل (٢- ١٦)، هنالك حيز حماية ترددي (Guard Band) وقيمته "2kHz". يجب أن يكون تردد القطع "f_c" للمرشح المستخدم في المستقبل ضمن مجال حيز الحماية الترددي وفقاً للعلاقة التالية:

$$5 \text{ kHz} < f_c < 7 \text{ kHz}$$

إن عدم وجود حيز حماية ترددي كافٍ يصعب عملية تصميم المرشح وبالتالي عدم إمكانية استرجاع الإشارة الأصلية بالجودة المطلوبة.



الشكل (٢- ١٦): حل مثال ٢- ٥

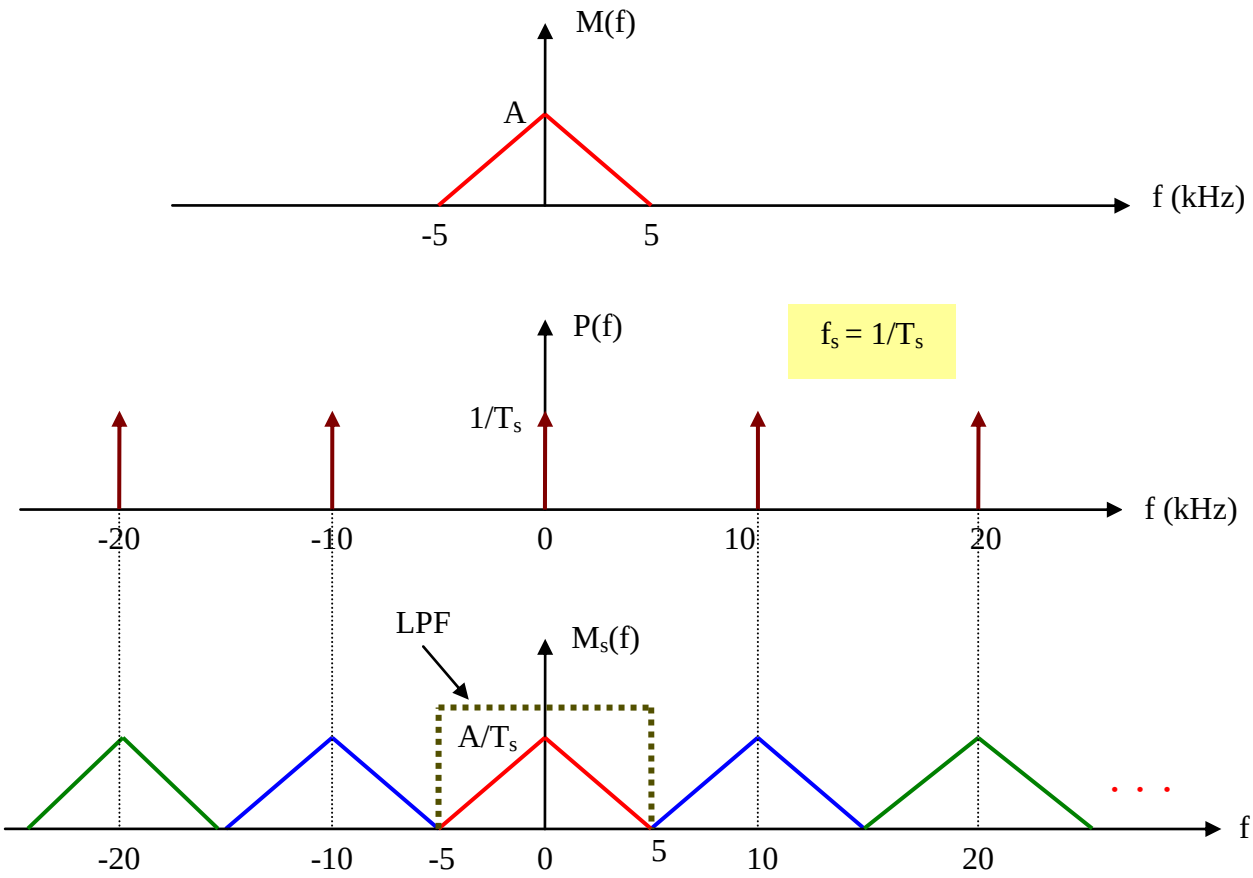
مثال ٢- ٦:- لديك إشارة تماثلية "m(t)" (الشكل ٢- ١٧) يراد أخذ عيناتها من أجل تحويلها إلى إشارة رقمية. ارسم الطيف الترددي لإشارة العينات على اعتبار أن تردد العينات "f_s" يساوي تردد (Nyquist).

الحل

من الشكل (٢- ١٧) يتضح أن أعلى تردد للإشارة "m(t)" هو "5kHz" وبالتالي فإن تردد العينات يساوي:

$$f_s = 2 \times 5 \text{ kHz} = 10 \text{ kHz}$$

كما هو واضح من الرسم،لا يوجد حيز حماية ترددي (Guard Band) بين مكونات الطيف الترددي، مما يصعب عمل المرشح.



الشكل (٢- ١٧): حل مثال ٢- ٦

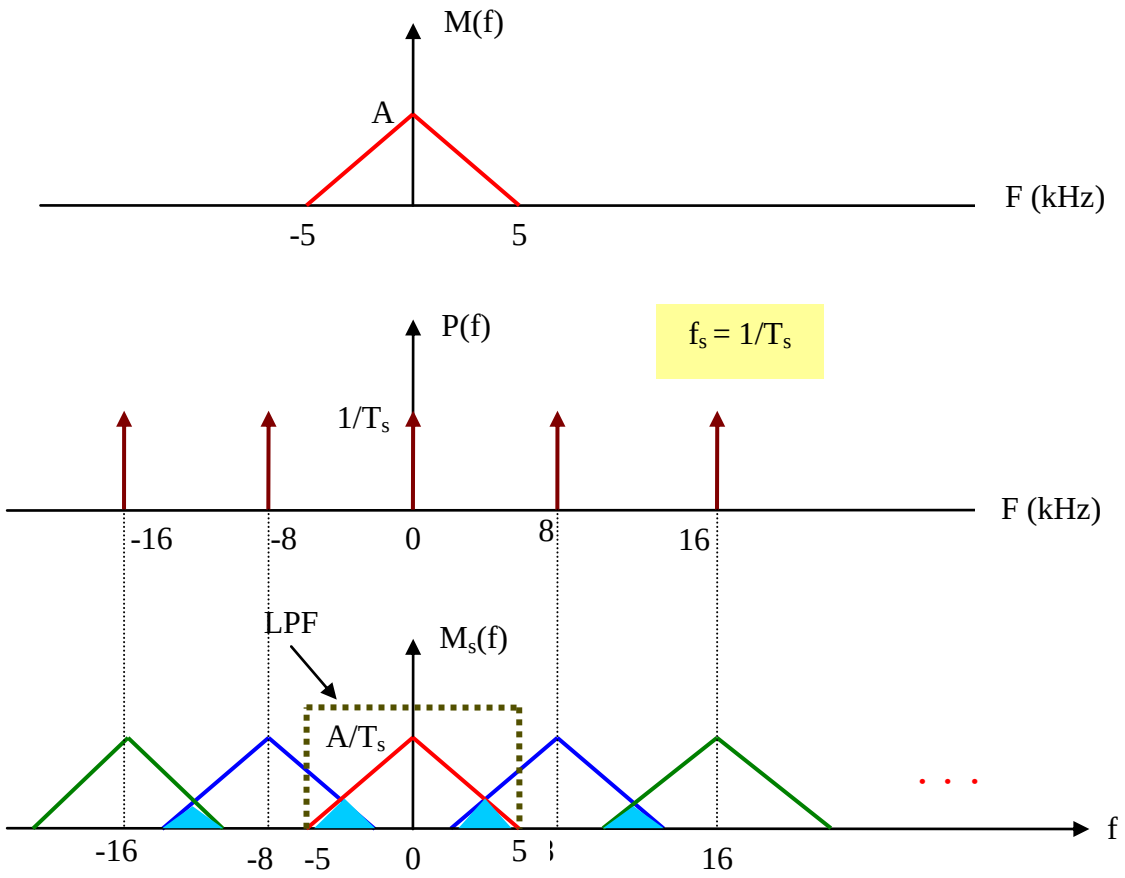
مثال ٢- ٧:- لديك إشارة تماثلية "m(t)" (الشكل ٢- ١٨) يراد أخذ عيناتها من أجل تحويلها إلى إشارة رقمية. ارسم الطيف الترددي لإشارة العينات على اعتبار أن تردد العينات "f_s" بمعدل "٢٠٪" أقل من تردد (Nyquist).

الحل

من الشكل (٢- ١٨) يتضح أن أعلى تردد للإشارة "m(t)" هو "5kHz" وبالتالي فإن تردد العينات:

$$f_s = (1 - 0.2) \times 2 \times 5 \text{ kHz} = 8 \text{ kHz}$$

كما هو واضح من الرسم،لا يوجد حيز حماية ترددي (Guard Band) وأيضًا هنالك تداخل بين مكونات الطيف الترددي (المنطقة المظللة) والذي يسمى (Aliasing) مما يؤدي لتشويه الإشارة ويتسبب بمشكلة في عملية الاستقبال. لا يمكن للمرشح أن يعمل بالشكل الصحيح في مثل هذه الحالة لأننا اخترنا تردد عينات خاطئ.



الشكل (٢- ١٨): حل مثال ٢- ٧

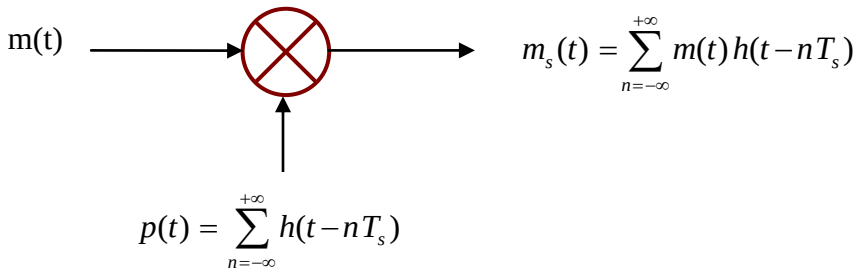
- **أخذ العينات الطبيعي** Natural Sampling:

إن ما يميز الطريقة الطبيعية لأخذ العينات هو استخدام إشارة النبضات العادية "p(t)" والتي سوف تقوم بتقطيع الإشارة التماثلية "m(t)" وتحويلها إلى عينات عند نقاط زمنية محددة "T_s". إن الإشارة الناتجة هي مجموعة من العينات المتباعدة عن بعضها البعض بمقدار "T_s" والتي سنرمز لها بالرمز "$m_s(t)$".

$$p(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} h(t - nT_s) \qquad (2.11)$$

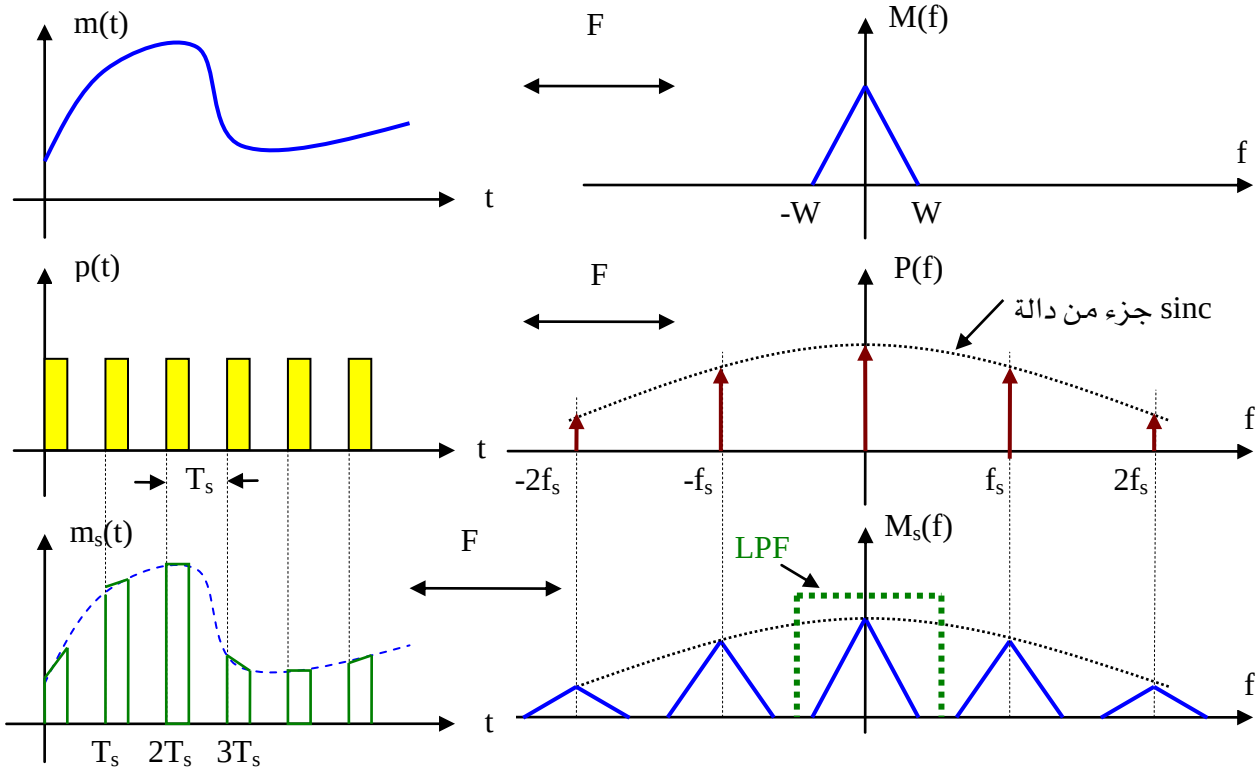
حيث تمثل "h(t)" دالة للتعبير عن قيمة النبضة ($h(t)=1$ for $0 \le t \le \tau$, $h(t)=0$ otherwise).

يوضح الشكل (٢- ١٩) المخطط البسيط لعملية أخذ العينات الطبيعية.



الشكل (٢- ١٩): مخطط عملية أخذ العينات

يظهر الشكل (٢- ٢٠) عملية أخذ العينات لإشارة تماثلية، حيث تظهر جميع الإشارات بدلالة الزمن وما يقابلها في المجال الترددي.

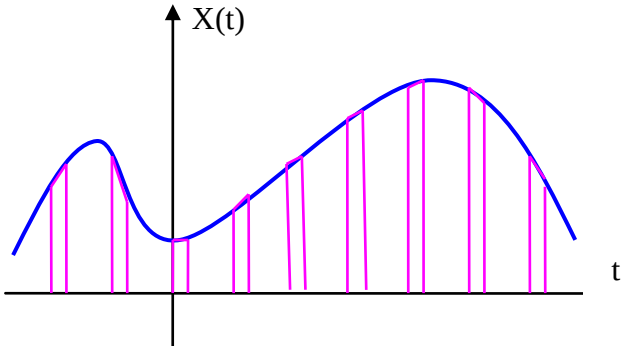


(أ) المجال الطيفي **(ب) المجال الزمني**

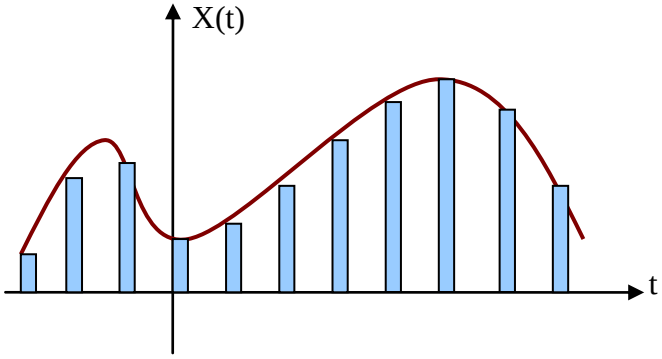
الشكل (٢- ٢٠): عملية أخذ العينات الطبيعية في المجال الطيفي والترددي

ملاحظة: بالنسبة للإشارة "P(f)" فإنها تستمر إلى ما لا نهاية وتتقاطع مع الصفر في نقاط محددة، حيث إن أول نقطة تقاطع مع الصفر تكون عند ($f = 1/\tau$). أما بقية النقاط فهي مضاعفات النقطة الأولى. نفس الوضع سينعكس على الإشارة "$M_s(f)$".

هنالك نوعان من أخذ العينات الطبيعية؛ الأول ذو المستوى الثابت (Flat-top) والثاني ذو المستوى الطبيعي (Natural Sampling). المقصود بالمستوى الثابت أن قمة النبضات في إشارة العينات تكون ذات قيمة ثابتة، أما المستوى الطبيعي فإن قمة النبضات في إشارة العينات لا تكون ذات قيمة ثابتة إنما تتغير وفقاً لقيم الإشارة التماثلية. لتوضيح ذلك، انظر الشكل (٢- ٢١). في الواقع العملي، تستخدم عملية أخذ العينات من نوع القمة الثابتة للنبضات، وذلك لسهولتها من الناحية التطبيقية.



(أ) أخذ العينات الطبيعي



(ب) أخذ عينات القيمة الثابتة

الشكل (٢- ٢١): عملية أخذ العينات الطبيعي وذو القيمة الثابتة

تدريبات على الوحدة الثانية

(٢- ١) ما المقصود بعملية أخذ العينات؟

(٢- ٢) ما الفرق بين أخذ العينات المثالي والطبيعي؟

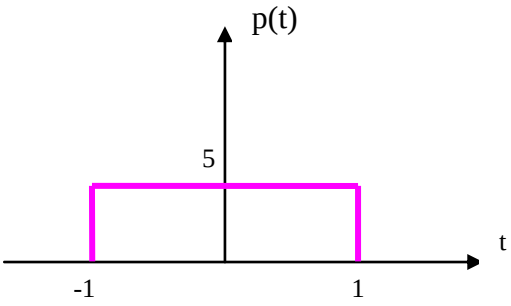
(٢- ٣) ارسم الإشارات التالية:

أ- $4\,\delta(t-7)$ ب- $-5\,\delta(t+3)$ ج- $12\,\delta(t+9)$

(٢- ٤) ارسم الإشارة التالية:

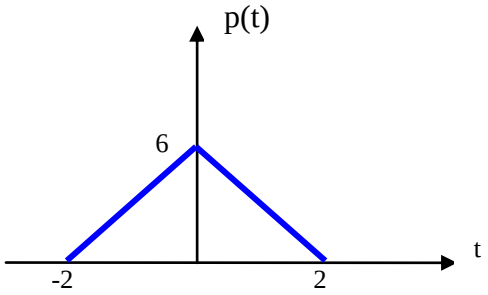
$$P(t)=\sum_{n=-5}^{+8}4\delta(t-nT_s)$$

(٢- ٥) أوجد تحويل فوريير للإشارة التالية:



الشكل (٢- ٢٢)

(٢- ٦) أوجد تحويل فوريير للإشارة التالية:

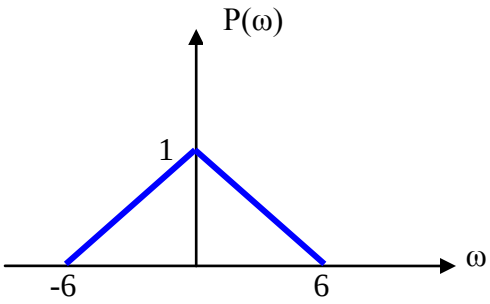


الشكل (٢- ٢٣)

(٢- ٧) ما مواصفات إشارة النبضة المثالية $\delta(t)$؟

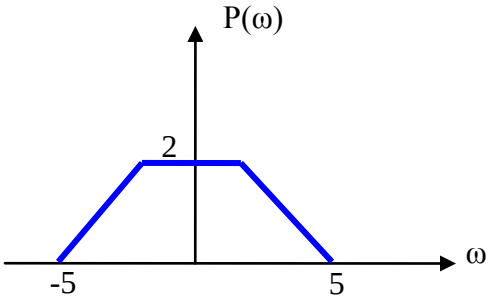
(٢- ٨) لماذا نلجأ إلى استخدام عملية أخذ العينات في الاتصالات الرقمية؟

(٢- ٩) لديك إشارة تماثلية "x(t)" طيفها الترددي موضحًا على الشكل (٢- ٢٤)، يراد أخذ عيناتها من أجل تحويلها إلى إشارة رقمية. ارسم الطيف الترددي لإشارة العينات على اعتبار أن تردد العينات "f_s" بمعدل "٢٥٪" أعلى من تردد (Nyquist).



الشكل (٢- ٢٤)

(٢- ١٠) لديك إشارة تماثلية "x(t)" طيفها الترددي موضحًا على الشكل (٢- ٢٥)، يراد أخذ عيناتها من أجل تحويلها إلى إشارة رقمية. ارسم الطيف الترددي لإشارة العينات على اعتبار أن تردد العينات "f_s" بمعدل "١٠٪" أقل من تردد (Nyquist).



الشكل (٢- ٢٥)

(٢- ١١) أوجد حيز الحماية الترددي لكل من الحالات التالية:

أ- W = 10kHz وتردد العينات f_s أعلى من Nyquist بمقدار 20%.

ب- W = 8kHz وتردد العينات f_s أعلى من Nyquist بمقدار 40%.

ج- W = 4kHz وتردد العينات f_s يساوي معدل Nyquist.

د- W = 15kHz وتردد العينات f_s أقل من Nyquist بمقدار 20%.

الوحدة الثالثة

تعديل النبضات

تعديل النبضات
Pulse Modulation

الهدف العام:

التعرف على أنواع تعديل النبضات المختلفة (تعديل السعة، والعرض والموقع)

الأهداف التفصيلية:

عندما تكتمل هذه الوحدة يكون المتدرب قادرًا على أن يتعرف على:

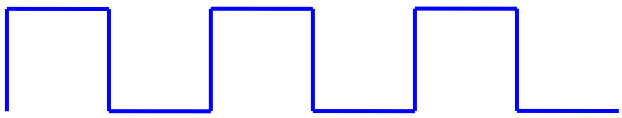
١. تعديل سعة النبضات (PAM)
٢. تعديل عرض النبضات (PWM)
٣. تعديل موقع النبضات (PPM)

مقدمة

تتناول هذه الوحدة التعرف على أشكال النبضات المختلفة التي تستخدم في الاتصالات الرقمية، التعرف على أنواع تعديل النبضات، تعديل سعة النبضات، تعديل عرض النبضات وتعديل موقع النبضات.

٣- ١ أشكال النبضات Pulses Types

يمكننا استخدام الإشارات التماثلية (الجيبية) أو النبضات لإرسال المعلومات من مكان إلى آخر، حيث لكل نوع إيجابياته وسلبياته. إن عملية تعديل النبضات تعني إرسال الإشارات على شكل نبضات كهربائية (مربعة، مثلثة، مسننة، ...). يظهر الشكل (٣- ١) الأشكال المختلفة للنبضات، وسوف نقوم بالتركيز على النبضة المربعة (Rectangular Pulse) لاستخدامها في عملية التعديل والإرسال.



- أ- نبضة مربعة

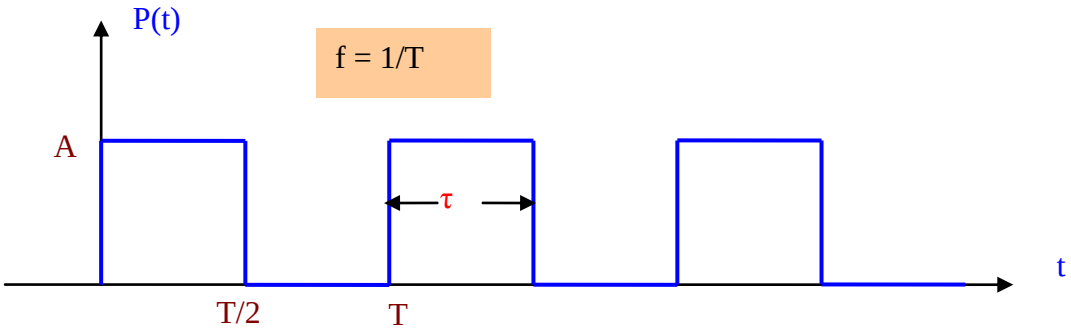
- ب- نبضة مثلثة

- ج- نبضة مسننة

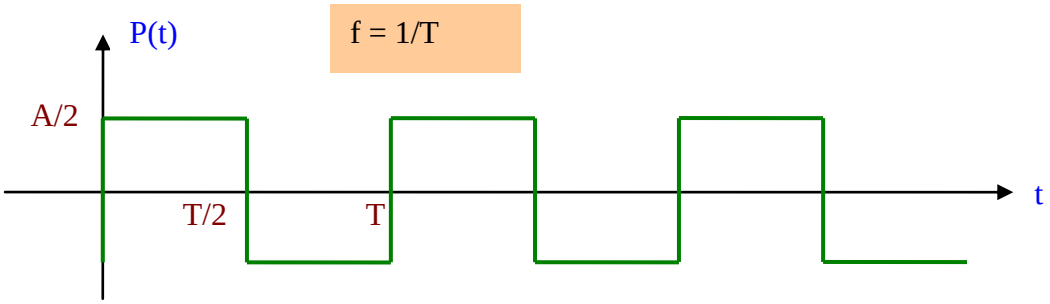
الشكل (٣- ١): أشكال النبضات

هنالك ثلاثة عوامل رئيسية تحدد النبضة (الشكل ٣- ٢)، السعة (Amplitude) ويرمز لها بالرمز "A"، العرض (Width) ويرمز له بالرمز "τ"، والدورة (Period) ويرمز لها بالرمز "T"

أو ما يقابلها وهو التردد (Frequency). إن مثل هذه النبضات تسمى أحادية القطبية (Unipolar) حيث تكون السعة موجبة أو سالبة. إن النوع الآخر من النبضات يسمى ثنائي القطبية (Bipolar) حيث تكون السعة ذات قيم موجبة وسالبة (الشكل ٣- ٣).



الشكل (٣- ٢): النبضات المربعة أحادية القطبية



الشكل (٣- ٣): النبضات المربعة ثنائية القطبية

للحصول على تعديل النبضات يجب تعديل أحد العوامل الأساسية للنبضة (السعة، العرض أو الموقع) وذلك وفقاً لإشارة المعلومات المراد إرسالها كما هو الحال في التعديل التماثلي والذي درسناه في أساسيات الاتصالات (تعديل السعة "AM"،وتعديل التردد "FM" وتعديل الطور "PM") مع الفارق الرئيسي بأن الموجة الحاملة هي موجة جيبية (Sinusoidal Wave).

تنقسم عملية تعديل النبضات إلى نوعين أساسيين:

١- **تعديل النبضات التماثلي** (Analog Pulse Modulation) وينقسم إلى:

- تعديل سعة النبضة (Pulse Amplitude Modulation) ويرمز لها اختصارا"PAM".
- تعديل عرض النبضة (Pulse Width Modulation) ويرمز لها اختصارا "PWM".
- تعديل موقع النبضة (Pulse Position Modulation) ويرمز لها اختصارا "PPM".

٢- **تعديل النبضات الرقمي** (Digital Pulse Modulation) وينقسم إلى:

- تعديل ترميز النبضات (Pulse Code Modulation) ويرمز لها اختصارا "PCM".
- تعديل دلتا (Delta Modulation) ويرمز لها اختصارا "DM".

عادة ما تسمى الأنواع السابقة من تعديل النبضات بتعديل النطاق الأساسي (Baseband Modulation) حيث تكون الترددات في نطاقها الأساسي بدون إزاحتها على نطاقات أعلى ترددياً.

سوف نتناول في هذه الوحدة دراسة أنواع تعديل النبضات التماثلي،أما تعديل النبضات الرقمي فسوف نقوم بدراسته في الوحدة الرابعة.

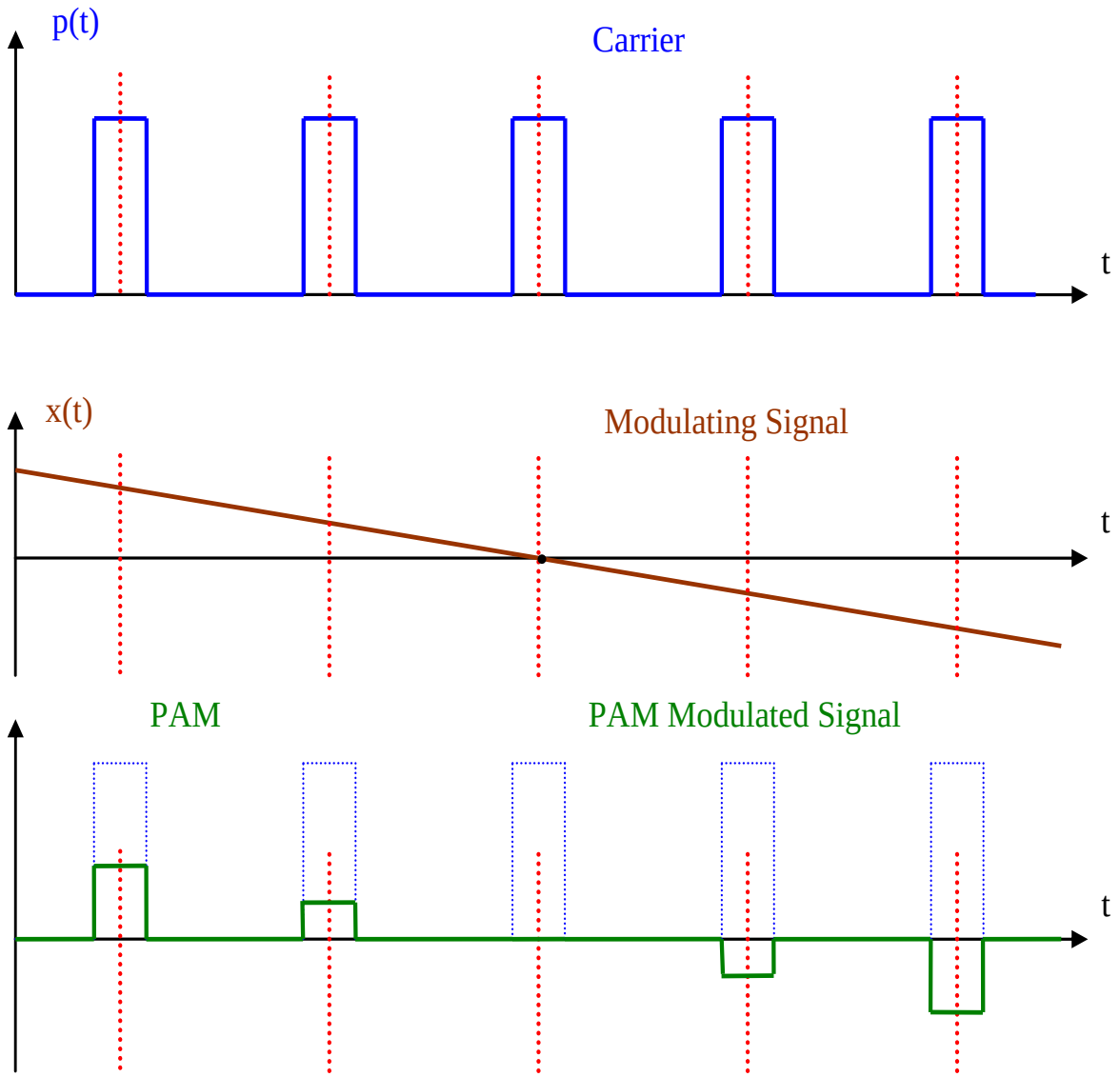
٣- ٢ تعديل سعة النبضة Pulse Amplitude Modulation "PAM"

تعتبر عملية تعديل سعة النبضات من أبسط أنواع تعديل النبضات التماثلي وأكثرها استخداما في الاتصالات الرقمية، حيث تتغير سعة النبضة أو ارتفاعها وفقًا لقيم النبضات التي تم الحصول عليها من بعد عملية أخذ العينات (Sampling) للإشارة التماثلية، بينما يبقى عرض النبضات ومواقعها ثابتة بدون تغيير.

إن الميزة الرئيسة لنظام تعديل سعة النبضة هو إمكانية إجراء عملية الدمج (Multiplexing) وذلك لأن النبضات تشغل حيزًا زمنيًا محددًا مما يمكننا من إرسال نبضات تعود لإشارات أخرى في الفترات الزمنية الفارغة مما يسمح بالاستغلال الأمثل لوسط الاتصال (Transmission Media). لكن عملية التعدد والتي تتيح حالة الإرسال المتعدد للإشارات المختلفة تتطلب نطاقًا ترديديًا أعرض.

إن مشكلة تعديل سعة النبضات (PAM) هي حاجتها إلى نطاق ترددي أعلى من دون تحسين تأثير الضوضاء (Noise Performance). لذلك، من ناحية مقاومة تأثير الضوضاء، هنالك أنواع أفضل من "PAM" وهي تعديل عرض النبضات "PWM" وتعديل موقع النبضات "PPM".

يوضح الشكل (٣- ٤) إشارة تعديل سعة النبضة "PAM".

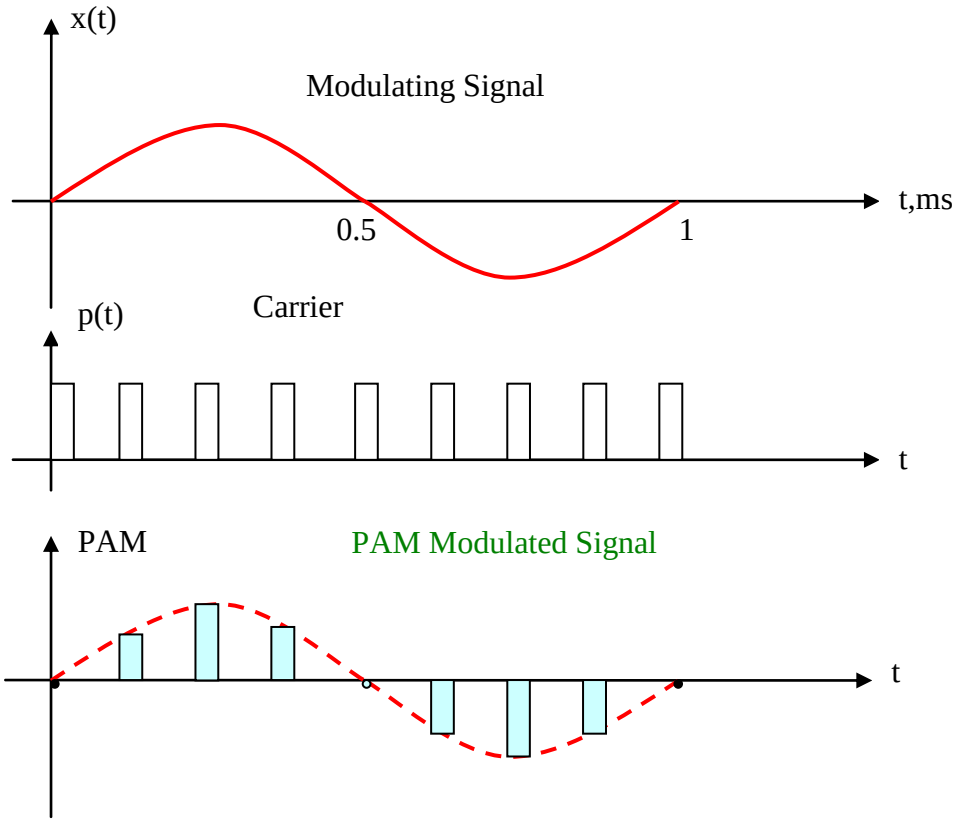


الشكل ٣- ٤ إشارة تعديل سعة النبضة "PAM"

كما هو واضح من الشكل أعلاه، فإن إشارة تعديل سعة النبضة "PAM" تشبه إشارة العينات ذات القمة الثابتة (Flat Top Sampling).

مثال ٣- ١:- لديك إشارة جيبية "x(t)" بتردد "1 kHz" تقوم بتعديل سلسلة نبضات مربعة بنظام تعديل سعة النبضات. ارسم الإشارة الناتجة عن عملية التعديل "PAM".

الحل

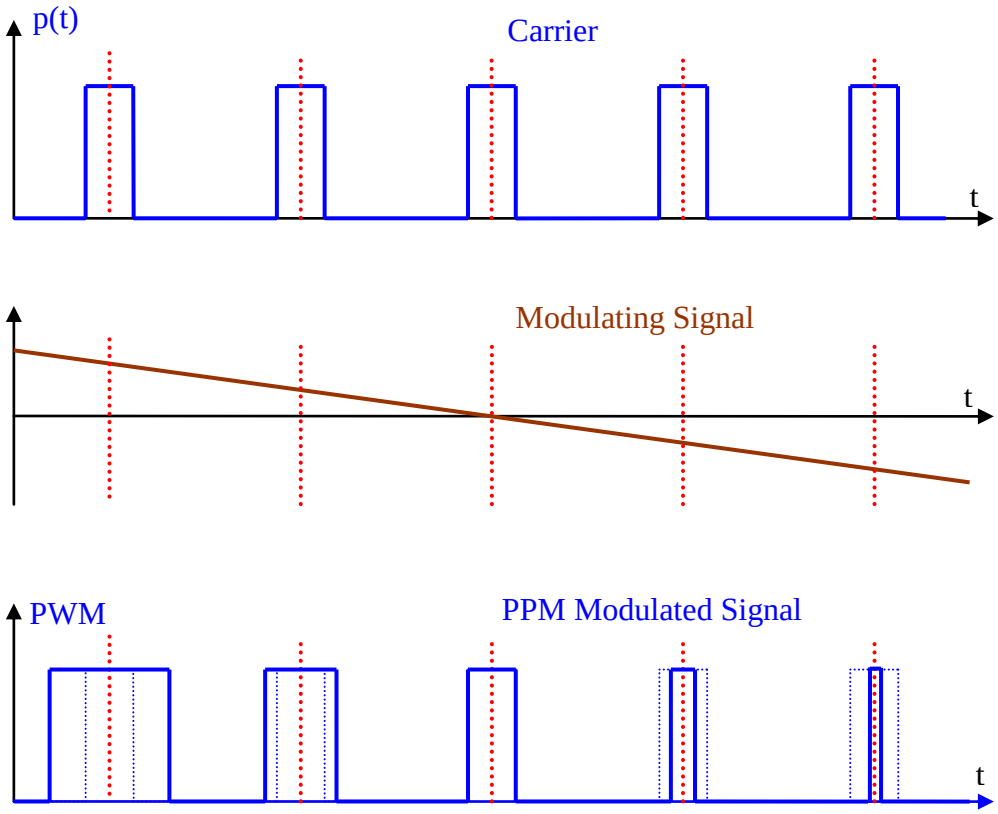


الشكل (٣- ٥): حل مثال ٣- ١

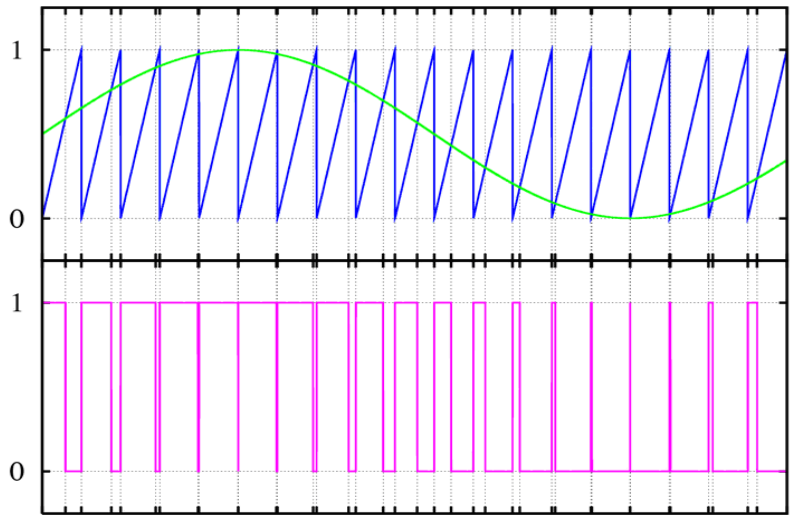
٣- ٣ تعديل عرض النبضة Pulse Width Mdulation "PWM"

في هذا النوع من تعديل النبضات، يتغير عرض النبضة وفقًا لقيمة الإشارة التماثلية المراد تحويلها، حيث يكون عرض النبضة أكبر ما يمكن عندما تكون الإشارة في أعلى قيمة والعرض أقل ما يمكن عندما تكون الإشارة في أدنى قيمة. في جميع الحالات ارتفاع جميع النبضات ثابت ومواقعها الزمنية ثابتة أيضاً. يوضح الشكل (٣- ٦) عملية تعديل عرض النبضات "PWM" .

للحصول على إشارة تعديل عرض النبضات، نستخدم إشارة مسننة (Sawtooth) أو مثلثة (Triangle) مع الإشارة المراد أخذ عيناتها (الجيبية مثلاً) بعد إدخالهما على دائرة المقارن (Comparator) كما هو موضح على الشكل (٣- ٧). عندما تكون قيمة الإشارة الجيبية مساوية أو أعلى من قيمة الإشارة المسننة في لحظة التقاطع، فإن الناتج يكون مستوى عالياً.



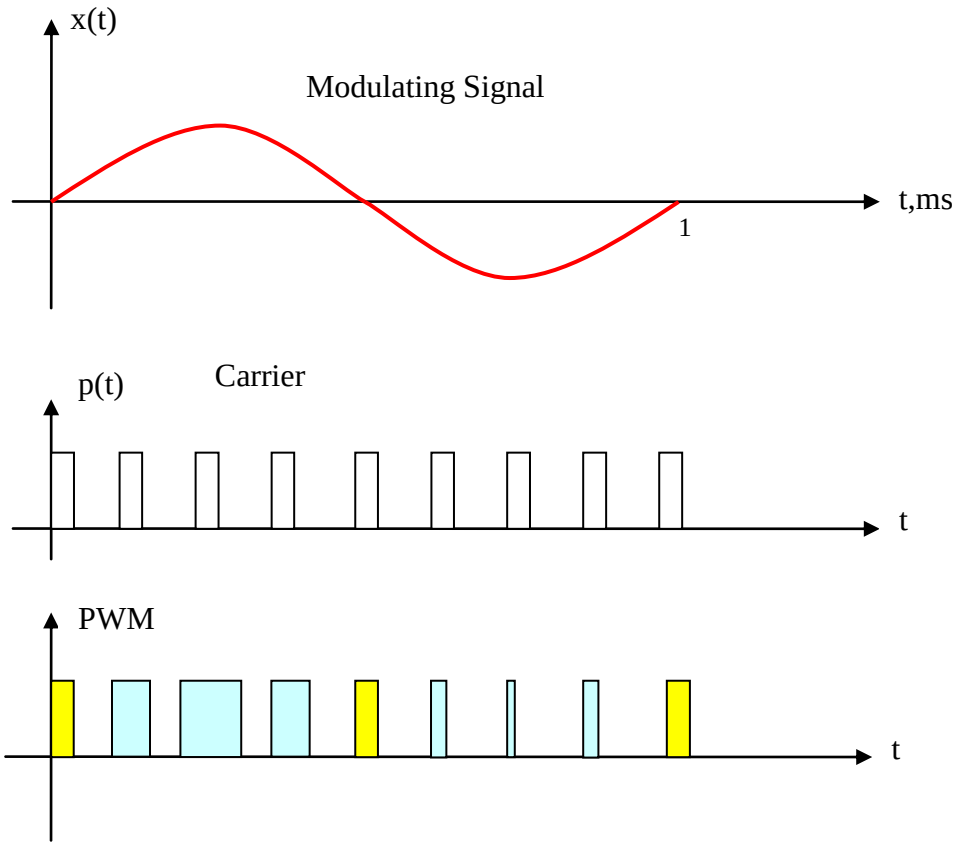
الشكل (٣- ٦): عملية تعديل عرض النبضات "PWM"



الشكل (٣- ٧): تكوين إشارة "PWM"

مثال ٣- ٢:- لديك إشارة جيبية "x(t)" بتردد "10 kHz" تقوم بتعديل سلسلة نبضات مربعة بنظام تعديل عرض النبضات. ارسم الإشارة الناتجة عن عملية التعديل "PWM".

الحل

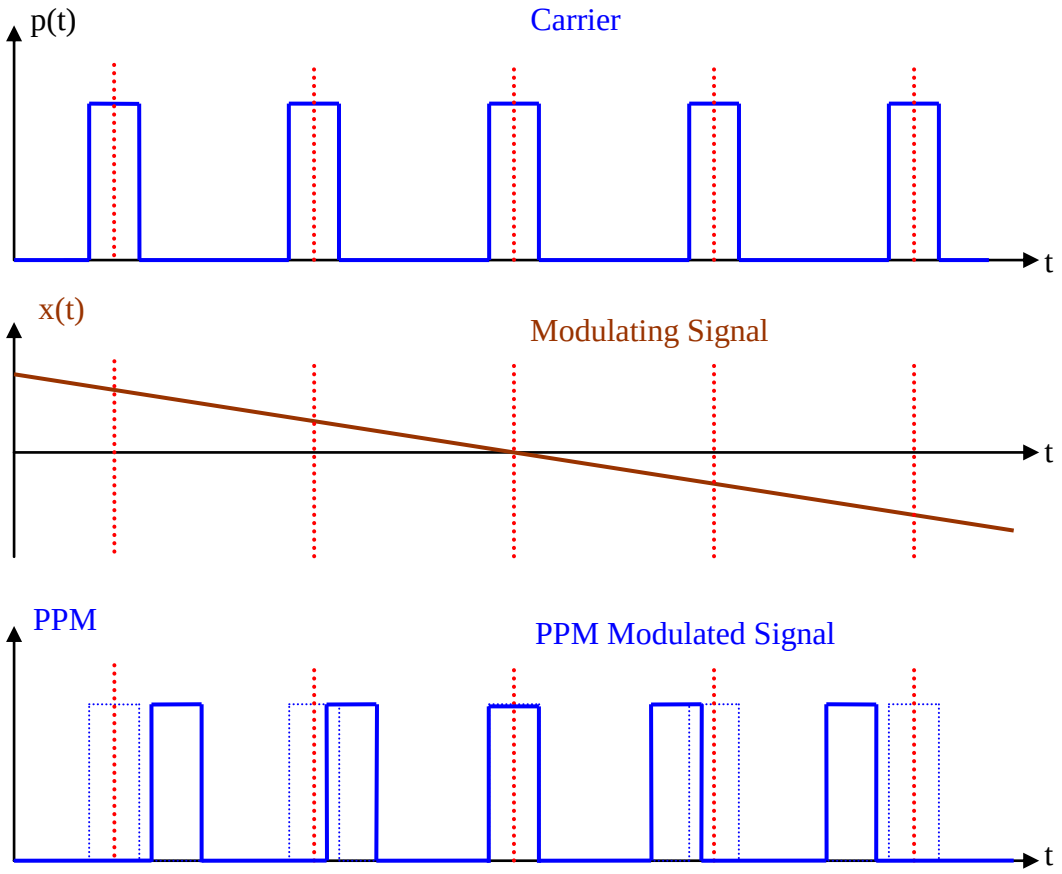


الشكل (٣- ٨): حل مثال ٣- ٢

٣- ٤ تعديل موقع النبضة "Pulse Position Modulation "PPM

في هذا النوع من تعديل النبضات، يتغير موقع النبضة وفقًا لقيمة الإشارة التماثلية المراد تحويلها، حيث يكون موقع النبضة أبعد ما يمكن عن موقعها الأصلي عندما تكون الإشارة في أعلى قيمة وأقرب ما يمكن عن موقعها الأصلي عندما تكون الإشارة في أدنى قيمة. في جميع الحالات ارتفاع وعرض جميع النبضات ثابت. يمكننا اعتماد الموقع الأساسي للنبضة عند المنتصف أو عند بداية النبضة.

يوضح الشكل (٣- ٩) عملية تعديل موقع النبضات "PPM"، حيث الموقع الأساسي للنبضة عند المنتصف.

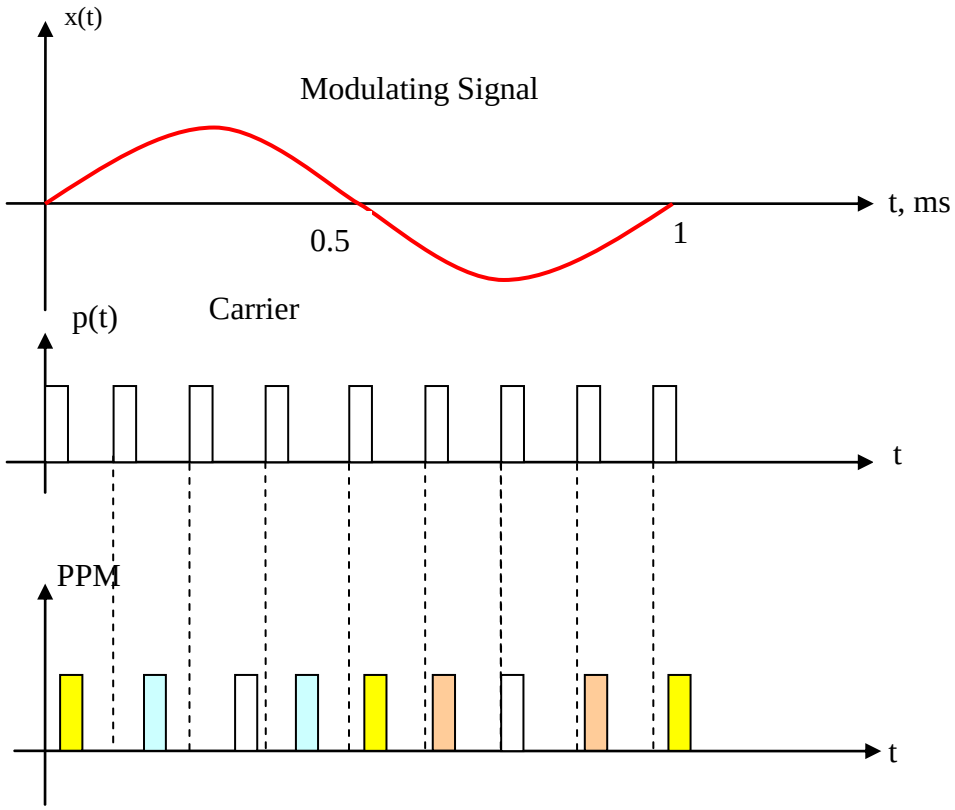


الشكل (٣- ٩): عملية تعديل موقع النبضات "PPM"

مثال ٣- ٢:- لديك إشارة جيبية "x(t)" بتردد "10 kHz" تقوم بتعديل سلسلة نبضات مربعة بنظام تعديل موقع النبضات. ارسم الإشارة الناتجة عن عملية التعديل "PPM".

الحل

سوف نعتمد الموقع الأساسي للنبضة عند بدايتها.



الشكل (٣- ١٠): حل مثال ٣- ٣

تدريبات على الوحدة الثالثة

(٣- ١) ما الأنواع الرئيسة للتعديل الرقمي؟

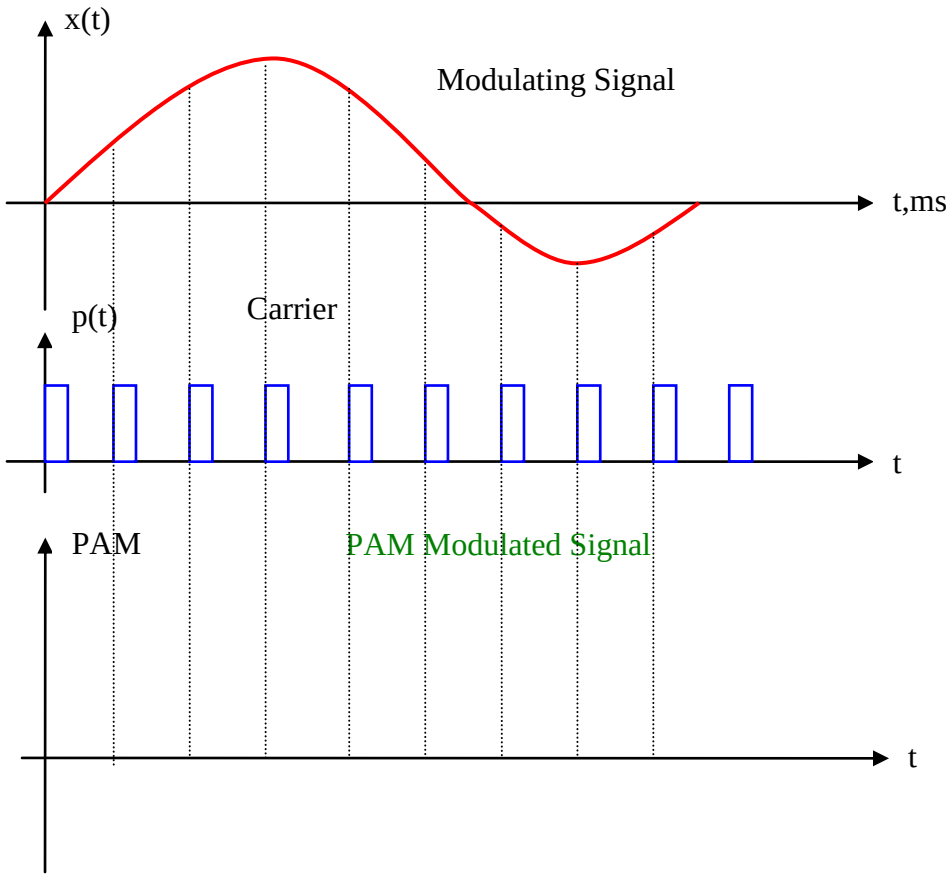
(٣- ٢) ما المعاملات الأساسية للنبضة؟

(٣- ٣) ارسم سلسلة نبضات مربعة دورية ترددها "100 kHz" وسعتها "5V".

(٣- ٤) ما الميزات الإيجابية لتعديل سعة النبضات (PAM)؟

(٣- ٥) ما الميزات السلبية لتعديل سعة النبضات (PAM)؟

(٣- ٦) أكمل الرسم التالي:

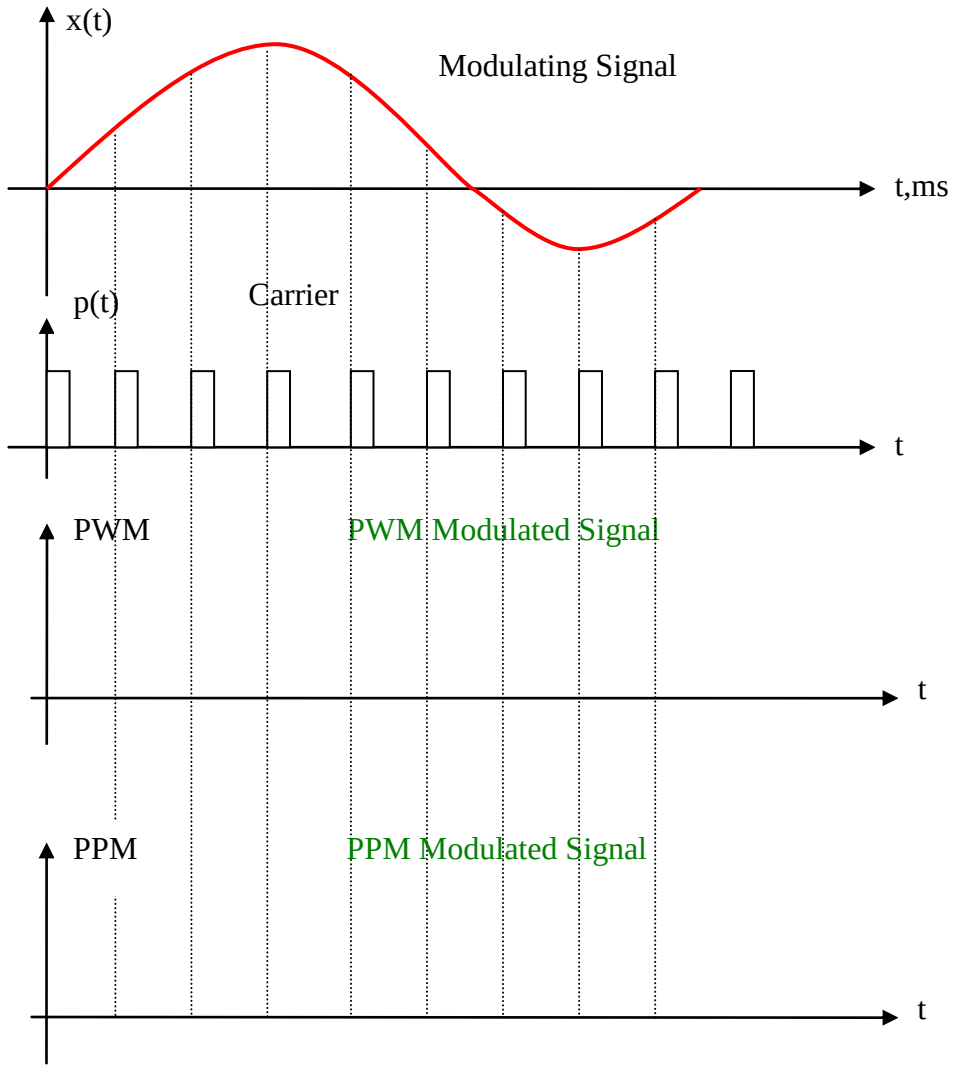


الشكل (٣- ١١)

(٣- ٧) ما الفرق بين تعديل عرض النبضات (PWM) وتعديل موقع النبضات (PPM)؟

(٣- ٨) ما الميزة الرئيسة لتعديل عرض النبضات (PWM) مقارنة مع تعديل سعة النبضات (PAM)؟

(٣- ٩) أكمل الرسم التالي:



الشكل (٣- ١٢)

الوحدة الرابعة

تعديل ترميز النبضات

تعديل ترميز النبضات

Pulse Code Modulation

الهدف العام:

التعرف على نظام تضمين ترميز النبضات (PCM) لتحويل الإشارات التماثلية إلى رقمية.

الأهداف التفصيلية:

عندما تكتمل هذه الوحدة يكون المتدرب قادرًا على أن يتعرف على:

١. مكونات نظام تعديل ترميز النبضات.
٢. طرق تكمية الإشارة (المتماثلة وغير المتماثلة).
٣. عملية ضغط الإشارات وفك الضغط.
٤. عملية ترميز المعلومات.
٥. طريقة حساب المدى الديناميكي.
٦. طريقة حساب نسبة الإشارة إلى الضوضاء لنظام تعديل ترميز النبضات.

مقدمة

تتناول هذه الوحدة مقدمة لدراسة تقنيات التعديل الرقمي بأنواعها المختلفة مع التركيز على تعديل ترميز النبضات PCM من ناحية دراسة مكونات النظام ووظيفة كل مرحلة، مرحلة التكمية بنوعيها، التماثلي وغير التماثلي، عملية ضغط الإشارات بنوعيها (قانون μ وقانون A)،مرحلة ترميز المعلومات، عملية حساب المدى الديناميكي لنظام PCM و طريقة حساب نسبة الإشارة إلى الضوضاء لنظام تعديل ترميز النبضات.

٤- ١ تقنيات التعديل الرقمي Digital Modulation Techniques

تنقسم عملية التعديل الرقمي في أنظمة الاتصالات إلى نوعين أساسين:

- **التعديل الرقمي في النطاق الأساسي** (Baseband Digital Modulation) ويقسم إلى:
  - تعديل ترميز النبضات (Pulse Code Modulation) ويعرف اختصارًا "PCM".
  - تعديل ترميز النبضات التفاضلي (Differential pulse code modulation) ويعرف اختصارًا "DPCM".
  - تعديل دلتا (Delta Modulation) ويعرف اختصارًا "DM".
  - تعديل دلتا المتكيف (Adaptive Delta Modulation) ويعرف اختصارًا "ADM"
- **التعديل الرقمي في النطاق البيني (**Bass Band Digital Modulation**) ويقسم إلى:**
  - تعديل السعة المفتاحي (Amplitude Shift Keying) ويعرف اختصارًا "ASK".
  - تعديل التردد المفتاحي (Frequency Shift Keying) ويعرف اختصارًا "FSK".
  - تعديل الطور المفتاحي (Phase Shift Keying) ويعرف اختصارًا "PSK".
- **أنواع التعديل المتقدمة عالية المستوى (** M-ary Modulation **)** والتي تسمح بالاستغلال الأمثل لعرض النطاق الترددي لإرسال أكبر قدر من المعلومات مثل(QPSK, QAM,..) وسوف نقوم بدراسة هذه الأنواع في الوحدة الثامنة.

وسنتناول في هذه الوحدة دراسة تعديل ترميز النبضات العادي"PCM"، أما نوعا تعديل دلتا "DM"، وترميز تعديل النبضات التفاضلي "DPCM" فسندرسها في الوحدة الخامسة.

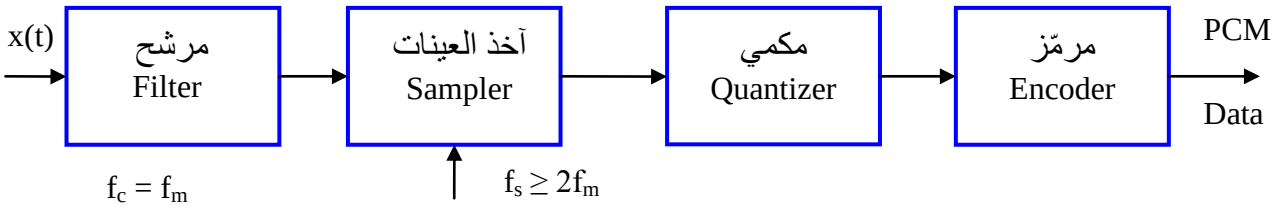
٤- ٢ مراحل نظام تعديل ترميز النبضات PCM Block Diagram

يعتبر نظام تعديل ترميز النبضات "PCM" هو الطريقة الأمثل لتحويل الإشارات التماثلية إلى كلمات رقمية (Binary Words)،حيث يتم تشفيرها بالطريقة المناسبة لإرسالها عبر خطوط الاتصال. لقد تم اختراع نظام "PCM" في العام ١٩٣٧ من قبل العالم (Alec Reeves)، أما

التطبيقات الأولى فكانت في الولايات المتحدة الأمريكية في العام "١٩٦٢م" من قبل شركة بل (Bell Labs). يتكون النظام من المراحل الأساسية التالية:

- أخذ عينات الإشارة التماثلية للحصول على إشارة تعديل سعة النبضات "PAM".
- تكمية (Quantization) قيم النبضات وتقريبها إلى أقرب قيمة من القيم المعتمدة.
- ترميز القيم التي تم اعتمادها في المرحلة السابقة (تحويل قيمتها إلى كلمة ثنائية ذات عدد من الخانات يتم تحديدها حسب عدد القيم المعتمدة في المرحلة الثانية).

يوضح الشكل (٤- ١) المكونات الأساسية لنظام تعديل ترميز النبضات "PCM". كما يلي:



الشكل (٤- ١): مكونات نظام تعديل ترميز النبضات "PCM"

- **المرشح:** عبارة عن مرشح كهربائي لتحديد قيم ترددات الإشارة التماثلية "x(t)" بحيث لا تتجاوز التردد الأقصى "f_m" وذلك منعًا لحصول التداخل بين مكونات الطيف الترددي. يتم اختيار تردد القطع f_c للمرشح (Cutoff Frequency) حسب قيم "f_m".

آخذ العينات: عبارة عن دائرة تنفيذ عملية أخذ العينات والتي يتم ضبطها على تردد أخذ العينات وفقًا لشرط نظرية أخذ العينات. إن الإشارة الناتجة في هذه المرحلة هي إشارة "PAM".

- **المكمي:** عبارة عن دائرة تحديد قيم النبضات الناتجة عن عملية أخذ العينات، حيث يتم التقريب لأقرب قيمة من القيم المتاحة (المعتمدة). تسمى القيم المعتمدة بمستويات التكمية (Quantized Levels).

- **المرمّز:** دائرة ترميز "تشفير" قيم النبضات التي تم تحديدها في المرحلة السابقة، أي تحويل القيم العادية "العشرية" إلى قيم ثنائية (Binary) والتي تسمى كلمات ثنائية (Binary Words). إن عدد خانات الكلمة الثنائية "N" يعتمد على عدد المستويات المعتمدة "M" وفقًا للعلاقة التالية:

$$M = 2^N \qquad (4.1)$$

ومنها:

$$N = Log_2 M \qquad (4.2)$$

إن الإشارة الناتجة تسمى إشارة تعديل ترميز النبضات (Pulse Code Modulated Signal) والتي تعرف اختصارًا إشارة "PCM".

يتميز نظام تعديل ترميز النبضات بالخصائص الإيجابية التالية:

١. قلة تكاليف الدوائر الرقمية المستخدمة.
٢. إمكانية إرسال الإشارات التماثلية المختلفة (الصوت، الصورة، الفيديو) بعد تحويلها في نظام "PCM" ودمجها مع البيانات الأخرى (بيانات أجهزة الحاسب) في نظام الإرسال الرقمي.
٣. في حالة الاتصالات الهاتفية الرقمية بعيدة المدى، هنالك إمكانية استرجاع إشارات "PCM" من المعيدات (Repeaters) بالوضع المثالي الذي بدأت به.
٤. تحملها لتأثير الضوضاء بدرجة أعلى من الأنظمة التماثلية.
٥. إمكانية الحصول على مسافات أطول بين المعيدات.

لكن هنالك بعض السلبيات أهمها الحاجة إلى عرض نطاق ترددي واسع.

٤- ٣ عملية التكمية Quantization

كما أشرنا أعلاه، فإن المقصود بعملية التكمية هو تحديد سعة النبضات (إعطاؤها كمية معينة) وذلك بتقريب قيمتها الفعلية لأقرب قيمة من القيم المعتمدة (Quantized Values) حيث تستخدم طريقتان للتقريب:

- طريقة التقريب (Rounding) للقيمة الأقرب.
- طريقة التقريب (Truncation) للقيمة الأقل.

غالبًا ما تستخدم الطريقة الأولى في عملية التكمية وذلك لسهولتها. المثال التالي يوضح طريقتي التقريب.

مثال٤- ١:- قم بتقريب القيم المدرجة في الجدول أدناه لخانة واحدة باستخدام الطريقتين.

الحل

الجدول (٤- ١): أنواع التقريب

Value القيمة	Rounding التقريب للقيمة الأقرب	Truncation التقريب للقيمة الأقل
2.1	2	2
3.89	3.9	3.8
22.16	22.2	22.1
5.89	5.9	5.8
0.45	0.5	0.4

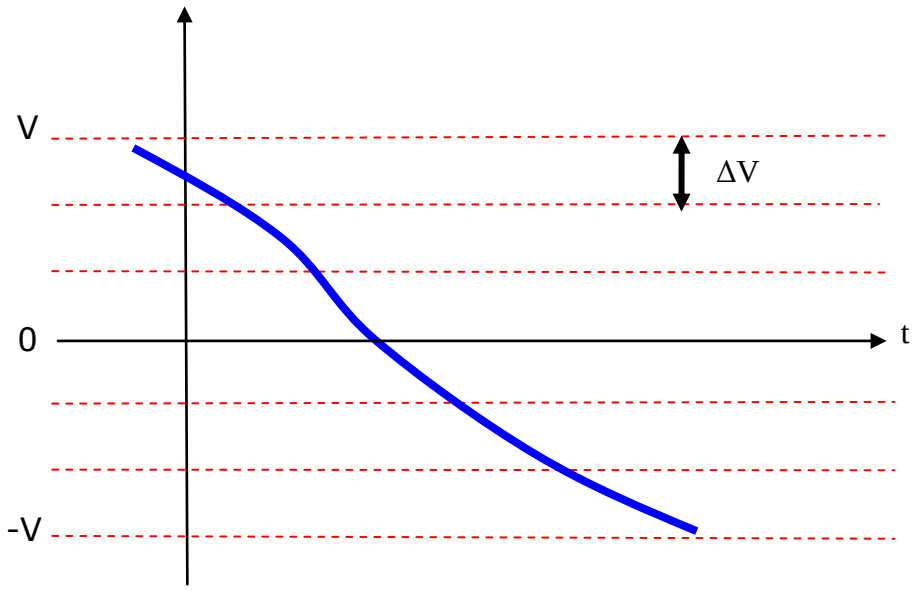
تنقسم عملية التكمية إلى نوعين أساسيين:

- عملية التكمية المتماثلة (Uniform Quantization): حيث يتم تقسيم مدى قيم الإشارة إلى أجزاء متساوية القيمة تسمى (Quantized Steps).
- عملية التكمية غير المتماثلة (Nonuniform Quantization) حيث يتم تقسيم مدى قيم الإشارة إلى أجزاء غير متساوية القيمة.

- **عملية التكمية المتماثلة** Uniform Quantization:

يمثل الشكل (٤- ٢) عملية تقسيم مدى الإشارة من "V–" إلى "V+" إلى أجزاء متساوية القيمة "ΔV". في هذه الحالة سوف يكون عدد القيم المتاحة:

$$M = 2V/\Delta V$$



الشكل (٤- ٢): تقسيم مدى الإشارة إلى أجزاء متساوية القيمة

مثال ٤- ٢:- لديك إشارة تماثلية "m(t)" ذات مدى من "10 V-" إلى "10 V+" يراد تقسيمها إلى أجزاء متساوية عددها "256". أوجد قيمة الجزء الواحد كرقم نسبي (Normalized) وقيمته بالفولت.

الحل

قيمة الجزء الواحد كرقم نسبي "Δx":

$$\Delta x = \frac{1}{256} = 0.0039$$

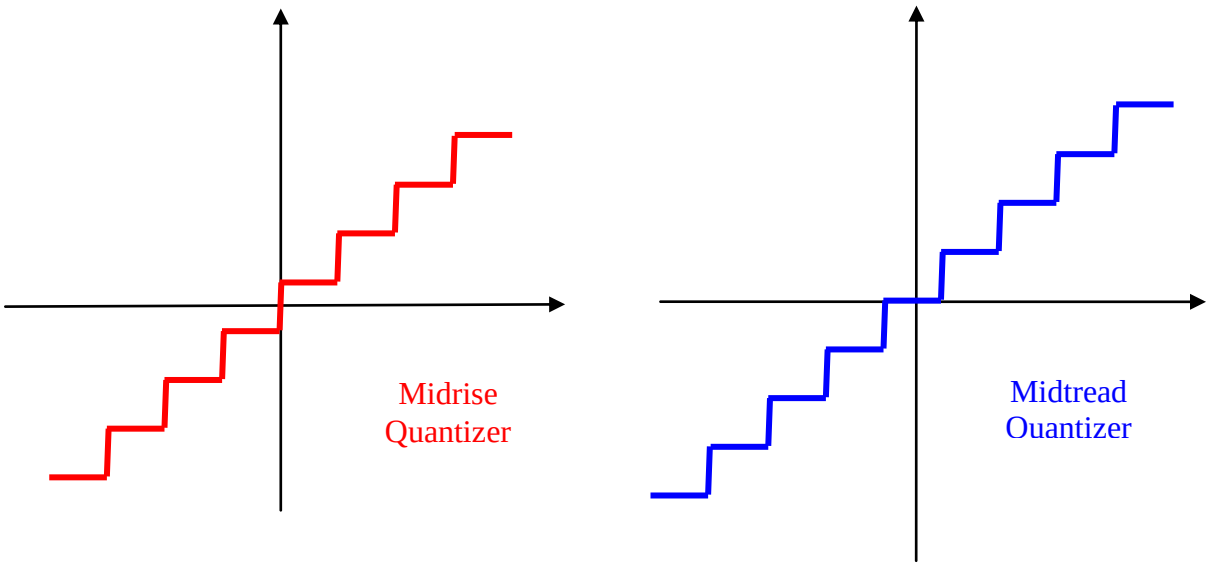
قيمة الجزء الواحد بالفولت "ΔV":

$$\Delta V = \frac{20V}{256} = 0.0078V$$

هنالك نوعان من التكمية المتماثلة:

- **حالة أحادية القطبية** (Unipolar)، حيث تكون الإشارة التماثلية ذات قطبية واحدة (موجبة أو سالبة).
- **حالة ثنائية القطبية** (Bipolar) حيث تكون الإشارة التماثلية ذات قطبية ثنائية (موجبة و سالبة).

هنالك شكلان لمنحنى التكمية المتماثلة؛ الأول نقطة الأصل تنصف الفترة الزمنية ويسمى (Midtread) والثاني تكون نقطة الأصل عند بداية الفترة ويسمى (Midrise). لتوضيح ذلك، انظر الشكل ٤- ٣، حيث يمثل المحور العمودي قيم التكمية للإشارة، والمحور الأفقي القيم الزمنية لفترات أخذ العينات.



الشكل (٤- ٣): حالة التكمية المتماثلة

- **عملية الترميز أحادية القطبية** Unipolar Encoding:

تستخدم هذه الطريقة في حالة الإشارات التماثلية أحادية القطبية (دائمًا موجبة أو دائمًا سالبة) حيث يتم تقسيم مستوى الإشارة إلى عدد متساوٍ من القيم "M"، وفي هذه الحالة فإن عدد البتات المطلوب "N" لتشكيل الكلمات الرقمية. في حالة الإشارة السالبة يتم عكسها إلى موجبة. يتم تكمية الإشارة التماثلية في لحظات أخذ العينات "T_s" حيث تتحول الإشارة التماثلية إلى الإشارة المكمية (Quantized Signal). عادة ما نلجأ إلى الطريقة القياسية (Normalization) وذلك باستخدام القيم النسبية بديلاً عن القيم الحقيقية (Actual Value). سوف نرمز للقيم النسبية "X_u" وبالتالي سوف يكون مداها ($0 \le X_u \le 1$). سوف نوضح في الشرح والأمثلة القادمة حالة استخدام عدد من البتات "N" يساوي "4" وبالتالي سوف يكون عدد القيم المتاحة والمعتمدة لتكمية الإشارة يساوي ($2^4 = 16$).

١. قيمة التدريج الواحد النسبي (Normalized Step Size) والذي سنرمز له "ΔX_u":

$$\Delta X_u = 2^{-N} = \frac{1}{2^N} \qquad (4.3)$$

٢. قيمة التدريج الواحد بالفولت (Actual Step Size) والذي سنرمز له "Δvu":

$$\Delta v_u = \Delta X_u V_{fs} = 2^{-N} V_{fs} \qquad (4.4)$$

حيث ترمز V_{fs} إلى قيمة الجهد الكامل للإشارة (Full-Scale Voltage).

٣. قيمة خطأ التكمية النسبي (Peak Unipolar Normalized Error)، "Eu" :

$$E_u = \frac{\Delta X_u}{2} = 2^{-(N+1)} \qquad (4.5)$$

٤. قيمة خطأ التكمية الفعلي بالفولت (Actual Peak Unipolar Error)، "eu" :

$$e_u = E_u V_{fs} = 2^{-(N+1)} V_{fs} \qquad (4.6)$$

مثال٤- ٣:- لديك إشارة تماثلية أحادية القطبية جهدها الكامل ($V_{fs} = 10$ V)، يراد تكميتها ومن ثم ترميزها باستخدام عدد من البتات (N= 8). أوجد:

أ. قيمة التدريج الواحد النسبي ΔX_u

ب. قيمة التدريج الواحد بالفولت Δv_u

جـ. قيمة خطأ التكمية بالفولت e_u

الحل

أ. $$\Delta X_u = 2^{-N} = 2^{-8} = \frac{1}{2^8} = \frac{1}{256} = 0.0039$$

ب. $\Delta v_u = \Delta X_u V_{fs} = 0.0039 \times 10V = 0.039V$

ج. $e_u = E_u V_{fs} = 2^{-(8+1)} 10V = 2^{-9} \times 10V = 0.0195V$

- **عملية الترميز ثنائية القطبية** Bipolar Encoding:

تستخدم هذه الطريقة في حالة الإشارات التماثلية ثنائية القطبية (موجبة وسالبة في نفس الوقت) حيث يتم تقسيم مستوى الإشارة التماثلية إلى عدد متساوٍ من القيم "M"، يتم توزيعها بالتساوي (نصف القيم على المحور الموجب والنصف الثاني على المحور السالب)، وفي هذه الحالة فإن عدد البتات المطلوب "N" لتشكيل الكلمات الرقمية. يتم تكمية الإشارة التماثلية في لحظات أخذ العينات "T_s" حيث تتحول الإشارة التماثلية إلى الإشارة المكمية (Quantized Signal).

عادة ما نلجأ إلى الطريقة القياسية (Normalization) وذلك باستخدام القيم النسبية بديلاً عن القيم الحقيقية (Actual Value). سوف نرمز للقيم النسبية "X_b" وبالتالي سوف يكون مداها ($-1 \leq X_b \leq 1$). سوف نوضح في الشرح حالة استخدام عدد من البتات "N" يساوي "4" وبالتالي سوف يكون عدد القيم المتاحة والمعتمدة لتكمية الإشارة يساوي ($2^4 = 16$).

١- قيمة التدريج الواحد النسبي (Normalized Step Size) والذي سنرمز له "ΔX_b":

$$\Delta X_b = 2^{-N+1} = \frac{1}{2^{N-1}} \qquad (4.7)$$

٢- قيمة التدريج الواحد بالفولت (Actual Step Size) والذي سنرمز له "Δvb":

$$\Delta v_b = \Delta X_b V_{fs} = 2^{-N+1} V_{fs} \qquad (4.8)$$

٣- قيمة خطأ التكمية النسبي (Peak Unipolar Normalized Error)، "Eu":

$$E_b = \frac{\Delta X_b}{2} = 2^{-N} \qquad (4.9)$$

٤- قيمة خطأ التكمية الفعلي بالفولت (Actual Peak Unipolar Error)، "eu":

$$e_b = E_b V_{fs} = 2^{-N} V_{fs} \qquad (4.10)$$

ملاحظة: لا يمكننا الوصول إلى القيمة الكاملة للإشارة في النصف الموجب بينما يمكننا الوصول في النصف السالب.

مثال ٤- ٤: لديك إشارة تماثلية ثنائية القطبية جهدها الكامل ($V_{fs} = \pm 8V$)، يراد تكميتها ومن ثم ترميزها باستخدام عدد من البتات ($N = 6$). أوجد:

أ. قيمة التدريج الواحد النسبي "ΔX_b".

ب. قيمة التدريج الواحد بالفولت "Δv_b".

جـ. قيمة خطأ التكمية بالفولت "e_b".

الحل

أ. $$\Delta X_b = 2^{-N+1} = 2^{-6+1} = 2^{-5} = \frac{1}{2^5} = \frac{1}{32} = 0.03125$$

ب. $$\Delta v_b = \Delta X_b V_{fs} = 0.03125 \times 8V = 0.25V$$

ج. $$e_b = E_b V_{fs} = 2^{-N} V_{fs} = 2^{-6} \times 8V = 0.125V$$

لكي نوضح عملية رسم منحنى (إشارة) التكمية وعملية الترميز سوف نستخدم الحالة التالية:

عدد البتات (N = 4) وبالتالي يكون عدد القيم المعتمدة للتكمية ($M = 2^4 = 16$). يوضح الجدول (٤- ٢) القيم النسبية العشرية وما يقابلها في النظام الثنائي (الترميز) للحالتين؛ أحادية وثنائية القطبية.

الجدول (٤ - ٢): القيم النسبية وترميزها لكل من التكمية أحادية وثنائية القطبية

Decimal Value	Binary Number	Unipolar Normalized Decimal Value	ipolar Normalized Decimal Value
15	1111	15/16 = 0.9375	7/8 = 0.875
14	1110	14/16 = 0.875	6/8 = 0.75
13	1101	13/16 = 0.8125	5/8 = 0.625
12	1100	12/16 = 0.75	4/8 = 0.5
11	1011	11/16 = 0.6875	3/8 = 0.375
10	1010	10/16 = 0.625	2/8 = 0.25
9	1001	9/16 = 0.5625	1/8 = 0.125
8	1000	8/16 = 0.5	0/8 = 0
7	0111	7/16 = 0.4375	-1/8 = -0.125
6	0110	6/16 = 0.375	-2/8 = -0. 25
5	0101	5/16 = 0.3125	-3/8 = -0.375
4	0100	4/16 = 0.25	-4/8 = -0.5
3	0011	3/16 = 0.1875	-5/8 = -0.625
2	0010	2/16 = 0.125	-6/8 = -0.75
1	0001	1/16 = 0.0625	-7/8 = -0.875
0	0000	0/16 = 0	-8/8 = -1

مثال ٤- ٥:- لديك إشارة تماثلية "x(t)" موضحة على الشكل (٤- ٤). بإعتبار أن تردد أخذ العينات "10 kHz" وعدد البتات للترميز يساوي "4".

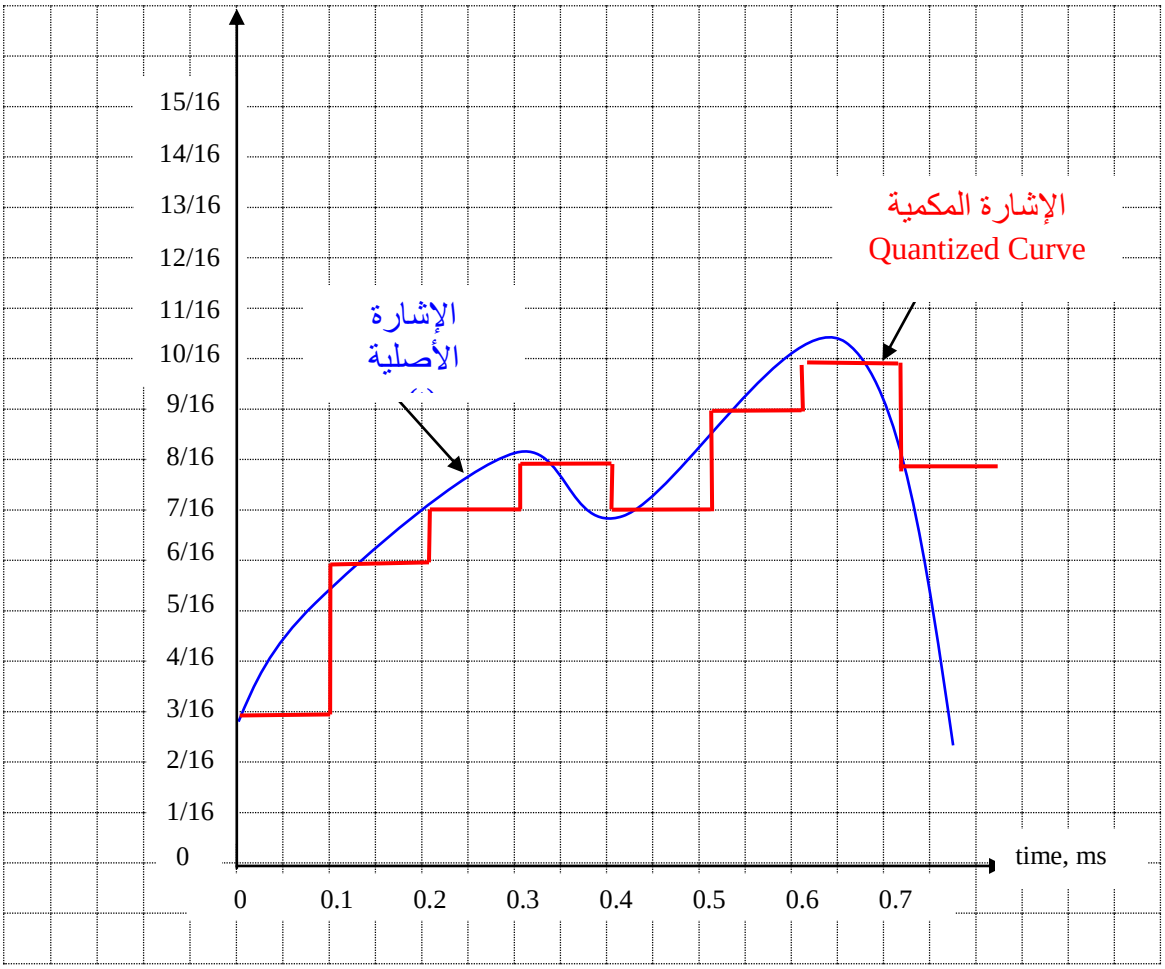
أ. ارسم منحنى التكمية لها باستخدام طريقة التقريب للقيمة الأقرب (Rounding).

ب. قم بترميز الإشارة الناتجة من عملية التكمية باستخدام الجدول (٤- ٢).

الحل

أ. يمكننا إيجاد زمن أخذ العينات "T_s" من قيمة التردد "f_s":

$$T_s = 1/f_s = 1/10\ kHz = 0.1\ ms$$



الشكل (٤- ٤): حل المثال (٤- ٥)

كما هو واضح من الشكل (٤- ٤)، فإن الإشارة "x(t)" أحادية القطبية (جميع قيمها موجبة)، لذلك سوف نستخدم طريقة التكمية الأحادية (جميع القيم وعددها "16" تقع في الجزء الموجب من الرسم).

ب. لترميز الإشارة الناتجة، سنقوم بترميز كل قيمة للإشارة عند نقاط أخذ العينات وذلك بالرجوع للجدول (٤- ٢). سوف نقوم بوضع الإجابات في الجدول (٤- ٣).

الجدول (٤- ٣): ترميز الإشارة التماثلية للمثال (٤- ٥)

Sampling Time	Normalized Decimal Vale	Binary Value
0	3/16	0011
0.1	6/16	0110
0.2	7/16	0111
0.3	8/16	1000
0.4	7/16	0111
0.5	9/16	1001
0.6	10/16	1010
0.7	8/16	1000

مثال ٤- ٦:-

أ- لديك إشارة تماثلية "x(t)" موضحة في الشكل (٤- ٥). ارسم منحنى التكمية لها باستخدام طريقة التقريب للقيمة الأقرب (Rounding). اعتبر أن تردد أخذ العينات "20kHz" وعدد البتات للترميز يساوي "4".

ب- قم بترميز الإشارة الناتجة من عملية التكمية باستخدام الجدول (٤- ٢).

الحل

أ- يمكننا إيجاد زمن أخذ العينات "T_s" من قيمة التردد "f_s" :

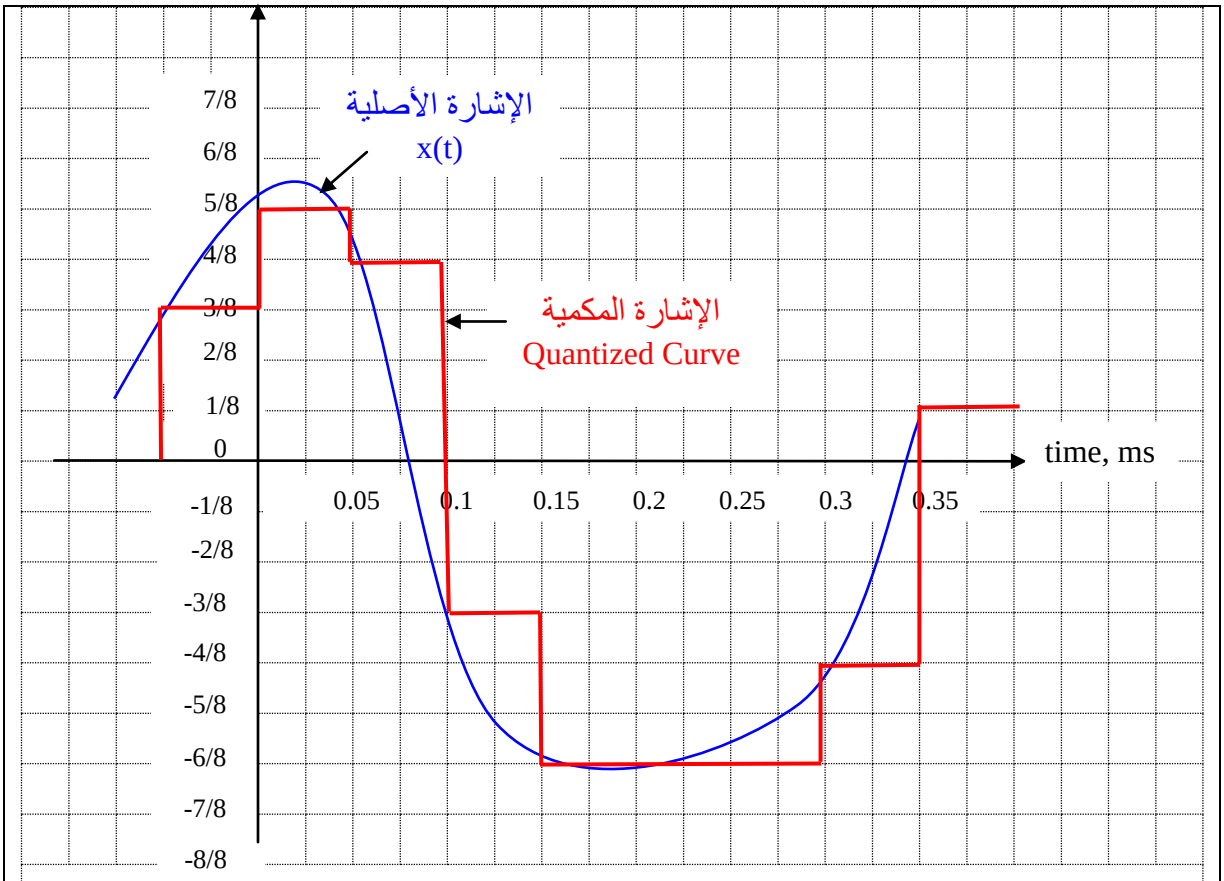
$$T_s = 1/f_s = 1/20\ kHz\ =\ 0.05\ ms$$

كما هو واضح من الشكل، فإن الإشارة "x(t)" ثنائية القطبية (موجبة وسالبة)، لذلك سوف نستخدم طريقة التكمية الثنائية (جميع القيم وعددها "16" تقع في الجزء الموجب والسالب من الرسم).

ب- لترميز الإشارة الناتجة، سنقوم بترميز كل قيمة للإشارة عند نقاط أخذ العينات وذلك بالرجوع للجدول (٤- ٢). سوف نقوم بوضع الإجابات في الجدول (٤- ٤).

الجدول (٤- ٤): ترميز الإشارة التماثلية للمثال (٤- ٦)

Sampling Time	Normalized Decimal Value	Binary Value
- 0.05	3/8	1011
0.0	5/8	1101
0.05	4/8	1100
0.1	-3/8	0101
0.15	-6/8	0010
0.2	-6/8	0010
0.25	-6/8	0010
0.3	-4/8	0100
0.35	1/8	1001



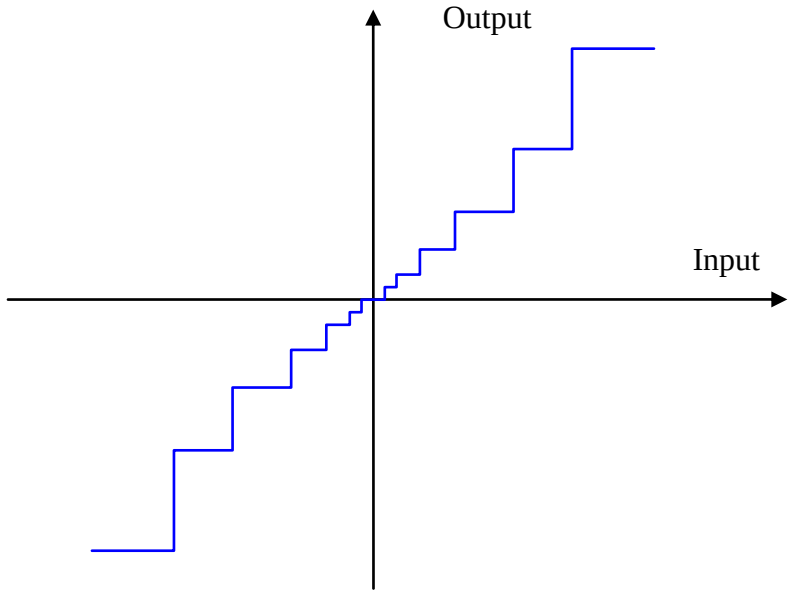
الشكل (٤- ٥) حل المثال (٤- ٦)

- **عملية التكمية غير المتماثلة** Nonuniform Quantization

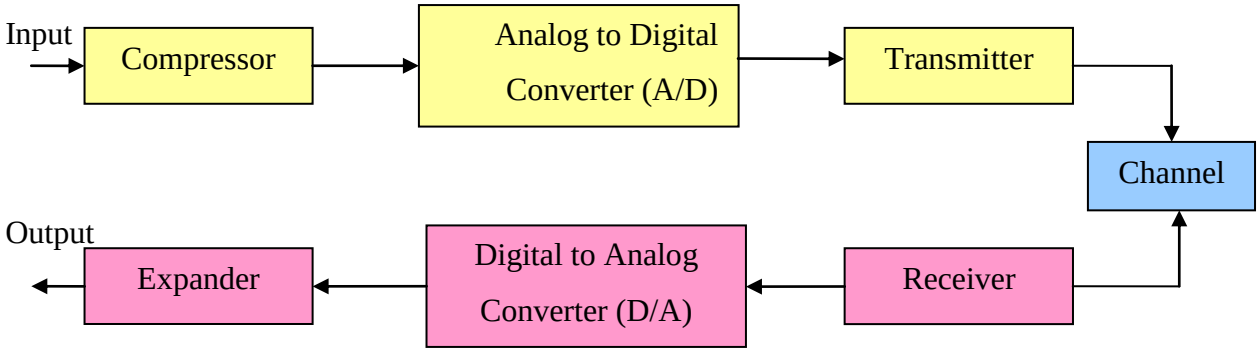
كما أشرنا في السابق، فإنه في حالة التكمية المتماثلة يكون معدل خطأ التكمية ثابت القيمة لجميع قيم الإشارة؛ الكبيرة والصغيرة. كما هو معلوم، فإن نسبة عالية من الإشارة الصوتية (كلام البشر) تكون ذات قيم صغيرة، مما يعني زيادة تأثرها بمعدل الخطأ وبالتالي تشويهها. لعلاج هذه المشكلة يتم اللجوء إلى عملية التكمية غير الخطية بحيث يكون التدريج (Quantization Step) للقيم الصغيرة للإشارة ذا قيمة صغيرة ولقيم الإشارة العالية ذا قيمة أكبر كما بالشكل (٤- ٦).

للحصول على التكمية غير الخطية كما بالشكل (٤- ٧)، يلزم ضغط الإشارة (Compression) في الإرسال (حيث يتم ضغط القيم العالية للإشارة) ومن ثم إدخال الإشارة على مكمي متماثل (Uniform Quantizer) مما ينتج تكمية غير متماثلة. في الاستقبال يجب إجراء عملية عكسية وذلك بتوسعة (Expansion) الإشارة (فك الضغط). تسمى عملية الضغط وفك الضغط (Companding).

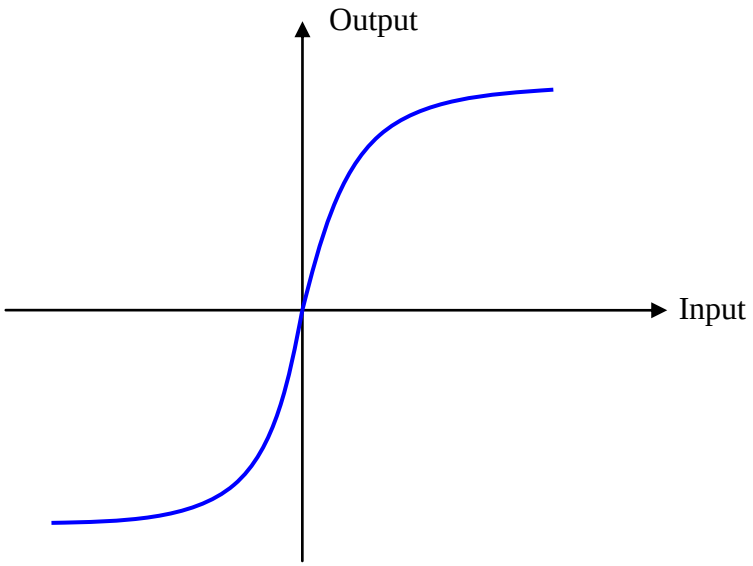
بشكل عام، فإن العلاقة بين المدخل (Input) والمخرج (Output) لعملية الضغط يمكن تمثيلها حسب الشكل (٤- ٨).



الشكل (٤- ٦): التكمية غير المتماثلة



الشكل (٤- ٧): آلية الحصول على التكمية غير المتماثلة



الشكل (٤- ٨): العلاقة بين الجهد على المخرج والمدخل لعملية الضغط

هنالك قانونان مشهوران للضغط وفك الضغط، هما قانون –μ، وقانون - A.

- **قانون – μ** μ-Law Companding:

في هذا النوع يتم ضغط الإشارة في الإرسال وفقًا للقانون التالي والذي يمثل العلاقة بين الجهد على المخرج (v_o) والجهد على المدخل (v_i). عادة ما يستخدم هذا النوع من الضغط في الولايات المتحدة وكندا واليابان.

$$v_o = V_{o\max}\frac{\ln\left(1+\mu\frac{v_i}{V_{i\max}}\right)}{\ln(1+\mu)}, \quad for\ v_i \geq 0 \tag{4.15}$$

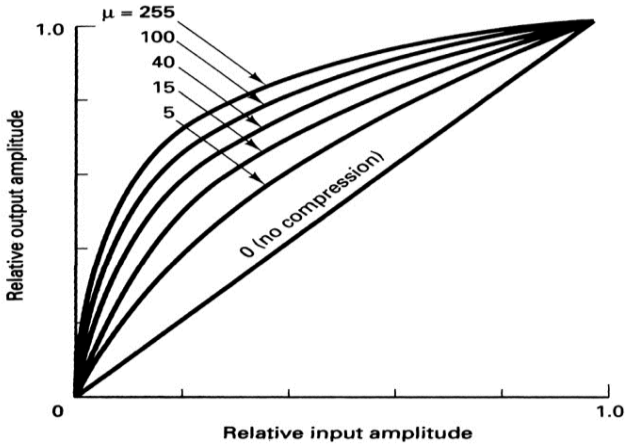
حيث إن:

V_{omax} = القيمة القصوى لجهد المخرج.

V_{imax} = القيمة القصوى لجهد المدخل.

μ = قيمة عددية موجبة أكبر أو تساوي الصفر (غالبًا ما تستخدم $\mu = 255$).

يظهر الشكل (٤- ٩) تغير منحنى الضغط مع تغير قيم (μ) حيث يكون المنحنى خطيًا عند قيمة ($\mu = 0$). في حالة الجهد السالب نحصل على نفس المنحنيات ولكنها معكوسة في الربع الثالث من المستوى البياني.



الشكل (٤- ٩): منحنى الضغط لقانون μ

في المستقبل، يجب إجراء عملية عكسية (فك الضغط) وذلك لإرجاع الإشارة إلى وضعها الأصلي من خلال العلاقة التالية:

$$v_{ie} = \frac{V_{i\max}}{\mu}\left[(1+\mu)^{\frac{v_r}{V_{o\max}}} - 1\right], \quad for\ v_r \geq 0 \qquad (4.16)$$

حيث إن:

v_{ie} = قيمة الجهد في المستقبل بعد عملية التوسعة (فك الضغط).

v_r = قيمة الجهد المستقبلة.

مثال٤- ٨:- لديك نظام رقمي يستخدم قانون μ للضغط وله القيم التالية:

$V_{imax} = 16\ V,\ V_{omax} = 2\ V,\ \mu = 255.$

أوجد قيم الجهد على المخرج للقيم التالية على المدخل:

$v_i = 0V, 2V, 4V, 8V, 10V, 12V, 16V.$

الحل

بالرجوع للعلاقة (٤- ١٥) سنوضح طريقة الحساب لقيمة واحدة ($v_i = 2V$) وبقية القيم تحسب بنفس الطريقة.

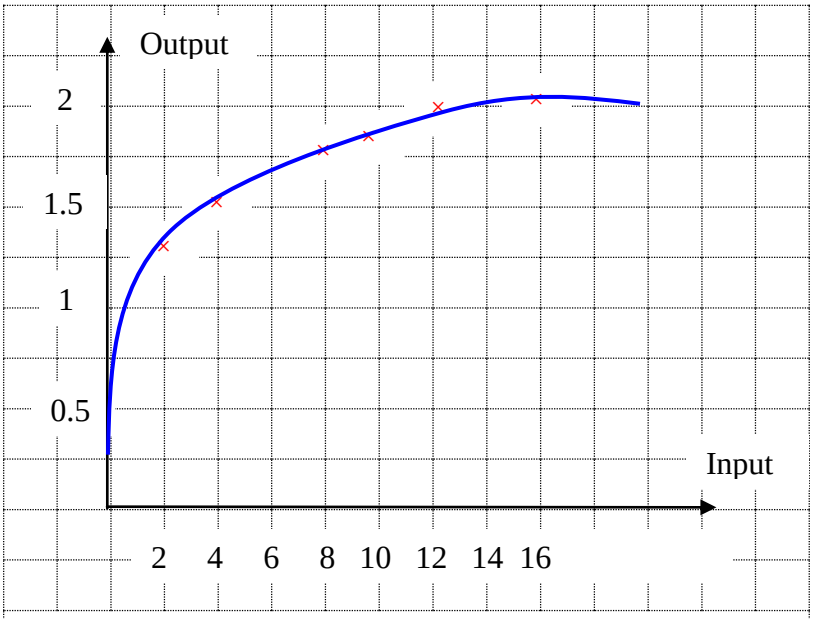
$$v_o = 2V\frac{\ln\left(1+255\frac{2V}{16V}\right)}{\ln(1+255)} = 2V\frac{\ln(32.875)}{\ln(256)} = 2V\frac{3.49}{5.55} = 1.26V$$

بقية النتائج في الجدول (٤- ٥).

الجدول (٤- ٥): علاقة الخرج بالدخل لعملية الضغط

v_i , Volts	v_o , Volts
0	0
2	1.26
4	1.5
8	1.75
10	1.83
12	1.89
16	2

لتمثيل النتائج المدرجة أعلاه، انظر الشكل (٤- ١٠).



الشكل (٤- ١٠): منحنى الضغط للمثال (٤- ٧)

- **قانون A** - A- Law Companding

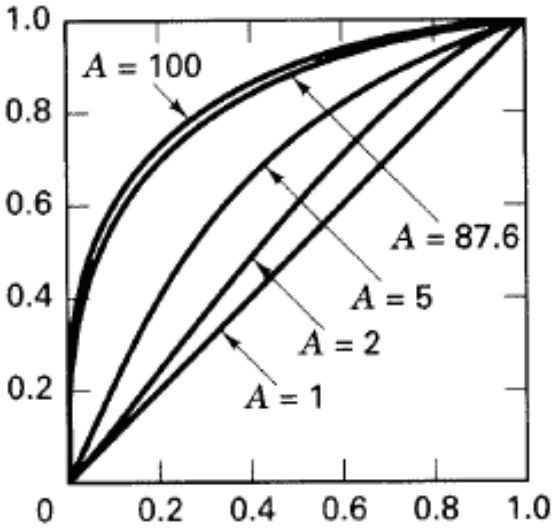
في هذا النوع يتم ضغط الإشارة في الإرسال وفقاً للقانون التالي والذي يمثل العلاقة بين الجهد على المخرج (v_o) والجهد على المدخل (v_i). عادة ما يستخدم هذا النوع من الضغط في أوروبا.

$$v_{out} = V_{i\max}\frac{A\dfrac{v_i}{V_{i\max}}}{1+\ln A}, \quad 0 \le \frac{v_i}{V_{i\max}} \le \frac{1}{A}$$
$$v_{out} = V_{i\max}\frac{1+\ln\left(A\dfrac{v_i}{V_{i\max}}\right)}{1+\ln A}, \quad \frac{1}{A} \le \frac{v_i}{V_{i\max}} \le 1 \qquad (4.17)$$

حيث إن:

A ترمز إلى معامل عددي ($A \geq 1$). عادة ما تستخدم قيمة ($A = 87.6$).

يظهر الشكل (٤- ١١) تغير منحنى الضغط مع تغير قيم "***A***" حيث يكون المنحنى خطيًا عند قيمة (***A = 1***.) في حالة الجهد السالب نحصل على نفس المنحنيات ولكنها معكوسة في الربع الثالث من المستوى البياني.



الشكل (٤- ١١): منحنى الضغط لقانون *A*

٤- ٤ نسبة الإشارة إلى الضوضاء للنبضات المكمية

Signal to Noise Ratio for Quantized Pulses

لنفرض أنه لدينا إشارة تماثلية مداها الديناميكي من "V–" إلى "V+" وقد تم تكميتها إلى عدد من القيم المعتمدة "M"، حيث إن التدريج الواحد قيمته "ΔV". كما أشرنا سابقًا فإن خطأ التكمية ذو قيمة ثابتة ويساوي "± ΔV/2" وذلك حسب قيمة الإشارة، سالبة أو موجبة. لحساب القيمة القصوى لقدرة الإشارة. (على اعتبار أن المقاومة Ω 1):

$$P_S = \left(\frac{V_{P-P}}{2}\right)^2 = \left(\frac{M \times \Delta V}{2}\right)^2 = \frac{M^2 \Delta V^2}{4} \qquad (4.18)$$

لحساب قدرة ضوضاء التكمية (Quantization Noise Power) نحسب متوسط تربيع ($\overline{e_q^2}$) خطأ التكمية باستخدام العلاقة التالية:

$$\overline{e_q^2} = \frac{\Delta V^2}{12} \qquad (4.19)$$

لحساب نسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR):

$$SNR = \frac{P_S}{P_N} = \frac{P_S}{\overline{e_q^2}} = \frac{\frac{M^2 \Delta V^2}{4}}{\frac{\Delta V^2}{12}} = 3M^2 \qquad (4.20)$$

لحساب نسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) بوحدة الديسبل (dB):

$$(SNR)_{dB} = 10\log\left(\frac{P_S}{P_N}\right) = 10\log\left(\frac{P_S}{\overline{e_q^2}}\right) = \ldots = 10\log\left(3M^2\right) \qquad (4\text{-}21)$$

لتوضيح العلاقات المدرجة أعلاه، انظر المثال التالي.

مثال ٤- ٩: لديك إشارة صوتية على الشكل التالي:

$$s(t) = 3 \cos 500\,\pi\, t \quad (\text{Volts})$$

أوجد:

أ. قدرة الإشارة P_S .

ب. قدرة ضوضاء التكمية.

ج. نسبة الإشارة إلى الضوضاء في حالة استخدام عدد البتات (N=10) للتكمية.

د. عدد البتات اللازم لعملية التكمية للحصول على SNR = 40 dB.

الحل

من المعطيات نحسب:

$$M = 2^{10} = 1024$$

$$\Delta V = \frac{3V - (-3V)}{1024} = \frac{6V}{1024} = 5.86 \times 10^{-3} V = 5.86\,mV$$

أ. بالرجوع للعلاقة (٤- ١٨):

$$P_S = \frac{M^2 \Delta V^2}{4} = \frac{1024^2 \times (5.86mV)^2}{4} = \frac{36}{4} = 9W$$

ب. بالرجوع للعلاقة (٤- ١٩):

$$\overline{e_q^2} = \frac{\Delta V^2}{12} = \frac{(5.86mV)^2}{12} = \frac{34.339 \times 10^{-6}}{12} = 2.86 \times 10^{-6} W$$

ج. بالرجوع للعلاقة (٤- ٢٠):

$$SNR = \frac{P_S}{P_N} = \frac{9W}{2.86 \times 10^{-6} W} = 3.14 \times 10^6$$

$$(SNR)_{dB} = 10 \log (3.14 \times 10^6) = 64.98 dB$$

د- بالرجوع للعلاقة (٤- ٢٣):

$$SNR = \frac{P_S}{P_N} = \frac{P_S}{\overline{e_q^2}} = \frac{\frac{M^2 \Delta V^2}{4}}{\frac{\Delta V^2}{12}} = 3M^2$$

$$(SNR)dB = 10 \log (3M^2)$$

$$40 dB = 10 \log (3M^2) \rightarrow 3M^2 = 10^4$$

$$10^4 = 3M^2 \rightarrow M^2 = \frac{10^4}{3} = 3333.33$$

$$M = \sqrt{3333.33} = 57.73$$

$$M = 2^N \rightarrow N = \log_2 (57.73) = 5.85 = 6$$

٤- ٥ تطبيقات نظام تعديل ترميز النبضات PCM Applications

يعتبر نظام "PCM" من أكثر أنظمة التعديل الرقمية استخدامًا في مجال تحويل الإشارات التماثلية إلى رقمية مما أتاح تطبيقات مختلفة، منها:

١. أنظمة الهاتف الرقمية (Digital Telephone Systems)، حيث يتم استخدام التكمية غير المتماثلة (A-Law or μ-Law)، تردد أخذ العينات (f_s = 8kHz)، عدد البتات (N=8) مما يتيح عدد 256 قيمة لمستويات التكمية.

٢. أنظمة الصوت الرقمية في أجهزة الحاسب (Digital Audio in Computers)
٣. أنظمة الصوت في الأقراص المدمجة والفيديو (Digital Audio in CD, DVD and Blue-Ray)، حيث يستخدم تردد أخذ العينات (f_s = 44.1kHz) وفي حالات توفر عرض النطاق الترددي يستخدم تردد "96kHz" مما يعطي جودة أعلى.
٤. أنظمة الفيديو الرقمية (Digital Video).
٥. أنظمة الترميز وفك الترميز (Coders and Decoders) والتي تكون على شكل شرائح.
٦. أنظمة إجراء القياسات عن بعد (Telemetry).
٧. الاتصالات الفضائية (Space Communications) حيث يتم إرسال الصور الفضائية وغيرها من البيانات باستخدام نظام PCM.

تدريبات على الوحدة الرابعة

(٤- ١) ما أنواع التعديل الرقمي؟

(٤- ٢) ما مراحل نظام تعديل ترميز النبضات؟

(٤- ٣) ما وظيفة دائرة التكمية؟

(٤- ٤) ما وظيفة المرمّز؟

(٤- ٥) ما الخصائص الإيجابية لنظام تعديل ترميز النبضات؟

(٤- ٦) أكمل الجدول التالي:

الجدول (٤- ٦) أنواع التقريب لعملية التكمية

Value	Rounding	Truncation
2.5		
1.89		
2.167		
5.809		
0.415		
3.29		

(٤- ٧) لديك إشارة تماثلية "m(t)" ذات مدى من "5 V-" إلى "5 V+" يراد تقسيمها إلى أجزاء متساوية عددها 128. أوجد قيمة الجزء الواحد كرقم نسبي (Normalized) وقيمته بالفولت.

(٤- ٨) لديك إشارة تماثلية أحادية القطبية جهدها الكامل (V_{fs} = 10 V)، يراد تكميتها ومن ثم ترميزها باستخدام عدد من البتات (N= 8). أوجد:

أ- قيمة التدريج الواحد النسبي ΔX_u.

ب- قيمة التدريج الواحد بالفولت Δv_u.

ج- أعلى قيمة نسبية للإشارة $X_u(max)$.

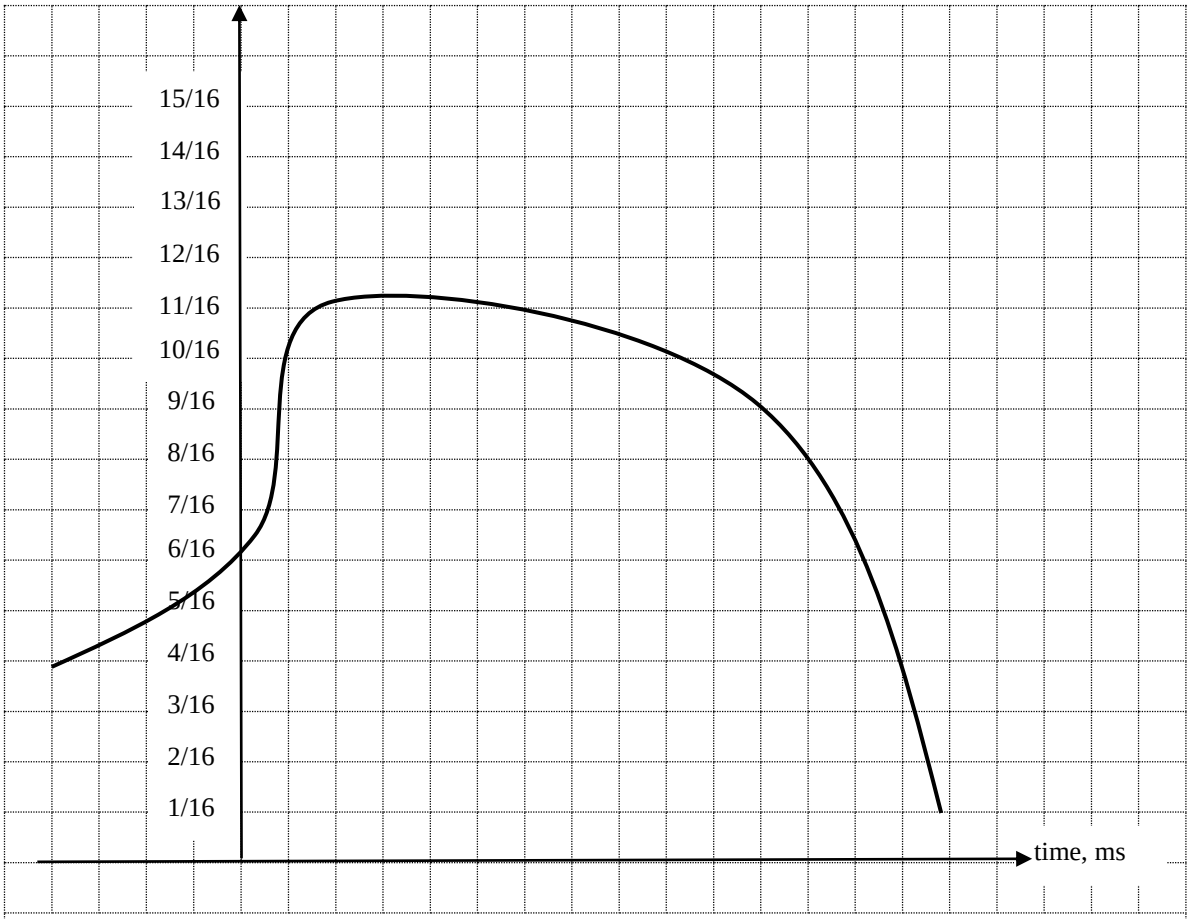
د- أعلى قيمة للإشارة التماثلية بالفولت $V_u(max)$.

هـ- قيمة خطأ التكمية بالفولت e .

(٤- ٩) لديك إشارة تماثلية x(t) موضحة على الشكل أدناه.

أ- ارسم منحنى التكمية لها باستخدام طريقة التقريب للقيمة الأقرب (Rounding). اعتبر أن تردد أخذ العينات "50 kHz" وعدد البتات يساوي "4".

ب. قم بترميز الإشارة الناتجة من عملية التكمية باستخدام الجدول (٤- ٢).



الشكل (٤- ١٢) تدريب رقم (٤- ٩)

(٤- ١٠) لديك نظام "PCM" لتحويل إشارة تماثلية ذات تردد (f_m = 10kHz)، المدى الديناميكي للمستقبل "36 dB" علمًا بأن أعلى جهد يتعامل معه المستقبل هو "± 5 V".

أوجد:

أ- أدنى تردد لأخذ العينات.

ب- أقل عدد من البتات يلزم استخدامه.

ج- خطأ التكمية.

(٤- ١١) ما هو الهدف من إجراء التكمية غير المتماثلة؟

(٤- ١٢) لديك نظام رقمي يستخدم قانون μ للضغط وله القيم التالية:

$$V_{imax} = 12\ V,\ V_{omax} = 3\ V,\ \mu = 255.$$

أوجد قيم الجهد على المخرج للقيم التالية على المدخل:

$$v_i = 0V, 1V, 3V, 6V, 10V, 12V.$$

(٤- ١٣) لديك إشارة صوتية على الشكل التالي:

$$s(t) = 5 \cos 200\,k\,\pi\,t \quad (\text{Volts})$$

أوجد:

أ. قدرة الإشارة P_S .

ب. قدرة ضوضاء التكمية

ج. نسبة الإشارة إلى الضوضاء في حالة استخدام عدد البتات (N=8) للتكمية.

د. عدد البتات اللازم لعملية التكمية للحصول على SNR = 30 dB.

(٤- ١٤) لديك إشارة صوتية على الشكل التالي:

$$s(t) = 2 \sin 2M\,\pi\,t \quad (\text{Volts})$$

أوجد:

أ. قدرة الإشارة P_S .

ب. قدرة ضوضاء التكمية.

ج. نسبة الإشارة إلى الضوضاء في حالة استخدام عدد البتات (N=10) للتكمية.

د. عدد البتات اللازم لعملية التكمية للحصول على SNR = 25 dB.

(٤- ١٥) بالرجوع للانترنت، قدم بحثًا مبسطًا لاستخدام نظام تعديل ترميز النبضات في أنظمة الصوت الرقمية.

(٤- ١٦) بالرجوع للانترنت، قدم بحثًا مبسطًا لاستخدام نظام تعديل ترميز النبضات في أنظمة الفيديو الرقمية.

(٤- ١٧) بالرجوع للانترنت، قدم بحثًا مبسطًا لاستخدام نظام تعديل ترميز النبضات في أنظمة الصوت الرقمية في أجهزة الحاسب.

الوحدة الخامسة

تعديل دلتا

تعديل دلتا
Delta Modulation

الهدف العام:

التعرف على نظام تعديل دلتا لتحويل الإشارات التماثلية إلى رقمية.

الأهداف التفصيلية:

بعد أن تكتمل هذه الوحدة يكون المتدرب قادرًا على أن يتعرف على:

١. مكونات نظام تعديل ترميز النبضات التفاضلي "DPCM".
٢. نظام تعديل دلتا.
٣. طريقة التعديل وكشف التعديل لنظام دلتا.
٤. نظام تعديل دلتا المتكيف "ADM".

مقدمة

تتناول هذه الوحدة دراسة التعديل الرقمي في النطاق الأساسي والذي يعتمد فكرة إيجاد الفرق بين قيمتين لعينتين متتاليتين ومن ثم ترميز الفرق بينهما وليس قيمة العينة نفسها، وتحديدًا ما يسمى تعديل ترميز النبضات التفاضلي، تعديل دلتا، وتعديل دلتا المتكيّف.

٥- ١ التعديل الرقمي في النطاق الأساسي Baseband Digital Modulation

كما أشرنا في الوحدة السابقة، هنالك عدة أنواع للتعديل الرقمي في النطاق الترددي الأساسي:

- **تعديل ترميز النبضات** (Pulse Code Modulation) ويعرف اختصارًا "PCM" والتي سبق وأن درسناها بالتفصيل في الوحدة الرابعة.
- **تعديل ترميز النبضات التفاضلي** (Differential pulse code modulation) ويعرف اختصارًا "DPCM".
- **تعديل دلتا** (Delta Modulation) ويعرف اختصارًا "DM".
- **تعديل دلتا المتكيف** (Adaptive Delta Modulation) ويعرف اختصارًا "ADM".

تعتبر الأنواع سابقة الذكر (DPCM, DM and ADM) كنماذج معدّلة لنظام تعديل ترميز النبضات.

في نظام "PCM" يتم إرسال العينات حسب قيمها، أما في الأنظمة المعدّلة فيتم إرسال الفرق بين قيمة العينة في لحظة معينة "X(k)" وقيمة العينة التي تسبقها زمنيًا "X(k-1)"

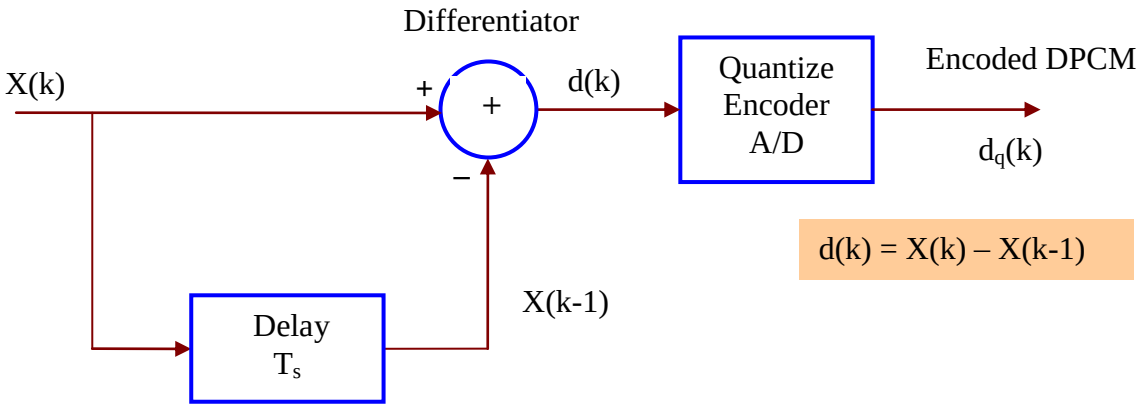
٥- ٢ تعديل ترميز النبضات التفاضلي Differential pulse code modulation

يعتمد نظام تعديل ترميز النبضات التفاضلي "DPCM" على إيجاد الفرق بين قيمة العينة في لحظة معينة "X(k)" وقيمة العينة التي تسبقها زمنيًا "X(k-1)"، مما يسمح باستخدام عدد أقل من البتات لترميز الفرق، ومن ثم إرساله عبر نظام الاتصالات. يمكن استخدام هذا النظام في حالة إرسال الإشارات التماثلية والرقمية. في حالة الإشارات التماثلية، يجب إدخال الإشارة أولاً على دائرة أخذ العينات (Sampler)، ومن ثم إدخال العينات على مرمّز (DPCM Encoder).

يتميز نظام "DPCM" بالإيجابيات التالية:

١. الحاجة إلى عدد بتات أقل من نظام "PCM" مما يقلل كمية المعلومات المرسلة وبالتالي يقلل عرض النطاق الترددي المطلوب للإرسال.
٢. في حالة عدد البتات الأقل فإن عدد القيم المعتمدة للمكمي (Quantized Levels) تصبح أقل مما يسهل تصميمه ويقلل تكلفته.
٣. في حالة استخدام نفس عدد القيم المعتمدة للمكمي، تصبح قيمة التدريج (ΔV) أقل مما يقلل تأثير ضوضاء التكمية وبالتالي يرفع نسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR).

يظهر الشكل (٥- ١) دائرة تعديل ترميز النبضات التفاضلي "DPCM".

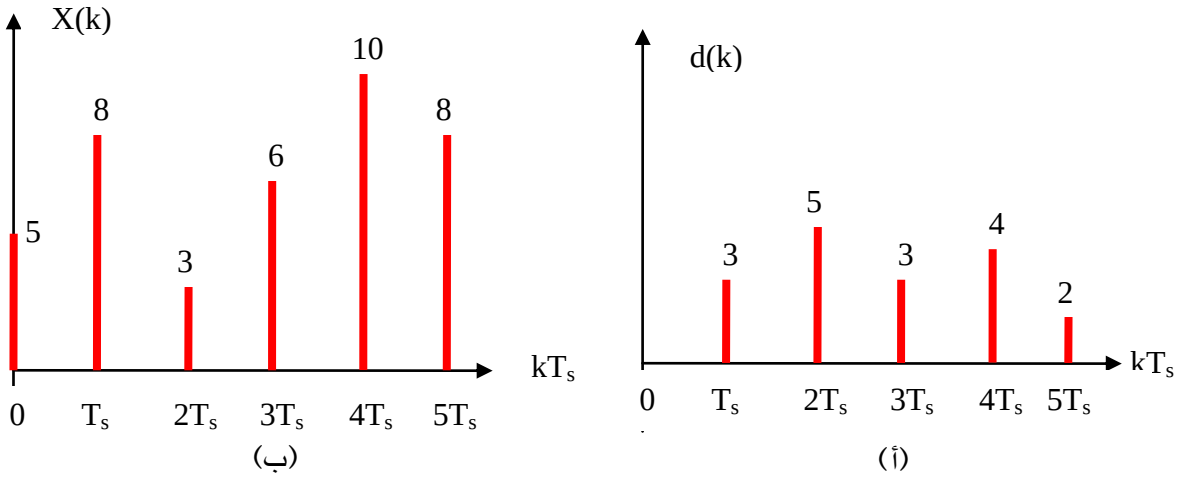


الشكل (٥- ١): دائرة تعديل ترميز النبضات التفاضلي

مثال ٥- ١:- لديك إشارة تماثلية "x(k)" بالشكل (٥- ٢) يراد تحويلها إلى إشارة رقمية باستخدام تعديل ترميز النبضات التفاضلي "DPCM". ارسم إشارة التكمية الناتجة بعد التعديل " $\hat{x}(t)$ " وترميز الإشارة الناتجة باستخدام عدد البتات يساوي "3".

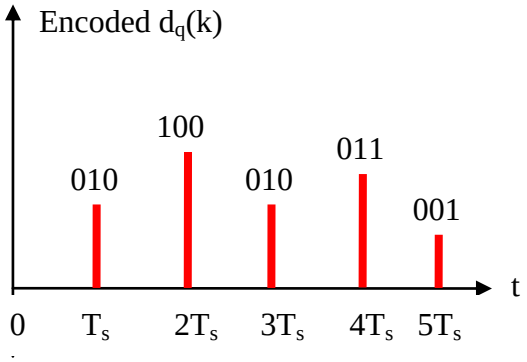
الحل

يتم إدخال الإشارة "x(k)" (الشكل ٥- ٢- أ) الناتجة بعد مرحلة أخذ العينات على دائرة مفاضل (عملية الطرح) والمدخل الثاني له الإشارة الراجعة من المخرج بعد إدخالها على دائرة تأخير زمني بمقدار "T_s" والناتج هو حاصل الطرح "d(k)" (الشكل ٥- ٢- ب).



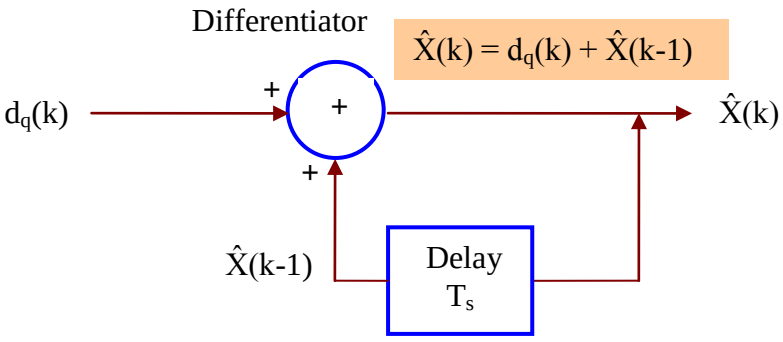
الشكل (٥- ٢): حل مثال (٥- ١)

باستخدام عدد من البتات يساوي "3" ، يتم ترميز كل قيمة من قيم الإشارة "d(k)" ويكون الناتج الإشارة التالية:



الشكل (٥- ٣): إشارة "DPCM" بعد الترميز

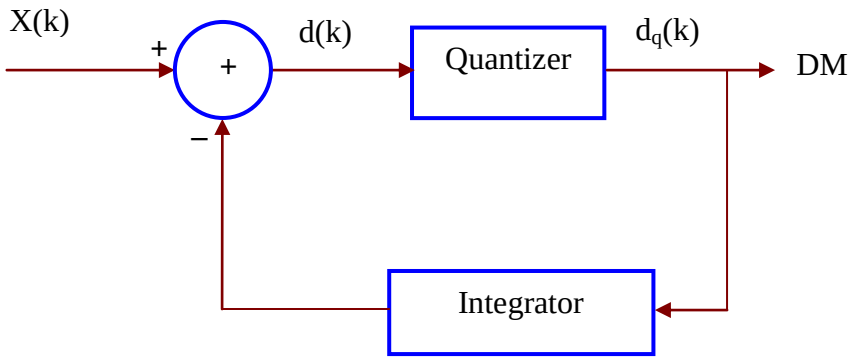
في المستقبل، يتم استقبال الإشارات "$d_q(k)$" وضمن آلية بسيطة (الشكل ٥- ٤) يتم إسترجاع الإشارات الأصلية "X(k)".



الشكل (٥- ٤): دائرة فك ترميز "DPCM"

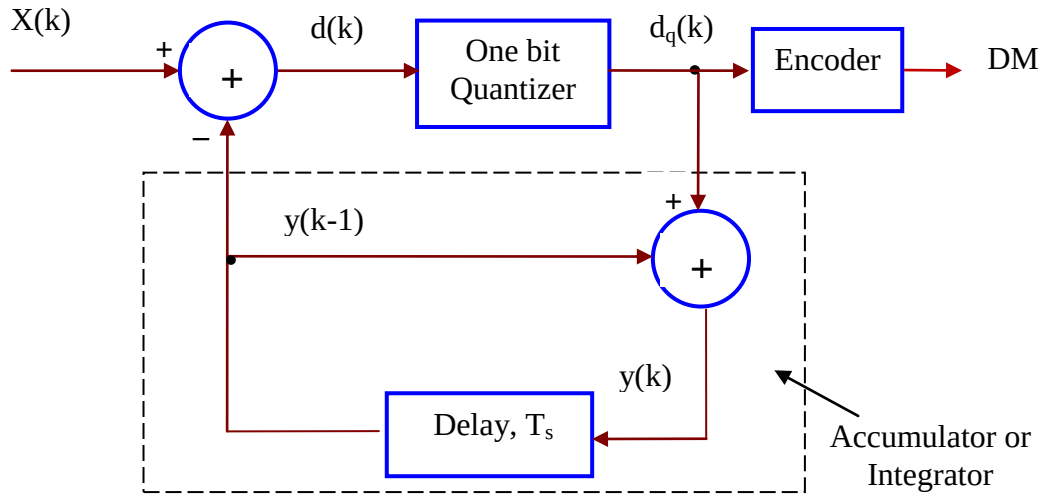
٥- ٣ تعديل دلتا Delta modulation

يعتبر تعديل دلتا "DM" كنموذج مبسط لتعديل "DPCM" حيث يتم مقارنة كل عينة مع العينة التي تسبقها ويتم تحديد إن كانت أكبر أو أصغر وبالتالي سوف يستخدم مكمي من بت واحد فقط. عندما تكون قيمة العينة أعلى من سابقتها، ينتج "1"، وينتج "0" عندما تكون العينة أدنى من سابقتها. بمعنى آخر، فإن البت يعبر عن اتجاه تغيير قيمة العينة (للأعلى أو للأدنى) وليس القيمة نفسها. إن الميزة الرئيسة لتعديل دلتا هي بساطة دوائر التعديل وكشف التعديل. يظهر الشكل (٥- ٥) مخطط تعديل دلتا.



الشكل (٥- ٥): تعديل دلتا

لمزيد من التوضيح يمكننا تمثيل الدائرة السابقة على الشكل التالي:



الشكل (٥- ٦): دائرة تعديل دلتا مع التفصيل

يمكننا تلخيص عمل تعديل دلتا في الخطوات التالية:

١. أخذ العينات للإشارة التماثلية بتردد ($f_s >> 2f_m$).

٢. إجراء مقارنة بين قيمة العينة الحالية والعينة السابقة لها.

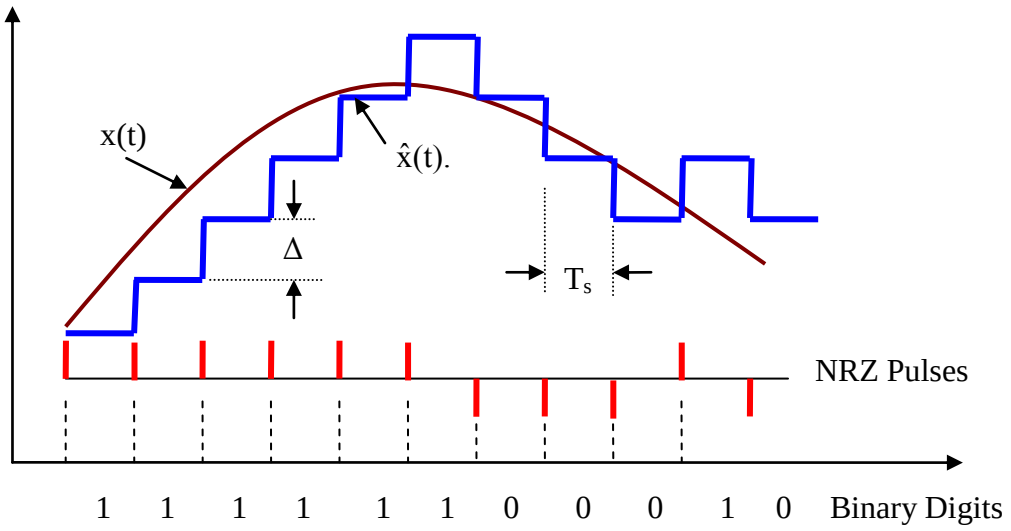
٣. إعطاء بت واحد يمثل إشارة الفرق بين القيمتين (" 1 " في حالة أن العينة أعلى مما قبلها و " 0 " في حالة العكس).

لتوضيح آلية تعديل دلتا، انظر المثال التالي.

مثال ٥- ٢:- لديك إشارة تماثلية x(t) (الشكل ٥- ٧) يراد تحويلها إلى إشارة رقمية باستخدام تعديل دلتا. ارسم إشارة التكمية الناتجة بعد التعديل $\hat{x}(t)$.

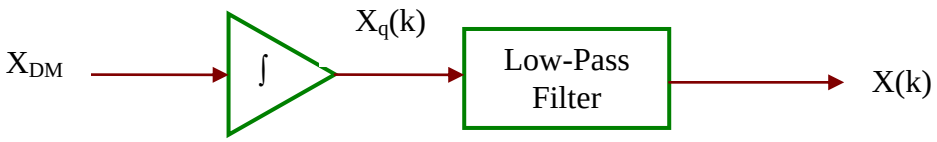
الحل

بالرجوع إلى خطوات عمل تعديل دلتا، وبعد التطبيق نحصل على الإشارة الموضحة على الشكل أدناه.



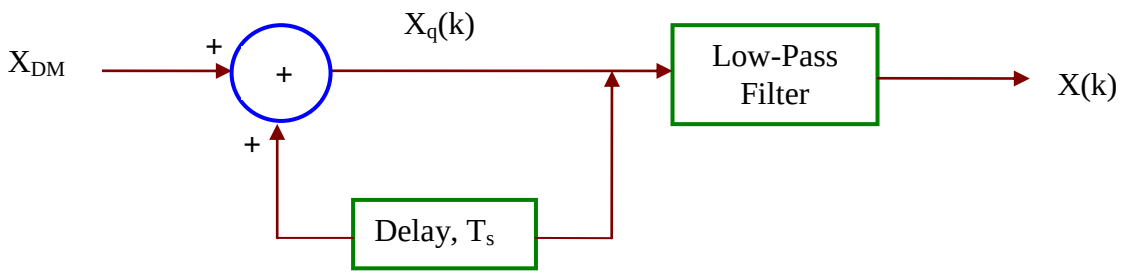
الشكل (٥- ٧): حل مثال (٥- ٢)

لكشف التعديل، يتم إدخال الإشارة المعدّلة بطريقة دلتا "DM" على دائرة مكامل (Integrator) ومن ثم على مرشح التردد المنخفض "LPF" وذلك حسب الشكل (٥- ٨).



الشكل (٥- ٨): فك تعديل دلتا

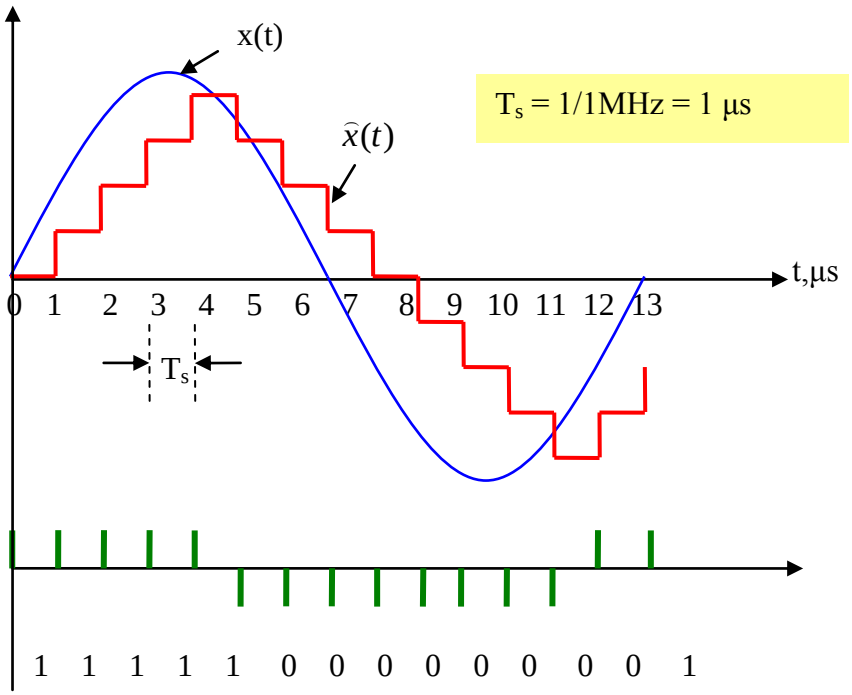
لمزيد من التوضيح يمكننا تمثيل الدائرة السابقة على الشكل التالي:



الشكل (٥- ٩): فك تعديل دلتا مع التفصيل

مثال ٥- ٣:- لديك إشارة تماثلية x(t) (الشكل ٥- ١٠) يراد تحويلها إلى إشارة رقمية باستخدام تعديل دلتا. ارسم إشارة التكمية الناتجة بعد التعديل $\hat{x}(t)$. اعتبر تردد أخذ العينات (f_s = 1 MHz).

الحل



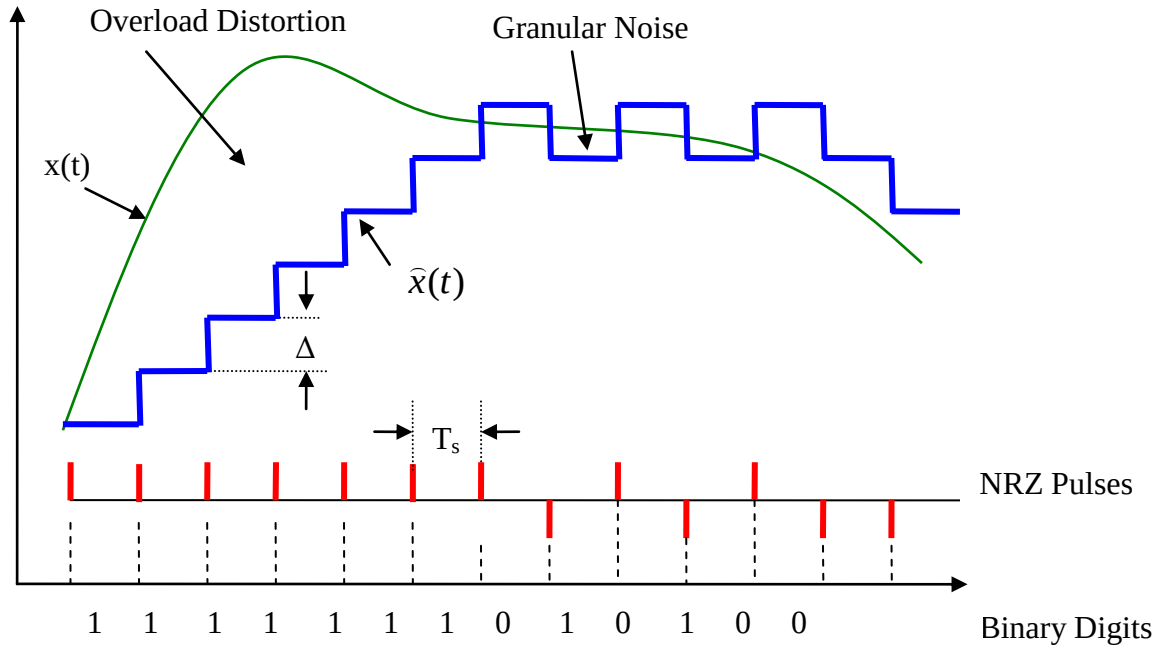
الشكل (٥- ١٠): حل مثال (٥- ٣)

عادة ما يستخدم تعديل دلتا في إرسال الإشارات الصوتية، لكن وللحصول على الجودة المطلوبة، يجب أخذ عينات الإشارة بتردد أعلى بكثير من تردد Nyquist.

يعاني نظام تعديل دلتا من مشكلتين:

الأولى: عندما تكون الإشارة ذات تسارع (ميل) عالٍ وتكون قيمة التدريج (Step) صغيرة ينتج عن ذلك تشويه للإشارة يسمى (Slope Overload Distortion)، حسب ما هو موضح على الشكل (٥- ١١).

الثانية: عندما تكون الإشارة ذات تسارع (ميل) قليل وتكون قيمة التدريج (Step) كبيرة ينتج عن ذلك تشويه للإشارة يسمى (Granular Noise)، حسب ما هو موضح على الشكل (٥- ١١).



الشكل (٥- ١١): تأثير ميل الإشارة

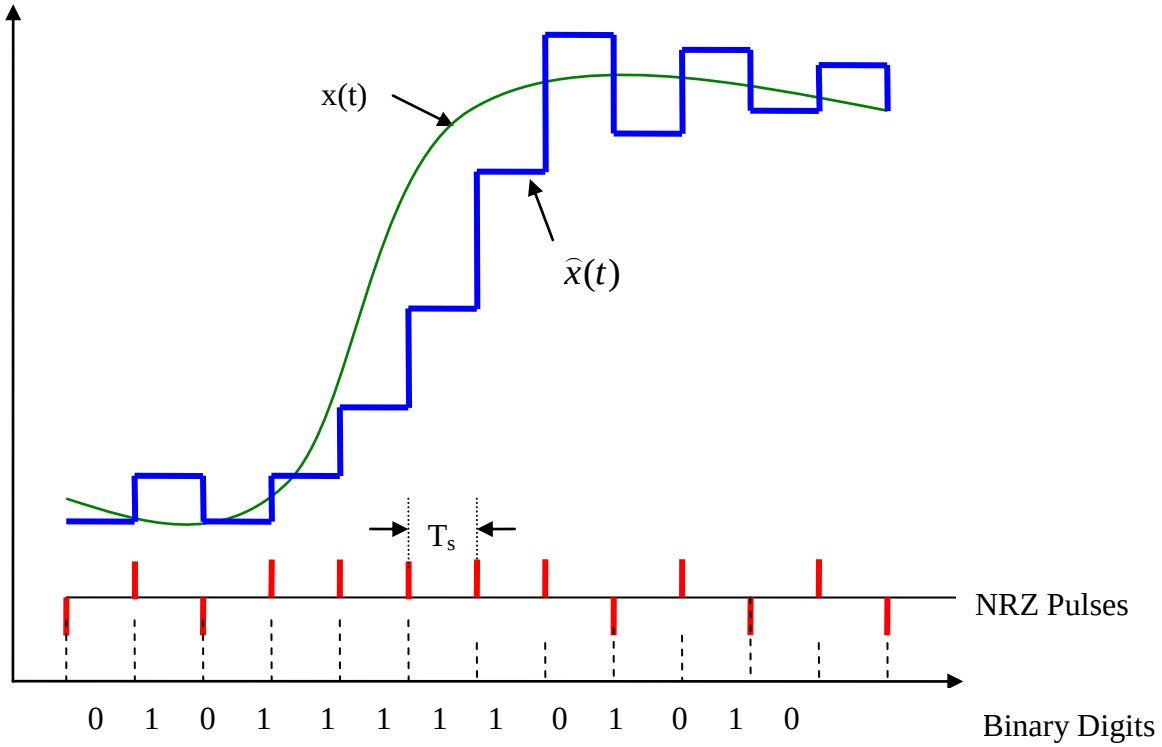
لحل المشاكل الموضحة أعلاه، يستخدم نظام تعديل دلتا ذو التدريج المتكيف (Adaptive)، حيث تزداد قيمة التدريج "Δ" عندما يكون تسارع أو ميل الإشارة مرتفعًا وتنقص قيمة التدريج عندما يكون تسارع أو ميل الإشارة منخفضاً.

٥- ٤ تعديل دلتا المتكيف Adaptive Delta modulation

يعتبر تعديل دلتا المتكيف والذي يعرف اختصارًا (ADM) كنموذج معدّل لتعديل دلتا وذلك لحل مشاكل التشويه في تحويل الإشارة التماثلية والتي أوضحناها أعلاه. إن المقصود بالمتكيف هو أن قيمة التدريج (Δ) تتغير (تتكيف) مع قيمة الإشارة التماثلية حيث تزداد أو تنقص حسب قيم الإشارة وتسارعها. لتوضيح ذلك، انظر المثال التالي:

مثال ٥- ٤:- لديك إشارة تماثلية x(t) (الشكل ٥- ١٢) يراد تحويلها إلى إشارة رقمية باستخدام تعديل دلتا المتكيف. ارسم إشارة التكمية الناتجة بعد التعديل $\hat{x}(t)$.

الحل



الشكل (٥- ١٢): حل مثال (٥- ٤)

نلاحظ من الشكل أعلاه، أن قيمة التدريج "Δ" تتغير وليست ثابتة، حيث تكون أقل ما يمكن عندما يكون ميل الإشارة "x(t)" أقل ما يمكن، وتكون قيمة التدريج أكبر ما يمكن عندما يكون ميل الإشارة "x(t)" أعلى ما يمكن.

تدريبات على الوحدة الخامسة

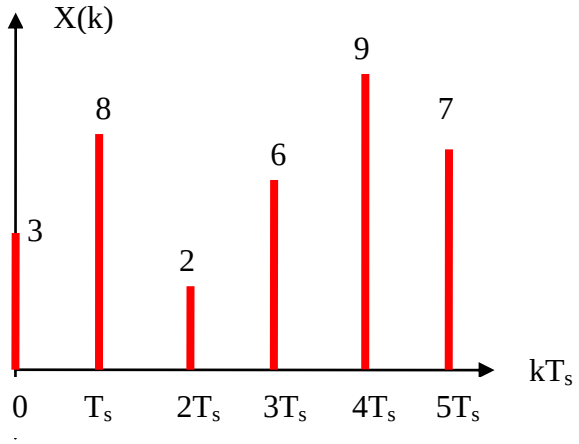
(٥- ١) عدد أنواع التعديل الرقمي؟

(٥- ٢) ما المقصود بتعديل ترميز النبضات التفاضلي "DPCM"؟

(٥- ٣) عدد إيجابيات وسلبيات نظام تعديل ترميز النبضات التفاضلي؟

(٥- ٤) ما وظيفة وحدة التأخير (Delay) في دائرة مرمّز "DPCM"؟

(٥- ٥) لديك إشارة تماثلية "x(k)" (الشكل ٥- ١٣) يراد تحويلها إلى إشارة رقمية باستخدام تعديل ترميز النبضات التفاضلي "DPCM". ارسم إشارة التكمية الناتجة بعد التعديل $\hat{x}(t)$ وترميز الإشارة الناتجة باستخدام عدد البتات يساوي "4".



الشكل (٥- ١٣)

(٥- ٦) وضح المقصود بتعديل دلتا مقارنة مع تعديل "DPCM"؟

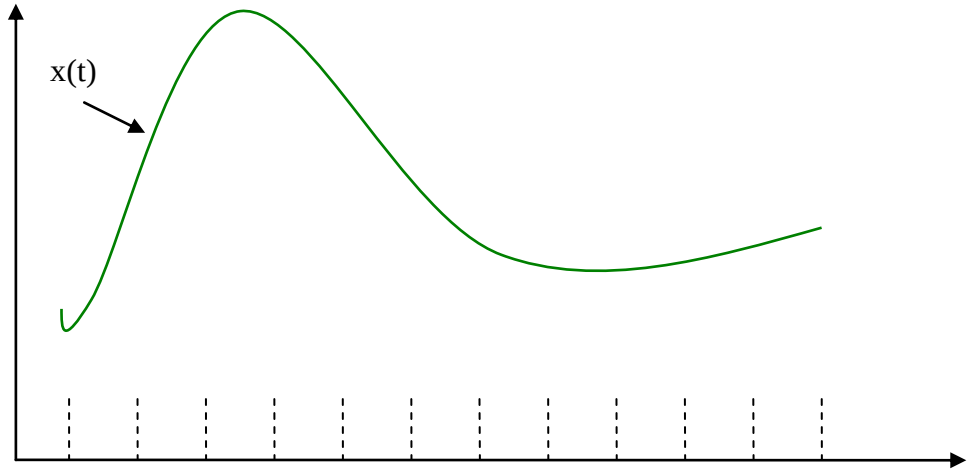
(٥- ٧) وضح مراحل تعديل دلتا؟

(٥- ٨) قارن بين تعديل دلتا وتعديل "PCM"؟

(٥- ٩) وضح أنواع التشويه المصاحبة لتعديل دلتا مع الاستعانة بالرسم؟

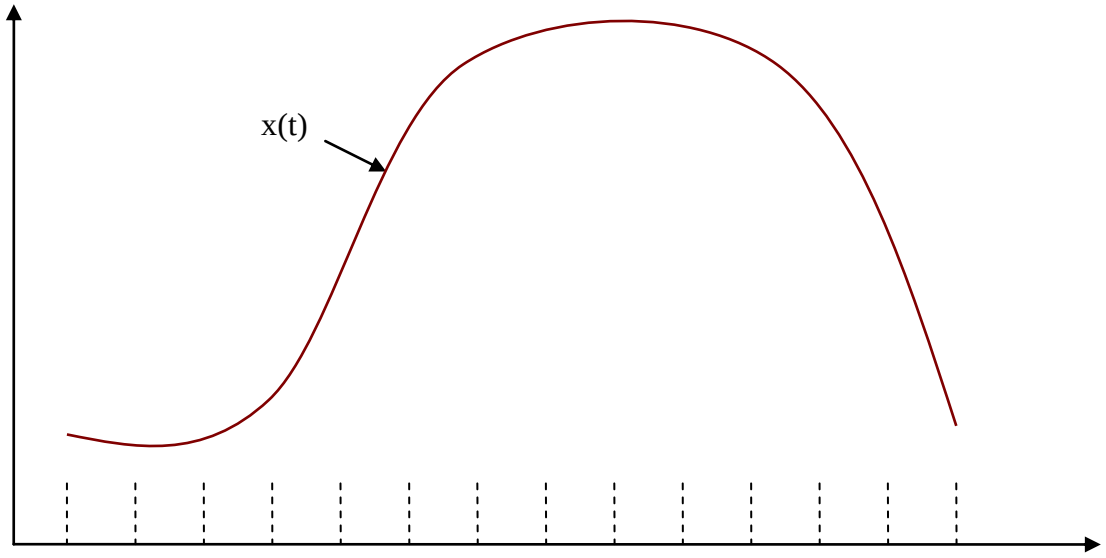
(٥- ١٠) كيف يمكن حل مشاكل التشويه المصاحب لتعديل دلتا؟

(٥- ١١) لديك إشارة تماثلية x(t) (الشكل ٥- ١٤) يراد تحويلها إلى إشارة رقمية باستخدام تعديل دلتا. ارسم إشارة التكمية الناتجة بعد التعديل $\hat{x}(t)$.



الشكل (٥- ١٤)

(٥- ١٢) لديك إشارة تماثلية "x(t)" (الشكل ٥- ١٥) يراد تحويلها إلى إشارة رقمية باستخدام تعديل دلتا المتكيف. ارسم إشارة التكمية الناتجة بعد التعديل $\hat{x}(t)$.



الشكل (٥- ١٥)

الوحدة السادسة

التعدد بالتقسيم الزمني

التعدد بالتقسيم الزمني
Time Division Multiplexing

الهدف العام:

التعرف على نظام التعدد بالتقسيم الزمني (TDM) المستخدم في أنظمة الاتصالات الرقمية.

الأهداف التفصيلية:

بعد أن تكتمل هذه الوحدة يكون المتدرب قادرًا على أن يتعرف على:

١. أساسيات نظام التعدد بتقسيم الزمن.
٢. نظام التعدد بتقسيم الزمن مع تعديل سعة النبضة.
٣. نظام التعدد بتقسيم الزمن مع تعديل ترميز النبضات.
٤. هرم التعدد بتقسيم الزمن في النظامين الأوروبي والأمريكي.

مقدمة

تتناول هذه الوحدة التعرف على تقنيات التعدد المستخدمة في أنظمة الاتصالات المختلفة، أساسيات نظام التعدد بتقسيم الزمن، نظام التعدد بتقسيم الزمن مع تعديل سعة النبضة وتعديل ترميز النبضات، هرم التعدد بتقسيم الزمن في النظامين الأوروبي والأمريكي، التعرف على هرم نظام التعدد الرقمي المتزامن.

٦- ١ تقنيات التعدد Multiplexing Techniques

إن الهدف من استخدام تقنية التعدد (Multiplexing) هو تجميع أكبر عدد ممكن من الإشارات لإرسالها عبر قناة الاتصال وفي نفس الوقت، مما يسمح بالاستغلال الأمثل للقناة وبالتالي رفع كفاءة الإرسال. منذ بداية عصر الاتصالات، استخدمت تقنيات وطرق مختلفة للتجميع تختلف عن بعضها البعض بطريقة التقسيم. إن أهم طرق التعدد المستخدمة هي:

١. التعدد بتقسيم التردد (Frequency Division Multiplexing) والذي يعرف اختصارًا "FDM"، حيث يتم تقسيم الحيز الترددي المتاح إلى أقسام ترددية يخصص كل قسم لإرسال إشارة معينة (أي أن جميع الإشارات تتشارك في نفس عرض النطاق الترددي طول الوقت)، حيث يتم استخدام تقنية التعديل لترتيب التوزيع الترددي. يستخدم هذا النوع من التعدد في الاتصالات الهاتفية التماثلية والاتصالات الراديوية مثل البث الإذاعي والتلفزيوني. هذا النوع من التعدد تمت دراسته في حقيبة أساسيات الاتصالات.

٢. التعدد بتقسيم الزمن (Time Division Multiplexing) والذي يعرف اختصارًا "TDM"، حيث يتم تقسيم الحيز الزمني المتاح إلى أقسام زمنية، يخصص كل قسم لإرسال إشارة معينة (أي أن جميع الإشارات تتشارك في الحيز الزمني وكل إشارة تستخدم عرض النطاق الترددي بالكامل). يستخدم هذا النوع في الاتصالات الرقمية. سوف نتناول في هذه الوحدة دراسة هذا النوع بالتفصيل.

٣. التعدد بتقسيم المكان (Space Division Multiplexing) والذي يعرف اختصارًا "SDM"، حيث يتم تحديد خطوط اتصال (سلكية أو لاسلكية) منفصلة للقنوات المختلفة. في حالة الاتصالات السلكية يمكن استخدام أكثر من كيبل محوري أو ليف بصري لإرسال عدد من قنوات الاتصال لا يسمح خط واحد بإرسالها. أما في الاتصالات اللاسلكية، فتقسم الترددات والقنوات اللاسلكية المتاحة على المناطق المختلفة مما لا يسمح بالتكرار للمناطق المتقاربة.

٤. التعدد بتقسيم الطول الموجي (Wavelength Division Multiplexing) والذي يعرف اختصارًا "WDM"، حيث ترسل كل إشارة على طول موجي محدد خاص بها، ويكون فترة حماية بين الأطوال الموجية حتى لا يحصل التداخل. يستخدم هذا النوع من التعدد في أنظمة الاتصالات باستخدام الألياف البصرية.

٥. تعدد الوصول بتقسيم الرمز (Code Division Multiple Access) والذي يعرف اختصارًا "CDMA"، حيث يتم إعطاء كل جهاز إرسال رمزًا (Code) خاصًا محدداً، وفي المستقبل يتم التعرف على كل جهاز بناء على رمزه. يستغل النطاق الترددي بالكامل وكافة القنوات المتاحة للإرسال وفي نفس الوقت. يتميز هذا النظام بالكفاءة العالية، وقلة التأثر بالتداخل وعدم الحاجة للتزامن، لكن هذا النوع من التعدد يعاني من التعقيد في إعادة توليد الإشارات (Regeneration) وتدني سرعة إرسال البيانات (Data Rate). يستخدم هذا النوع في الاتصالات الراديوية.

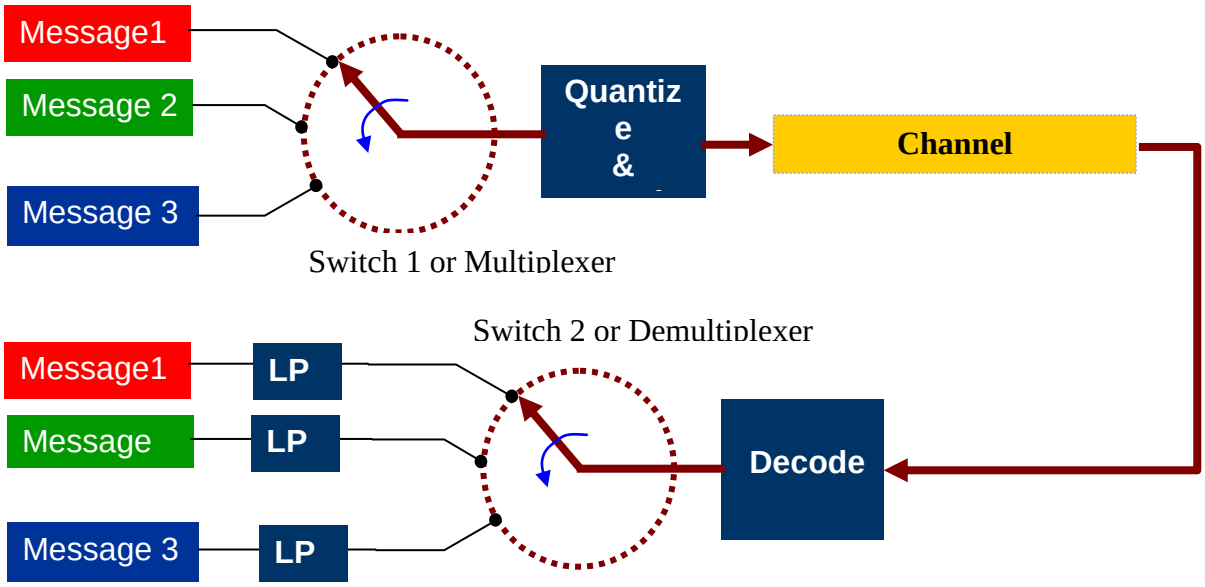
٦. الإرسال المتعدد بتقسيم الزمن و التردد (Time and Frequency Multiplexing)، حيث يتم استخدام أكثر من نطاق ترددي في نفس الوقت مع تقسيمها زمنيًا بين أجهزة الإرسال والاستقبال. يتميز هذا النظام بسرعات إرسال عالية للبيانات، لكن هذا النوع يعاني من الحاجة للتزامن. يستخدم هذا النوع في الاتصالات الراديوية المتحركة مثل (GSM, GPRS).

٦- ٢ أساسيات التعدد بتقسيم الزمن Basics Time Division Multiplexing

إن الفكرة الأساسية لنظام "TDM" هي إمكانية إرسال أكبر عدد ممكن من الإشارات الرقمية عبر نفس الخط، حيث يتم استخدام النطاق الترددي بالكامل من قبل كل إشارة ولكن لفترات زمنية محددة. يتم تقسيم قناة الاتصال (Channel) إلى حيزات زمنية (Time Slots) ذات قيم زمنية حسب عدد الإشارات المراد تجميعها. هنالك نوعان من التعدد بتقسيم الزمن:

- التعدد بتقسيم الزمن المتزامن (Synchronous TDM)، حيث يخصص لكل إشارة حيز زمني محدد ولا يمكن استخدامه من قبل إشارة أخرى.
- التعدد بتقسيم الزمن غير المتزامن (Asynchronous TDM)، حيث يخصص حيز زمني محدد في حالة الاستخدام ويلغى عند عدم الحاجة له.

لتوضيح فكرة التعدد بتقسيم الزمن (٣ إشارات)، انظر الشكل (٦- ١)، حيث يستخدم المفتاح "SW1" في الإرسال والمفتاح "SW2" في الاستقبال لتنظيم إدخال وإخراج الإشارات المراد تجميعها ونقلها عبر قناة اتصال واحدة.



الشكل (٦- ١): تجميع وتوزيع عدد من الإشارات في نظام "TDM"

٦- ٣ التعدد بتقسيم الزمن مع تعديل سعة النبضة PAM TDM

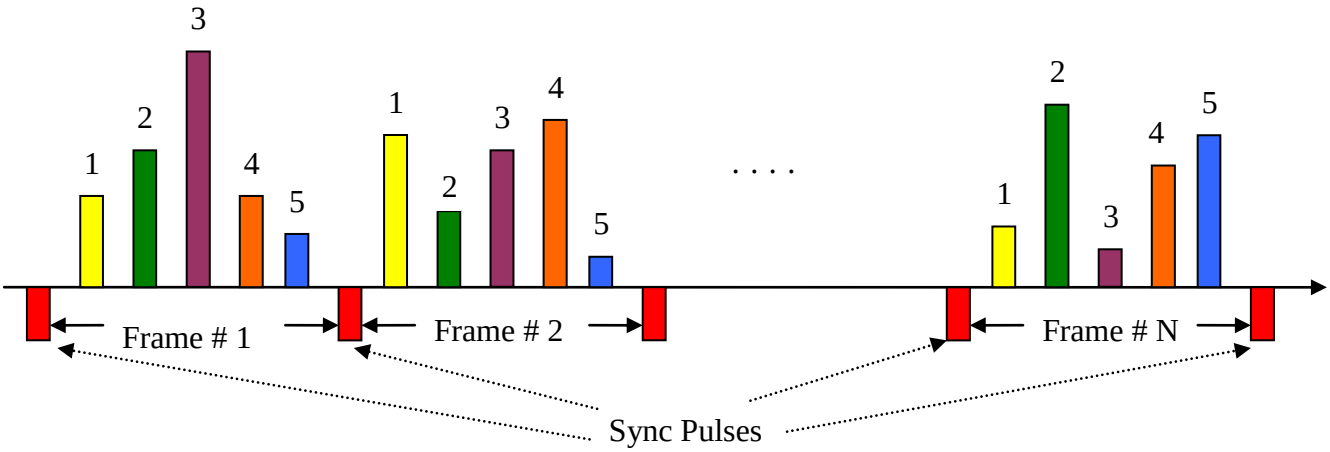
كما ذكرنا في الوحدة الثالثة، فإن من مميزات تعديل سعة النبضات هو إمكانية إجراء التعدد بتقسيم الزمن، حيث يمكن إرسال النبضات الناتجة من عملية أخذ العينات لإشارات مختلفة عبر نفس قناة الاتصال وفي نفس الوقت. لتوضيح ذلك انظر المثال التالي.

مثال ٦- ١:- لديك عدد من خمس إشارات يراد تجميعها بنظام "TDM" لغرض إرسالها عبر نفس قناة الاتصال، علمًا بأن النظام يتمتع بالخصائص التالية:

- عدد الإشارات يساوي "5".
- جميع الإشارات تم أخذ العينات لها بنفس قيمة التردد "fs".
- عرض النبضة الواحدة يساوي "τ".
- الفراغ بين النبضات يساوي "τ".
- جميع نبضات الإشارات ذات قيم موجبة (في حال وجود نبضات سالبة القيمة، يمكن إضافة جهد ثابت موجب القيمة لتصبح جميع النبضات موجبة).
- نبضات التزامن (Sync Pulses) تتميز عن غيرها بقيمها السالبة.

الحل

بناء على ما سبق، يمكننا تمثيل الإشارة بعد التعدد على الشكل التالي:



الشكل (٦- ٢): إشارة PAM TDM

ملاحظة ١: الإطار الأول يحتوي النبضة التي تمثل العينة الأولى لكل إشارة من الإشارات الخمس، والإطار الثاني النبضة تمثل العينة الثانية لكل إشارة من الإشارات الخمس وهكذا.

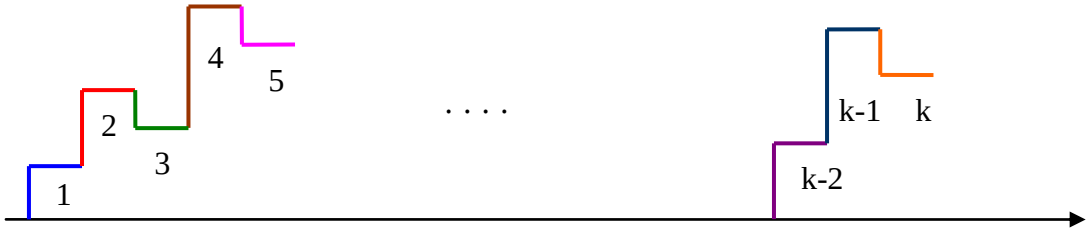
ملاحظة ٢: عدد الإطارات (Frames) يساوي قيمة تردد أخذ العينات (f_s). فمثلاً، إذا كان تردد أخذ العينات يساوي "10 kHz" فهذا يعني أن عدد الإطارات يساوي "10000".

- **حساب عرض النطاق الترددي لإشارة** "PAM":

قبل البدء بحساب عرض النطاق الترددي، نفترض الأمور التالية:

- عدد الإشارات يساوي k.
- عرض النطاق الترددي لكل إشارة يساوي "W Hz" ($W = f_m$)
- تردد أخذ العينات يساوي تردد Nyquist ($f_s = 2f_m$)
- لا يوجد فراغات بين النبضات المتجاورة.
- لا يوجد نبضات للتزامن.
- طريقة احتساب عرض النطاق الترددي من خلال العلاقة ($B_T = 0.5/\tau$).

بناء على ما سبق، تكون الإشارة المجمّعة حسب الشكل (٦- ٣). لحساب أدنى قيمة لعرض النطاق الترددي "B_T" اللازم لإرسال إشارة التعدد بتقسيم الزمن مع نبضات تعديل السعة يجب اتباع الخطوات التالية:



الشكل (٦- ٣): الاشارة المجمعة لنظام PAM TDM

١. حساب زمن الإطار الواحد (Frame Time):

$$T_f = T_s = \frac{1}{2W} = \frac{1}{2\,f_m}$$

٢. حساب عرض النبضة "τ"

$$\tau = \frac{T_f}{K}$$

٣. حساب الحد الأدنى لعرض النطاق الترددي المطلوب "B_T"

$$B_T = \frac{0.5}{\tau} = \frac{0.5}{\frac{1}{2kW}} = kW$$

النتيجة السابقة تعني أن الحد الأدنى لعرض النطاق الترددي المطلوب "B_T" يساوي حاصل ضرب عدد الإشارات مضروبًا بقيمة عرض النطاق الترددي لكل إشارة.

مثال ٦- ٢:- لديك إشارة "PAM TDM" بالمواصفات التالية:

- عدد الإشارات يساوي "7"
- عرض النطاق الترددي لكل إشارة يساوي "2 kHz"

أوجد:

أ- الحد الأدنى لعرض النطاق الترددي المطلوب "B_T".

ب- عرض النطاق الترددي المطلوب "B_T" في حالة الشكل التالي، علمًا بأن تردد أخذ العينات يزيد بمقدار "25%" أعلى من تردد Nyquist.

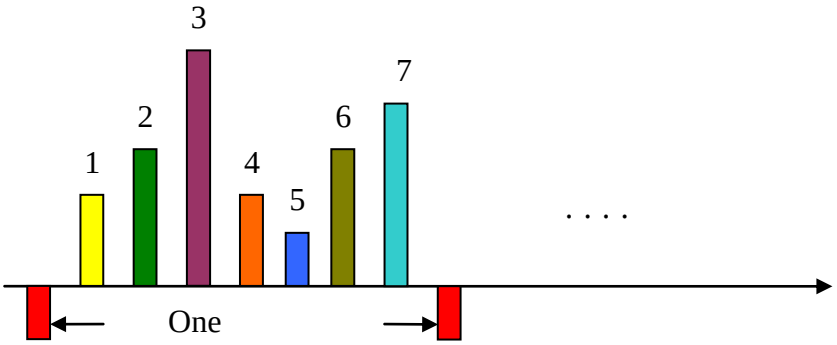
الحل

أ- $B_T = kW = 7 \times 2\,kHz = 14\,kHz$

ب- حسب الشكل (٦- ٤):

- عدد نبضات الإشارات = 7
- عدد الفراغات بين نبضات الإشارات = 8

- عرض النبضة الواحدة = τ ويساوي عرض الفراغ بين النبضات المتجاورة
- في الإطار الواحد، ندخل نبضة تزامن واحدة وعرضها = τ



الشكل (٦- ٤): حل المثال (٦- ٢)

$$f_s = (1+0.25)\times 2 \times W = 1.25\times 2 \times 2\,kHz = 5\,kHz$$

$$T_f = \frac{1}{f_s} = \frac{1}{5\,kHz} = 0.2\,ms = 200\,\mu s$$

$$7\,\text{data pulses} + 1\,\text{syncpulse} + 8\,\text{openspaces} = 16$$

$$\tau = \frac{T_f}{16} = \frac{200\,\mu s}{16} = 12.5\,\mu s$$

$$B_T = \frac{0.5}{\tau} = \frac{0.5}{12.5\,\mu s} = 40\,kHz$$

٦- ٤ التعدد بتقسيم الزمن مع تعديل ترميز النبضات PCM - TDM

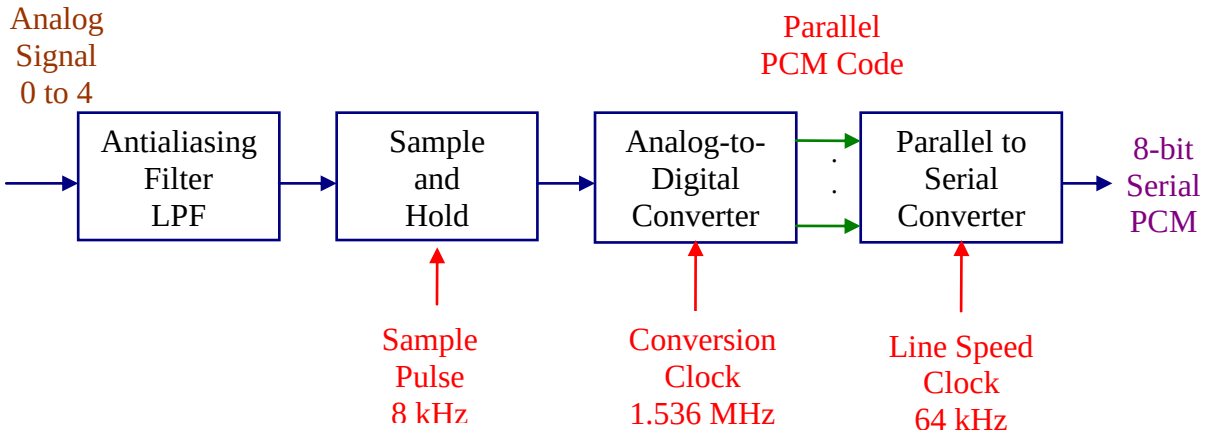
إن أشهر أنواع التعديل الرقمي استخدامًا مع التعدد بالتقسيم الزمني هو تعديل ترميز النبضات "PCM" حيث يتم التعامل مع جميع الإشارات لتحويلها إلى رقمية ومن ثم تجميعها بطريقة التقسيم الزمني لإرسالها عبر نفس قناة الاتصال. إن الأساس لجميع أنظمة "PCM-TDM" هو الإشارة الرقمية مستوى صفر

(Digital Signal - level zero) للإشارة الصوتية الهاتفية والتي تعرف اختصارا "DS-0". يمثل الشكل (٦- ٥) المخطط الوصفي للقناة الأساسية "DS-0".

في الاتصالات الهاتفية الرقمية بنظام "PCM"، تشغل الإشارة الصوتية الترددات من "300Hz" إلى "3400Hz" مما يشكل حيزًا ترديديًا مقداره (3400-300 = 3100 Hz) يضاف له "900Hz" كحيز حماية ترددية مما يعطي "4000Hz". يستخدم في التكمية "256" مستوى أو قيمة، حيث يلزم عدد "8" من البتات ($2^8 = 256$).

لتحديد سرعة إرسال القناة الرقمية الأساسية "DS-0" عبر الخط (Line Speed):

$$8000\,samples/\sec ond \times 8\,bits/sample = 64\,kbits/\sec ond = 64\,kb/s$$

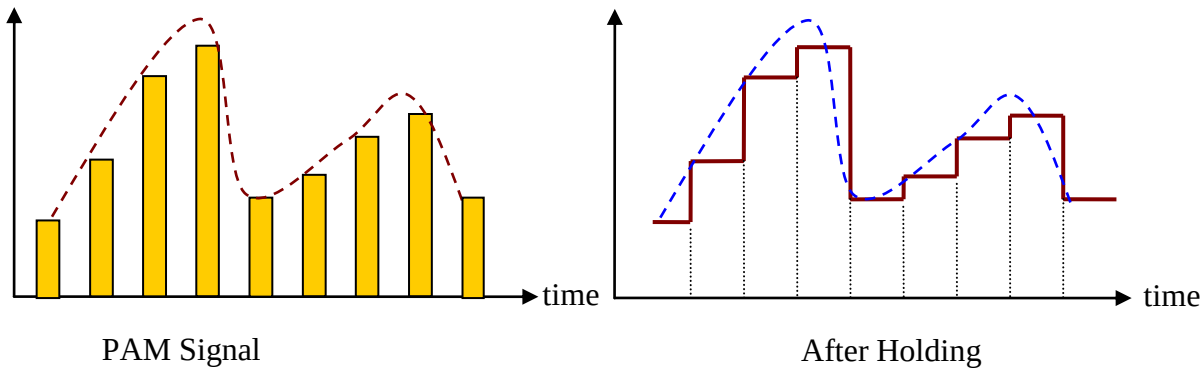


الشكل (٦- ٥): القناة الرقمية الأساسية "DS-0"

لتوضيح مكونات الدائرة السابقة:

- **المرشح مانع التداخل** (Antialiasing Filter): عبارة عن مرشح الترددات المنخفضة "LPF" يقوم بمنع ترددات الإشارة التماثلية التي تزيد عن التردد الأقصى "f_m" (f_m=4kHz).

دائرة أخذ العينات مع الاحتفاظ (Sample and Hold): وهي الدائرة التي تقوم بأخذ العينات بعدد مرات في الثانية يساوي تردد أخذ العينات (f_s = 8 kHz) مع الاحتفاظ بقيمة مستوى النبضة خلال فترة البت الواحد. لتوضيح ذلك، انظر الشكل (٦- ٦)، (زمن الإطار الواحد T_f=1/8kHz=125 µs).



الشكل (٦- ٦): الإشارة بعد عملية الاحتفاظ

- **التحويل التماثلي الرقمي** (Analog to Digital Converter)**: عملية تحويل الإشارة** من تماثلية إلى رقمية ويعرف اختصارًا "A/D"، حيث يتضمن عملية التكمية والترميز.
- **التحويل من توازي إلى متتالي** (Parallel-to-Serial Converter)**:** تتكون الكلمة الرقمية الناتجة بعد عملية الترميز من "8" خانات حيث تخرج من "A/D" بشكل متوازٍ، وحتى لا نحتاج إلى ثمانية خطوط لإرسالها، يتم تحويلها إلى إرسال متتالٍ.

٦- ٥ **أنظمة الحامل الرقمية** Digital Carrier Systems

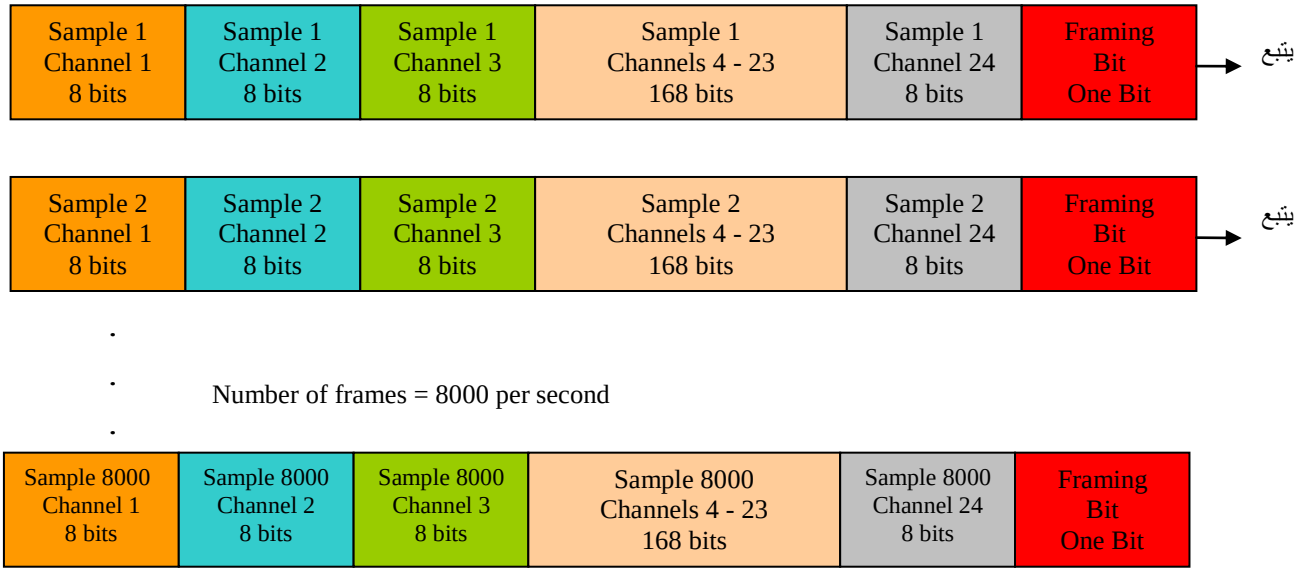
عادة ما يتم تجميع القنوات الرقمية الأساسية في مجموعات من المستوى الأول ومن ثم تجميعها في مجموعات أعلى (المستوى الثاني) وهكذا. عادة ما يسمى هذا النظام التعددي على مختلف المستويات بالنظام الهرمي (Hierarchy System). هنالك نظامان مشهوران للمستوى الأول؛ النظام الأمريكي والنظام الأوروبي.

- **نظام الحامل الرقمي** Digital Carrier Systems T1:

لقد تم تطوير هذا النظام من قبل شركة بل الأمريكية ويستخدم في الولايات المتحدة الأمريكية، وكندا واليابان، حيث يتمتع بالخصائص التالية:

- عدد القنوات الهاتفية الرقمية: "24"
- نوع التعدد: التعدد بالتقسيم الزمني "TDM"
- نوع التعديل الرقمي: تعديل ترميز النبضات "PCM"
- التزامن: "8kb/s" لتحديد بداية ونهاية الإطارات.
- قانون ضغط الإشارة: "μ-Law"
- عدد مستويات التكمية: "256"
- عدد البتات المستخدم: "8"
- زمن الإطار الواحد: "125 μs"

لتوضيح عملية التعدد انظر الشكل (٦- ٧).



الشكل (٦- ٧): إطارات نظام الحامل الرقمي "T1"

لتحديد سرعة النظام عبر الخط (Line Speed):

$$24 channels / frame \times 8 bits / channel = 192 bits / frame$$

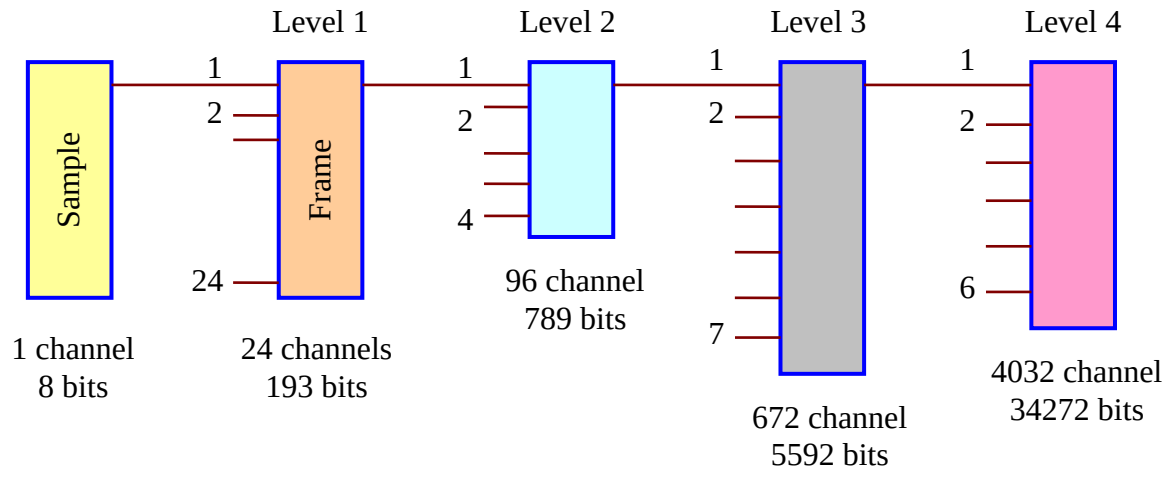
$$192 bits / frame \times 8000 frames / second = 1536 kb/s = 1.536 Mb/s$$

يجب إضافة بت واحد لتحديد بداية ونهاية كل إطار (انظر الشكل ٦- ٧)، ولذلك تتغير السرعة عبر النظام لتصبح:

$$192 bits + \text{one framing bit} = 193 bits$$

$$193 bits / frame \times 8000 frames / second = 1544 kb/s = 1.544 Mb/s$$

بقية أنظمة التعدد الرقمية الأعلى تتم بأخذ مضاعفات المستوى الأول "T1"، وبشكل هرمي حسب ما هو موضح على الشكل (٦- ٨).



الشكل (٦- ٨): التعدد الهرمي لنظام "TDM"

لتحديد السرعات عبر الخط (Line Speed) لكافة مستويات التعدد للنظام الامريكي، انظر الجدول (٦- ١).

الجدول (٦- ١): سرعات مستويات التعدد للنظام الأمريكي

American Hierarchy	Line Speed	Number of Voice Channels
DS-0	64 kb/s	1
T1	1.544 Mb/s	24
T2	6.312 Mb/s	96
T3	44.736 Mb/s	672
T4	274.176 Mb/s	4032

- **نظام الحامل الرقمي** Digital Carrier Systems E1

لقد تم تطوير هذا النظام في أوروبا، حيث أصبح يشكل المكون الأساسي لأنظمة التعدد الرقمي شبه المتزامن (Plesiochronous Digital Hierarchy) والذي يعرف اختصارًا "PDH" يستخدم هذا النظام في أوروبا ومعظم دول العالم، حيث يتمتع بالخصائص التالية:

- عدد القنوات الهاتفية الرقمية: "30"
- عدد قنوات الخدمة: "2"، واحدة للتزامن والأخرى للتأشير (Signaling) وذلك بإرسال إشارات لخدمة وإدارة شبكة الاتصالات.
- نوع التعدد: التعدد بالتقسيم الزمني "TDM"

- نوع التعديل الرقمي: تعديل ترميز النبضات "PCM"، لذلك يسمى النظام "PCM-30".
- قانون ضغط الإشارة: "A-Law"
- عدد مستويات التكمية: "256"
- عدد البتات المستخدم: "8"
- زمن الإطار الواحد: "125 µs"

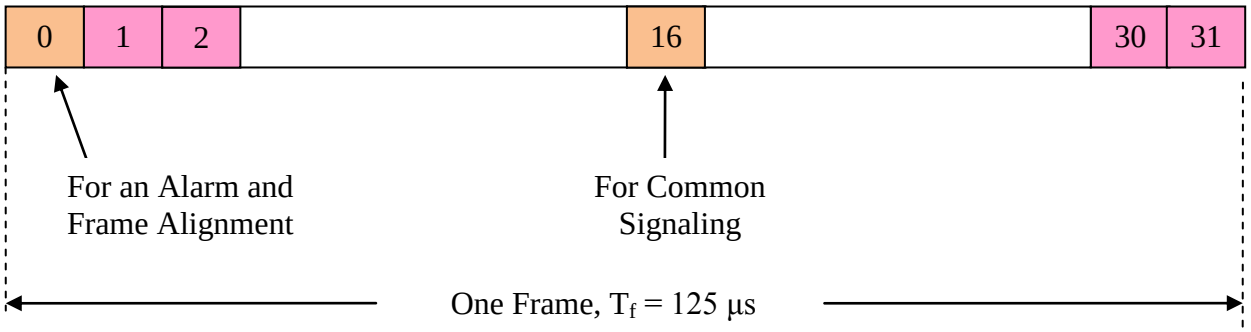
لتحديد سرعة النظام عبر الخط (Line Speed):

$$32\,channels\,/\,frame \times 8\,bits\,/\,channel = 256\,bits\,/\,frame$$

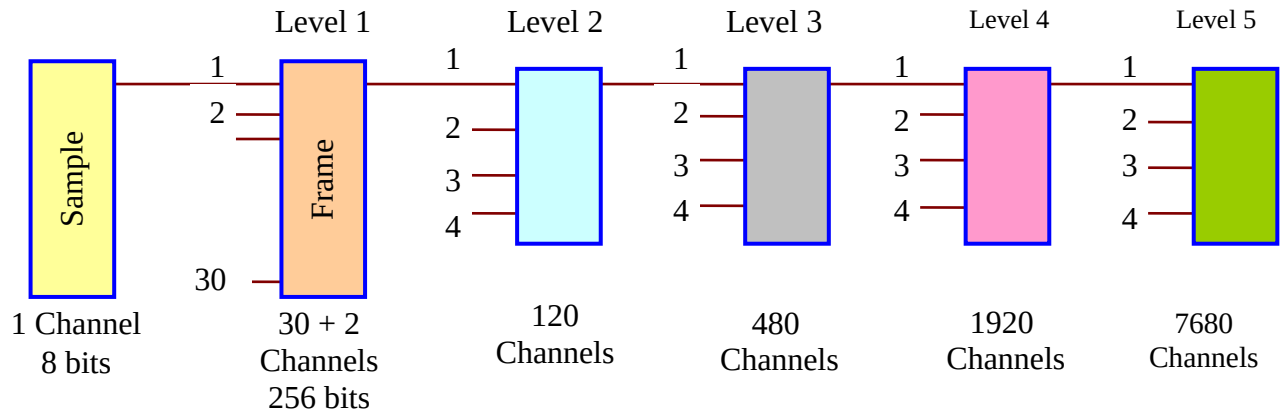
$$256\,bits\,/\,frame \times 8000\,frames\,/\,\mathrm{sec}\,ond = 2048\,kb/s = 2.048\,Mb/s$$

لتوضيح تشكيل الإطار لنظام "E1"، انظر الشكل (٦- ٩).

بقية أنظمة التعدد الرقمية الأعلى تتم بأخذ مضاعفات المستوى الأول "E1"، وبشكل هرمي حسب ما هو موضح على الشكل (٦- ١٠).



الشكل (٦- ٩): إطار نظام الحامل الرقمي "E1"



الشكل (٦- ١٠): التعدد الهرمي لنظام "TDM" الأوروبي

لتحديد السرعات عبر الخط (Line Speed) لكافة مستويات التعدد للنظام الأوروبي والتي تعرف بأنظمة التعدد الرقمي شبة المتزامن (Plesiochronous Digital Hierarchy)، انظر الجدول (٦- ٢).

الجدول (٦- ٢): هرم أنظمة التعدد الرقمي شبه المتزامن

European Hierarchy	Line Speed	Number of Voice Channels
DS-0	64 kb/s	1
E1	2.048 Mb/s	30
E2	8.448 Mb/s	120
E3	34.368 Mb/s	480
E4	139.26 Mb/s	1920
E5	564.992 Mb/s	7680

٦- ٦ النظام الهرمي المتزامن Synchronous Digital Hierarchy

تعاني أنظمة التعدد الرقمي شبة المتزامن "PDH" من عدد من السلبيات، أهمها:

١. السرعات المتدنية نسبياً.
٢. الحاجة إلى حجم أكبر من الأجهزة مما يزيد التكلفة.
٣. عدم المرونة.
٤. إمكانيات محدودة لصيانة وإدارة الشبكة.
٥. مواصفات قياسية (Standards) مختلفة وليست موحدة.
٦. عدم توفر دوائر الحماية (Protection Schemes).
٧. عدم إمكانية الشبكات ذات بعض الأشكال (Hub and Ring Networks).

لهذه الأسباب تم تطوير أنظمة تجميع التقسيم الزمني من النوع الهرمي المتزامن "SDH"، حيث استخدم بشكل واسع جدًا للأسباب التالية:

١. السرعات العالية جداً.
٢. سهولة عملية إضافة حامل رقمي أو إنزاله (Add Drop Function) من الخط الرئيسي.
٣. الوثوقية العالية.
٤. المرونة العالية و توفر الإمكانية لصيانة وإدارة الشبكة.
٥. إمكانية الاستخدام مع مختلف أنواع الشبكات.
٦. توفر دوائر الحماية.

الحامل الرقمي الأساسي في نظام "SDH" يسمى وحدة النقل المتزامنة (Synchronous Transport Module "STM-1") وسرعته تساوي "155.52 Mb/s"، أما بقية الحوامل الرقمية وسرعاتها فهي من مضاعفات الوحدة الأولى (الجدول ٦- ٣).

الجدول (٦- ٣): هرم أنظمة التعدد الرقمي المتزامن

European Hierarchy	Line Speed, Mb/s	Number of Voice Channels
STM-0	51.84	
STM-1	155.52	1890
STM-4	622.08	7560
STM-16	2488.32	30240
STM-64	9953.28	120960
STM-254	39813.12	483840

تدريبات على الوحدة السادسة

(٦- ١) عدد أنواع التعدد وما هو الفرق بينها ؟

(٦- ٢) ما ميزات نظام التعدد بتقسيم الزمن "TDM" ؟

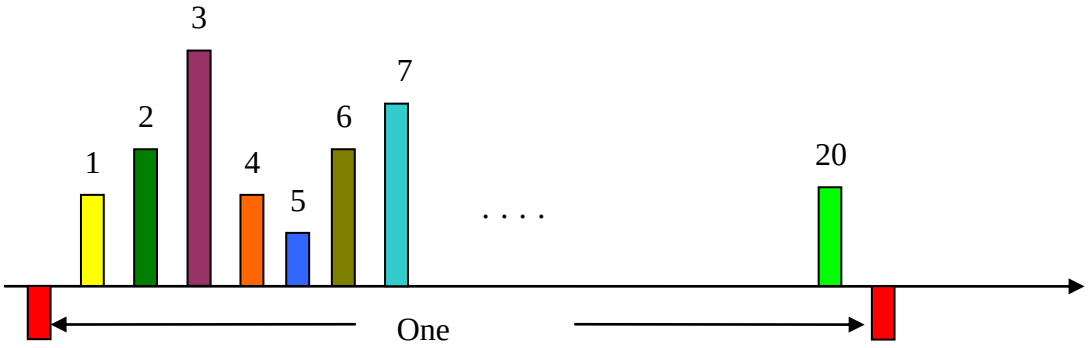
(٦- ٣) ما الفرق بين التعدد بتقسيم الزمن المتزامن وغير المتزامن؟

(٦- ٤) لديك إشارة "PAM TDM" (الشكل ٦- ١١)، بالمواصفات التالية:

- عدد الإشارات يساوي "20"
- عرض النطاق الترددي لكل إشارة يساوي "4kHz"

أ- أوجد الحد الأدنى لعرض النطاق الترددي المطلوب "B_T".

ب- أوجد عرض النطاق الترددي المطلوب "B_T" في حالة الشكل التالي، علمًا بأن تردد أخذ العينات يزيد بمقدار "20%" أعلى من تردد 'Nyquist'. (عرض جميع النبضات متساوي مع عرض الفراغ بينها).



الشكل (٦- ١١)

(٦- ٥) لماذا تكون نبضات التزامن سالبة الجهد؟

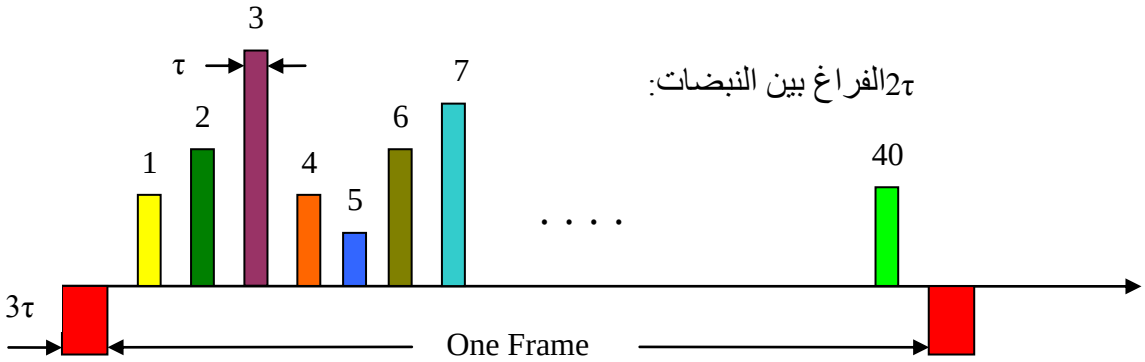
(٦- ٦) وضح مع الرسم مكونات القناة الرقمية الأساسية "DS-0".

(٦- ٧) لديك إشارة موسيقية ذات ترددات من صفر لغاية "10 kHz'، أوجد سرعة إرسالها عبر الخط على اعتبار استخدام "256" قيمة للتكمية (عدد البتات يساوي "8").

(٦- ٨) لديك إشارة موسيقية ذات ترددات من صفر لغاية "10 kHz"، أوجد سرعة إرسالها عبر الخط على اعتبار استخدام "512" قيمة للتكمية.

(٦- ٩) لديك إشارة "PAM TDM" حسب الشكل (٦- ١٢):

أوجد عرض النطاق الترددي المطلوب "B_T" في حالة عرض النطاق الترددي لكل إشارة يساوي "10 kHz"، علمًا بأن تردد أخذ العينات يزيد بمقدار "10%" أعلى من تردد "Nyquist".



الشكل (٦- ١٢)

(٦- ١٠) لديك إشارة موسيقية ذات ترددات من صفر لغاية "10kHz"، أوجد سرعة إرسالها عبر الخط على اعتبار استخدام "512" قيمة للتكمية وتردد أخذ العينات يزيد بمقدار "20 %" عن تردد Nyquist.

(٦- ١١) في نظام التعدد بتقسيم الزمن الأمريكي، وضح كيفية الحصول على عدد القنوات الهاتفية وعدد البتات المرسلة للمستوى الثاني والرابع.

(٦- ١٢) ما عيوب نظام التعدد الهرمي الرقمي شبه المتزامن "PDH"؟

(٦- ١٣) ما إيجابيات نظام التعدد الهرمي الرقمي المتزامن "SDH"؟

(٦- ١٤) ما الفرق الرئيسي بين نظامي "PDH" و "SDH"؟

الوحدة السابعة

التراسل الرقمي

التراسل الرقمي
Digital Transmission

الهدف العام:

التعرف على العناصر الرئيسة للتراسل الرقمي وطرق الترميز المختلفة.

الأهداف التفصيلية:

عندما تكتمل هذه الوحدة يكون المتدرب قادرًا على أن يتعرف على:

١. عناصر نظام الاتصالات الرقمي.
٢. حالات الإرسال المختلفة
٣. أنماط الإرسال المختلفة.
٤. طرق ترميز القناة.

مقدمة

تتناول هذه الوحدة التعرف على حالات الإرسال المستخدمة في أنظمة الاتصالات من حيث طبيعة المعلومات المراد إرسالها وطبيعة النظام المستخدم للإرسال، أنماط الإرسال المتتالي والمتوازي، المتزامن وغير المتزامن، التعرف على ترميز القناة من ناحية الأسباب الموجبة وأنواع الترميز المختلفة (أحادي، ثنائي القطبية، الراجع غير الراجع للصفر) مع توضيح إيجابيات وسلبيات كل نوع.

٧- ١ حالات الإرسال Transmission Modes

تتنوع الإشارات المستخدمة في أنظمة الاتصالات من حيث طبيعتها، فهنالك الإشارات التماثلية (مثل إشارات الصوت والصورة) والرقمية مثل بيانات الحاسب (نقل الملفات، والبريد الإلكتروني، والإنترنت، والشبكات المحلية LAN). تتنوع عملية إرسال الإشارات إلى الحالات التالية:

- **إشارات تماثلية ترسل في نظام تماثلي:**

حيث تقوم الإشارات التماثلية بتعديل السعة أوالتردد أو الطور لإشارة الحامل الجيبية (أنظمة التعديل AM, FM and PM) والتي درسناها في حقيبة أساسيات الاتصالات.

- **إشارات رقمية ترسل في نظام تماثلي:**

مثل جهاز المودم حيث يقوم بتحويل البيانات الرقمية إلى تماثلية لإرسالها عبر الخط التماثلي. بمعنى أوضح، تقوم البيانات الرقمية بتعديل السعة، التردد أو الطور لإشارة الحامل الجيبية (أنظمة التعديل ASK, FSK, PSK,...). يمكننا إرسال بت واحد للرمز (Symbol) للنظام الثنائي أو أكثر من بت للرمز للأنظمة ذات المستوى الأعلى (مثل ... ,QAM, QPSK) والتي سندرسها في الوحدة القادمة.

- **إشارات رقمية ترسل في نظام رقمي:**

حيث يلزم في هذه الحالة نظام ترميز (Encoding) مناسب لإرسال تلك البيانات (مثل الشبكات المحلية السلكية، DSL).

- **إشارات تماثلية ترسل في نظام رقمي:**

وذلك مثل الإشارات الصوتية أو المرئية والتي يتم تحويلها إلى رقمية "PCM" من أجل إرسالها عبر النظام الرقمي.

لقد بدأت عملية الإرسال الرقمي للمعلومات منذ العام "١٩٧٠م" حيث كان التركيز في البداية على إرسال البيانات الرقمية وذلك لكونها مناسبة للإرسال المباشر عبر النظام الرقمي تلاها بعد ذلك عملية إرسال الإشارات التماثلية (الصوتية أولاً وبعدها المرئية) عبر النظام الرقمي وذلك بعد تحويلها إلى إشارات رقمية.

إن أهم العوامل التي ساعدت على التطور السريع للاتصالات الرقمية هي:

١. الانتشار السريع جدًا لأجهزة الحاسب على اختلاف أنواعها.
٢. الخصائص الإيجابية المتعددة لأنظمة الاتصالات الرقمية والتي أوردناها في الوحدة الأولى.
٣. تحول أنظمة الاتصالات الهاتفية (الأكثر استخدامًا و انتشاراً) إلى النظام الرقمي.

عند عملية إرسال واستقبال البيانات يجب مراعاة الأمور التالية:

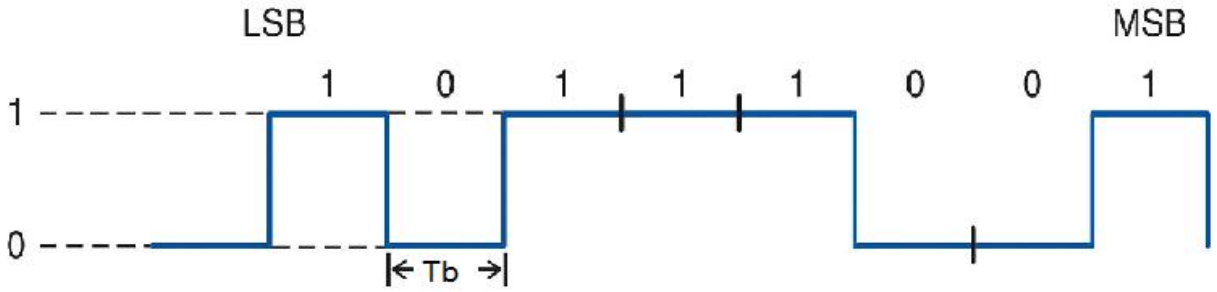
- يتطلب المستقبل التحديد الزمني للبت (بداية ونهاية البت بشكل دقيق).
- معرفة مستوى الإشارة (عالٍ أو متدنٍ مما يمكن من تحديد البت "1" أو "0").
- كلما ازداد معدل إرسال البيانات كلما زاد معدل خطأ البتات (BER).
- كلما ازدادت نسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) في النظام كلما نقص معدل خطأ البتات (BER).
- كلما ازداد عرض النطاق الترددي (Bandwidth) كلما ازداد معدل إرسال البيانات.
- نظام الترميز (Encoding) يقوم بتحويل البيانات (البتات) إلى عناصر الإشارة المعدة للإرسال (Signal Elements).

٧- ٢ أنماط الإرسال Transmission Modes

هنالك طريقتان لإرسال البيانات الثنائية في أنظمة الاتصالات، الإرسال المتتالي والمتوازي. هنالك طريقة واحدة لإرسال البيانات بشكل متوازٍ، وطريقتين للإرسال المتتالي؛ المتزامن وغير المتزامن.

- **الإرسال المتتالي** Serial Transmission:

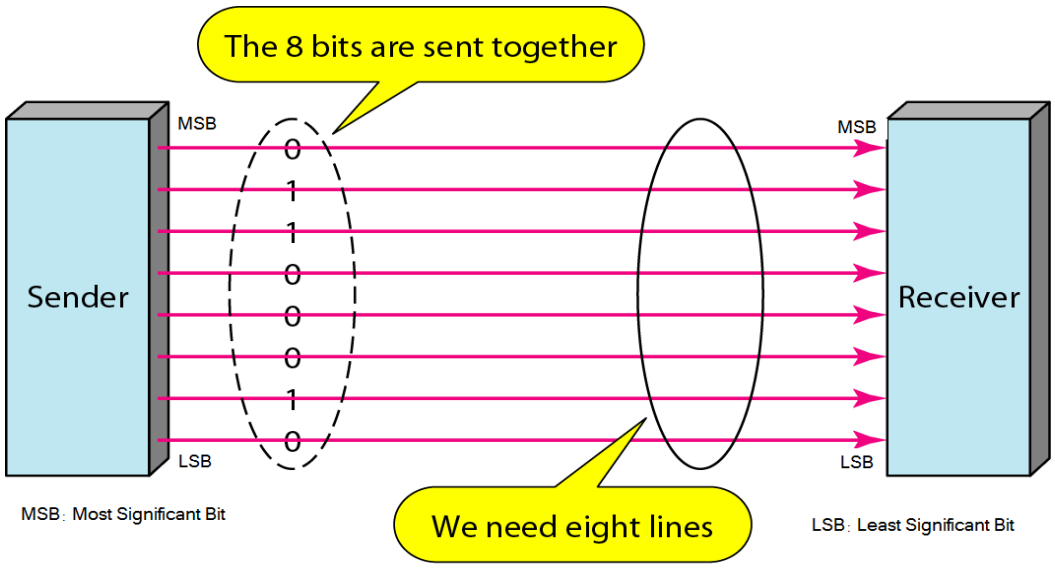
يتم إرسال البتات للكلمات الرقمية بشكل فردي ومتتالٍ وكل بت يشغل حيزًا زمنيًا محددًا (T_b)، حيث يتم إرسال البت ذي الخانة الأقل قيمة (Least Significant Bit, LSB) أولاً والبت ذو الخانة الأعلى قيمة (Most Significant Bit, MSB) آخراً، (الشكل ٧- ١). إن ما يميز الإرسال المتتالي للبيانات مقارنة مع الإرسال المتوازي هو السرعة وخاصة عند الإرسال لمسافات طويلة. إن هذا الأمر هو ما يفسر الانتقال من نظام الخط المتوازي لنقل البيانات إلى الخط المتتالي في أجهزة الحاسب، أنظمة التخزين وأجهزة الاتصالات ذات السرعات العالية جداً.



الشكل (٧- ١): الإرسال المتتالي للبتات

- **الإرسال المتوازي** Parallel Transmission:

يتميز الإرسال المتوازي بالسرعة، حيث يتم إرسال جميع بتات الكلمة الرقمية في نفس الوقت (الشكل ٧- ٢).

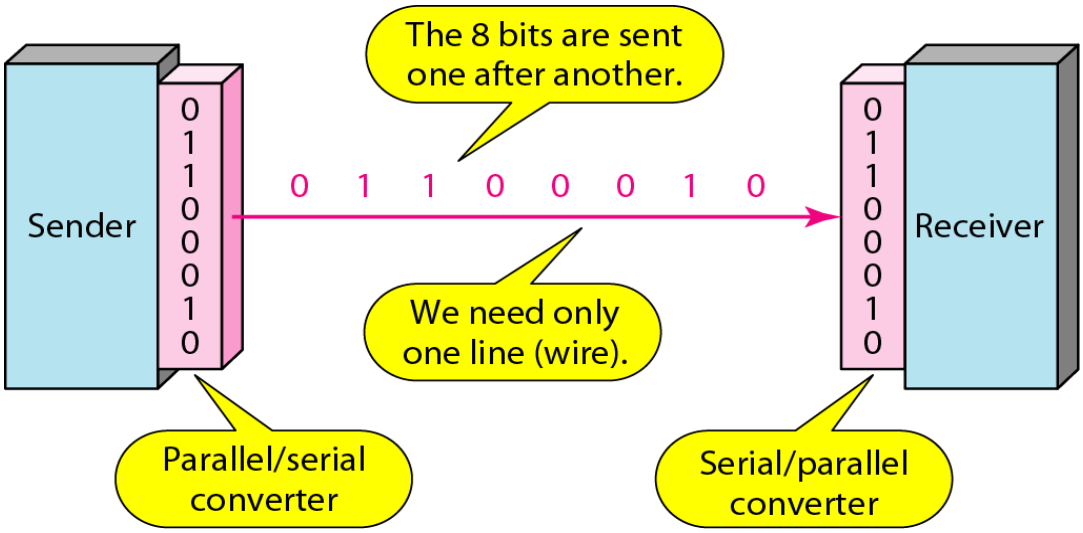


الشكل (٧- ٢): الإرسال المتوازي

إن هذا النوع من الإرسال لا يصلح لإرسال البيانات لمسافات طويلة للأسباب التالية:

- التكلفة العالية.
- التوهين (Attenuation) الذي تتعرض له الإشارة.

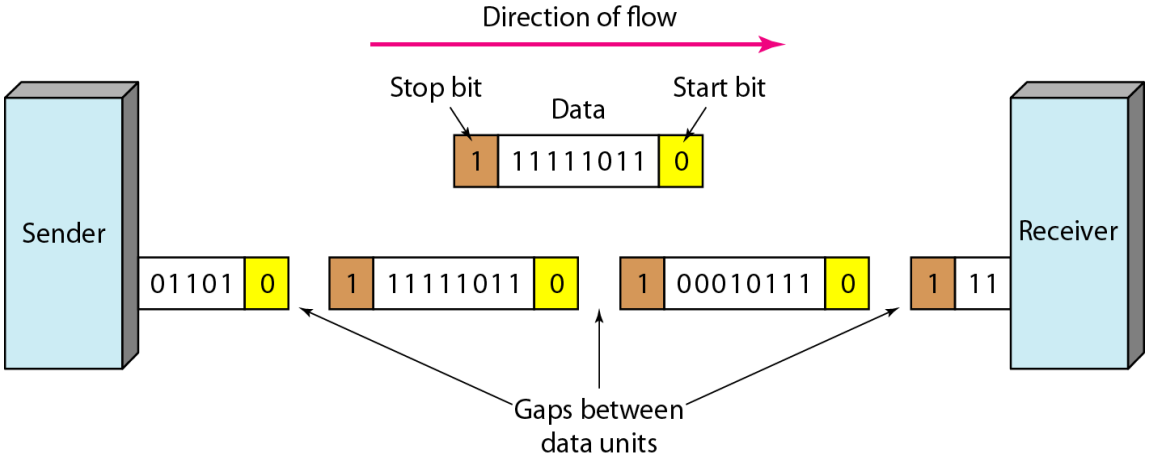
عادة ما يتواجد النوعان من الإرسال، المتتالي والموازي في الحاسب والأجهزة الإلكترونية الأخرى،مما يتطلب طرق وتقنيات التحويل من متتالٍ لمتوازٍ وبالعكس (الشكل ٧- ٣) حيث تستخدم الدوائر المنطقية المتعاقبة مثل مسجلات الإزاحة (Shift Registers) للقيام بذلك.



الشكل (٧- ٣): التحويل من متوازٍ لمتتالٍ وبالعكس

- **الإرسال غير المتزامن** Asynchronous Transmission

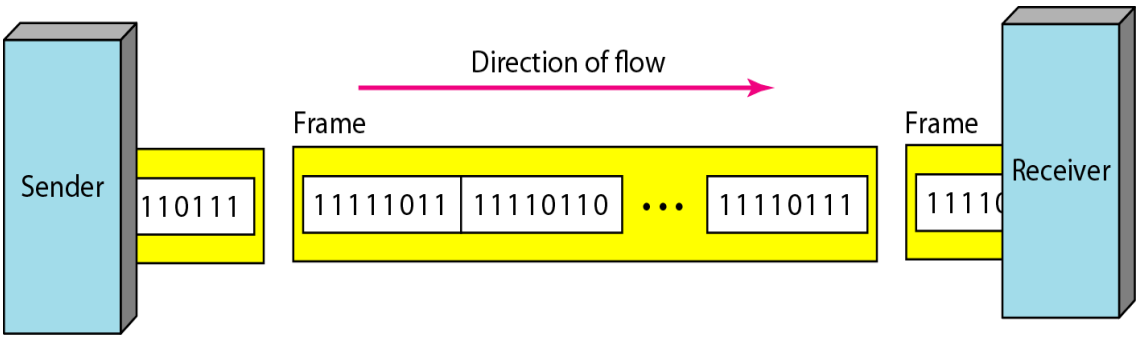
في هذا النوع من الإرسال (الشكل ٧- ٤)، نقوم بإرسال بت البداية (Start) وبت أو أكثر لتحديد النهاية (Stop)، وبالتالي من الممكن أن يكون فراغ (Gap) بين البايتات (Bytes). غير المتزامن هنا هو بالنسبة للبايتات وليس البتات (تبقى البتات متزامنة)، حيث لا يلزم وجود تردد التزامن والذي يعرف بإشارة المؤقت (Clock Signal).



الشكل (٧- ٤): الإرسال غير المتزامن

- **الإرسال المتزامن** Synchronous Transmission

في هذا النوع من الإرسال (الشكل ٧- ٥)، يتم إرسال البتات الواحد تلو الآخر دون الحاجة لتحديد بت البداية (Start) وبت النهاية (Stop) أو أي فراغات (Gaps). يقوم المستقبل بإعادة تجميع البتات المرسلة، حيث يلزم وجود تردد التزامن والذي يعرف بإشارة المؤقت (Clock Signal) والذي ينظم عمل المرسل والمستقبل بشكل متزامن.



الشكل (٧- ٥): الإرسال المتزامن

٧- ٣ ترميز القناة Channel Coding

إن المقصود بعملية ترميز الخط هو تحويل البيانات الرقمية (Digital Data) في مرحلة النطاق الترددي (Baseband) الأساسي إلى موجات رقمية (Digital Waveforms) مناسبة للإرسال عبر الخط (قناة الاتصال).

- **معطيات ترميز الخط** Line Coding Parameters

عند القيام بعملية ترميز الخط يجب مراعاة الأمور التالية:

- **الطيف الترددي** (Signal Spectrum):
  - عدم وجود المكونات عالية التردد يختصر من النطاق الترددي.
  - عدم وجود تردد الصفر (dc) يسمح بمرور الإشارة عبر المكثفات والمحولات مما يسمح بالتوصيل (Ac coupling) الذي يحسّن العزل الكهربائي ويقلل من تأثير التداخل.
  - أن يكون تركيز القدرة في منتصف النطاق الترددي.
- **التزامن** (Synchronization): وذلك لضمان تنسيق عمل المرسل والمستقبل على تردد يسمى تردد نبضات التزامن (Clock Frequency)، ولذلك يفضل أن يحتوي الطيف الترددي لترميز الخط على مكون ترددي بقيمة تردد نبضات التزامن مما يتيح إمكانية استخراج معلومات التزامن (Clock Extraction) من نوع ترميز الخط، مما يلغي الحاجة لإرسال هذا التردد بشكل منفصل.
- **تصحيح الأخطاء** (Error Correction): وهي إمكانية ترميز الخط في الكشف عن الأخطاء وتصحيحها جزئيًا أو كلياً.
- **المناعة ضد الضوضاء والتداخل بين الإشارات**

(Signal Interference and Noise Immunity)

يجب أن يتمتع نوع ترميز الخط بتحمل تأثير الضوضاء والتداخل أثناء عملية الإرسال مما يقلل احتمالية حصول الأخطاء.

- **الشفافية** (Transparency): يجب أن يكون أداء ترميز الخط عديم التأثر بنوع البيانات المرسلة (مثل تسلسل متواصل من "1" أو " 0 ").
- **البساطة والتكلفة** (Cost and Complexity): يجب أن يكون نوع ترميز الخط بسيط التنفيذ وقليل التكلفة.

بناء على ما سبق تبرز الحاجة لترميز الخط للأسباب التالية:

- إمكانية الحصول على تردد المؤقت (Clock Recovery) دون الحاجة لإرساله منفصلاً.
- إلغاء تردد الصفر (dc).
- إمكانية اكتشاف وتصحيح الأخطاء.
- الاستخدام الأمثل للنطاق الترددي.

- **أنواع ترميز الخط** Line Code Types

هنالك تقسيمات مختلفة لأنواع ترميز الخط وذلك وفقًا للمعايير التالية:

أولاً: حسب المدة الزمنية للنبضة (Pulse Duration)، حيث تنقسم إلى:

- غير الراجع للصفر (Non return-to-zero) وتعرف اختصارًا "NRZ"، حيث يكون عرض الرمز أو النبضة (τ) مساويًا لمدة البت الواحد "T_b"
- الراجع للصفر "Return-to-zero" وتعرف اختصارًا "RZ"، حيث يكون عرض الرمز أو النبضة (τ) أصغر من مدة البت الواحد (T_b). عادة ما يكون "$\tau = 0.5\ T_b$"

ثانياً: حسب مستوى جهد النبضة (Pulse Voltage Level)، حيث تنقسم إلى:

- أحادي القطبية (Unipolar)،حيث يمثل الثنائي "1" بجهد موجب (+ A Volts) والثنائي "0" بجهد صفر القيمة. هنالك نوعان "NRZ و RZ".
- القطبي (polar)، حيث يمثل الثنائي "1" بجهد موجب (+ A Volts) والثنائي "0" بجهد سالب (A Volts -). هنالك نوعان NRZ و RZ.
- ثنائي القطبية (Dipolar)، حيث يمثل الثنائي "1" بنصف نبضة موجب يتبعه نصف سالب والثنائي "0" بنصف نبضة سالب يتبعه نصف موجب. إن الهدف من هذا النوع هو إلغاء "dc" من الترميز. أشهر ترميز من هذا النوع هو ترميز مانشستر (Manchester Code).
- ثنائي القطبية (Bipolar)، حيث يمثل الثنائي "1" بتتابع جهد موجب (+ A Volts) وجهد سالب والثنائي "0" بجهد صفر. عادة ما يسمى هذا الترميز (Alternate Mark Inversion) ويرمز له اختصارًا "AMI".

الترميز أحادي القطبية Unipolar Coding:

هنالك نوعان من الترميز أحادي القطبية؛ غير الراجع للصفر و الراجع للصفر.

الترميز غير الراجع للصفر (NRZ):

الإيجابيات:

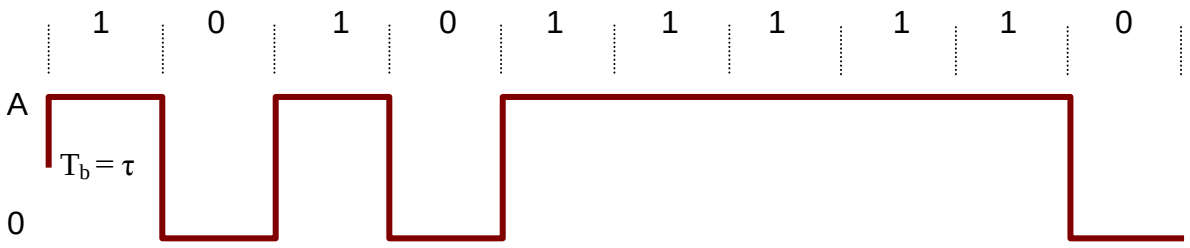
- البساطة في التنفيذ.
- عدم الحاجة لنطاق ترددي عريض.

السلبيات:

- وجود "dc".
- وجود مكونات منخفضة التردد مما يصعب من عملية التوصيل (Ac coupling).

- عدم وجود إمكانية تصحيح الأخطاء.
- عدم احتوائه على تردد المؤقت لإجراء عملية التزامن.

يظهر الشكل (٧- ٦) الترميز أحادي القطبية غير الراجع للصفر.



الشكل (٧- ٦): الترميز أحادي القطبية، غير الراجع للصفر "NRZ"

الترميز الراجع للصفر (RZ):

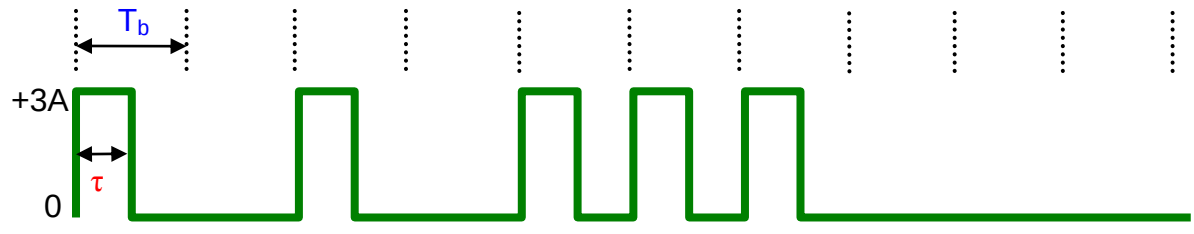
الإيجابيات:

- البساطة في التنفيذ.
- وجود تردد مساوٍ لقيمة المؤقت مما يساعد في عملية التزامن.

السلبيات:

- وجود "dc".
- وجود مكونات منخفضة التردد مما يصعب من عملية التوصيل (Ac coupling).
- عدم وجود إمكانية تصحيح الأخطاء.
- الحاجة إلى ضعف قيمة النطاق الترددي (Bandwidth) مقارنة مع الترميز غير الراجع للصفر.

يظهر الشكل (٧- ٧) الترميز أحادي القطبية، الراجع للصفر.

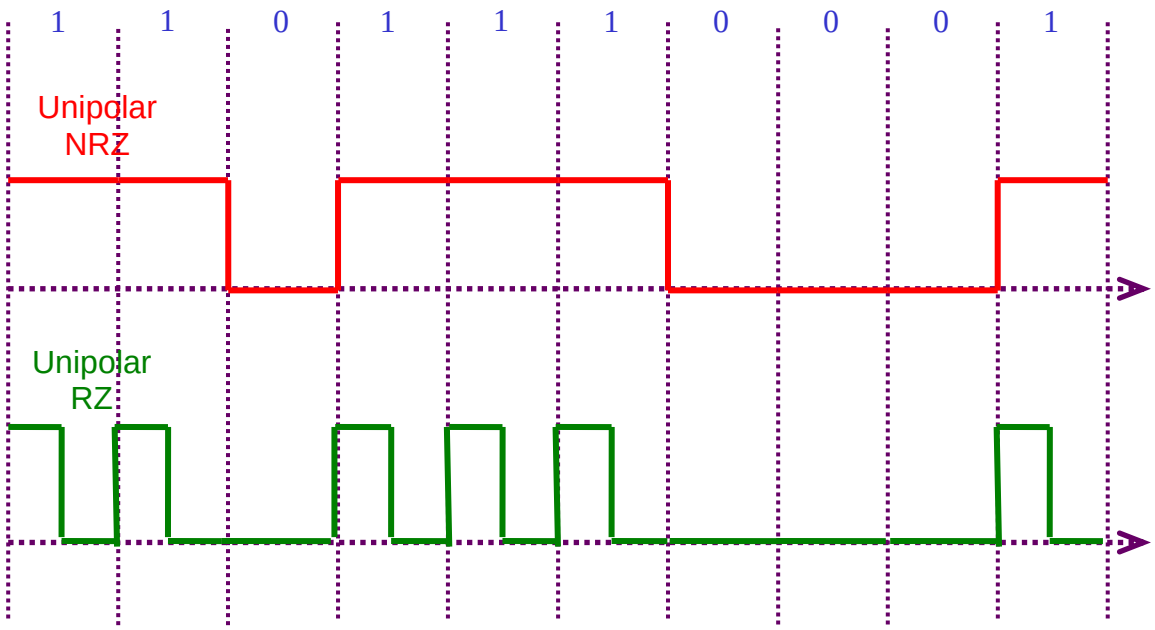


الشكل (٧- ٧): الترميز أحادي القطبية، الراجع للصفر "RZ"

مثال ٧- ١:- قم بترميز البيانات الثنائية التالية باستخدام "NRZ" و "RZ".

1 1 0 1 1 1 0 0 0 1

الحل



الشكل (٧- ٨): حل مثال (٧- ١)

الترميز القطبي Polar Coding:

الترميز غير الراجع للصفر "NRZ":

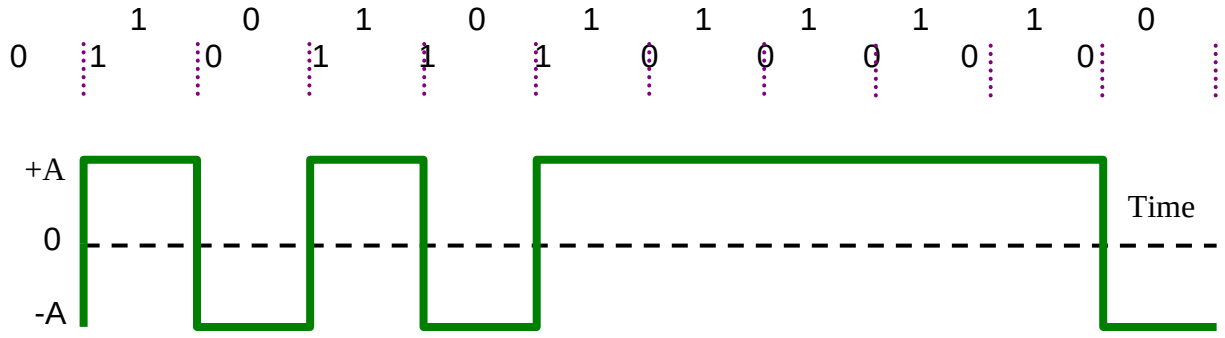
الإيجابيات:

- البساطة في التنفيذ.
- عدم وجود "dc".

السلبيات:

- وجود مكونات منخفضة التردد مما يصعب من عملية التوصيل (Ac coupling).
- عدم وجود إمكانية تصحيح الأخطاء.
- عدم احتوائه على تردد المؤقت لإجراء عملية التزامن.
- الحاجة إلى ضعف قيمة النطاق الترددي (Bandwidth).

يظهر الشكل (٧- ٩) الترميز القطبي، غير الراجع للصفر



الشكل (٧- ٩): الترميز القطبي، غير الراجع للصفر

الترميز الراجع للصفر "RZ":

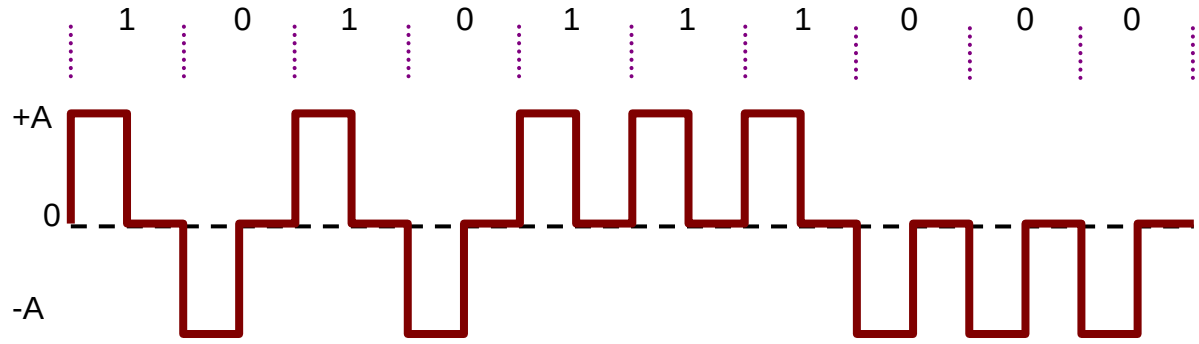
الإيجابيات:

- البساطة في التنفيذ.
- عدم وجود "dc".

السلبيات:

- عدم احتوائه على تردد المؤقت لإجراء عملية التزامن.
- وجود مكونات منخفضة التردد مما يصعب من عملية التوصيل (Ac coupling).
- عدم وجود إمكانية تصحيح الأخطاء.
- الحاجة إلى ضعف قيمة النطاق الترددي (Bandwidth) مقارنة مع الترميز غير الراجع للصفر.

يظهر الشكل (٧- ١٠) الترميز القطبي، الراجع للصفر.



الشكل (٧- ١٠): الترميز القطبي، الراجع للصفر

الترميز ثنائي القطبية Bipolar:

هنالك نوعان من هذا الترميز، الراجع وغير الراجع للصفر، وفي الحالتين يتم ترميز الثنائي " 1 " مرة بجهد موجب ومرة بجهد سالب وبشكل متناوب، أما الثنائي " 0 " فيتم ترميزه بجهد يساوي الصفر.

الترميز غير الراجع للصفر "NRZ":

الإيجابيات:

- يتطلب نطاق ترددي أقل من الأنواع السابقة.
- عدم وجود"dc" ، مناسب للاستخدام في حالات الخطوط التي تتطلب توصيل (Ac Coupling).
- إمكانية الكشف عن الأخطاء (خطأ واحد).

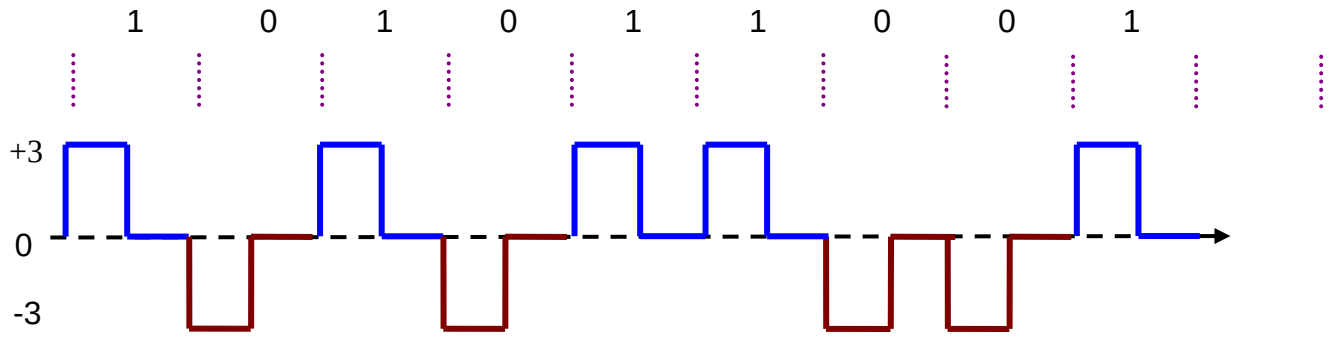
السلبيات:

- عدم احتوائه على تردد المؤقت لإجراء عملية التزامن.
- عدم الشفافية (إشكالية في حالة الثنائي " 0 " المتكرر).

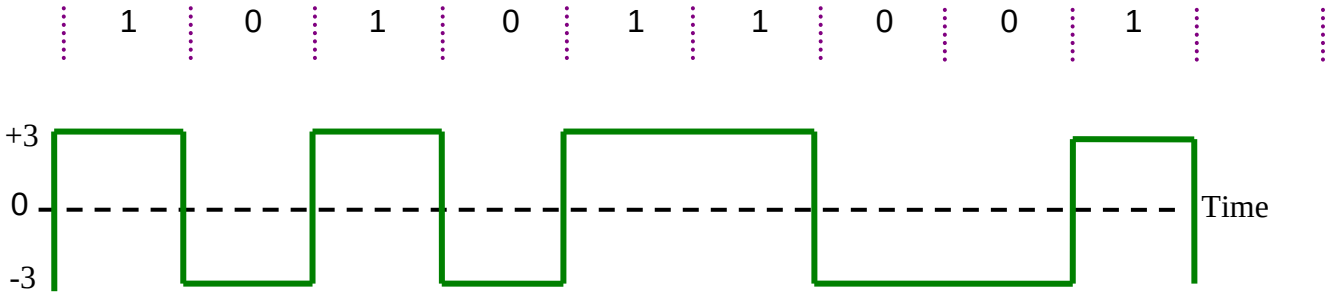
مثال ٧- ٢:- قم بترميز البيانات الثنائية التالية باستخدام الترميز القطبي "NRZ" و "RZ" علمًا بأن سعة النبضة ±3V.

1 0 1 0 1 1 0 0 1 0

الحل

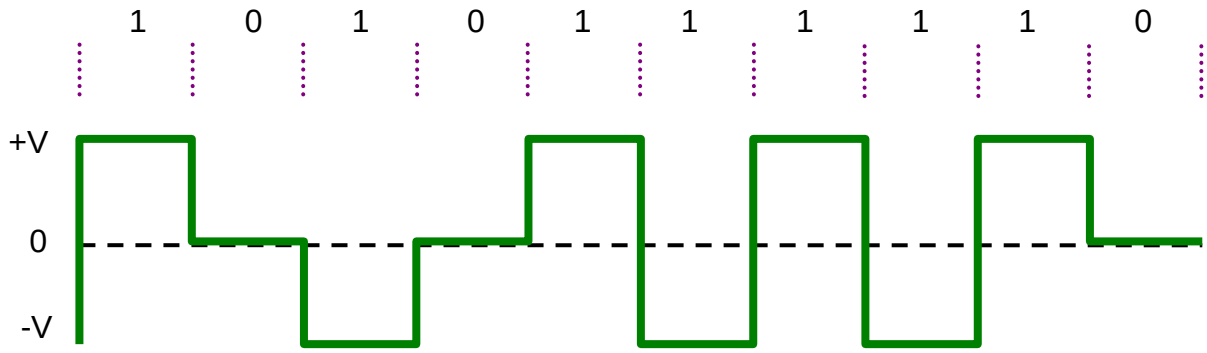


الشكل (٧- ١١أ) الترميز القطبي الراجع الراجع للصفر "RZ"



الشكل (٧- ١١ب) الترميز القطبي غير الراجع للصفر "NRZ"

يظهر الشكل (٧- ١٢) الترميز ثنائي القطبية، غير الراجع للصفر.



الشكل (٧- ١٢): الترميز ثنائي القطبية، غير الراجع للصفر

الترميز الراجع للصفر (RZ)

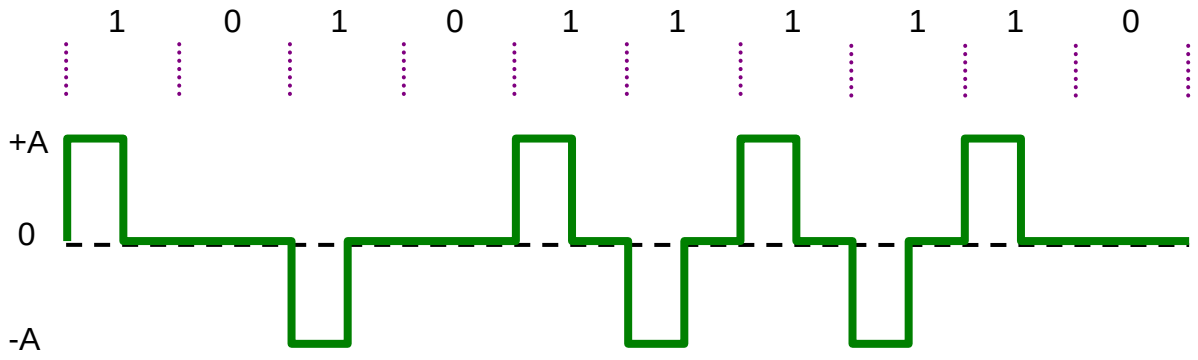
الايجابيات:

- يتطلب نطاق ترددي أقل من الأنواع السابقة.
- عدم وجود dc.
- إمكانية الكشف عن الأخطاء (خطأ واحد).
- مناسب للاستخدام في حالات الخطوط التي تتطلب توصيل (Ac Coupling).
- إمكانية استخراج تردد المؤقت عن طريق إدخال نسخة من الإشارة المستقبلة على موحد الموجة.

السلبيات:

عدم الشفافية (إشكالية في حالة الثنائي " 0 " المتكرر).

يظهر الشكل (٧- ١٣) الترميز ثنائي القطبية، الراجع للصفر.



الشكل (٧- ١٣): الترميز ثنائي القطبية، الراجع للصفر

ترميز مانشستر Manchester Coding:

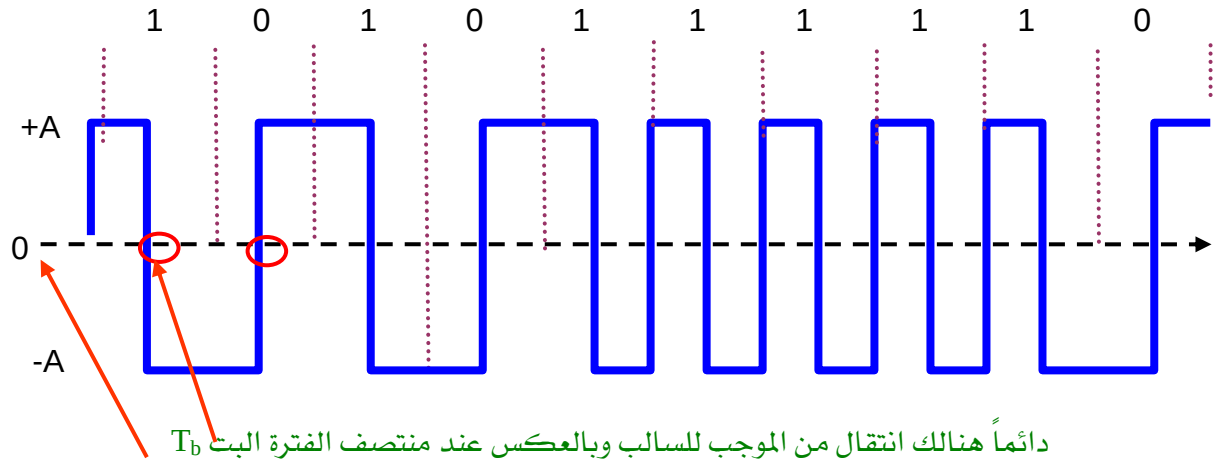
كما أشرنا سابقاً، يتم تمثيل الثنائي "1" بنصف نبضة موجب يتبعه نصف سالب والثنائي "0" بنصف نبضة سالب يتبعه نصف موجب (الشكل ٧- ١٤).

الايجابيات:

- عدم وجود dc.
- مناسب للاستخدام في حالات الخطوط التي تتطلب توصيل (Ac Coupling).
- إمكانية استخراج تردد المؤقت لإجراء التزامن.

السلبيات:

- عدم إمكانية الكشف عن الأخطاء.
- الحاجة إلى نطاق ترددي أعرض.

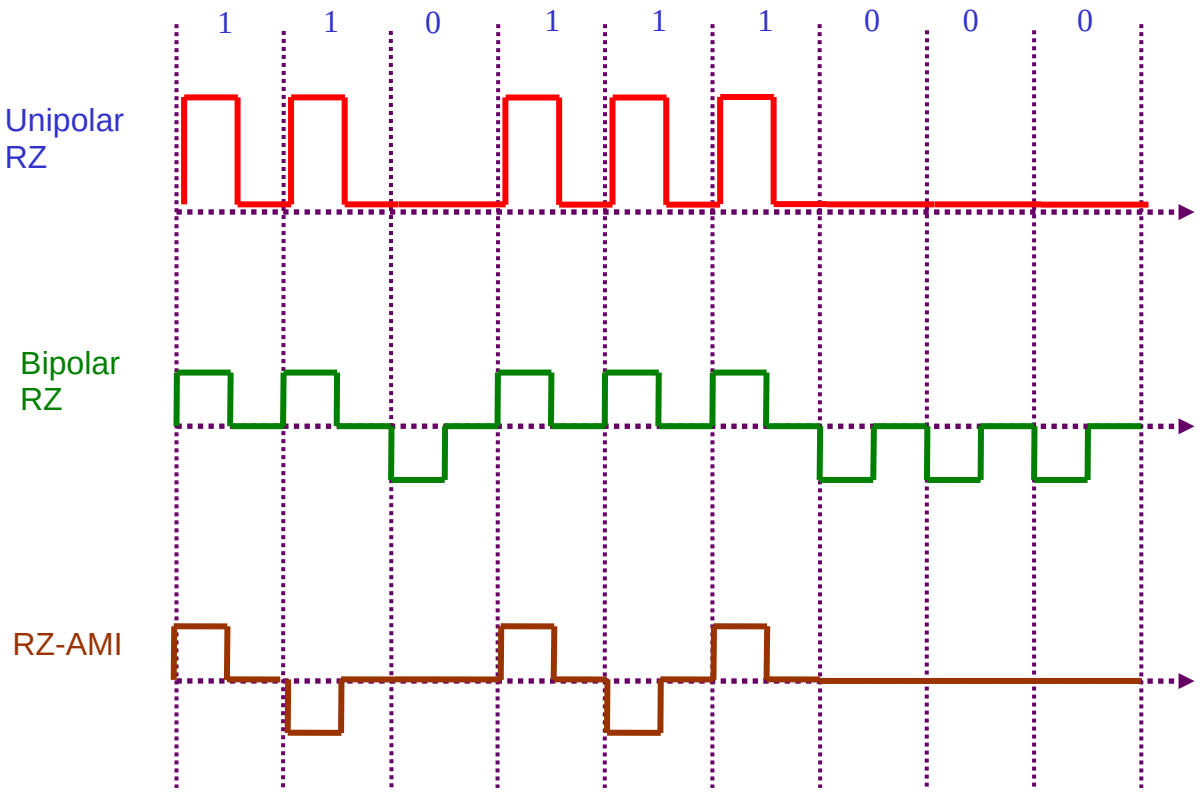


الشكل (٧- ١٤): ترميز مانشستر

مثال ٧- ٣ :- قم بترميز البيانات الثنائية التالية باستخدام الترميز القطبي NRZ و RZ علمًا بأن سعة النبضة ±3V.

1 1 0 1 1 1 0 0 0 1

الحل



الشكل (٧- ١٥): مثال (٧- ٣)

تدريبات على الوحدة السابعة

(٧- ١) قدم أمثلة على إشارات رقمية ترسل في نظام تماثلي؟

(٧- ٢) قدم أمثلة على إشارات رقمية ترسل في نظام رقمي؟

(٧- ٣) ما المكونات الأساسية لنظام الإرسال الرقمي للإشارات التماثلية؟

(٧- ٤) ما أهم العوامل التي ساعدت على التطور السريع للاتصالات الرقمية؟

(٧- ٥) ما العوامل التي يجب مراعاتها عند عملية إرسال واستقبال البيانات؟

(٧- ٦) ما الفرق بين الإرسال المتتالي والمتوازي؟

(٧- ٧) قارن بين الإرسال المتتالي والمتوازي من ناحية السرعة، والتكلفة والتوهين؟

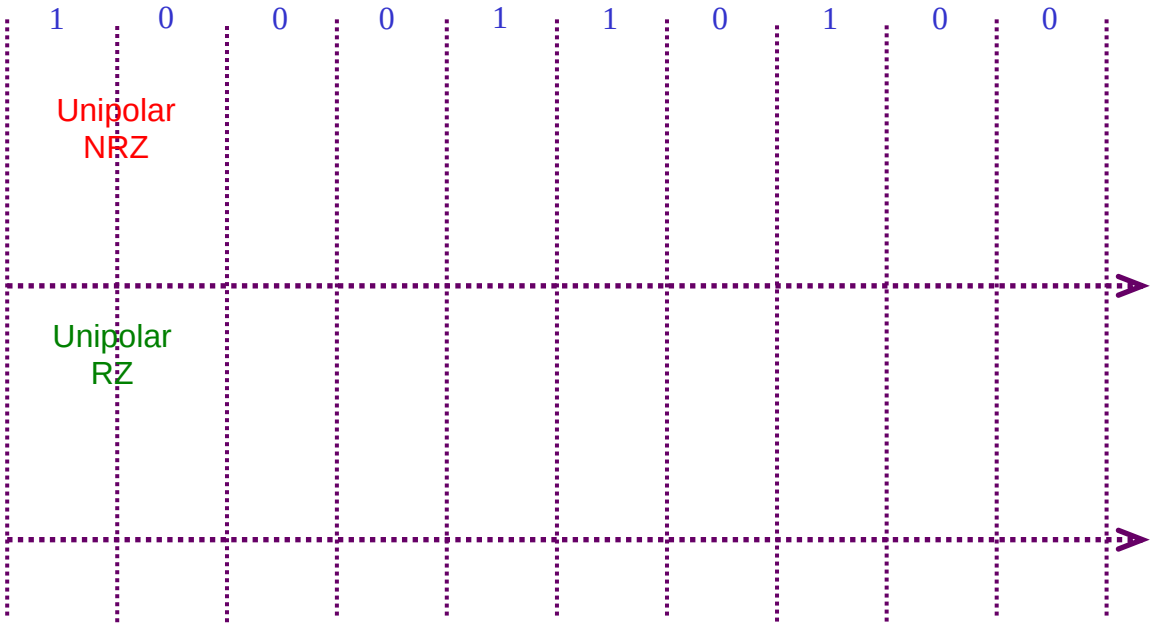
(٧- ٨) وضح المقصود بالإرسال المتزامن و غير المتزامن؟

(٧- ٩) ما المقصود بترميز الخط؟

(٧- ١٠) ما الأمور التي يجب مراعاتها عند تصميم الأنواع المختلفة لترميز الخط من ناحية الطيف الترددي؟

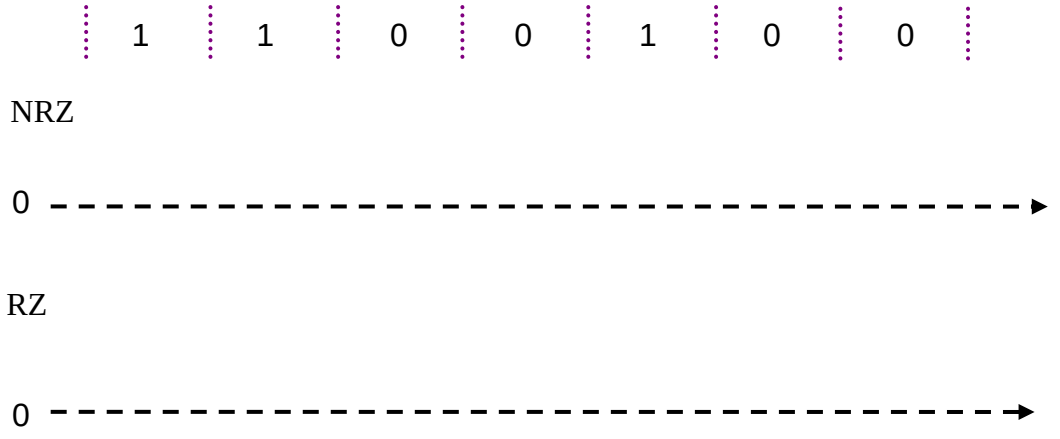
(٧- ١١) ما مبررات الحاجة لترميز الخط؟

(٧- ١٢) قم بترميز البيانات الثنائية التالية باستخدام NRZ و RZ.



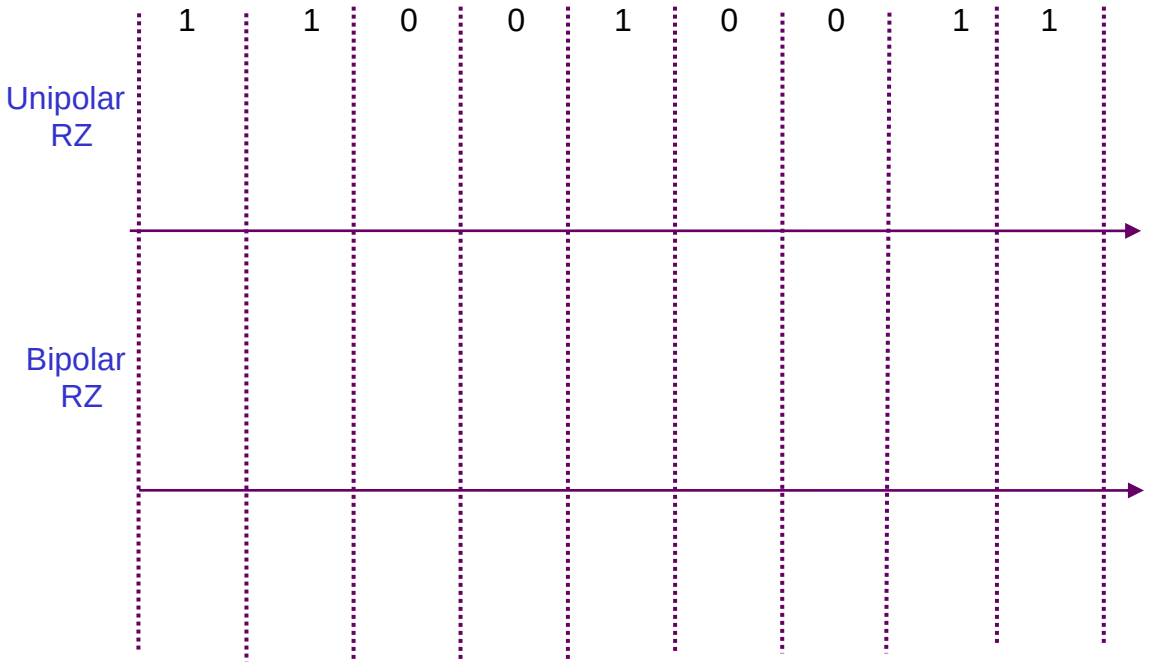
الشكل (٧- ١٦)

(٧- ١٣) قم بترميز البيانات الثنائية التالية باستخدام الترميز القطبي NRZ و RZ علمًا بأن سعة النبضة ±5V.



الشكل (٧- ١٧)

(٧- ١٤) قم بترميز البيانات الثنائية التالية باستخدام الترميز القطبي NRZ و RZ.



الشكل (٧- ١٨)

الوحدة الثامنة

التعديل الرقمي البيني

التعديل الرقمي في النطاق البيني

Bandpass Digital Modulation

الهدف العام:

التعرف على الأنواع الرئيسة للتعديل الرقمي، طرق توليدها في المرسل والكشف عنها في المستقبل.

الأهداف التفصيلية:

عندما تكتمل هذه الوحدة يكون المتدرب قادرًا على أن يتعرف على:

١. أنواع التعديل الرقمي.
٢. طرق توليد أنواع التعديل الرقمي.
٣. طرق الكشف عن أنواع التعديل الرقمي.
٤. إيجابيات وسلبيات أنواع التعديل الرقمي.
٥. تعديل إزاحة الطور متعددة المستويات.
٦. تعديل الإزاحة الدنيا الجاوسي.
٧. تعديل السعة التعامدي.
٨. طريقة حساب كمية المعلومات المرسلة.

مقدمة

تتناول هذه الوحدة التعرف على تقنيات التعديل الرقمي في النطاق البيني، مراجعة لموجة الحامل الجيبية، التعرف على أنواع التعديل الرقمي وكيفية توليد الإشارات في المرسل والكشف عنها في المستقبل، تعديل إزاحة السعة، تعديل إزاحة التردد، تعديل إزاحة الطور الثنائي والمتعدد المستويات، تعديل الإزاحة الدنيا الجاوسي، تعديل السعة التعامدي، التعرف على طريقة حساب كمية المعلومات المرسلة.

٨- ١ تقنيات التعديل الرقمي Digital Modulation Techniques

إن الهدف من استخدام التعديل الرقمي في المجال الترددي العلوي (Bandpass) هو للتمكن من نقل البيانات الرقمية عبر قنوات اتصال لا تسمح بنقلها مباشرة في المجال الترددي الأساسي (Baseband). هنالك عدد من النقاط يجب مراعاتها عند تطوير تقنيات التعديل الرقمي:

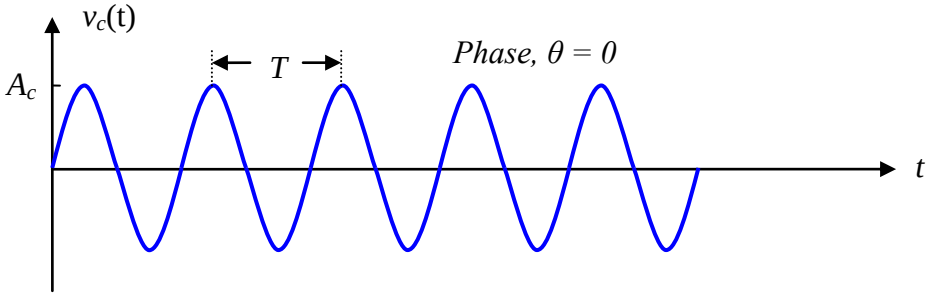
١. الحصول على أعلى سرعة إرسال للبيانات (Bit Rate).
٢. الاستخدام الأمثل لعرض النطاق الترددي، وذلك بإرسال أكبر عدد من البتات في الثانية للهيرتز الواحد (High Spectral Efficiency).
٣. الاستخدام الأمثل للقدرة المتاحة للحصول على الأداء المطلوب.
٤. قدرة الإشارة على تحمّل التأثيرات السلبية المختلفة.
٥. التكلفة.

سوف نتعرف في هذه الوحدة على الأنواع الرئيسة للتعديل الرقمي وهي:

- تعديل إزاحة السعة (Amplitude Shift Keying).
- تعديل إزاحة التردد (Frequency Shift Keying).
- تعديل إزاحة الطور (Phase Shift Keying).
  - تعديل إزاحة الطور الثنائي (Binary Phase Shift Keying)ز
  - تعديل إزاحة الطور التفاضلي (Differential Phase Shift Keying).
  - تعديل إزاحة الطور التعامدي (Quadrature Phase Shift Keyin).
  - تعديل إزاحة الطور متعددة المستويات (M-ary Phase Shift Keying).
- تعديل الإزاحة الدنيا الجاوسي (Gaussian Minimum Shift Keying).
- تعديل السعة التعامدي (Quadrature Amplitude Modulation).

في جميع أنواع التعديل سوف نستخدم موجة الحامل الجيبية (الشكل ٨- ١) بالصيغة التالية:

$$v_c(t) = A_c \sin(\omega_c t + \theta) = A_c \sin(2\pi f_c t + \theta) \quad (8.1)$$



الشكل (٨- ١): الصيغة العامة للموجة

حيث إن:

$V_c(t)$ ترمز إلى تغير فرق الجهد مع الزمن t.

A_c تعني سعة (Amplitude) الموجة الجيبية.

ω_c تعني التردد الزاوي (Angular Frequency) للموجة الجيبية.

f_c تعني تردد (Frequency) الموجة الجيبية بالهيرتز.

θ تعني طور (Phase) الموجة الجيبية وتقاس بالراديان.

تقوم إشارة المعلومات "m(t)" والتي تكون ذات طبيعة ثنائية (Ones or Zeros) بتعديل السعة أو التردد أو الطور لموجة الحامل مما يتيح الحصول على أنواع التعديل المختلفة. إن التعديل الناتج يكون ذا طبيعة متقطعة (Discrete) وليست مستمرة (Continuous) مع الزمن.

$$v_c(t) = A_c(t) \sin(2\pi f_c(t) t + \theta(t)) \quad (8.2)$$

سعة متغيرة — تردد متغير — طور متغير

حيث يحصل تغيير السعة أو التردد أو الطور وذلك حسب نوع التعديل.

عمليًا يفضل استخدام موجة الجيب (sin) بدلاً من جيب التمام (cos) لأنه عند قيمة الزمن تساوي الصفر تكون قيمة دالة الجيب تساوي الصفر مما يسهل الاستخدام وخاصة في حالات تعديل الطور.

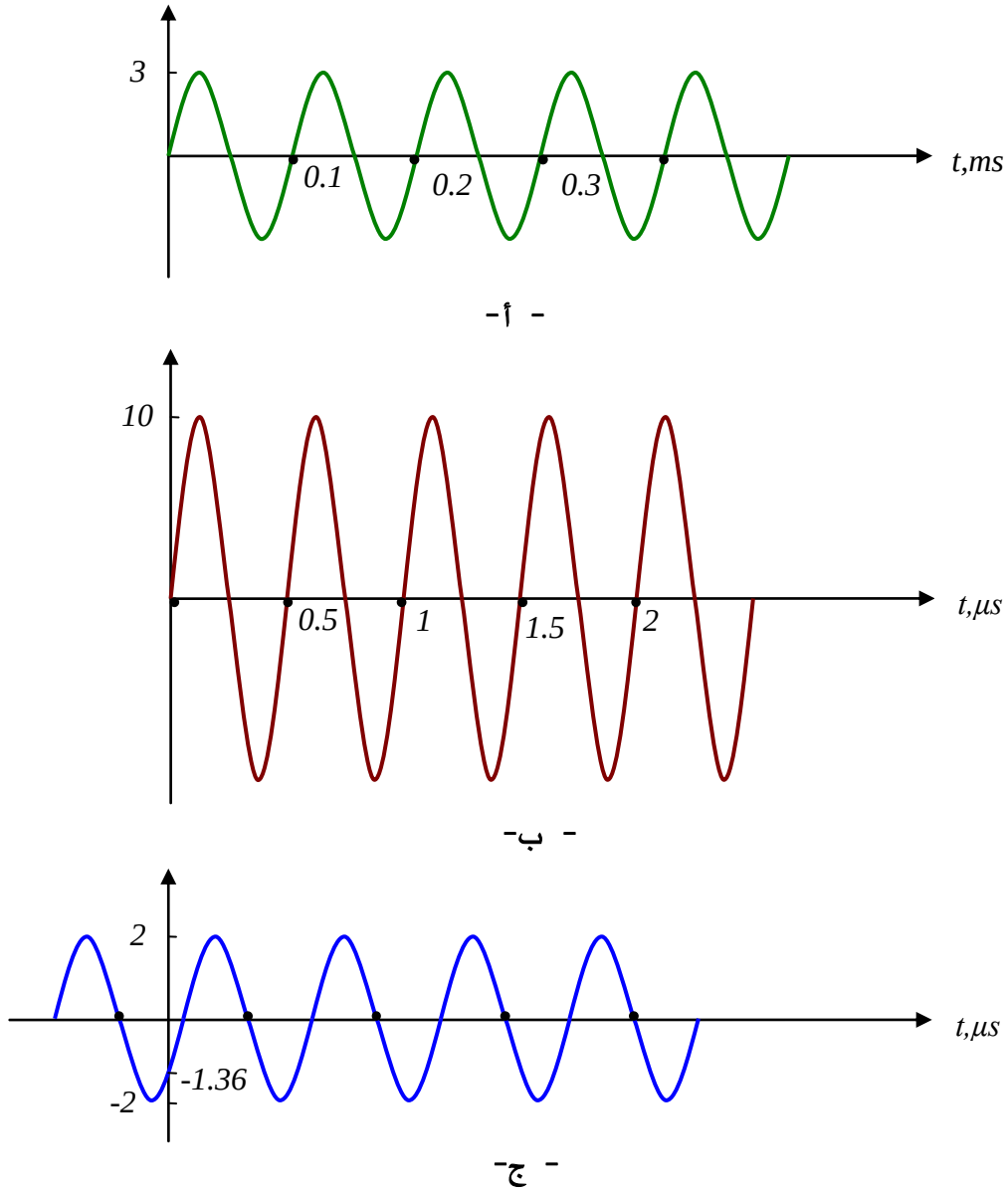
مثال ٨- ١: ارسم الإشارات الجيبية التالية:

أ. $3\sin(2\pi 10kt)$

ب. $10\sin(2\pi 2Mt + 0)$

ت. $2\sin(2\pi 10^5 t - 0.75)$

الحل

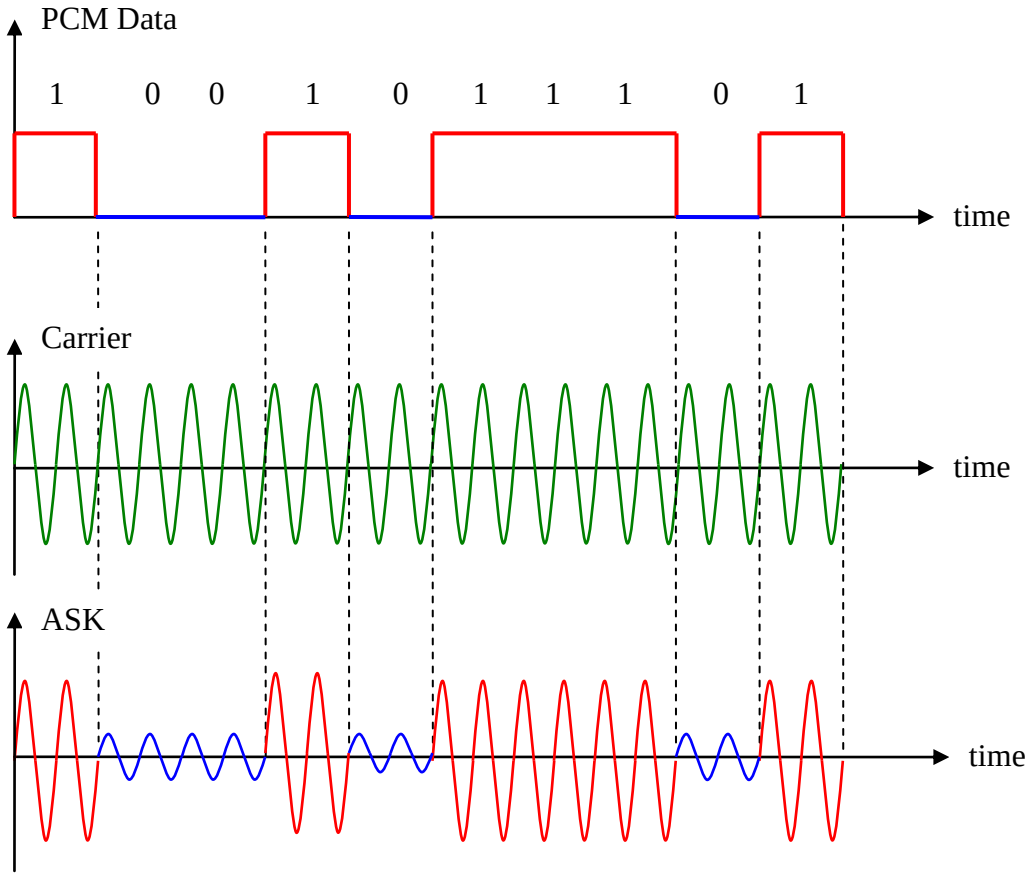


الشكل (٨- ٢): حل مثال (٨- ١)

٨- ٢ تعديل إزاحة السعة Amplitude Shift Keying "ASK"

يعتبر تعديل إزاحة السعة "ASK" أبسط أنواع التعديل الرقمي، حيث تظهر موجة الحامل بسعة معينة لفترات زمنية محددة وفقًا لإشارة البيانات الرقمية كالبيانات الناتجة من نظام تعديل ترميز النبضات "PCM". في حالة إرسال " 1 " تكون سعة الحامل ذات قيمة عالية، بينما في حالة إرسال " 0 " تكون سعة الحامل ذات قيمة متدنية. لتوضيح آلية الحصول على إشارة "ASK" انظر الشكل (٨- ٣).

هنالك حالة خاصة ، عندما تكون موجة الحامل موجودة في حالة إرسال " 1 "، بينما تكون صفرًا في حالة إرسال " 0 ". تسمى هذه الحالة (ON OFF Keying) ويرمز لها اختصارًا "OOK".

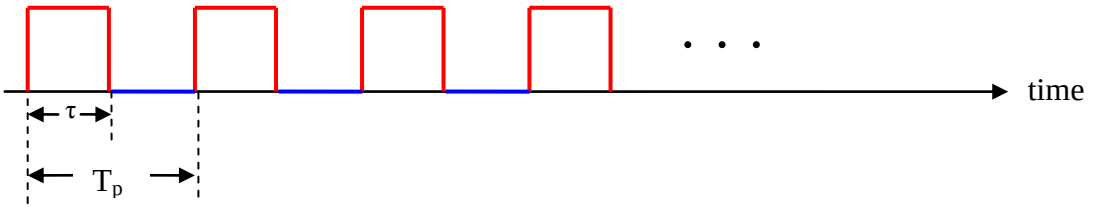


الشكل (٨- ٣): تكوين إشارة "ASK"

لحساب عرض النطاق الترددي "B_T" المطلوب لإرسال إشارة "ASK" نستخدم العلاقة التالية:

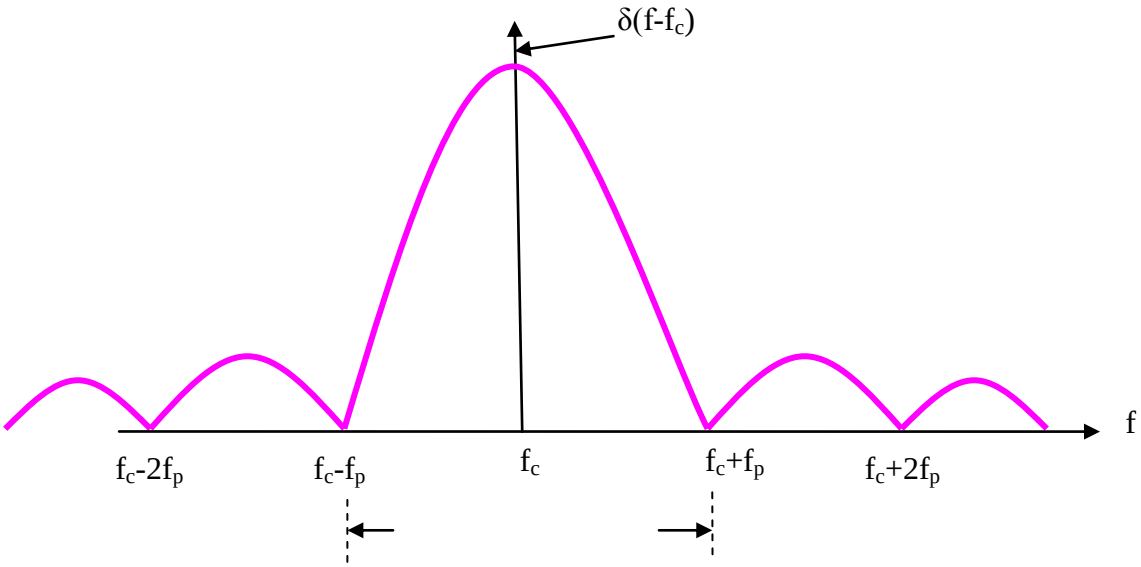
$$B_T = 2\, f_p \,, where \;\; f_p = \frac{1}{T_p} \qquad (8.3)$$

حيث يرمز "f_p" إلى تردد النبضات المربعة (الشكل ٨- ٤)، بينما ترمز "T_p" إلى الزمن الدوري للنبضات المربعة. أعلى قيمة تردد تكون عندما يأتي بشكل دوري بعد الواحد صفر وبعد الصفر واحد مما يتطلب أعلى قيمة عرض نطاق ترددي.



الشكل (٨- ٤): تسلسل النبضات الرقمية

كما أشرنا في الوحدة الثانية، فإن الطيف الترددي للنبضة المربعة يكون على شكل دالة (Sinc) كما هو موضح على الشكل (٨- ٥). يتضح من الشكل أن ما يقارب "95%" من قدرة الإشارة تتركز في الجزء الأوسط من الرسم بين الترددين "$-f_p$" و "f_p" ، ولذلك نكتفي بقيمة الترددات بين الترددين السابقين لتحديد عرض النطاق الترددي المطلوب لإرسال إشارة "ASK" والذي يتمركز حول تردد الحامل "f_c".



الشكل (٨- ٥): الطيف الترددي لإشارة "ASK"

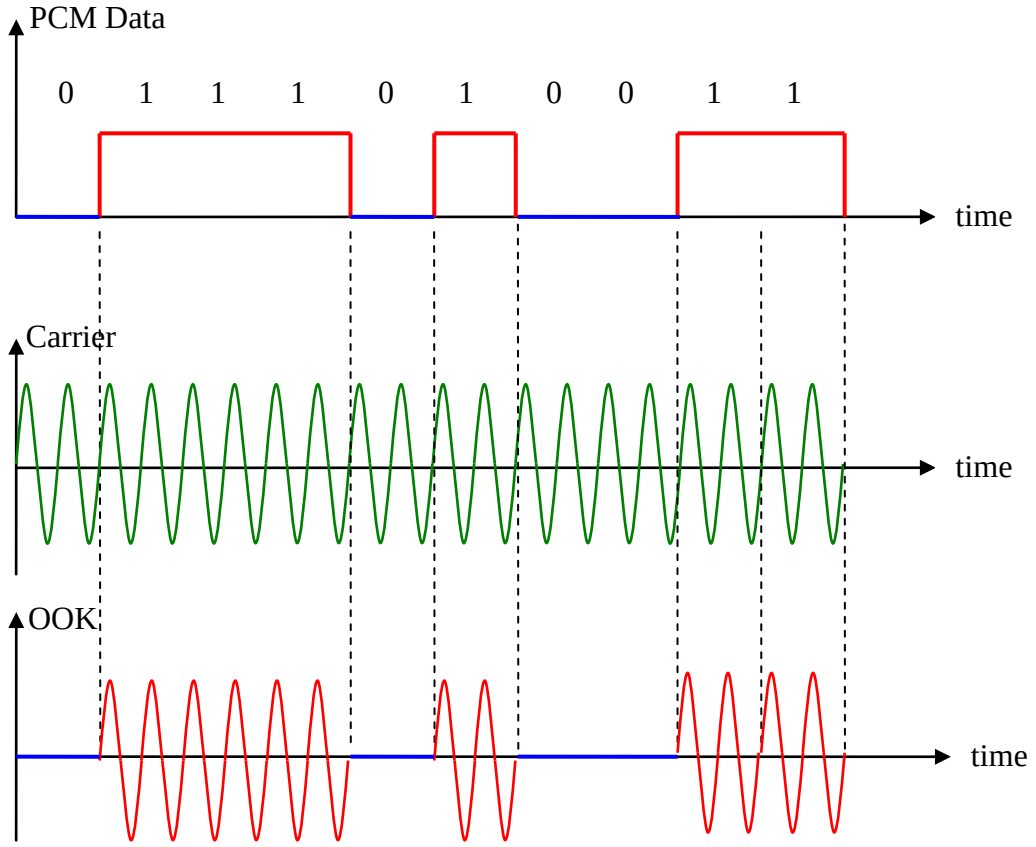
في حالة الشكل أعلاه، تكون سرعة إرسال البيانات (Data Rate) والتي سنرمز لها "R" تساوي:

$$R = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{T_p/2} = \frac{2}{T_p} = 2\,f_p \qquad (8.4)$$

تقاس "R" بعدد البتات في الثانية (Bits/second) ويرمز لها اختصارًا "b/s".

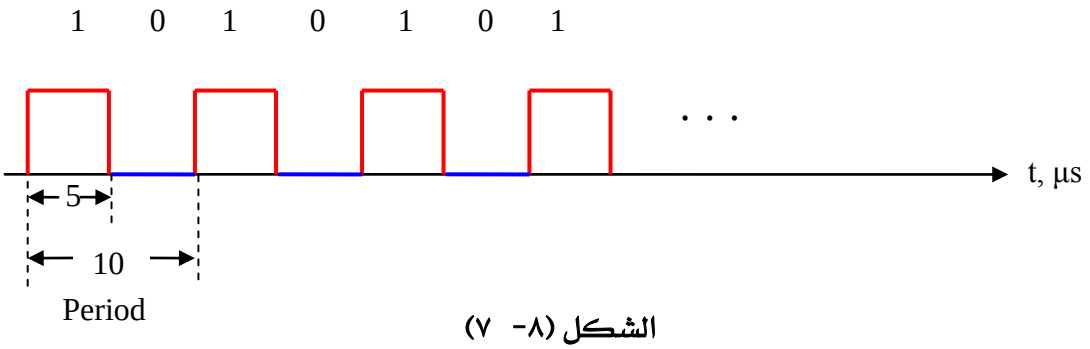
مثال ٨- ٢:- لديك إشارة ثنائية صادرة من نظام "PCM" على الشكل التالي (0111010011) ويراد إرسالها باستخدام نظام "OOK". ارسم شكل إشارة "OOK" الناتجة.

الحل



الشكل (٨- ٦): حل مثال (٨- ٢)

مثال ٨- ٣:- لديك إشارة ثنائية صادرة من نظام "PCM" على الشكل التالي:



الشكل (٨- ٧)

أوجد :

أ- سرعة إرسال البيانات "R".

ب- عرض النطاق الترددي المطلوب لإرسال هذه الإشارة باستخدام نظام "ASK".

ج- ارسم الطيف الترددي لإشارة "ASK" علمًا بأن تردد الحامل يساوي "900 kHz".

الحل

أ- بالرجوع للعلاقة (٨- ٤):

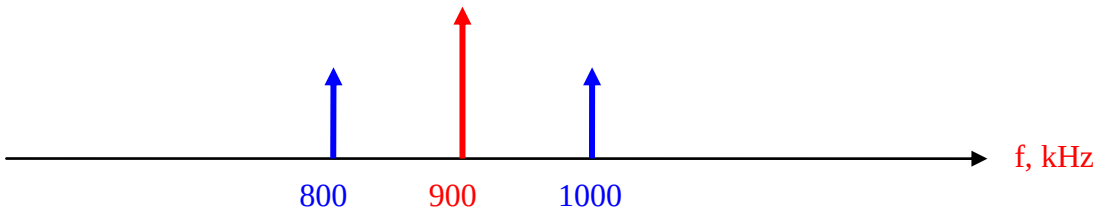
$$R = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{5\mu s} = 0.2\,Mb/s = 200\,kb/s$$

ب- بالرجوع للعلاقة (٨- ٣):

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

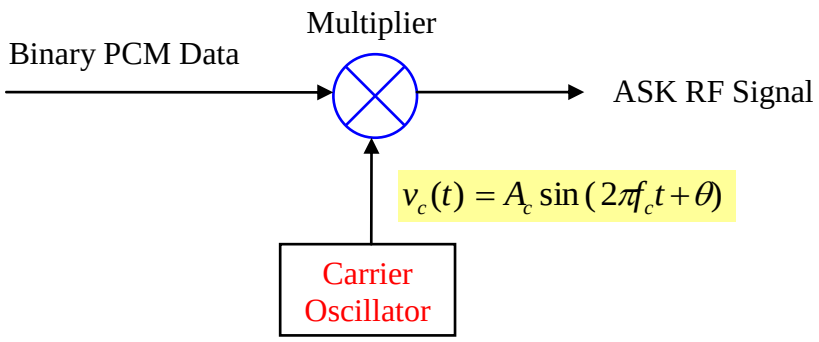
$$B_T = 2\,f_p = 2\times 100\,kHz = 200\,kHz$$

ج- بالرجوع للشكل (٨- ٥):



الشكل (٨- ٨): حل مثال (٨- ٣)

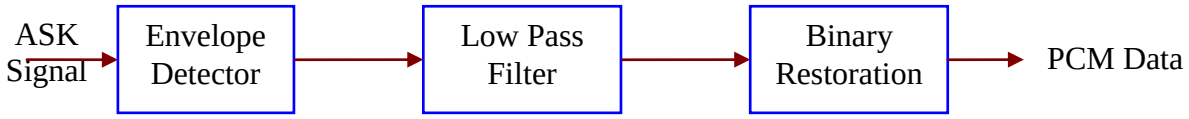
لتوليد إشارة "ASK" تستخدم الدائرة التالية، حيث يتم ضرب إشارة البيانات الثنائية (PCM مثلاً) مع إشارة الحامل بواسطة دائرة الضرب (Multiplier) أو الخلاط (Mixer).



الشكل (٨- ٩): دائرة توليد إشارة "ASK"

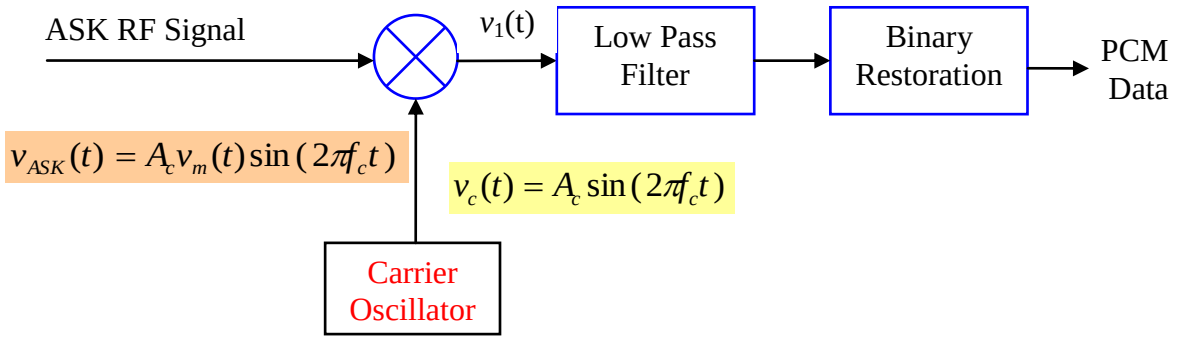
في الاستقبال، هنالك طريقتان للكشف عن إشارة "ASK" وإرجاع إشارة "PCM" الثنائية:

- طريقة الكشف غير المترابط (Noncoherent Detection)، حيث لا يلزم وجود ومعرفة تردد الحامل في المستقبل. كما هو موضح على الشكل (٨- ١٠)، تدخل الإشارة القادمة من الإرسال أولاً على كاشف الإطار (Envelope Detector)، لاسترجاع الشكل العام للإشارة الثنائية المرسلة بعدها يتم تحسينها عن طريق مرشح الترددات المنخفضة، وأخيرًا يتم توليد النبضات الأصلية عن طريق دائرة الاسترجاع الثنائية (Binary Restoration).



الشكل (٨- ١٠): الكشف غير المترابط لإشارة "ASK"

- طريقة الكشف المترابط (Coherent Detection)، حيث يلزم وجود ومعرفة تردد الحامل في المستقبل. كما هو موضح على الشكل (٨- ١١)، تدخل الإشارة القادمة من الإرسال أولاً على دائرة الضرب (Multiplier) بعدها يتم تحسينها عن طريق مرشح الترددات المنخفضة، وأخيرًا يتم توليد النبضات الأصلية عن طريق دائرة الاسترجاع الثنائية (Binary Restoration).



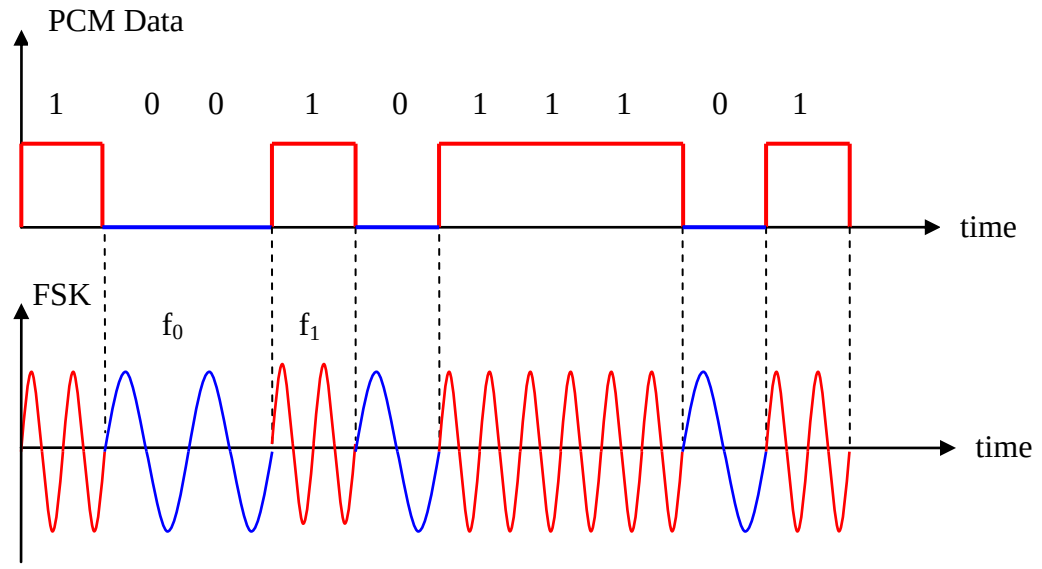
الشكل (٨- ١١): الكشف المترابط لإشارة "ASK"

لإيجاد الصيغة الرياضية للإشارة $v_1(t)$، يلزم معرفة العلاقة الرياضية التالية من الدوال المثلثية:

$$\sin^2 x = \frac{1}{2}\left[1 - \cos(2x)\right] \qquad (8\text{-}5)$$

٨- ٣ تعديل إزاحة التردد Frequency Shift Keying

في حالة تعديل إزاحة التردد "FSK" يتم استخدام ترددين للإرسال، الأول "f_1" عندما نرسل النبضة "1"، والتردد الثاني "f_0" عندما نرسل النبضة "0". حيث تظهر موجة الحامل لفترات زمنية محددة بتردد "f_1" ولفترات أخرى بتردد "f_0" وفقًا لإشارة البيانات الرقمية الناتجة من نظام التعديل الرقمي (PCM مثلاً). لتوضيح آلية الحصول على إشارة "FSK" انظر الشكل (٨- ١٢).



الشكل (٨- ١٢): تكوين إشارة "FSK"

من الصعب حساب عرض النطاق الترددي المطلوب "B_T" لإرسال إشارة "FSK" بشكل دقيق، لكننا وباستخدام قاعدة كارسون (Carson's Rule) يمكننا حساب عرض النطاق الترددي "B_T" المطلوب لإرسال إشارة "FSK" التي تم تعديلها بواسطة الإشارة الثنائية ذات ترد "f_p" باستخدام العلاقات التالية:

$$B_T = 2(\Delta f + f_m)$$
$$\Delta f = \frac{f_1 - f_0}{2}$$
$$f_m = f_p = 0.5R$$
$$B_T = f_1 - f_0 + R \qquad (8.6)$$

حيث ترمز "Δf" إلى الإزاحة الترددية، و "f_m" إلى تردد الإشارة المراد إرسالها (في هذه الحالة $f_m = f_p$) و "R" تمثل سرعة إرسال البيانات (في هذه الحالة $R = 2f_p$). يكون عرض النطاق الترددي متمركزًا حول قيمة التردد الوسيط (Center Frequency):

$$f_C = \frac{f_1 + f_0}{2} \qquad (8.7)$$

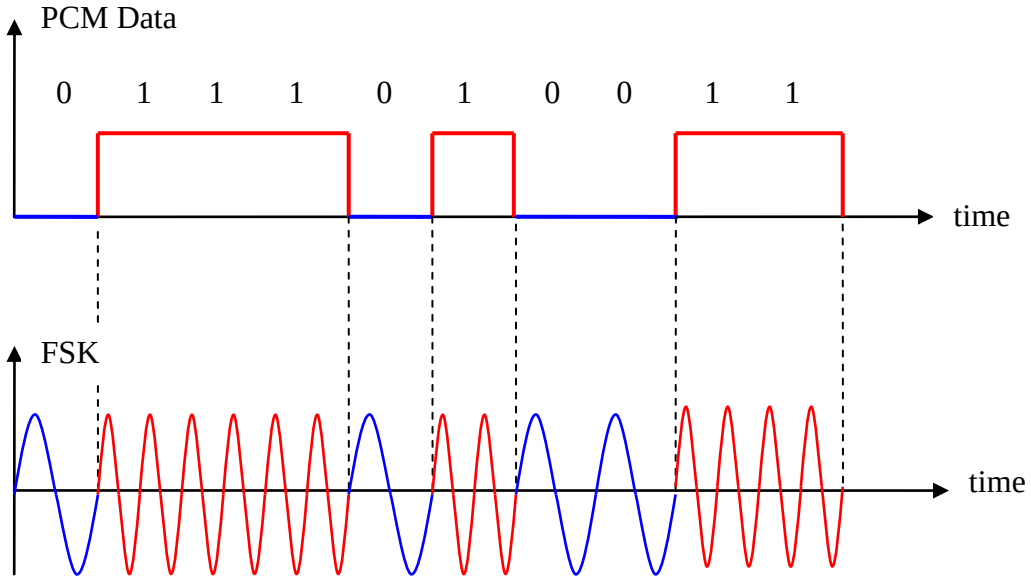
مثال ٨- ٤:- لديك إشارة ثنائية قادمة من نظام "PCM" على الشكل التالي (0111010011).

أ- ارسم شكل إشارة FSK الناتجة.

ب- أوجد عرض النطاق الترددي المطلوب علمًا بأن الترددات المستخدمة في النظام ($f_1 = 4$ MHz, $f_0 = 3$ MHz) وسرعة إرسال البيانات ($R = 400$ Kb/s).

الحل

أ-

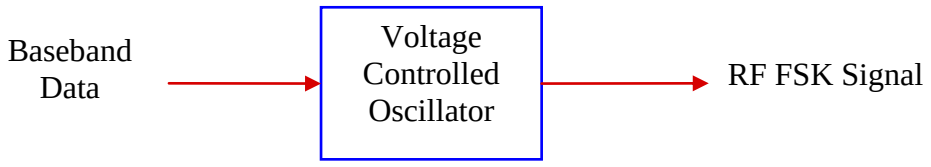


الشكل (٨- ١٣)

بالرجوع للعلاقة (٨- ٦):

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

لتوليد إشارة "FSK" تستخدم دائرة مذبذب يتم التحكم بتردده عن طريق الجهد"VCO"، انظر الشكل (٨- ١٤). عندما تكون الإشارة " 1 " تكون النبضة ذات جهد معين مما ينتج تردد معين "f_1"، وعندما تكون الإشارة " 0 " يكون الجهد صفرًا مما ينتج تردد آخر "f_0".

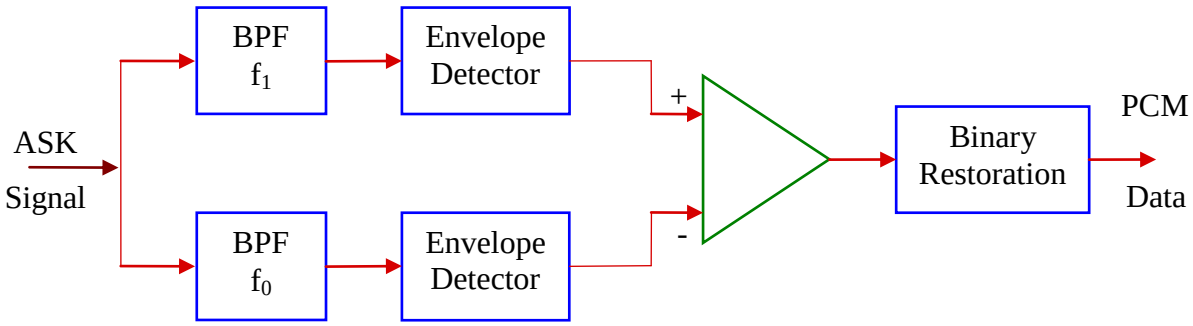


الشكل (٨- ١٤): دائرة توليد إشارة "FSK"

في الاستقبال، هنالك طريقتان للكشف عن إشارة "FSK" وإرجاع إشارة البيانات الثنائية

- **طريقة الكشف غير المترابط** Noncoherent Detection:

حيث لا يلزم وجود ومعرفة تردد الحامل في المستقبل. كما هو موضح على الشكل (٨-١٥)، تنقسم الإشارة القادمة من الإرسال إلى قسمين، عندما يكون التردد "f_1" يتم تمرير الإشارة خلال المرشح العلوي "BPF" فقط ومن ثم يتم الكشف عنها عبر كاشف الإطار وتدخل على مكبر العمليات (Op-Amp). عندما يكون التردد "f_0" يتم تمرير الإشارة خلال المرشح السفلي "BPF" فقط ومن ثم يتم الكشف عنها عبر كاشف الإطار وتدخل على مكبر العمليات (Op-Amp). أخيرًا يتم توليد النبضات الأصلية عن طريق دائرة الاسترجاع الثنائية (Binary Restoration).



الشكل (٨- ١٥): الكشف غير المترابط لإشارة "FSK"

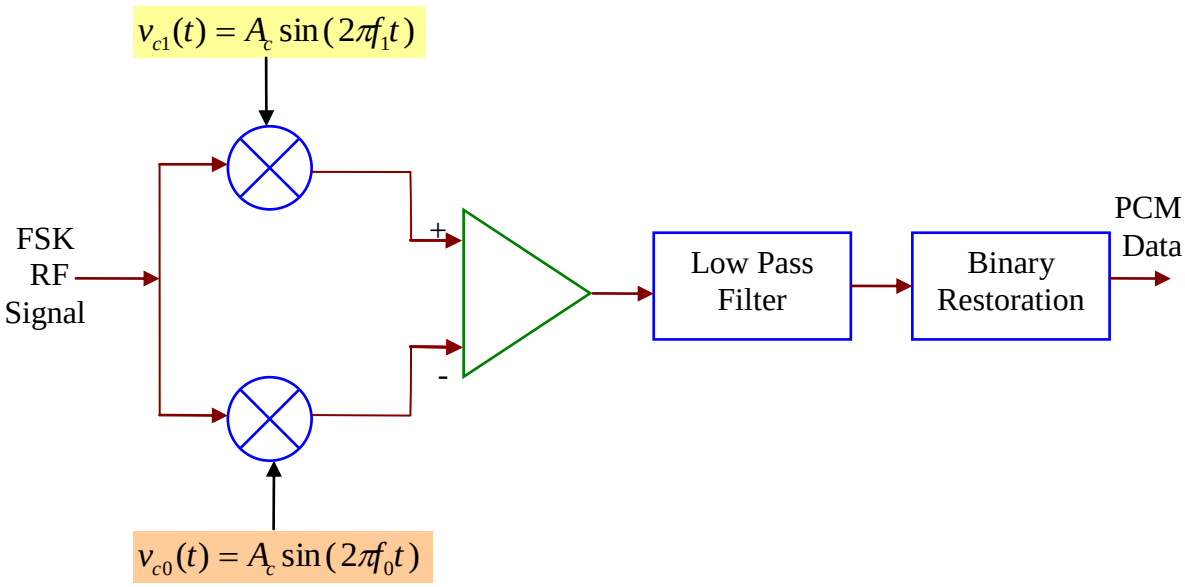
- **طريقة الكشف المترابط** Coherent Detection:

حيث يلزم وجود ومعرفة تردد الحامل في المستقبل. كما هو موضح على الشكل (٨- ١٦)، تدخل الإشارة القادمة من الإرسال (FSK Signal) أولاً على دائرتي الضرب (Multiplier)، كل منهما يدخل عليه أحد ترددي الحامل f_1 أو f_0 ويتم إدخال الإشارتين على المكبر الجامع (Op-amp) بعدها يتم إدخال الإشارة على مرشح الترددات المنخفضة،والذي يزيل جميع الترددات العالية، وأخيرًا يتم توليد النبضات الأصلية عن طريق دائرة الاسترجاع الثنائية (Binary Restoration).

٨- ٤ تعديل إزاحة الطور Phase Shift Keying

في هذا النوع من التعديل الرقمي تتغير قيمة الطور (Phase) بناء على قيم الإشارة الثنائية (" 1 " أو " 0 "). سوف نتناول نوعين من هذا التعديل:

- تعديل إزاحة الطور الثنائي "BPSK" Binary Phase Shift Keying
- تعديل إزاحة الطور التفاضلي "DPSK" Differential Phase Shift Keying



الشكل (٨- ١٦): الكشف المترابط لإشارة FSK

- **تعديل إزاحة الطور الثنائي** "BPSK" Binary Phase Shift Keying

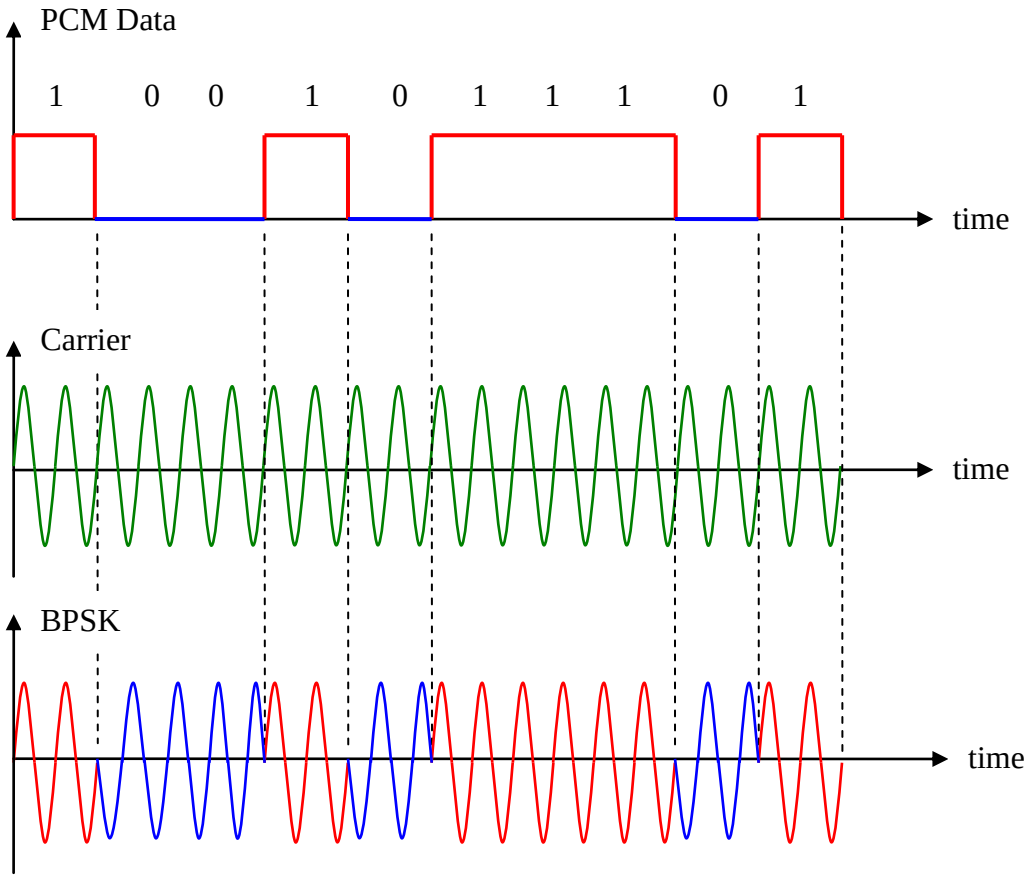
يعتبر هذا النوع أبسط أنواع تعديل الطور حيث تتغير قيمة الطور وتأخذ قيمتين (0^o و180^o). تتغير قيمة الطور بمقدار "180^o" في حالة تغيرت قيمة الإشارة من صفر لواحد أو العكس، بينما في حالة تكرار الإشارة تبقى قيمة الطور بدون تغيير "0^o". لمزيد من التوضيح، انظر الشكل (٨- ١٧).

عرض النطاق الترددي "B_T" المطلوب لإرسال إشارة "BPSK" مساوٍ لسرعة إرسال البيانات "R"، أي أنه نفس القيمة مثل حالة "ASK".

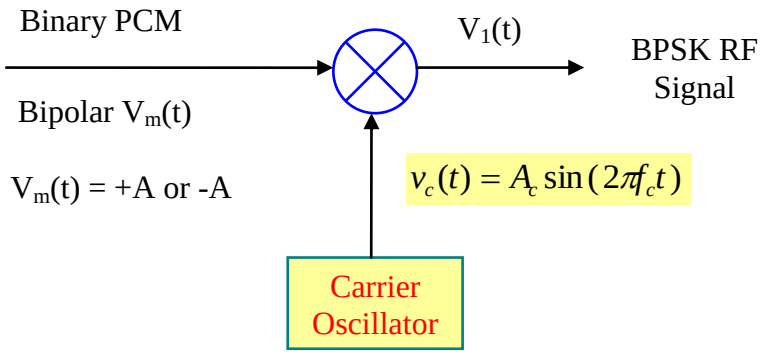
لتوليد إشارة "BPSK" تستخدم الدائرة التالية (الشكل ٨- ١٨)، حيث يلزم تحويل إشارة "PCM" أحادية القطبية (Unipolar) إلى ثنائية القطبية (Bipolar)، حيث يمثل " 1 " بنبضة ذات جهد موجب "+A" وقيمة الصفر " 0 " بنبضة ذات جهد سالب "-A".

في الاستقبال، هنالك طريقة واحدة للكشف عن إشارة "BPSK" وإرجاع إشارة "PCM" الثنائية وهي طريقة الكشف المترابط (Coherent Detection).

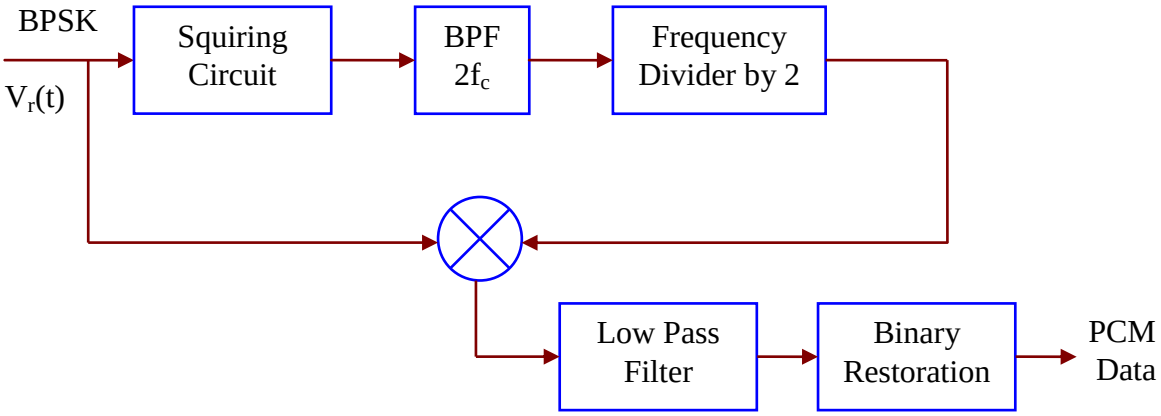
يظهر الشكل (٨- ١٩) دائرة الكشف المترابط حيث تدخل إشارة "BPSK" المستقبلة "$v_r(t)$" على دائرة التربيع (Squiring Circuit) حيث يتم تربيع الموجة المستقبلة مما ينتج مكون ترددي على ضعف تردد الحامل "$2f_c$" والذي يتم تمريره من خلال المرشح "BPF" المصمم على هذا التردد، بعد ذلك يتم إدخال الإشارة على مقسم التردد (Frequency Divider) حيث تتم القسمة على "2" وذلك لاسترجاع تردد الحامل الأصلي "f_c". بعد ذلك يتم إدخال الإشارة على عملية الضرب مع الإشارة المستقبلة الأصلية "$v_r(t)$" حيث يتم تمرير الجزء الثابت الناتج من عملية الضرب عبر المرشح منخفض التردد "LPF" ومنه إلى دائرة استرجاع النبضات.



الشكل (٨- ١٧): تكوين إشارة "BPSK"



الشكل (٨- ١٨): توليد إشارة "BPSK"



الشكل (٨- ١٩): الكشف المترابط عن إشارة "BPSK"

مثال ٨- ٥:- لديك إشارة ثنائية قادمة من نظام "PCM" على الشكل التالي (1101100001).

أ- أوجد عرض النطاق الترددي المطلوب علمًا بأن تردد الحامل "3 MHz" وسرعة إرسال البيانات "R = 200Kb/s".

ب- ارسم شكل إشارة "BPSK" الناتجة.

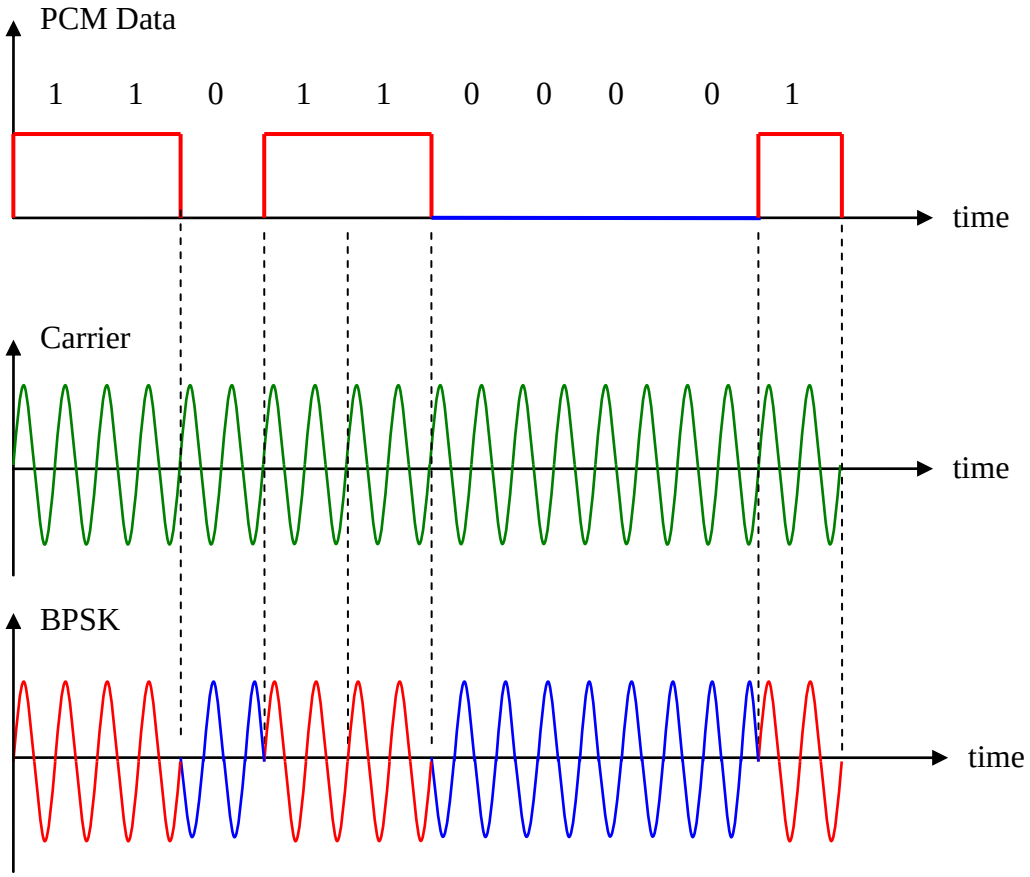
ج- ارسم الطيف الترددي.

الحل

أ - لحساب عرض النطاق الترددي، نستخدم نفس العلاقة في حالة "ASK".

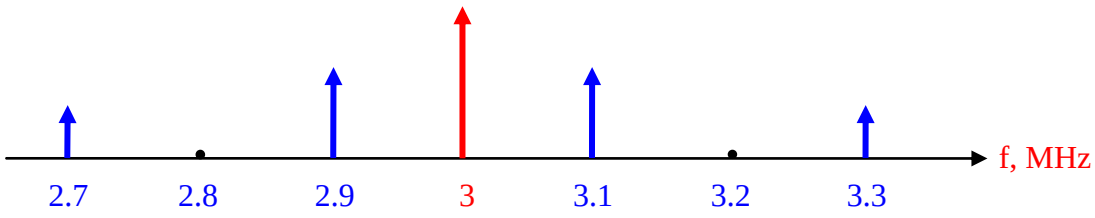
$$B_T = R = 200K = 200KHz$$

ب- إشارة "BPSK" الناتجة:



الشكل (٨- ٢٠)

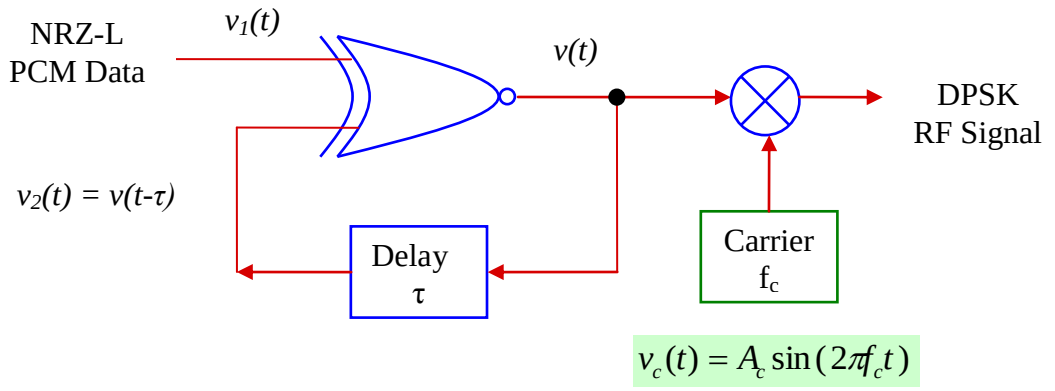
ج- سوف نستخدم نفس طريقة الرسم في حالة "ASK".



الشكل (٨- ٢١)

- **تعديل إزاحة الطور التفاضلي** Differential Phase Shift Keying "DPSK"

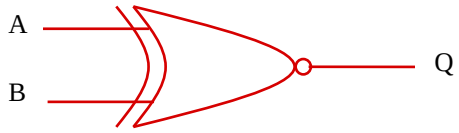
يعتبر هذا التعديل الرقمي كنوع خاص من أنواع تعديل الطور، حيث يتم الحصول عليه بعد تحويل الترميز الأساسي "NRZ-L" إلى أحد النوعين؛ "NRZ-S" أو "NRZ-M" وذلك قبل عملية تعديل الطور لإشارة الحامل. لتوليد إشارة تعديل الطور التفاضلي نستخدم الدائرة التالية بالشكل (٨- ٢٢):



الشكل (٨- ٢٢) توليد إشارة DPSK

لتحويل الترميز من نوع "NRZ-L" إلى "NRZ-S" تستخدم البوابة المنطقية "XNOR" الموضحة على الشكل أعلاه. للتذكير بجدول الحقيقة (Truth Table) لهذه البوابة، انظر الجدول (٨- ١).

الجدول (٨- ١): جدول الحقيقة لبوابة "XNOR"



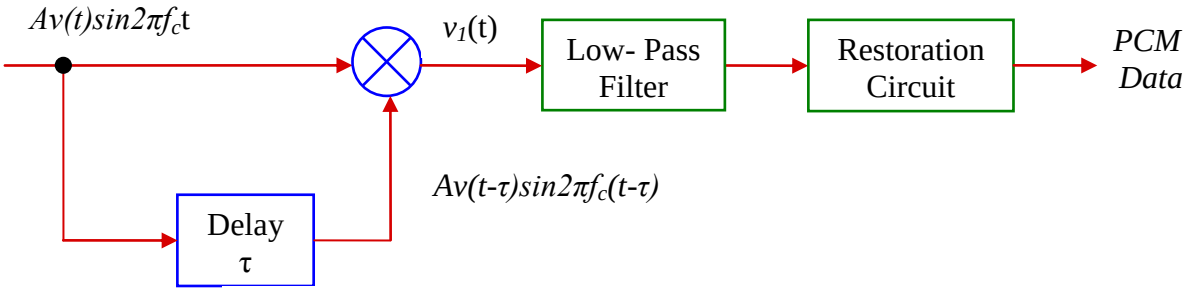
A	B	Q
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

لتوضيح عمل الدائرة السابقة، انظر الجدول (٨- ٢).

الجدول (٨- ٢): تعديل إزاحة الطور التفاضلي "DPSK"

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

للكشف عن إشارة "DPSK" تستخدم الدائرة التالية (الشكل ٨- ٢٣):



الشكل (٨- ٢٣): دائرة الكشف عن إشارة "DPSK"

يتضح من الشكل (٨- ٢٣) بأن نوع الكشف المستخدم هو غير المترابط (Noncoherent) حيث لا يلزم وجود الحامل في المستقبل بنفس التردد والطور مما يميز تعديل "DPSK" بالبساطة.

مثال ٨- ٦:- أكمل الجدول التالي:

الجدول (٨- ٣): مثال تعديل إزاحة الطور التفاضلي "DPSK"

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

الحل

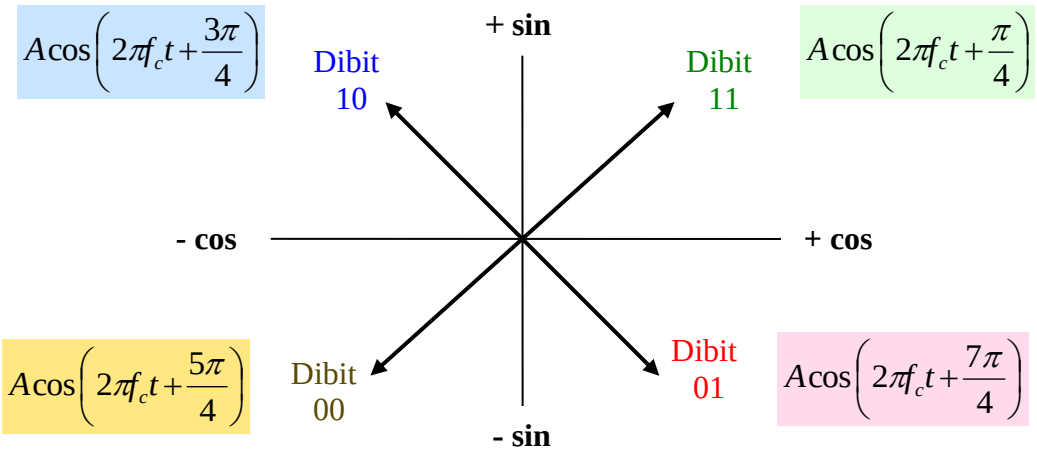
الجدول (٨- ٤): حل مثال تعديل إزاحة الطور التفاضلي "DPSK"

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

- **تعديل إزاحة الطور التعامدي** Quadrature Phase Shift Keying "QPSK"

يعتبر تعديل إزاحة الطور التعامدي من أقدم أنواع التعديل متعددة المستويات (M-ary Modulation) حيث يتم استخدام أربع قيم للطور (0º, 90º, 180º and 270º) للحامل أو ما يقابلها بوحدة الراديان (0, π/2, π, 3π/2). إن استخدام أربع قيم للطور (M = 4) يتيح استخدام عدد بتات (N = 2) مما يعطينا الاحتمالات التالية:

(00, 01, 10 and 11) والتي تسمى الحالات المميزة (Distinct States). إن الزيادة في عدد البتات تعني زيادة سرعة الإرسال وبالتالي زيادة سعة المعلومات (Information Capacity) لمزيد من التوضيح، انظر الشكل (٨- ٢٤). كل واحدة من الحالات تسمى (Dibit).



الشكل (٨- ٢٤): الحالات المميزة لنظام التعديل "QPSK"

بناء على ما سبق، يمكننا كتابة الصيغ الرياضية للموجة الحامل على الشكل التالي:

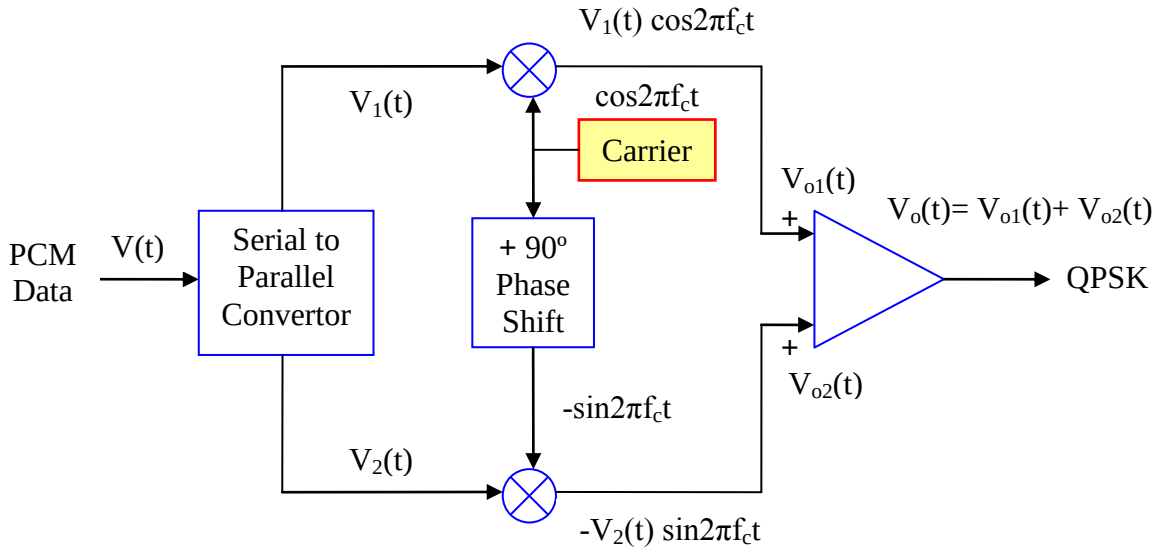
$$s_1(t)=A\cos\left(2\pi f_c t+\frac{\pi}{4}\right),\ phase=\frac{\pi}{4}=45^\circ \rightarrow Dibit\ 11$$

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

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

$$s_4(t)=A\cos\left(2\pi f_c t+\frac{7\pi}{4}\right),\ phase=7\pi/4=315^\circ \rightarrow Dibit\ 01$$

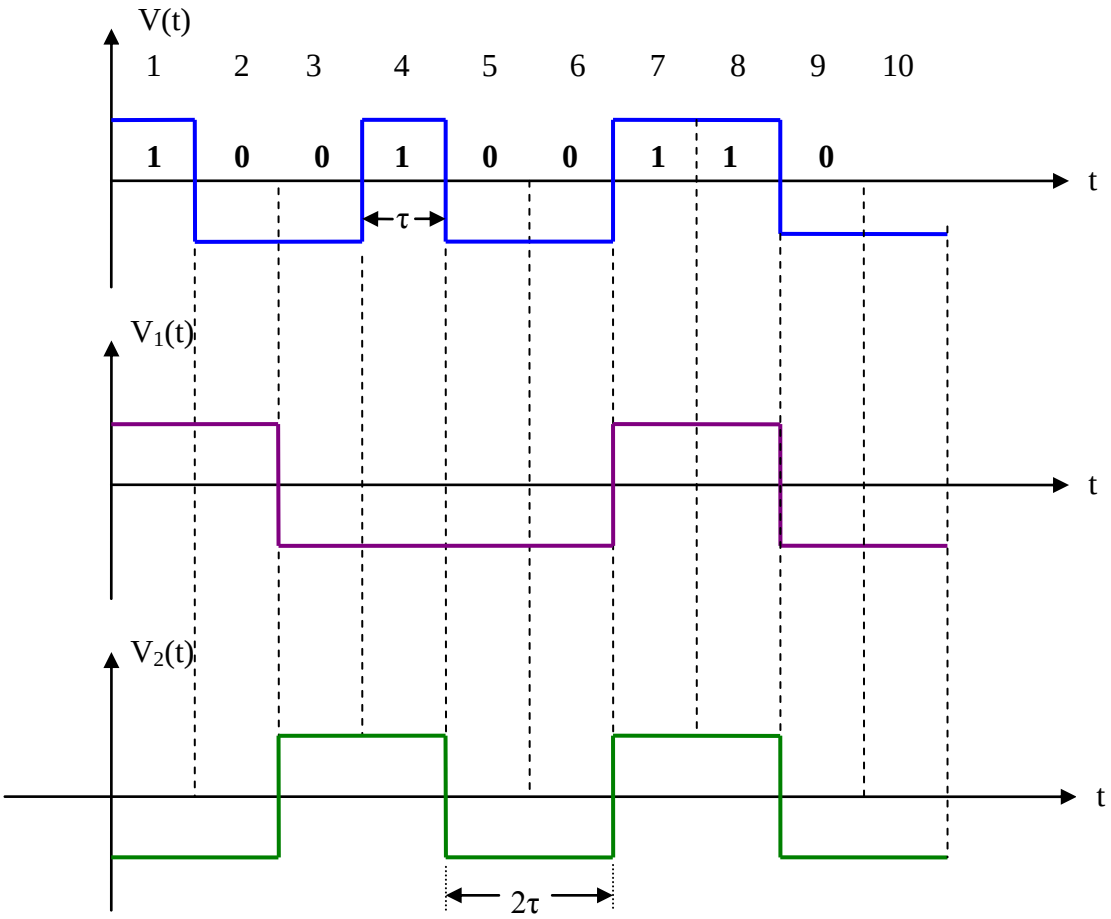
لتوليد إشارة التعديل رباعي الطور "QPSK" تستخدم الدائرة التالية (الشكل ٨- ٢٥):



الشكل (٨- ٢٥): دائرة توليد إشارة "QPSK"

يتم إدخال إشارة البيانات الثنائية "PCM Data" على دائرة التحويل من متتالٍ إلى متوازٍ مما ينتج إشارتين "$V_1(t)$" و "$V_2(t)$" حسب ما هو موضح على الشكل (٨- ٢٦). بعد ذلك تدخل كلتا الإشارتين على دوائر الضرب مع إشارة الحامل ($\cos 2\pi f_c t$) وإشارة الحامل بعد إزاحتها "90°"، (يعطي $-\sin 2\pi f_c t$). أخيرًا الإشارات الناتجة بعد عملية الضرب يتم جمعها باستخدام مكبر العمليات مما ينتج إشارة "QPSK". عند تشكيل الإشارتين "$V_1(t)$" و "$V_2(t)$" يجب ملاحظة التالي:

- تتشكل الإشارة "$V_1(t)$" من النبضات ذات الأرقام الفردية من الإشارة "V(t)".
- تتشكل الإشارة "$V_2(t)$" من النبضات ذات الأرقام الزوجية من الإشارة "V(t)".
- عرض النبضة الجديدة ضعف عرض النبضة الأصلية "τ".



الشكل (٨- ٢٦): تشكيل الإشارات بعد التحويل من متتالٍ لمتوازٍ

بمعنى آخر، يتم تجميع البتات الثنائية القادمة من إشارة "PCM" على شكل مجموعات ثنائية البتات،مما يعطي أربع احتمالات (حالات) مختلفة ($M = 2^2 = 4$)، حيث تسمى كل حالة "Dibit". كل حالة من الحالات الأربع (00, 01, 10 and 11) تنتج إحدى قيم الطور الأربع.

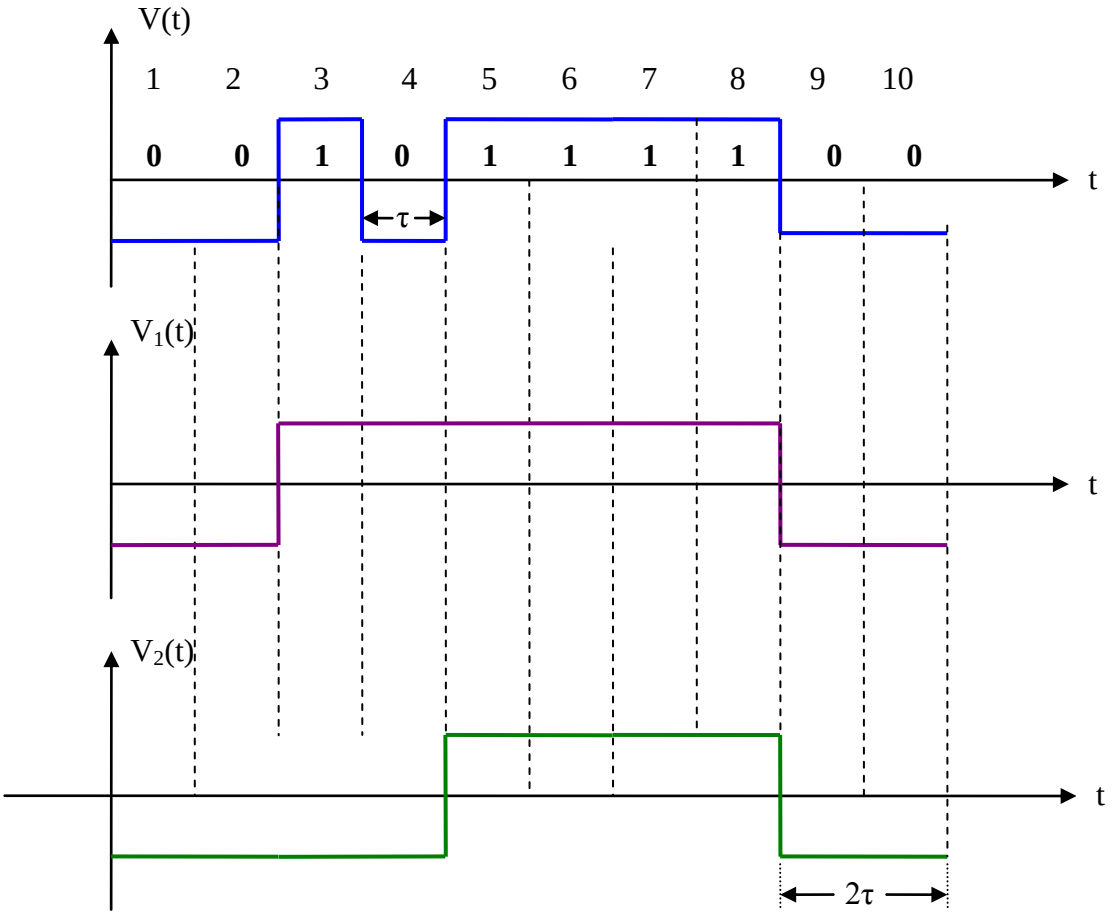
يمكننا اعتبار إشارة التعديل رباعي الطور "QPSK" كإشارتين من نوع التعديل ثنائي الطور "BPSK" ولكن بينهما فرق في الطور "90°".

مثال ٨- ٧:- ارسم الإشارات $V_1(t)$ و $V_2(t)$ للبيانات الثنائية التالية:

(0 0 1 0 1 1 1 0 0)

الحل

بالرجوع إلى الشرح الموضح، حيث تتشكل الإشارة $V_1(t)$ من النبضات ذات الأرقام الفردية والإشارة $V_2(t)$ من النبضات ذات الأرقام الزوجية، نقوم بالرسم حسب ما هو موضح على الشكل (٨- ٢٧).

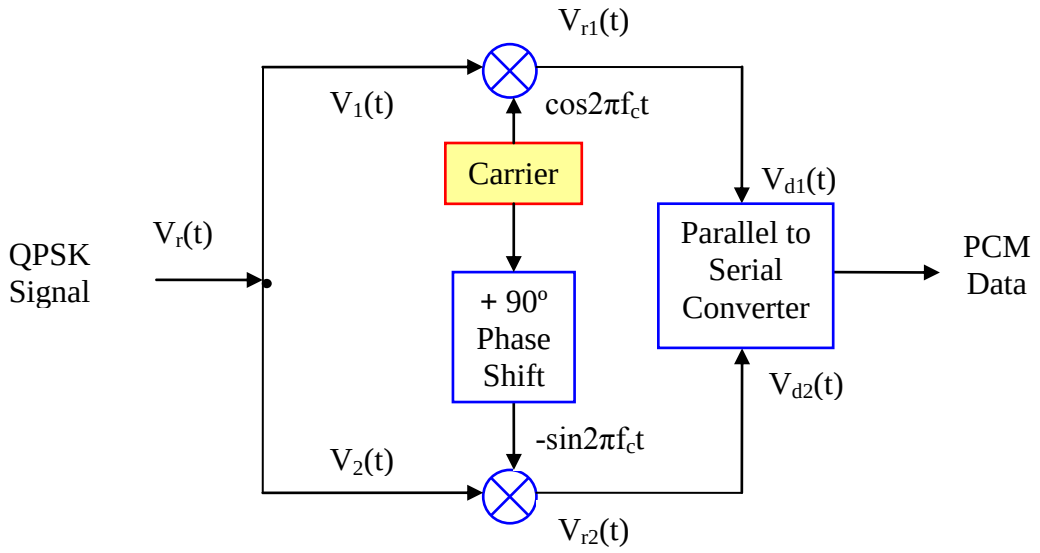


الشكل (٨- ٢٧): حل مثال (٨- ٧)

للكشف عن إشارة "QPSK" في المستقبل تستخدم الدائرة بالشكل (٨- ٢٨).

يتم استقبال إشارة "QPSK" وتوزيعها إلى قسمين (تقسيم القدرة)؛ الأول، "$V_1(t)$" ويدخل على دائرة الضرب مع إشارة الحامل مما ينتج الإشارة "$V_{r1}(t)$" والتي تدخل على دائرة التحويل من متوازٍ لمتتالٍ. القسم الثاني "$V_2(t)$" ويدخل على دائرة الضرب مع إشارة الحامل بعد إدخالها

على دائرة إزاحة الطور "90°" مما ينتج الإشارة "$V_{r2}(t)$" والتي تدخل على دائرة التحويل من متوازٍ لمتتالٍ.



الشكل (٨- ٢٨): دائرة الكشف عن إشارة "QPSK"

عرض النطاق الترددي المطلوب لإشارة "QPSK" يساوي نصف عرض النطاق الترددي المطلوب لإشارة "BPSK", (BW = R/2).

مثال ٨- ٨:- لديك دائرة تعديل "QPSK" ذات المعلومات التالية: سرعة البيانات الداخلة عليه تساوي "10 Mb/s" وتردد الحامل يساوي "50 MHz"، أوجد:

أ- عرض النطاق الترددي المطلوب.

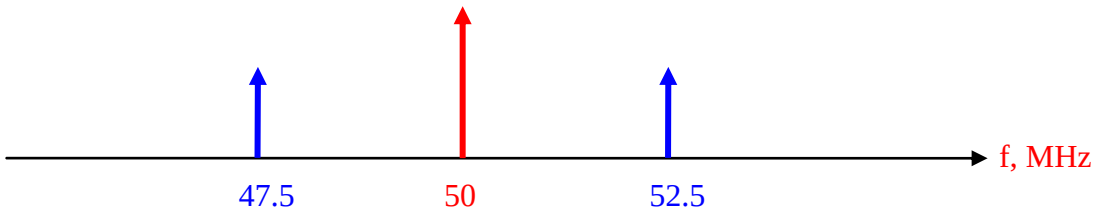
ب- ارسم الطيف الترددي.

الحل

أ- عرض النطاق المطلوب:

$$BW = R/2 = ½ (10 \text{ Mb/s}) = 5 \text{ MHz}$$

ب-

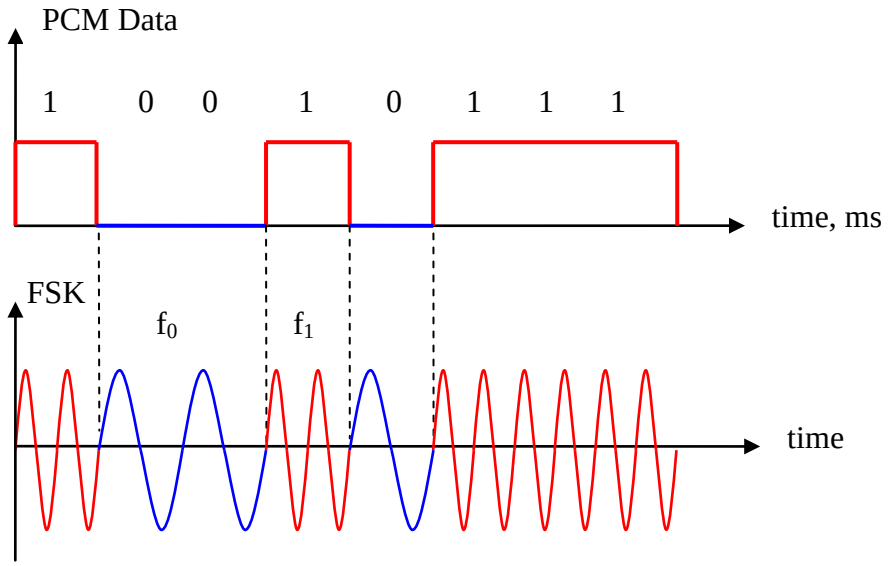


الشكل (٨- ٢٩)

هنالك أنواع أخرى من تعديل إزاحة الطور متعددة المستويات تستخدم عدد قيم الطور من مضاعفات الرقم "2"، لكن أعلى رقم يستخدم هو "8" (8-PSK) مما يلزمنا استخدام ثلاثة بتات لترميز قيم الطور الثماني، لذلك وفي جهاز الإرسال، يجب تقسيم سرعة إرسال البيانات الداخلة على ثلاثة. إن استخدام قيم للطور أكثر من "8" يتسبب في زيادة معدل الأخطاء ويزيد من تعقيد النظام.

٨- ٥ تعديل الإزاحة الدنيا "MSK" Minimum Shift Keying

يعتبر تعديل الإزاحة الدنيا "MSK" أحد أنواع التعديل الرقمي والذي يستخدم بشكل واسع في أنظمة الاتصالات الراديوية. إن المشكلة الأساسية في تعديل الطور "PSK" هي أن عرض النطاق الترددي له يمتد لمسافات ترددية طويلة مما يتسبب بحصول التداخل الترددي مع القنوات الراديوية الأخرى القريبة ترددياً. لذلك جاء تطوير نظام تعديل "MSK" بحيث يكون التغير في التردد عند نقاط تقاطع تردد الحامل مع الصفر. إن الفرق الترددي بين حالات إرسال الثنائي " 1 " والثنائي " 0 " يكون دائمًا يساوي نصف سرعة إرسال البيانات "R". هذا يعني أن معامل التعديل (Modulation index, m = 0.5). لتوضيح آلية الحصول على تعديل "MSK" انظر الشكل (٨- ٣٠).



الشكل (٨- ٣٠): إشارة تعديل الإزاحة الدنيا "MSK"

لتوضيح الشكل السابق، نفرض أن عرض النبضة الواحدة (البت) يساوي "1ms" وبالتالي فإن سرعة إرسال البيانات تساوي (R = 1/1ms = 1kb/s). في هذه الحالة يمكننا اختيار الترددات لإرسال البيانات الثنائية " 1 " و " 0 ":

"f_1 = 2500 Hz" و "f_0 = 2000 Hz" وبالتالي فإن الفرق بينهما يساوي "500 Hz" وهذا الرقم نصف قيمة سرعة إرسال البيانات. إن مثل هذا الاختيار لقيم الترددات يسمح بالانتقال السلس من تردد لآخر بدون حدوث انقطاع في الطور أي أن هنالك استمرار في حركة الموجات وبالتالي يكون الطور متواصلاً بدون انقطاع.

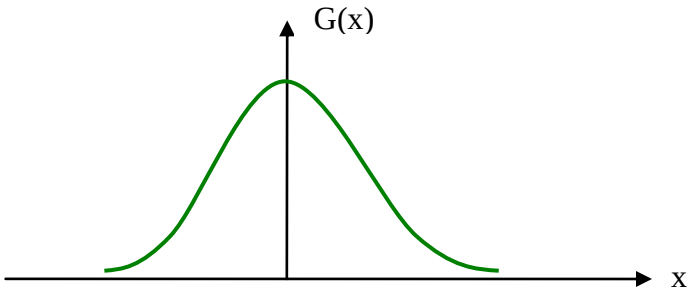
ما يميز تعديل 'MSK" هو الأداء الأفضل من ناحية الأخطاء في البتات مقارنة مع تعديل إزاحة التردد العادي "FSK"، لكن هذا النظام يتطلب نظام تزامن (Synchronization) مما يرفع التكلفة.

٨- ٦ تعديل الإزاحة الدنيا الجاوسي Gaussian Minimum Shift Keying "GMSK"

يعتبر تعديل الإزاحة الدنيا الجاوسي "GMSK' كنموذج مطور لتعديل "MSK" حيث يجب إدخال إشارات "PCM" المراد نقلها (Modulating Signal) خلال مرشح الترددات المنخفضة "LPF" ذي استجابة ترددية من نوع جاوس (Gaussian Frequency Response). يمثل الشكل ٨- ٣١ الاستجابة الترددية من نوع جاوس وفقاً للعلاقة التالية والتي تسمى التوزيع الجاوسي:

$$G(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}}e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \qquad (8.8)$$

حيث ترمز x إلى اسم المتغير (Variable)، و "σ" إلى الانحراف المعياري Standard Deviation.



الشكل (٨- ٣١): الاستجابة الترددية من نوع جاوس

يتميز نظام تعديل الإزاحة الدنيا الجاوسي "GMSK" بالميزات التالية:

- الاستخدام الأمثل للطيف الترددي مقارنة بتعديل إزاحة الطور "PSK'.
- المناعة ضد التغييرات في السعة (Amplitude Variations) مما يجعله أقل تأثراً بالضوضاء.

- إمكانية تكبير إشارة "GMSK" باستخدام المكبرات غير الخطية بدون تشويه الإشارة.

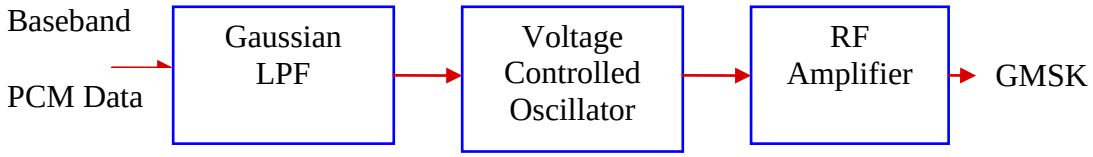
تكمن أهمية تعديل الإزاحة الدنيا الجاوسي "GMSK" بأنه يستخدم بشكل واسع في أنظمة الاتصالات الراديوية وخاصة نظام الاتصالات المتنقلة "GSM".

هنالك طريقتان لتوليد إشارة "GMSK":

- **الأولى** باستخدام مرشح الترددات المنخفضة الجاوسي "GLPF" ودائرة المذبذب الذي يتم التحكم بتردده عن طريق الجهد "VCO" كما هو موضح على الشكل (٨- ٣٢).

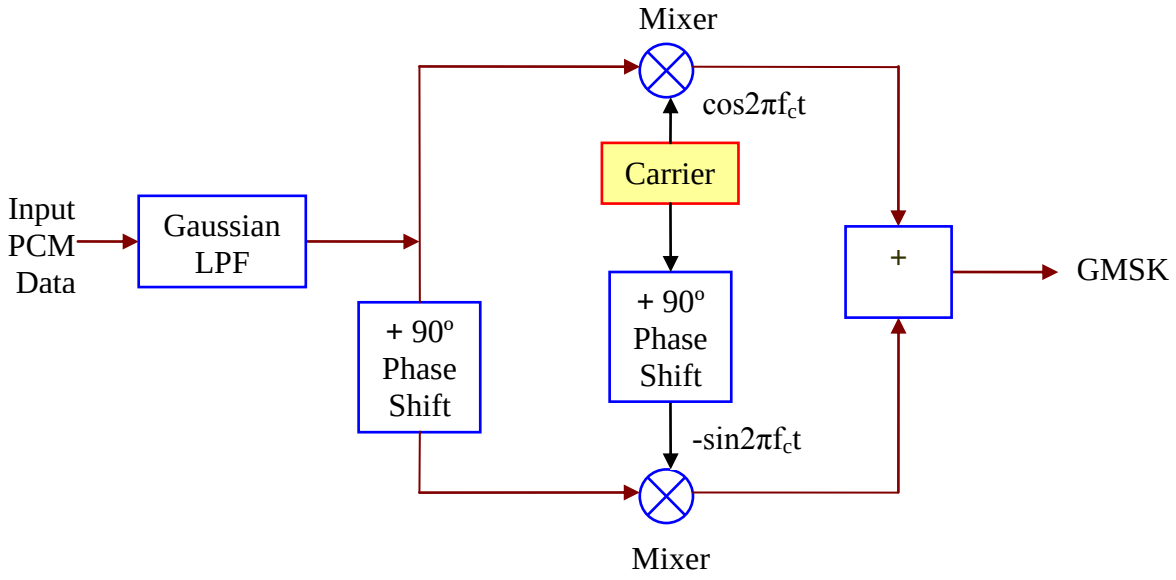
يقوم 'VCO' بدور دائرة تعديل التردد (Frequency Modulator with m = 0.5).

تتميز هذه الدائرة بالبساطة وبالتالي قلة التكاليف، لكنها تحتاج إلى ضبط قيمة معامل التعديل m عند 0.5.



الشكل (٨- ٣٢): توليد إشارة "GMSK" باستخدام "VCO" و "GLPF"

- **الثانية** باستخدام دائرة التعديل التعامدي (Quadrature Modulator) كما هو موضح على الشكل (٨- ٣٣). إن المقصود بمصطلح التعامدي هو أن طور الإشارة مقارنة مع الإشارة الأخرى يكون بمقدار "90°". إن ما يميز هذه الطريقة هو إمكانية الحصول على قيمة دقيقة لمعامل التعديل "m= 0.5".



الشكل (٨- ٣٣): توليد إشارة "GMSK" باستخدام دائرة التعديل التعامدي

٨- ٧ تعديل السعة التعامدي Quadrature Amplitude Modulation "QAM"

يتميز هذا النوع من التعديل بأن هنالك إمكانية لأن تأخذ السعة (Amplitude) أكثر من قيمة وكذلك بالنسبة للطور مما يسمح بالحصول على عدد أكبر من المستويات أو القيم المتاحة. لو فرضنا أن عدد قيم السعة المتاحة "K_A" وعدد قيم الطور المتاحة 'K_P" فإن عدد المستويات المتاحة "M":

$$M = K_A \times K_P$$

مما يتطلب عدد بتات "N" مما يزيد سرعة إرسال البيانات بمعدل "N" عبر نفس النطاق الترددي.

$$N = Log2M = Log2\ (KA \times KP)$$

فمثلاً تعديل (8-Level QAM) يستخدم قيمتين للسعة وأربع قيم للطور، مما يعطي ثمان قيم، بينما تعديل (16-Level QAM) يستخدم قيمتين للسعة مع ثمان قيم للطور أو أربع قيم للسعة مع أربع قيم للطور مما يعطي نفس النتيجة ("16" قيمة). لمزيد من التوضيح انظر الشكل (٨- ٣)،

حيث يمثل المخطط الفراغي مجموعة القيم المتاحة لكل نظام تعديل رقمي، فمثلاً للتعديل (8-PSK) هنالك قيمة واحدة للسعة مع ثماني قيم للطور مما يتمثل فراغيًا على شكل دائرة. بينما في حالة التعديل (QAM-16) هنالك أربع قيم للسعة وكل قيمة تأخذ أربع قيم للطور مما

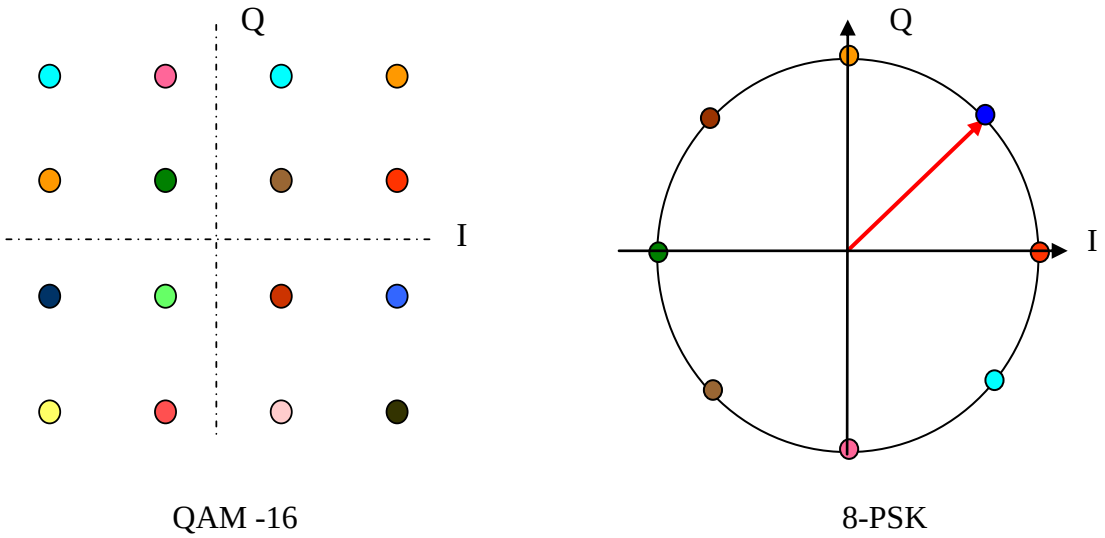
يعطي في المحصلة "16" قيمة تمثل فراغيًا حسب ما هو موضح على الشكل أدناه. هنالك تشابه بين تعديل السعة التعامدي وتعديل إزاحة الطور من نفس المستوى باستثناء أنه في حالة تعديل السعة التعامدي قيمة السعة ليست ثابتة. بعبارة أخرى، يمكننا اعتبار تعديل "QAM" كمجموع تعديل "ASK" وتعديل "PSK".

لبيان قيم الطور (Phase) والسعة (Amplitude) وقيم الترميز الثنائية (Binary Sequence)، انظر الجدول (٨- ٥) لتعديل (QAM-8). كلما ازداد مستوى "QAM" كلما أرسلنا بتات أكثر مما يزيد سرعة إرسال البيانات، لكن يصبح النظام أكثر تأثرًا بالضوضاء وتزداد احتمالية حصول الأخطاء.

ينقسم تعديل "QAM" إلى نوعين:

- **تماثلي** (Analog) حيث يتم إرسال أكثر من إشارة تماثلية على نفس الحامل وكمثال على ذلك أنظمة البث التلفزيوني "PAL" و "NTSC" حيث يتم نقل معلومات اللون (Color) عن طريق القنوات الناتجة من نظام التعديل "QAM". كذلك نظام البث (AM Stereo) يستخدم قناتين من نظام التعديل "QAM".

- **رقمي** (Digital) حيث يتم إرسال البيانات الرقمية على نفس الحامل مما يسمح بزيادة سرعات الإرسال وذلك في مجال الاتصالات الراديوية (الاتصالات المتنقلة، WiMAX، WiFi802.11).



QAM -16 8-PSK

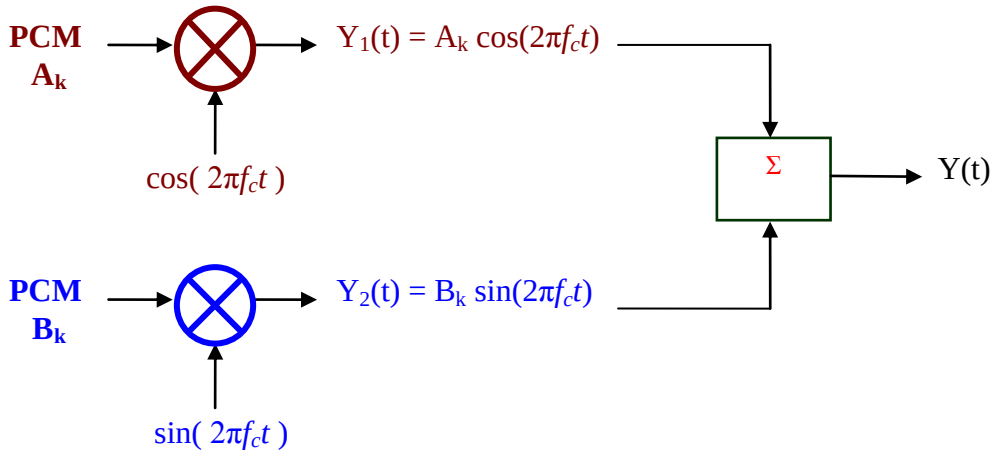
الشكل (٨- ٣٤) المخطط الفراغي لتعديل QAM

ملاحظة: يرمز "I" إلى المحور متطابق الطور (In-phase) بينما يرمز "Q" إلى المحور المتعامد الطور "90°" مقارنة مع المحور المتطابق الطور ويسمى (Quadrature-phase).

الجدول (٨- ٥): جدول الحقيقة لتعديل "QAM-8"

Bit Sequence	Amplitude	Phase
0 0 0	0.5	0°
0 0 0	1	0°
0 1 0	0.5	90°
0 1 1	1	90°
1 0 0	0.5	180°
1 0 1	1	180°
1 1 0	0.5	270°
1 1 1	1	270°

للحصول على إشارة "QAM" نستخدم حاملاً ترددياً ($\cos 2\pi f_c t$) وحاملاً آخر بفارق "90°" ولكن بنفس التردد ($\sin 2\pi f_c t$)، حيث يتم تعديلهما عن طريق البيانات الثنائية المراد إرسالها وذلك بعد إدخالهما على المازج (Mixer)،وبعد ذلك يجمعان لتشكيل إشارة "QAM" كما هو موضح على الشكل (٨- ٣٥).



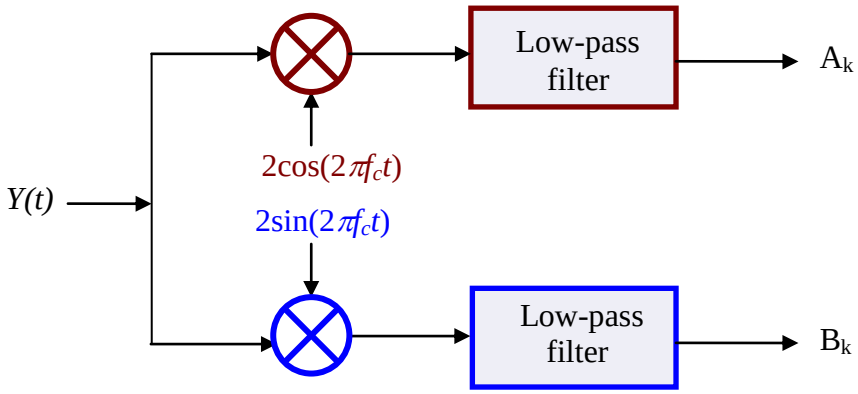
الشكل (٨- ٣٥): الحصول على إشارة "QAM"

يتميز نظام تعديل "QAM" بإمكانية إرسال سرعات أعلى لنقل المعلومات، أي الاستغلال الأمثل لعرض النطاق الترددي، لكنه يعاني من السلبيات التالية:

١. التأثر بالضوضاء بدرجة أكبر مقارنة مع أنظمة التعديل البسيطة (ASK, FSK, PSK) وذلك للزيادة في عدد الحالات المتاحة للإرسال مما يجعلها متقاربة وأكثر حساسية للتأثر بالضوضاء.

٢. الحاجة لاستخدام مكبرات خطية في المستقبل والتي تعتبر غير فعّالة خاصة في التطبيقات اللاسلكية.

في الاستقبال، تستخدم الدائرة الموضحة على الشكل (٨- ٣٦).



الشكل (٨- ٣٦) كشف التعديل لإشارة QAM

٨- ٨ سعة المعلومات Information Capacity

كما أشرنا سابقاً، يمكننا زيادة سرعة الإرسال عبر نفس النطاق الترددي باستخدام تقنيات التعديل متعددة المستويات (M-ary Modulation)،حيث تزداد السرعة مع زيادة عدد القيم المتاحة "M"، والتي بدورها تتطلب عدد بتات "N" أعلى.

لتحديد القيمة القصوى لسعة قناة الاتصال "C" تستخدم نظرية شانون- هارتلي (Shannon-Hartley Theorem):

$$C = 2B\,Log_2 M \qquad (8.9)$$

حيث ترمز "B" إلى عرض النطاق الترددي الأساسي. العلاقة السابقة لا تأخذ بالاعتبار تأثير الضوضاء.

مثال ٨- ٩:- لديك بيانات ثنائية نطاقها الترددي الأساسي 10 kHz، أوجد:

أ- سعة القناة في حالة استخدام التعديل الثنائي (M = 2).

ب- سعة القناة في حالة استخدام التعديل الرباعي (M = 4).

ج- سعة القناة في حالة استخدام التعديل الثماني (M = 8).

الحل

أ- باستخدام العلاقة (٨- ٩):

$$C = 2B\,Log_2 M = 2\times 10k\,Log_2\,2 = 20kb/s$$

ب- باستخدام العلاقة ٨- ٩:

$$C = 2B\,Log_2 M = 2\times 10k\,Log_2\,4 = 40kb/s$$

ج- باستخدام العلاقة ٨- ٩:

$$C = 2B\,Log_2 M = 2\times 10k\,Log_2\,8 = 60kb/s$$

لإدخال تأثير الضوضاء في حساب السعة القصوى للقناة، نستخدم العلاقة التالية:

$$C = B\,Log_2\left[1+\frac{S}{N}\right] \qquad (8.10)$$

حيث ترمز "S/N" إلى العلاقة بين قدرة الإشارة إلى قدرة الضوضاء بالأرقام العادية. إذا أعطيت القيمة بالديسبل، يجب تحويلها عكسيًا إلى القيمة العددية.

تجدر الإشارة إلى أن القيم التي نحصل عليها للسعة القصوى للقناة باستخدام نظرية شانون-هارتلي هي حدود نظرية أكثر منها عملية، أي أنه في الواقع العملي تكون القيم أقل.

مثال ٨- ١٠:- لديك بيانات ثنائية نطاقها الترددي الأساسي "4 kHz"، أوجد:

أ- سعة القناة في حالة نسبة قدرة الإشارة إلى الضوضاء تساوي "20 dB".

ب- سعة القناة في حالة نسبة قدرة الإشارة إلى الضوضاء تساوي "30 dB".

الحل

أ- باستخدام العلاقة (٨- ١٠)، وبعد تحويل "20 dB" إلى قيمتها العددية:

$$10^{0.1\times 20\ \text{dB}} = 10^2 = 100$$

$$C = B\,Log_2\left[1+\frac{S}{N}\right] = 4k\,Log_2[101]$$
$$= 4k\times 3.32\,Log_{10}[101] = 26.6\,kb/s$$

د- باستخدام العلاقة (٨- ١٠) وبعد تحويل "30 dB" إلى قيمتها العددية:

$$10^{0.1\times 30}\ \text{dB} = 10^3 = 1000$$

$$C = B\,Log_2\left[1+\frac{S}{N}\right] = 4k\,Log_2[1001]$$
$$= 4k\times 3.32\,Log_{10}[1001] = 39.85\,kb/s$$

تدريبات على الوحدة الثامنة

(٨- ١) ما الهدف من استخدام التعديل الرقمي في مجال الترددات العالية (Bandpass)؟

(٨- ٢) ما الأمور التي يجب مراعاتها عند تصميم أنظمة التعديل الرقمي؟

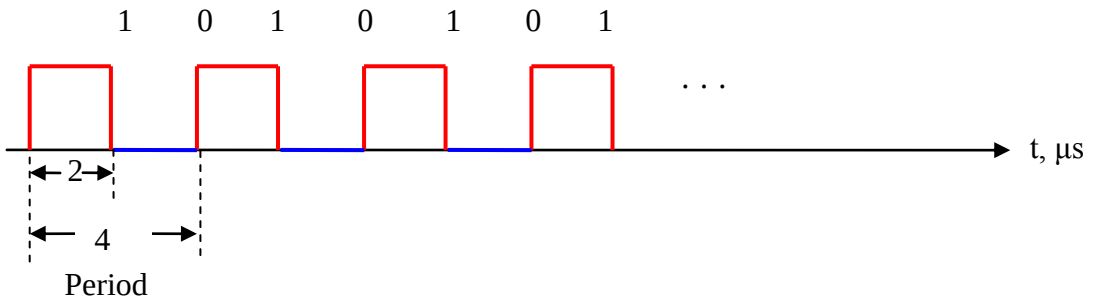
(٨- ٣) اكتب الصيغة العامة لإشارة جيبية سعتها 5V، ترددها (100kHz)، وطورها "0.4rad".

(٨- ٤) اكتب الصيغة العامة لإشارة جيبية سعتها "3V"،ترددها "2000 rad/s" وطورها "0.1rad".

(٨- ٥) ارسم الإشارة التالية: $\sin(2\pi 10^4 t + 0.25)$

(٨- ٦) وضح فكرة تعديل إزاحة السعة وبماذا تتميز؟

(٨- ٧) لديك إشارة ثنائية قادمة من نظام "PCM" على الشكل التالي:



الشكل (٨- ٣٧)

أوجد:

أ- سرعة إرسال البيانات "R".

ب- عرض النطاق الترددي المطلوب لإرسال إشارة "ASK".

ج- ارسم الطيف الترددي لإشارة "ASK".

(٨- ٨) ارسم دائرة توليد إشارة "ASK' علمًا بأن الموجة الحامل $\sin(2\pi 10^6 t)$.

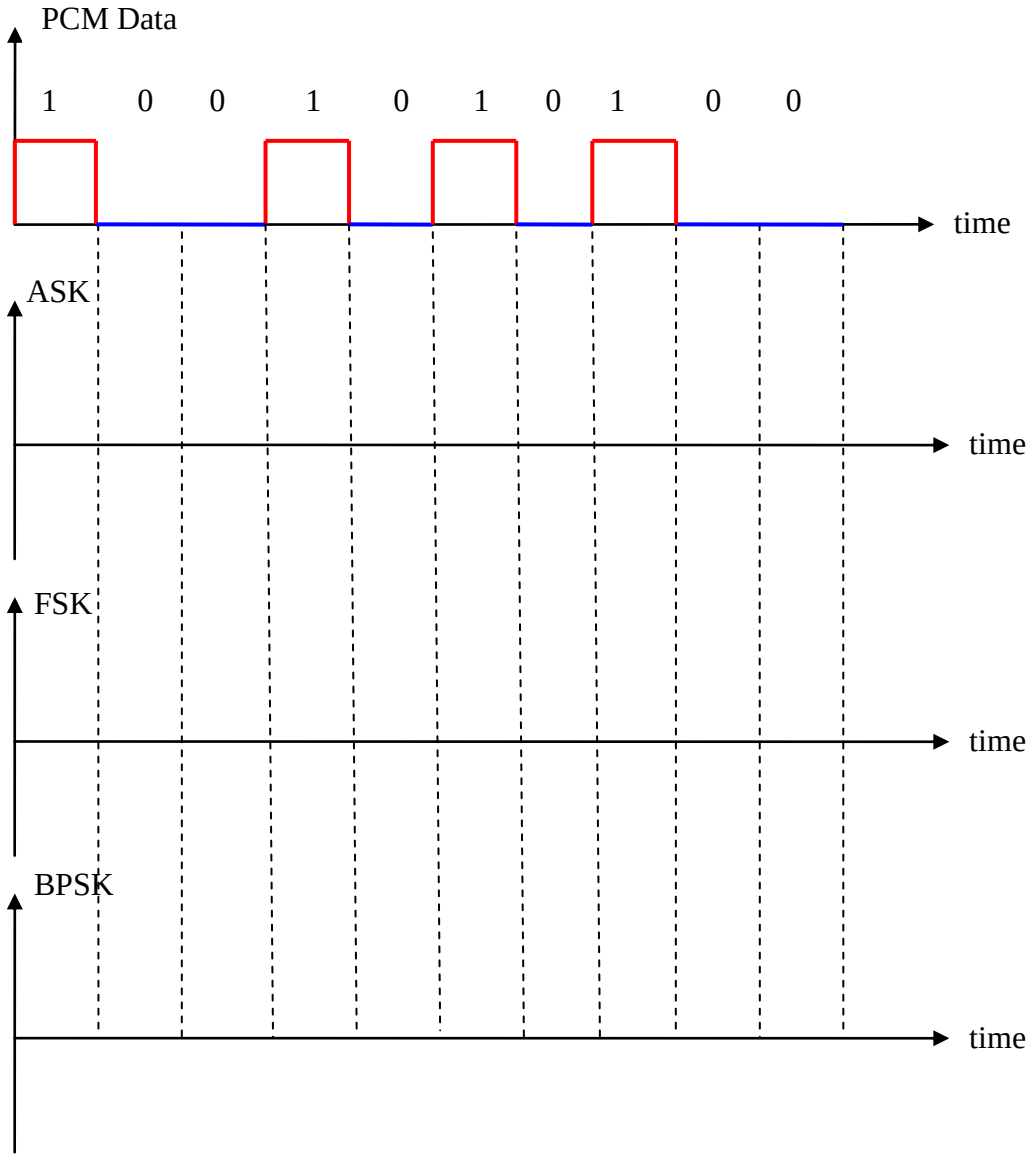
(٨- ٩) ارسم دائرة الكشف المترابط لإشارة "ASK"؟

(٨- ١٠) ما الفرق بين الكشف المترابط وغير المترابط؟

(٨- ١١) وضح فكرة تعديل إزاحة التردد وبماذا تتميز؟

(٨- ١٢) لماذا لا يكون الكشف عن تعديل إزاحة الطور غير المترابط؟

(٨- ١٣) أكمل الرسم التالي:



الشكل (٨- ٣٨)

(٨- ١٤) لديك إشارة ثنائية قادمة من نظام "PCM" على الشكل التالي (0101011000).

أ- ارسم شكل إشارة "FSK" الناتجة.

ب- أوجد عرض النطاق الترددي المطلوب علمًا بأن الترددات المستخدمة في النظام (f_1 = 3 MHz, f_0 = 2 MHz) وسرعة إرسال البيانات (R = 500 Kb/s).

(٨- ١٥) ما الفرق بين تعديل إزاحة الطور الثنائي والتفاضلي؟

(٨- ١٦) لماذا نقوم بتحويل الإشارة الثنائية "PCM" من أحادية القطبية إلى ثنائية في دائرة توليد "BPSK"؟

(٨- ١٧) ارسم دائرة الكشف عن إشارة تعديل إزاحة الطور الثنائي وبين وظيفة كل مكون؟

(٨- ١٨) لديك دائرة توليد إشارة تعديل إزاحة الطور التفاضلي DPSK (الشكل ٨- ٢٢). أكمل الجدول التالي:

الجدول (٨- ٦)

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

(٨- ١٩) وضح المقصود بتعديل إزاحة الطور الرباعي "QPSK".

(٨- ٢٠) وضح كيفية الحصول على الحالات المميزة لنظام التعديل "QPSK" على الشكل (٨- ٢٤).

(٨- ٢١) لديك دائرة تعديل "QPSK" سرعة البيانات الداخلة عليه تساوي "2 Mb/s" وتردد الحامل يساوي "10 MHz"، أوجد:

أ- عرض النطاق الترددي المطلوب

ب- ارسم الطيف الترددي

(٨- ٢٢) وضح المقصود بتعديل الإزاحة الدنيا "MSK' وبماذا يتميز؟

(٨- ٢٣) وضح المقصود بتعديل الإزاحة الدنيا الجاوسي "GMSK" وبماذا يتميز؟

(٨- ٢٤) ما طرق توليد إشارة "GMSK" وأيهم أفضل؟

(٨- ٢٥) ما الفرق بين تعديل إزاحة السعة التعامدي "QAM" وتعديل إزاحة الطور "PSK"؟

(٨- ٢٦) ما الفرق بين تعديل إزاحة السعة التعامدي التماثلي والرقمي؟

(٨- ٢٧) ما سلبيات تعديل إزاحة السعة التعامدي "QAM"؟

(٨- ٢٨) لديك بيانات ثنائية نطاقها الترددي الأساسي 10 kHz، أوجد:

أ- سعة القناة في حالة استخدام التعديل (M = 16).

ب- سعة القناة في حالة استخدام التعديل (M = 128).

(٨- ٢٩) لديك بيانات ثنائية نطاقها الترددي الأساسي "20 kHz"، أوجد سعة القناة في حالة نسبة قدرة الإشارة إلى الضوضاء تساوي "25 dB"؟

الوحدة التاسعة

ترميز المصدر

ترميز المصدر
Source Coding

الهدف العام:

التعرف على أهمية و طرق ترميز المصدر المستخدمة في أنظمة الاتصالات الرقمية.

الأهداف التفصيلية:

بعد أن تكتمل هذه الوحدة يكون المتدرب قادرًا على أن يتعرف على:

١. نظرية شانون لترميز المصدر.
٢. مبدأ وخصائص ترميز المصدر.
٣. ترميز هوفمان.
٤. ترميز هامنغ.
٥. ترميز غراي.

مقدمة

تتناول هذه الوحدة دراسة مبدأ،طرق،خصائص وآليات ترميز المصدر، ترميز هوفمان مع توضيح آلية الترميز، ترميز هامنج مع توضيح آلية الترميز وترميز غراي مع توضيح آلية الترميز.

٩- ١ طرق ترميز المصدر Methods of Source Coding

كما أشرنا في الوحدة الأولى، يعتبر ترميز المصدر أحد المراحل الأساسية في نظام الاتصالات الرقمي، حيث تتم هذه العملية في الإرسال، بينما يتم فك ترميز المصدر في الاستقبال. في حالة البيانات الرقمية،تهدف عملية ترميز المصدر إلى تحويل هذه البيانات إلى شكل مناسب (تقليل البيانات) لعملية التخزين والمعالجة والإرسال وذلك عن طريق تخفيض المعلومات الزائدة مما يخفض معدل إرسال البتات وبالتالي يقلل من عرض النطاق الترددي المطلوب. أما في حالة الإشارات التماثلية، فيجب التحويل من تماثلي إلى رقمي (A/D).

يمكننا الوصول لترميز المصدر بطريقتين:

الأولى: عن طريق تقليل البيانات (Data Reduction) وذلك بإزالة البيانات غير الهامة وغير المفيدة.

الثانية: عن طريق ضغط البيانات (Data Compression) باستخدام تقنيات الضغط المختلفة.

في بعض الحالات قد نلجأ لاستخدام الطريقتين لترميز المصدر، إلا أنه في حالات أخرى قد نحتاج طريقة واحدة فقط.

يمكننا تقسيم مصادر المعلومات إلى قسمين: مصادر بدون ذاكرة (Memoryless Sources) وتتميز بالبساطة من حيث التعامل معها، ومصادر مع ذاكرة ويكون التعامل معها أكثر صعوبة.

٩- ٢ ترميز هوفمان Huffman Coding

يعتبر ترميز هوفمان (نسبة إلى العالم David Huffman) من أشهر أنواع ترميز المصدر (العام ١٩٥٢م)، حيث يستخدم لضغط البيانات النصية،والصور والصوت، ويتيح لنا الاقتراب من حدود شانون (Shannon Bound). تعتمد فكرة ترميز هوفمان على بناء ترميز بأقل ما يمكن من المعلومات المتكررة (Redundancy) بالاعتماد على احتمالات ظهور الرموز والذي يمكن تطبيقه على مختلف أنواع البيانات. إذا ما أخذنا البيانات النصية، فإن ظهور الحروف المختلفة له احتمالات مختلفة علمًا بأن جميعها تشغل نفس الحيز. لذلك يكون طول كلمة

الترميز (Codeword Length) مختلفاً بالاعتماد على احتمالية الظهور. الحروف ذات الاحتمال الأكثر في الظهور تكون لها كلمة ترميز أقصر. لتوضيح آلية ترميز هوفمان نتبع الخطوات التالية:

١. يتم ترتيب الرموز (عدد M) بشكل تنازلي حسب احتمال ظهور كل عنصر.
٢. يتم دمج الرمزين الأقل احتمالاً مع بعض مع إعطائهما "0" و "1" ويصبح احتمالهما مجموع الاحتمالين. تصبح المجموعة الجديدة بعدد رموز "M-1".
٣. يتم دمج الرمزين الأقل احتمالاً في المجموعة الجديدة التي حصلنا عليها في الخطوة الثانية مع إعطائهما "0" و "1" ويصبح احتمالهما مجموع الاحتمالين.
٤. يتم تكرار خطوة رقم "٣" حتى يتبقى رمزين فقط ويعطى لهما "0" و "1" ويدمجان مع بعضهما.
٥. بعد الحصول على شجرة الترميز (Huffman Code Tree)، تتم قراءتها من اليمين لليسار للحصول على الترميز لجميع رموز المجموعة.

يعتمد حجم البيانات التي نحصل عليها على طول كلمة الترميز والذي يؤثر على عمليات التخزين والمعالجة والإرسال للبيانات. لحساب الطول المتوسط أو المتوقع (Average or Expected Length L) لكلمة ترميز هوفمان (عدد البتات للرمز أو العنصر الواحد)، بالاعتماد على قيمة طول الترميز الناتجة لكل عنصر وقيمة احتمال كل عنصر على وفقاً للعلاقة التالية:

$$L = \sum_{i=1}^{N} l_i \times P_i \qquad (9.1)$$

حيث إن: l_i ترمز إلى طول كلمة الترميز للعنصر المحدد ذي الرقم i، و P_i ترمز إلى قيمة احتمال العنصر المحدد. تجدر الإشارة إلى أنه، كلما كانت قيمة الاحتمال أعلى كلما قصر طول كلمة الترميز والعكس صحيح.

مثال ٩- ١:- لديك مجموعة مكونة من ستة عناصر تم ترتيبها مع احتمالات ظهور العناصر في الجدول (٩- ١). قم بترميزها باستخدام ترميز هوفمان.

جدول (٩- ١): احتمالات ظهور العنصر

العنصر	احتمال الظهور
X1	0.3
X2	0.22
X3	0.2
X4	0.12
X5	0.1
X6	0.04

الحل

١. تم ترتيب العناصر "X" واحتمالاتها "P(X)" بشكل تنازلي في الجدول (٩- ١).

٢. ندمج العنصرين "X5" و "X6" في عنصر واحد يكون احتماله

$$0.1 + 0.04 = 0.14$$

٣. ندمج ناتج العنصرين ("X5" و "X6") مع "X4" في عنصر واحد يكون احتماله

$$0.14 + 0.12 = 0.26$$

٤. ندمج العنصرين "X2" و "X3" في عنصر واحد يكون احتماله

$$0.2 + 0.22 = 0.44$$

٥. ندمج ناتج العنصرين "X2" و "X3" مع ناتج خطوة "٣" في عنصر واحد يكون احتماله

$$0.26 + 0.44 = 0.7$$

٦. ندمج ناتج الخطوة "٥" مع "X1" في عنصر واحد يكون احتماله

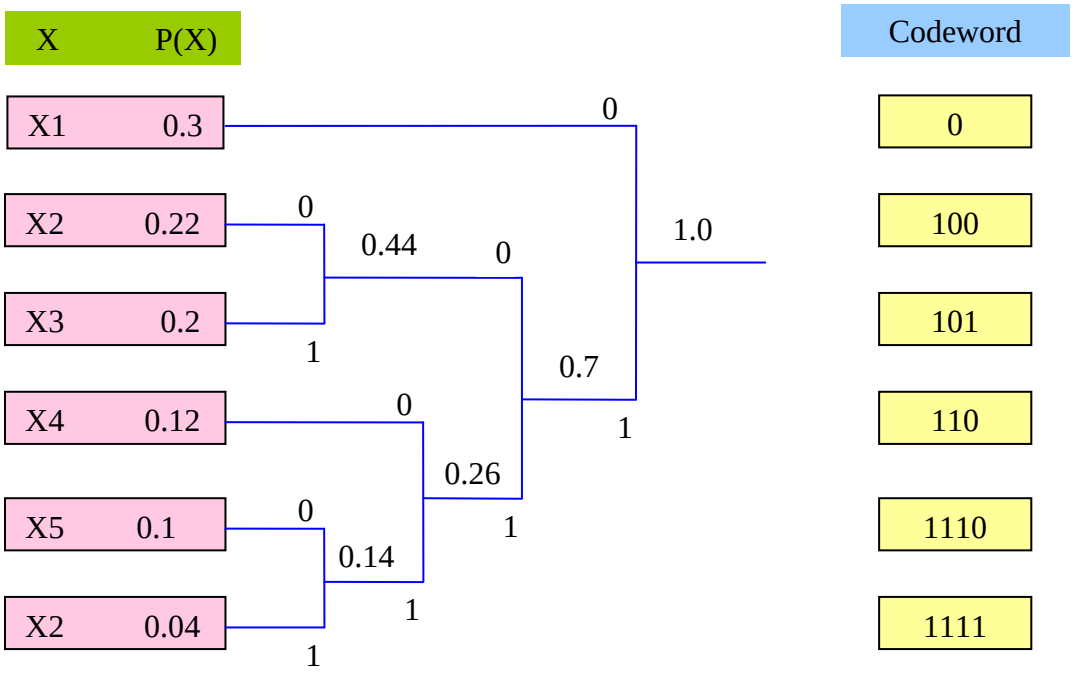
$$0.7 + 0.3 = 1.0$$

٧. بعد انتهاء عملية الدمج نحصل على شجرة الترميز الموضحة على الشكل أدناه.

٨. لتحديد كلمات الترميز، تتم القراءة من اليمين لليسار حتى نصل إلى الرمز المطلوب، فمثلاً للرمز "X3" تكون القراءة: 101.

لحساب الطول المتوقع أو المتوسط لكلمة الترميز نستخدم العلاقة السابقة (٩- ١):

$$L = 1 \times 0.3 + 3\times(0.22 + 0.2 + 0.12) + 4 (0.1 + 0.04) = 2.48 \text{ bits.}$$



الشكل (٩- ١): شجرة الترميز للمثال (٩- ١)

٩- ٣ ترميز هامنج Hamming Coding

يعتبر ترميز هامنج (نسبة إلى العالم Richard Hamming) المستخدم في الاتصالات الرقمية كترميز خطي مصحح للأخطاء، حيث يستطيع اكتشاف خطأين في البتات، بينما يمكنه تصحيح خطأ واحد. لذلك من الممكن الحصول على اتصال موثوق في حالة كانت مسافة هامنج (Hamming Distance) أصغر أو تساوي واحد. إن المقصود بمسافة هامنج هو عدد البتات التي تختلف قيمتها في كلمتي ترميز محددتين (أي مدى تطابق كلمتي ترميز). يتميز ترميز هامنج بالبساطة، لذلك يستخدم بشكل واسع في أجهزة الحاسب وتحديداً في ذاكرة "RAM".

يعتمد مبدأ ترميز هامنج على إدراج بت أو أكثر والتي تسمى بتات التحكم (Control Bits) مع بقية البتات التي تمثل البيانات المراد التعامل معها (Data Bits) وذلك في أماكن محددة (موقع البت يكون من مضاعفات رقم 2) للتمكن من اكتشاف الأخطاء وإصلاحها أحياناً.

يمكننا التعبير عن ترميز هامنج من خلال الصيغة (m , n)، حيث ترمز "m" إلى عدد البتات الكلي، بينما ترمز "n" إلى عدد بتات البيانات. كمثال على ذلك، ترميز هامنج (7 , 8) تعني كلمات ترميز مكونة من عدد "8" بتات منها بت للتحكم و "7" بتات للبيانات. إذا

كان عدد بتات التحكم "k" فيمكننا حساب عدد بتات البيانات "n" من خلال العلاقة التالية:

$$n = 2^k - k - 1, \text{ where } k \geq 2 \qquad (9.2)$$

ويكون عدد البتات الكلي لكلمة الترميز يساوي

$$m = k + n$$

لمزيد من التوضيح، انظر المثال التالي.

مثال ٩- ٢:- احسب عدد بتات البيانات والعدد الكلي في حالة استخدام عدد بتات التحكم للقيم التالية:

2, 3, 4, 5, 6, 10

الحل

باستخدام العلاقة (٩- ٢)، نقدم النتائج في الجدول (٩- ٢)

جدول (٩- ٢): حل مثال (٩- ٢)

عدد بتات التحكم، k	عدد بتات البيانات، n	العدد الكلي، m
2	1	3
3	4	7
4	11	15
5	26	31
6	57	63
10	1013	1023

مثال ٩- ٣:- لديك كلمتي ترميز (11010101) و (1001101).

احسب مسافة هامنج بينهما.

الحل

الاختلاف بين الكلمتين في البت الثاني والبت الخامس فقط، لذلك المسافة تساوي "2".

آلية ترميز هامنغ:

١. تحديد مواقع بتات التحكم أو بتات التكافؤ (Parity Bits) والتي تكون من مضاعفات "2" (أي الأرقام 1 ، 2، 4 ، 8 ، 16 ، ...).
٢. بقية مواقع البتات تكون للبيانات (3 ، 5 ، 6 ، 7 ، ....).

٣. كل بت من بتات التكافؤ يقوم بحساب التكافؤ لجزء من بتات كلمات الترميز حسب الترتيب التالي:

- موقع رقم "1": يفحص بت واحد ويترك واحد وبشكل متتالٍ (1,3,5,7,9,11,.....).
- موقع رقم "2": يفحص بتين ويترك اثنين وبشكل متتالٍ (2,3,6,7,10,11,14,15...).
- موقع رقم "4": يفحص أربعة بتات ويترك أربعة وبشكل متتالٍ (4,5,6,7,12,13,14,15,...).
- موقع رقم "16": يفحص "16" بت ويترك "16" وبشكل متتالٍ (16-31,48-63,80-95,.....).

وهكذا تستمر العملية وبنفس الطريقة.

٤. وضع بت التكافؤ بقيمة "1" إذا كان عدد " 1 " في المواقع فردي، بينما نضعه " 0 " إذا كان عدد " 1 " في المواقع زوجياً.

لتوضيح آلية تكوين ترميز هامنغ، وكمثال، نستخدم صيغة (4 , 7) أي أن عدد البتات يساوي "7"، بينما عدد بتات التحكم يساوي 3 وبالتالي فإن عدد بتات البيانات يساوي "4".

ملاحظة: ترتيب البتات من اليسار لليمين.

١. مواقع بتات التكافؤ: (1, 2, 4) وسوف نرمز لها (p1, p2, and p4).

٢. بقية مواقع البتات (3,5,6,7) هي للبيانات وسوف نرمز لها (d3, d5,d6 and d7) وكما هو موضح في الجدول (٩- ٣).

الجدول (٩- ٣): ترتيب مواقع البتات

Bit Position		1	2	3	4	5	6	7
Encoded Data Bits		p1	p2	d1	p4	d2	d3	d4
Parity bit	p1	X		X		X		X
	p2		X	X			X	X
	p4				X	X	X	X

٣. تتم عملية حساب بتات اختبار التكافؤ على بتات البيانات وفقاً للعلاقات التالية:

$$p_1 = d3 \oplus d5 \oplus d7$$
$$p_2 = d3 \oplus d6 \oplus d7 \qquad (9.3)$$
$$p_4 = d5 \oplus d6 \oplus d7$$

حيث ترمز " ⊕ " إلى عملية "XOR" المنطقية. للتذكير بجدول الحقيقة لبوابة "XOR" انظر الجدول التالي:

الجدول (٩- ٤): جدول الحقيقة لبوابة "XOR"

X1	X2	Output
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

٤. تكون كلمات الترميز (المكونة من 7 خانات) كما هو موضح في الجدول (٩- ٤).

كمثال التوضيح الحصول على كلمة الترميز للرقم العشري "12". كلمة المعلومة هي (1100) وبعد حساب بتات التكافؤ نحصل على:

$$p_1 = d3 \oplus d5 \oplus d7 = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0$$

$$p_2 = d3 \oplus d6 \oplus d7 = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1$$

$$p_4 = d5 \oplus d6 \oplus d7 = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1$$

بعد ترتيب الخانات نحصل على كلمة الترميز التالية من "7" خانات:

0 1 1 1 1 0 0

حيث إن الأرقام باللون الأحمر تمثل مواقع بتات التكافؤ (الخانات 1, 2 and 4) وبقية المواقع هي لبتات البيانات (الخانات 3, 5, 6 and 7).

الجدول (٩- ٤): ترميز هامنج (7,4)

كلمة البيانات Data Word	القيمة العشرية Decimal Value	كلمة الترميز Code Word
0 0 0 0	0	0000000
0 0 0 1	1	1101001
0 0 1 0	2	0101010
0 0 1 1	3	1000011
0 1 0 0	4	1001100
0 1 0 1	5	0100101
0 1 1 0	6	1100110
0 11 1	7	0001111
1 0 0 0	8	1110000
1 0 01	9	0011001
1 0 1 0	10	1011010
1 0 1 1	11	0110011
1 1 0 0	12	0111100
11 0 1	13	1010101
1 1 1 0	14	0010110
1 1 1 1	15	1111111

لتوضيح الحصول على كلمة الترميز للرقم العشري "6". كلمة المعلومة هي (0110) وبعد حساب بتات التكافؤ نحصل على:

$$p_1 = d3 \oplus d5 \oplus d7 = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1$$
$$p_2 = d3 \oplus d6 \oplus d7 = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1$$
$$p_4 = d5 \oplus d6 \oplus d7 = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0$$

بعد ترتيب الخانات نحصل على كلمة الترميز التالية من "7" خانات:

1 1 0 0 1 1 0

لتوضيح آلية كشف الخطأ وتصحيحيه:

نفرض أننا استقبلنا كلمة الترميز (للرقم العشري "6") الخاطئة التالية:

1 1 **1** 0 1 1 0

يقوم المستقبل بحساب بتات التكافؤ لكلمة الترميز القادمة

$$p_1 = d3 \oplus d5 \oplus d7 = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0$$
$$p_2 = d3 \oplus d6 \oplus d7 = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1$$
$$p_4 = d5 \oplus d6 \oplus d7 = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1$$

كما هو واضح، فإن النتيجة تختلف عن السابقة، أي أن قيم بتات التكافؤ لكلمة الترميز المرسلة تختلف عن القيم لكلمة الترميز المستقبلة (الخطأ في الموقع الأول "p1" والثالث "p3"). لتصحيح الخطأ، يكون البت الخاطئ ذو الموقع الناتج من حاصل جمع البتات الخطأ (1 + 2 =3) أي البت الثالث ويقوم بعكسه من "1" إلى "0" وبذلك ترجع كلمة الترميز إلى وضعها الصحيح. يستطيع ترميز هامنج من كشف خطأ واحد في كل كلمة ترميز مع تحديد موقع الخطأ وإصلاحه. في بعض الحالات يمكننا زيادة بت للتكافؤ مما يتيح كشف وتصحيح خطأ واحد والكشف عن خطأين ولكن دون إجراء التصحيح.

٩- ٤ ترميز غراي Gray Coding

يعتبر ترميز غراي للمصدر (نسبة إلى العالم Frank Gray) والذي يسمى أيضًا الترميز الثنائي المنعكس (Reflected Binary Code) من أنواع الترميز المعروفة ويتميز بأنه نظام ثنائي حيث

يكون الاختلاف بين كل قيمتين متعاقبتين بمقدار بت واحد. يتميز ترميز غراي بإمكانية تصحيح الأخطاء ما أدى إلى استخدامه بشكل واسع في المجالات التالية:

- أنظمة البث التلفزيوني الرقمية (الأرضية وعبر الكيبل).
- التحويل من التماثلي للرقمي (A/D).
- أنظمة التعديل الرقمي.
- حل بعض المسائل الرياضية.

التحويل من النظام الثنائي إلى ترميز غراي:

للتحويل من النظام الثنائي إلى ترميز غراي نتبع الخطوات التالية:

١. كتابة الرقم بالصيغة الثنائية.
٢. البت الأعلى قيمة (Most Significant Bit) في ترميز غراي هو نفسه في الصيغة الثنائية.
٣. جمع ثنائي (باستخدام Modulo 2) البت اللاحق بالأهمية مع الذي يليه في الصيغة الثنائية للحصول على البت اللاحق من ترميز غراي.
٤. تكرار الخطوة "٣" حتى ننتهي من جميع بتات الصيغة الثنائية وبذلك يكتمل تكوين ترميز غراي.

مثال ٩- ٤:- قم بتحويل العدد الثنائي (1 0 0 1 0 0 1) إلى صيغة ترميز غراي.

الحل

١. نكتب الرقم (1001001)
٢. البت الأعلى قيمة من اليسار(البت الأكثر أهمية) هو 1 ← 1
٣. نجمع "1" مع الذي يليه في الصيغة الثنائية "0" مما يعطي 1 ← 1
٤. نجمع "0" مع الذي يليه في الصيغة الثنائية "0" مما يعطي 0 ← 0
نجمع "0" مع الذي يليه في الصيغة الثنائية "1" مما يعطي 1 ← 1
نجمع "1" مع الذي يليه في الصيغة الثنائية "0" مما يعطي 1 ← 1
نجمع "0" مع الذي يليه في الصيغة الثنائية "0" مما يعطي 0 ← 0
نجمع "0" مع الذي يليه في الصيغة الثنائية "1" مما يعطي(البت الأقل أهمية)
1 ← 1

بعد ترتيب النتائج نحصل على صيغة ترميز غراي على الشكل التالي: (1 1 0 1 10 1)

مثال ٩- ٥:- لديك نظام ترميز ثنائي بعدد بتات يساوي "4". قم بتحويله إلى ترميز غراي.

الحل

بإتباع خطوات التحويل السابقة، نحصل على النتيجة المدرجة في الجدول (٩- ٥).

لتوضيح كيفية تحويل (1101) (القيمة المظللة في الجدول) إلى ترميز غراي:

البت الأكثر أهمية "1"

نقوم بعملية الجمع الثنائي:

$1 + 1 = 0 \rightarrow 0, \quad 1 + 0 = 1 \rightarrow 1, \quad 0 + 1 = 1 \rightarrow 1$

بعد ترتيب النتائج نحصل على (1 1 0 1)

التحويل من ترميز غراي إلى النظام الثنائي :

للتحويل من النظام الثنائي إلى ترميز غراي نتبع الخطوات التالية:

١. كتابة الرقم بصيغة ترميز غراي.

٢. البت الأعلى قيمة (Most Significant Bit) في الصيغة الثنائية هو نفسه في ترميز غراي.

٣. جمع ثنائي (باستخدام Modulo 2) البت اللاحق بالأهمية في ترميز غراي مع البت اللاحق بالأهمية في الصيغة الثنائية للحصول على البت اللاحق في الصيغة الثنائية.

٤. تكرار خطوة "٣" حتى ننتهي من جميع بتات صيغة غراي وبذلك يكتمل تكوين الصيغة الثنائية.

الجدول (٩- ٥): ترميز غراي (N = 4 Bits)

ترميز غراي Gray Code	القيمة الثنائية Binary Value	القيمة العشرية Decimal Value
0 0 0 0	0 0 0 0	0
0 0 0 1	0 0 0 1	1
0 0 1 1	0 0 1 0	2
0 0 1 0	0 0 1 1	3
0 1 1 0	0 1 0 0	4
0 1 1 1	0 1 0 1	5
0 1 0 1	0 1 1 0	6
0 1 0 0	0 1 1 1	7
1 1 0 0	1 0 0 0	8
1 1 0 1	1 0 0 1	9
1 1 1 1	1 0 1 0	10
1 1 1 0	1 0 1 1	11
1 0 1 0	1 1 0 0	12
1 0 1 1	1 1 0 1	13
1 0 0 1	1 1 1 0	14
1 0 0 0	1 1 1 1	15

مثال ٩- ٦:- قم بتحويل العدد بصيغة غراي (1 0 1 1 0 1 1) إلى الصيغة ثنائية.

الحل

١. نكتب الرقم (1 0 1 1 0 1 1)
٢. البت الأعلى قيمة (من اليسار) هو 1 ← 1 (البت الأكثر أهمية)
٣. نجمع "1" مع الذي يليه في صيغة غراي "1" مما يعطي 0 ← 0
٤. نجمع "0" مع الذي يليه في صيغة غراي "0" مما يعطي 0 ← 0

نجمع 0 مع الذي يليه في صيغة غراي 1 مما يعطي 1 ← 1

نجمع 1 مع الذي يليه في صيغة غراي 1 مما يعطي 0 ← 0

نجمع 0 مع الذي يليه في صيغة غراي 0 مما يعطي 0 ← 0

نجمع 0 مع الذي يليه في صيغة غراي 1 مما يعطي 1 ← 1 (البت الأقل أهمية)

بعد ترتيب النتائج نحصل على الصيغة الثنائية على الشكل التالي: 1 0 0 1 0 0 1.

تدريبات على الوحدة التاسعة

(٩- ١) ما أهمية ترميز المصدر في حالة البيانات الرقمية؟

(٩- ٢) ما أهمية ترميز المصدر في حالة المعلومات التماثلية؟

(٩- ٣) ما الآليات المستخدمة للقيام بترميز المصدر؟

(٩- ٤) ما الفكرة الأساسية في ترميز هوفمان؟

(٩- ٥) لديك مجموعة مكونة من ثمانية عناصر تم ترتيبها مع احتمالات ظهورها في الجدول

(٩- ٦) قم بترميزها باستخدام ترميز هوفمان.

الجدول (٩- ٦)

العنصر	احتمال الظهور
X1	0.24
X2	0.21
X3	0.2
X4	0.12
X5	0.1
X6	0.08
X7	0.04
X8	0.01

(٩- ٦) احسب الطول المتوقع أو المتوسط لكلمة الترميز المستخدمة في السؤال السابق؟

(٩- ٧) ما الميزة الرئيسة لترميز هامنج؟

(٩- ٨) ما المقصود بمسافة هامنج؟

(٩- ٩) أكمل الجدول التالي:

الجدول (٩- ٧)

عدد بتات التحكم، k	عدد بتات البيانات، n	العدد الكلي، m
2		
5		
7		

(٩- ١٠) لديك كلمتا ترميز (110101010) و (01011101). احسب مسافة هامنج بينهما؟

(٩- ١١) أكمل الجدول التالي باستخدام ترميز هوفمان:

الجدول (٩- ٨)

كلمة البيانات Data Word	القيمة العشرية Decimal Value	كلمة الترميز Code Word
0 0 0	0	
0 0 1	1	
0 1 0	2	
0 1 1	3	
1 0 0	4	
1 0 1	5	
1 1 0	6	
11 1	7	

(٩- ١٢) ما فكرة ترميز غراي؟

(٩- ١٣) ما مجالات تطبيق ترميز غراي؟

(٩- ١٤) قم بتحويل العدد الثنائي 1 1 0 1 0 1 1 إلى صيغة ترميز غراي.

(٩- ١٥) قم بتحويل العدد بصيغة غراي 1 0 0 0 1 0 1 إلى الصيغة ثنائية.

(٩- ١٦) أكمل الجدول التالي:

الجدول (٩- ٩)

ترميز غراي Gray Code	القيمة الثنائية Binary Value	القيمة العشرية Decimal Value
	0 0 0	0
	0 0 1	1
	0 1 0	2
	0 1 1	3
	1 0 0	4
	1 0 1	5
	1 1 0	6
	1 1 1	7

الوحدة العاشرة

الصيغ الرقمية للصورة والصوت والفيديو

الصيغ الرقمية للصورة والصوت والفيديو

Digital Image Audio and Video Format

الهدف العام:

التعرف على الصيغ الرقمية الرئيسة للصورة، والصوت والفيديو.

الأهداف التفصيلية:

بعد ان تكتمل هذه الوحدة يكون المتدرب قادرًا على أن يتعرف على:

١. طرق ضغط المعلومات.
٢. الصيغ المعتمدة لدرجة الوضوح (Resolution).
٣. الصيغ الرقمية للصورة.
٤. الصيغ الرقمية للصوت.
٥. الصيغ الرقمية للفيديو.

مقدمة

تتناول هذه الوحدة التعرف على عملية ضغط المعلومات بنوعيه مع الفقد وبدون الفقد، صيغ الدقة أو الوضوح المستخدمة، الصيغ الرقمية للصور، الصيغ الرقمية للصوت والصيغ الرقمية للفيديو.

١٠- ١ ضغط المعلومات Information Compression

كما هو معلوم، فإن معظم ما نتعامل معه في الوقت الحاضر من صور وملفات صوتية ومرئية هي من النوع الرقمي سواء عن طريق الإنترنت ،أو أقراص التخزين (CDs, DVDs, Blue Rays, ...)،أو برامج البث الراديوي والتلفزيوني عبر الأقمار الاصطناعية أو الصور الملتقطة عن طريق الكاميرات الرقمية. إن المشكلة الرئيسة في الملفات الرقمية للصورة،والصوت والفيديو هو حجمها الكبير جدًا مما يتسبب بإشكالية في تخزينها ونقلها. لمزيد من التوضيح لحجم بعض أنواع الملفات، انظر الجدول (١٠- ١).

الجدول (١٠- ١): حجم تخزين ملفات الصوت والفيديو على القرص الصلب

نوع الملف	الحجم المطلوب
الصوت على القرص الصلب CD ذو سعة 700 MB	أقصى تردد صوتي يتم التعامل معه 22.05 kHz وبالتالي فإن تردد أخذ العينات المستخدم f_s = 44.1 kHz مع عدد بتات يساوي 16 وقناتين في حالة نظام ستيريو. (16 bits = 2 bytes) $44.1\times10^3 \times 2$ bytes × 2 channels = 176,400 bytes/second One Minute: 60 × 176,400 bits/second = 10.584 MB مما يسمح بتسجيل حوالي ٧٤ دقيقة بدون عملية الضغط.
الفيديو غير المضغوط	لحساب حجم الدقيقة الواحدة لفيديو غير مضغوط: حجم الصورة 720 pixel ×480 pixel بواقع 30 لقطة في الثانية وعدد 16 بت للعينة الواحدة. 720 pixel ×480 pixel×30 frame/ sec×2 bytes/sample =20.736Mb/s One minute video requires 20.736 Mb/s × 60 = 1.244 GB

عادة ما تستخدم طريقة الضغط (Compression) في الإرسال وذلك لتقليل حجم البيانات الرقمية وفك الضغط (Decompression) في الاستقبال وذلك لاسترجاع المعلومات الأصلية. يسمى الجهاز الذي يقوم بتلك العمليتين كوديك (Codec)، حيث ينقسم إلى نوعين:

- **النوع مع الفقد** Lossly، حيث يتم خسارة جزء من البيانات نظرًا لعدم أهميتها ولكن لا يمكن استرجاع الإشارة الأصلية بالجودة الكاملة.

- **النوع بدون فقد** Lossless، حيث يتم استرجاع البيانات بالكامل بدون أي فقد.

عادة ما نستطيع التحكم بنسبة الضغط (Compression Ratio) للملفات الرقمية المختلفة، حيث تتيح تلك الملفات إمكانية اختيار نسبة الضغط التي نحتاجها. هنالك علاقة عكسية بين نسبة الضغط وحجم الملف والجودة، أي أنه كلما زادت نسبة الضغط، كلما صغر حجم الملف وقلت الجودة. عادة ما نستخدم معدل البتات (Bit Rate) أو (File Resolution) للتعبير عن عدد البايتات (Bytes) اللازمة لتخزين ثانية واحدة من الصورة أو الصوت أو الفيديو. فمثلاً نظام (mp3 - 128kb/s) الصوتي يحتاج إلى "128" الف بايت لتخزين ثانية واحدة من الصوت. لمزيد من التوضيح نقدم الأمثلة العملية التالية:

مثال ١٠- ١:- نظام التشغيل (i-Tunes and Windows Media)
يستخدم نظام التشغيل لشركة أبل معدل البايتات (128 kb/s) لصيغة "AAC" الرقمية لمشغل (i-Tunes) وصيغة "WMA" الرقمية لمشغل (Windows Media Player)، مما يساعد في اختصار مساحات التخزين على القرص الصلب (CD) ويسمح بتخزين حوالي "130" مقطع موسيقي بنفس المساحة المطلوبة لتخزين نفس المقطع بدون عملية الضغط.

مثال ١٠- ٢:- مسجلات القرص الرقمي متعدد الاستخدامات: (DVD Recorders)
تستخدم مسجلات القرص الرقمي متعدد الاستخدامات "DVD" الصيغة الرقمية "MPEG-2" لضغط وتخزين الفيديو، حيث يمكن للمستخدم الاختيار بين حجم التخزين أو الجودة وذلك من خلال التحكم بنسبة الضغط.

مثال ١٠- ٣:- الكاميرات الرقمية (Digital Cameras)
تستخدم الكاميرات الرقمية الصيغة الرقمية "JPEG" لضغط الصور لتصغير حجمها مما يسهل عملية التخزين والإرسال. هنالك بعض الكاميرات الرقمية التي تسمح بأخذ الصور بدون عملية الضغط (مثل ملفات "TIFF" و "RAW").

عادة ما تختلف درجة الوضوح (Resolution) حسب عدد البكسل المستخدم، حيث يستخدم عدد كبير من الصيغ الرقمية للشاشات والفيديو نعرض أهمها في الجدول التالي:

الجدول (١٠- ٢): درجة الوضوح للصيغ الرقمية للشاشات والفيديو

الصيغة Format	الاسم الكامل Full Name	درجة الوضوح Resolution	عدد البكسل Pixels
SQCIF	Sub QCIF	128 × 96	12,288
QCIF	Quarter CIF	176 × 144	25,344
CIF	Common Intermediate Format	352 × 288	101,376
DCIF	Double CIF	528 × 384	202,752
4CIF	4 × CIF	704 × 576	405,504
16CIF	16 × CIF	1408 × 1152	1,622,016
VGA	Video Graphic Array	640 × 480	307,200
QQVGA	Quarter QVGA	160 × 120	19,200
QVGA	Quarter VGA	320 × 240	76,800
HQVGA	Half Quarter VGA	240 × 160	38,400
SVGA	Super VGA	800 × 600	480,000
XVGA	Extended VGA	1024 × 768 640 × 480	786,432 307,200
WQVGA	Wide QVGA	480 × 272	130,560
HD	High definition,(720p)	1280 × 720	921,600
FHD	Full HD, (1080p), (16:9)	1920 × 1080	2,073,600
UHD	Ultra HD (16:9)	7680 × 4320	33,177,600

١٠- ٢ الصيغ الرقمية للصورة Digital Image Formats

لتصغير حجم ملف الصورة الرقمية، تستخدم عملية الضغط والتي تكون ذات فقد (Lossy) أو بدون فقد (Lossless). في حالة طريقة الضغط ذات الفقد، لتغير حجم ملف الصورة، يتم التخلص من بعض معلومات الصورة على حساب الجودة. أما في حالة طريقة الضغط بدون الفقد، فيتم استخدام طرق أكثر فاعلية لتمثيل الصورة دون فقدان أي من معلوماتها.

إذا أخذنا عدد الألوان في الصورة، فإن أبسط أنواع الصور تحتوي على لونين؛ الأسود والأبيض وبالتالي فهي بحاجة لبت واحد فقط لتمثيل كل بكسل. (البكسل هو أصغر جزء من الصورة يمكن تمثيله أو التحكم به، حيث يكون له موقع محدد من ناحية الإحداثيات على الشاشة). بعد ذلك، استخدمت كروت الفيديو القديمة "16" لونًا محددًا حيث نكون بحاجة لأربعة بتات ($2^4 = 16$) لكل بكسل. ومن ثم تم استخدام "256" لونًا حيث نكون بحاجة لثمانية بتات ($2^8 = 256$) لكل بكسل، أما في الوقت الحالي فإن عدد الألوان يصل إلى 16 مليون لون وهو ما يسمى اللون الحقيقي (True Color) ونكون بحاجة إلى "24" بت ($2^{24} = 16,777,216$) لكل بكسل.

هنالك عدد كبير من أنواع الملفات الرقمية للصور، سوف نتعرف على بعضها.

- **صيغة ملف** "TIFF":

يعرف ملف "TIFF" بصيغة ملف الصورة الموسومة (Tagged Image File Format) حيث يعتبر من النوع بدون الفقد (أي أنه لا يستخدم عملية الضغط) وقد كانت بداية التطبيق في العام 1986. يكثر استخدام هذه الصيغة الرقمية للصور في الرسومات (Graphics)، الطباعة (Publishing)،والماسحات الضوئية (Scanners) وكاميرات التصوير الرقمية (Digital Cameras). تتميز صيغة هذا الملف بالمرونة ولكنه ذو حجم كبير. في حالة تخزين الملفات من هذا النوع نستخدم امتداد (**.TIF**)

- **صيغة ملف** "GIF" :

يعرف ملف "GIF" بصيغة تبادل الرسومات (Graphics Interchange Format) حيث كانت هذه الصيغة لملفات الصور والرسوم المتحركة (Animation) من أشهر الصيغ المستخدمة في الإنترنت وذلك لصغر حجم الملف مما يسهل عملية التخزين والإرسال. تستخدم هذه الصيغة ثمانية بتات لتمثيل الألوان مما يسمح بعدد 256 لوناً. تعتبر هذه الصيغة من النوع بدون الفقد (Lossless) لكنها تستخدم تقنية خاصة لتقليل حجم الملف وذلك عن طريق تحديد الأشكال المتكررة لمجموعات البكسل (Repeated Patterns of Pixels) حيث لا يلزم إرسالها جميعًا بينما يرسل شكل واحد مع عدد مرات التكرار مما يختصر حجم البيانات. لقد تم تطوير هذا الملف في صيغة ملف جديد يسمى "PNG".

في حالة تخزين الملفات من هذا النوع نستخدم امتداد (**.GIF**).

- **صيغة ملف** "PNG" :

يعرف ملف "PNG" برسومات الشبكة المتحركة (Portable Network Graphics) حيث جاء لتطوير واستبدال صيغة ملفات "GIF" وذلك ابتداء من العام 1996. لقد كانت هذه الصيغة لملفات الصور من أشهر الصيغ المستخدمة في الإنترنت وذلك لصغر حجم الملف. هنالك نماذج مختلفة من ملفات "PNG" مثل "PNG-8" حيث يتم استخدام "8" بتات لتمثيل الألوان (256 Colors) وهنالك "PNG-24" حيث يتم استخدام "24" بت لتمثيل الألوان (16 Million Colors). في حالة تخزين الملفات من هذا النوع نستخدم امتداد (**.PNG**)

- **صيغة ملف "JPEG":**

يعرف ملف "JPEG" باختصار "لمجموعة خبراء التصوير المشتركة" (Joint Photographic Experts Group) ويعتبر من أشهر الصيغ الرقمية لحفظ الصور والتي تحتوي على عدد كبير جدًا من الألوان. يعتمد مبدأ عمل صيغة ملفات "JPEG" على تحليل الصورة وإلغاء بعض المحتويات غير الهامة بالنسبة للعين، والقيام بإرجاعها عند عرض الصورة، لذلك فإنه يعتبر من النوع ذي الفقد (Lossly).

يمكننا زيادة نسبة الضغط للتقليل من حجم ملف الصورة ولكن على حساب الجودة والعكس صحيح. عمليًا يمكننا اعتماد نسبة ضغط تصل إلى "60%" والتي تعتبر كحل وسط بين حجم الملف والجودة. هنالك النسخة المعدّلة والمطورة من "JPEG" والتي تسمى "JPEG2000". في حالة تخزين الملفات من هذا النوع نستخدم امتداد (**.JPG**)

- **صيغة ملف BMP**

يعرف ملف "BMP" بالصورة النقطية (Bitmap Picture) وهو عبارة عن صيغة ملف رقمي للصور بدون عملية الضغط والذي تم تطويره من قبل شركة ميكروسوفت. تتميز هذه الصيغة بالبساطة والقدرة على تخزين الصور ذات اللون الواحد أو الملونة بغض النظر عن الأبعاد، لكن الملف يكون كبير الحجم.

في حالة تخزين الملفات من هذا النوع نستخدم امتداد (**.BMP**).

لمقارنة حجم الملف لصورة محددة باستخدام الصيغ الرقمية المختلفة انظر الجدول (١٠- ٣).

الجدول (١٠- ٣): حجم ملف صورة محددة باستخدام الصيغ المختلفة

نوع الملف (الصيغة الرقمية)	الحجم
TIFF بدون الضغط	901 K
TIFF مع الضغط	928 K
JPEG جودة عالية	319 K
JPEG جودة متوسطة	188 K
JPEG جودة متدنية (ضغط عالٍ)	50 K
PNG بدون ضغط	741 K
GIF بدون ضغط (256 لون)	286 K

١٠- ٣ الصيغ الرقمية للصوت Digital Audio Formats

هنالك عدد كبير جدًا من الصيغ الرقمية للصوت التي تستخدم لتسجيل وسماع الملفات الصوتية والموسيقية. سوف نتعرف على عدد من تلك الصيغ ذات الانتشار الأوسع.

- **صيغة ملف "MPEG-3":**

يعرف ملف (MPEG-1 Layer III) أو (MPEG Audio Layer III) والذي يعرف اختصارًا "MP3". تعتبر صيغة الملفات الصوتية الرقمية "MP3" والتي بدأت عام 1994م، من أشهر الصيغ الرقمية للصوت حيث تعتمد طريقة الضغط لتصغير حجم الملف وبالتالي فإنها من النوع ذي الفقد. تقسم ملفات "MP3" إلى نوعين:

- **ذات معدل إرسال البتات الثابت** (With Constant Bit Rate)
- **ذات معدل إرسال البتات المتغير** (With Variable Bit Rate) حيث يستخدم معدل إرسال البتات المتدني للأجزاء التي يمكن ضغطها بسهولة، ومعدل إرسال بتات عالٍ للأجزاء التي لا يمكن ضغطها بسهولة.

هنالك قيم مختلفة لمعدلات إرسال البتات نلخصها في الجدول (١٠- ٤) التالي:

جدول (١٠- ٤): معدلات إرسال البيانات بصيغ وترددات مختلفة

الصيغة الرقمية	معدل إرسال البتات، Kb/s	تردد أخذ العينات f_s، kHz
MPEG-1 Layer III	32, 40, 48, 56, 64, 80, 96, 112, 128, 160, 192, 224, 256, 320	32, 44.1 and 48
MPEG-2 Layer III	8, 16, 24, 32, 40, 48, 56 64, 80, 96, 112, 128, 144, 160	16, 22.05, and 24

إن أكثر القيم استخدامًا لمعدل إرسال البتات هي "128 kb/s" والتي تتيح الحصول على جودة جيدة بحجم تخزين قليل. لكن ومع الزيادة التي نشهدها في عرض النطاق الترددي للإنترنت وحجم التخزين الهائل للأقراص الصلبة، أصبح من الممكن استخدام السرعات العالية (Up to 320 kb/s) والتي تسمح بالحصول على جودة أعلى.

هنالك معيار للجودة يسمى جودة القرص الصلب (CD Quality) ويقصد به القيم التالية:

- تردد أخذ العينات "44.1 kHz".
- عدد البتات المستخدم للترميز "16".
- عدد القنوات "2".

في حالة تخزين الملفات من هذا النوع نستخدم امتداد (**.MP3**)

مثال ١٠- ٤:- لديك قرص صلب سعته "700MB"، أوجد عدد الدقائق التي يمكن تخزينها بنظام "MP3" بمعدل "96 kb/s".

الحل

نقوم بحساب سرعة إرسال البتات في الثانية بوحدة البايت ومن ثم نحسب السرعة للدقيقة الواحدة، بعدها نقسم سعة القرص على الحجم المطلوب لتخزين الدقيقة الواحدة لنحصل على عدد الدقائق.

Bit rate = 96kb/s = 96/8 = 12 kB/s (one byte = 8 bits)
12 kB/s × 60 = 720 kB/ minute
700 MB/ 720 kB/minute = 972 minutes.

مثال ١٠- ٥:- لديك قرص صلب صوتي (Audio CD) يستخدم سرعة إرسال البتات "1411.2 kb/s". أوجد نسبة الضغط في حالة استخدام صيغة "MP3" للسرعات: "128 kb/s" و "192 kb/s".

الحل

$$For\,128\,kb/s:\ \frac{1411.2\,kb/s}{128\,kb/s} = 11.025 \approx 11$$

$$For\,192\,kb/s:\ \frac{1411.2\,kb/s}{192\,kb/s} = 7.35 \approx 7$$

- **صيغة ملف** "AAC":

يعرف ملف "AAC" بترميز الصوت المتقدم (Advanced Audio Coding) ويتميز بالجودة الأفضل مقارنة مع صيغة ملف MP3 مع استخدام نفس سرعة إرسال البتات. لقد تم تقديم هذه الصيغة الرقمية عام 1997م، على شكل "MPEG-2 Part 7" والتي لم تكن متوائمة مع "MPEG-1" بفئاتها "MP1" , "MP2", "MP3". تتميز صيغة ملفات "AAC" عن "MP3" بالإيجابيات التالية:

١. تنوع أكثر لقيم ترددات أخذ العينات f_s (From 8 to 96 kHz) مقارنة مع نظام "MP3" (From 16 to 48 kHz).
٢. تدعم لغاية "48" قناة مقارنة مع "MP3" التي تدعم عدد أقل (MP3 تدعم قناتين في حالة "MPEG-1" ولغاية خمس قنوات في حالة MPEG-2).
٣. فعالية أعلى للترميز ودقة أكثر.
٤. الأفضلية في التعامل مع الترددات الصوتية الأعلى من "16 kHz".

في حالة تخزين الملفات من هذا النوع نستخدم امتداد (**.AAC**)

- **صيغة ملف** "WMA":

يعرف ملف "WMA" بصوت وسائط الويندوز (Windows Media Audio) والذي تم تطويره من قبل شركة ميكروسوفت في العام 1999م. هنالك أربع صيغ لهذا الملف:

- ملف "WMA" الأصلي (Original WMA) والذي يعتبر المنافس للصيغ "MP3" و "Real Audio". تقوم هذه الصيغة الرقمية للضغط بالتعامل مع الملفات الصوتية بترددات أخذ العينات لغاية "48 kHz" مع إمكانية الحصول على قناتين (نظام Stereo).
- ملف "WMA" الاحترافي (Professional WMA) ويعرف اختصارًا (WMA Pro) ويتميز بجودة الصوت العالية وإمكانية الحصول على قنوات عديدة. تقوم هذه الصيغة الرقمية للضغط بالتعامل مع الملفات الصوتية بترددات أخذ العينات لغاية "96kHz" مع إمكانية الحصول على "8" قنوات.

- ملف "WMA" بدون الفقد (Lossless WMA) حيث يتم ضغط الملفات الصوتية بدون أي فقد مما يعطي جودة عالية. تقوم هذه الصيغة الرقمية للضغط بالتعامل مع الملفات الصوتية بترددات أخذ العينات لغاية "96 kHz" مع إمكانية الحصول على "6" قنوات.
- ملف "WMA" للصوت (WMA Voice) حيث تتم عملية الضغط على سرعات إرسال البتات المتدنية. تقوم هذه الصيغة الرقمية للضغط بالتعامل مع الملفات الصوتية بترددات أخذ العينات لغاية "22.05 kHz" لقناة واحدة (نظام Mono) وسرعة إرسال البتات لغاية "20kb/s".

في حالة تخزين الملفات من هذا النوع نستخدم امتداد (**.WMA**)

- **صيغة ملف "WAV":**

يعرف ملف "WAV" بصيغة الموجة للملف الصوتي (Waveform Audio) والذي تم تطويره من قبل شركتي ميكروسوفت و "IBM" في العام 1991م. تتوافق الصيغة الرقمية لملفات WAV مع أنظمة ويندوز، وماكنتوش ويونيكس. تحتوي ملفات "WAV" على صوت غير مضغوط بصيغة تعديل ترميز النبضات الخطية (Linear PCM).

تتميز ملفات "WAV" بالإيجابيات التالية:

- البساطة.
- جودة الصوت العالية.
- إمكانية إجراء التعديل على الملفات بصيغة "WAV".

لكن ملفات "WAV" ذات حجم كبير مما يجعلها غير مناسبة للنقل عبر الإنترنت وخاصة في حالة السرعات المتدنية. عادة ما تستخدم هذه الصيغة مع ملفات ذات حجم لغاية "4GB" لكونها تستخدم "32" بت لتسجيل العنوان الرأسي لحجم الملف (File Size Header)، (2^{32} = 4,294,967,296).

في حالة تخزين الملفات من هذا النوع نستخدم امتداد (**.WAV**)

١٠- ٤ الصيغ الرقمية للفيديو Digital Video Formats

كما هو معلوم، يمكننا اعتبار الفيديو سلسلة من الصور المتتالية بسرعة معينة، حيث تتكون كل صورة من عدد معين من البكسل. كما أوضحنا في الجدول (١٠- ١)، فإن الفيديو غير المضغوط يتطلب حجمًا كبيرًا جدًا مما يتسبب بصعوبة التخزين أو النقل وخاصة عبر الإنترنت . لذلك لا بد من استخدام طرق مختلفة للضغط مما يقلل حجم ملفات الفيديو بشكل كبير جداً.

هنالك عدد كبير جدًا من الصيغ الرقمية لملفات الفيديو، حيث يتم تطويرها من قبل مؤسسات المواصفات القياسية (Standards Organizations) والشركات المصنعة لأجهزة الفيديو الرقمي، مما يدخل القارئ في تداخلات واسعة بين تلك الصيغ. سوف نتعرف على بعض تلك الصيغ الأوسع انتشاراً.

- **صيغة ملف** "MPEG":

يعرف ملف "MPEG" (Moving Picture Experts Group) بأنه من أكثر الصيغ الرقمية للفيديو استخداماً،والذي تم تطويره في العام 1988م، من قبل مجموعة خبراء الصورة المتحركة والمشكلة من قبل المؤسسة العالمية للمقاييس (ISO) حيث يستخدم بشكل واسع مع الإشارات التلفزيونية الرقمية والتي يتم بثها عبر الأنظمة المختلفة (الأرضية والكيبل والليف البصري والأقمار الصناعية). كذلك يتم تصميم وتصنيع أجهزة التلفاز ومحطات التلفزة ومشغلات "DVD" لتتعامل مع هذه الصيغة الرقمية.

في حالة تخزين الملفات من هذا النوع نستخدم امتداد (**.MPG**)

هنالك أربع مراحل لصيغة MPEG:

المرحلة الأولى "MPEG-1" وتتميز بالخصائص التالية:

- عرض نطاق متوسط (لغاية 1.5 Mb/s)
- الفيديو: (352 × 242 × 30 Hz) "1.25 Mb/s" ، (30 Hz تعني معدل 30 إطار في الثانية)
- الصوت: (two channels) "240 kb/s"
- مناسب للاستخدام مع "CD-ROM".

جودة الفيديو ليست جيدة حيث إنها تقارب جودة نظام الفيديو المنزلي "VHS"، (Video Home System)

المرحلة الثانية "MPEG-2" وتتميز بالخصائص التالية:

- عرض نطاق أعلى (لغاية 40Mb/s)
- الفيديو: إمكانية التعامل مع الفيديو عالي الوضوح "HDTV"
- الصوت: إمكانية الحصول على عدد قنوات صوتية لغاية 5 مما يتيح إمكانية استخدام نظام لصوت المحيط (Surround Sound) (أكثر استخداماً في السينما).
- مناسب للاستخدام مع (CD-ROM).

لتحديد حجم الصورة (Image Size) وبالتالي درجة الوضوح (Resolution) تستخدم طريقة ضرب عدد البكسل لعرض الصورة مع عدد البكسل لارتفاع الصورة مما يعطي عدد البكسل الكامل للصورة. فمثلاً صورة ذات مقاس (1536 × 2048) تعني أن عدد البكسل

لعرض الصورة "2048" بينما العدد لارتفاعها يساوي "1536" مما يعطي إجمالي "3,145,728" بكسل. يوضح الجدول (١٠- ٤) أحجام الصورة المختلفة لصيغة "MPEG-2".

المرحلة الثالثة "MPEG-3":

والتي تم تطويرها لنظام الفيديو عالي الوضوح "HDTV" وبمقاس لغاية "1920 × 1080" بمعدل "30" إطار في الثانية، لكنه في الوقت الحاضر يستخدم (MPEG-2 High 1440) للفيديو عالي الوضوح (انظر الجدول ١٠- ٤).

المرحلة الرابعة "MPEG-4":

تتميز هذه المرحلة بالخصائص التالية:

- عرض نطاق قليل جدًا (لغاية 64kb/s)
- الفيديو: (176 × 144 × 10 Hz)
- الصوت: لغاية "10kb/s"
- مناسب للاستخدام مع هواتف الفيديو "Videophones".

جدول (١٠- ٥): مراحل صيغ "MPEG"

Level	Picture Size, Frames Per Second = 30	Maximum bit rate
Low	352 × 240	4 Mb/s
Main	720 × 480	15Mb/s
High 1440	1440 × 1152	60Mb/s
High	1920 × 1080	80Mb/s

صيغة ملف "MPEG-4":

يعتبر ملف (MPEG-4 Part 14) والذي يعرف اختصارًا "MP4" من أشهر الصيغ الرقمية لضغط ملفات الوسائط المتعددة من أجل التخزين والإرسال. يعتبر ملف "MP4" كصيغة رقمية حاوية (Container Format) للصوت والصورة والفيديو في ملف واحد. تتشابه صيغة ملفات "MP4" مع ملفات "MP3" الصوتية من ناحية مبدأ العمل لكن مع زيادة في الصعوبة والتعقيد وذلك لصعوبة الإشارة المرئية مقارنة مع الإشارة الصوتية. تعتمد فكرة الضغط في

هذه الملفات على تقسيم الملف الواحد إلى عدد من الملفات الصغيرة مع إزالة المعلومات الزائدة في الصورة والمعلومات التي لا يمكن كشفها من قبل الناظر مما يقلل حجم الملف بشكل كبير. لقد تم تطوير صيغة "MP4" ووضع المواصفات الفنية لها على أساس الصيغة المعروفة لشركة أبل (Quick Time Format).

في حالة تخزين الملفات من هذا النوع نستخدم امتداد (**.MP4**)

- **صيغة ملف** "H.263"

تعتبر صيغة ملفات "H.263" من الصيغ الرقمية لضغط الفيديو على سرعات متدنية (Low Bit Rate) ابتداء من "64 kb/s" والتي تم تطويرها من قبل الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU) في العام ١٩٩٦م، لأغراض مؤتمرات الفيديو (Video conferencing). بعد ذلك تم إجراء تعديلات على تلك الصيغة مما سمح بزيادة السرعات وبذلك أصبحت الصيغة "H.263" كبديل للصيغة الأقدم "H.261".

- **صيغة ملف** H.264

تستخدم هذه الصيغة ابتداء من عام 2003م، لضغط ملفات الفيديو ويعرف بأكثر من اسم، ترميز الفيديو المتقدم (Advanced Video Coding) أو (MPEG-4 part 10) . لقد كان الهدف الأساسي هو تطوير صيغة رقمية لضغط ملفات الفيديو بحيث يمكن الحصول على جودة عالية مع سرعات إرسال البتات المتدنية وبدون تعقيد التصميم. تستخدم هذه الصيغة بشكل واسع لتسجيل وتوزيع الفيديو عالي الوضوح، وأقراص الشعاع الأزرق (Blue-ray Discs)،ونقل الفيديو عبر أجهزة الجوال ونقل الفيديو عبر الإنترنت (You Tube, AdobeFlash Player, i-Tunes). يقوم المرمّز (Encoder) بضغط الفيديو إلى حجم يصبح مناسبًا للتخزين أو الإرسال، بينما يقوم فك الترميز (Decoder) بفتح الملفات المضغوطة وإرجاعها إلى وضعها الأصلي قبل عملية الضغط. تتميز صيغة ملفات "H.264" بالإيجابيات التالية:

- جودة الفيديو العالية على سرعات إرسال أقل (توفير حوالي "50%" في سرعات إرسال البتات).

لتوضيح ذلك، على قرص "DVD" يمكننا تسجيل فيديو لمدة ساعتين باستخدام صيغة "MPEG-2" بينما يمكننا تسجيل أربع ساعات على نفس القرص باستخدام صيغة "H.264" وبنفس الجودة.

- إمكانية استخدام هذه الصيغة في تطبيقات متنوعة.

- **صيغة ملف** "MOV":

يعتبر ملف 'MOV" من الصيغ الرقمية للتعامل مع الوسائط المتعددة (Multimedia) والذي تم تطويره في العام 1991م، من قبل شركة "Apple Computer" ويتناسب مع نظم التشغيل ماكنتوش وويندوز. يعتبر ملف "MOV" من نوع متعدد الوسائط الحاوي (Multimedia Container) مبني على أساس نظام تشغيل الفيديو "QuickTime" للوسائط المتعددة المعتمد لدى شركة "Apple"، بمعنى أنه يحوي عدة مسارات (Tracks) نتمكن من خلالها من تخزين الصوت والفيديو والنص وغيرها. يتشابه ملف "MOV" مع "MP4" بأنهما يستخدمان الصيغة "MPEG-4". في حالة التعامل مع نظام التشغيل ويندوز، تستخدم صيغة "MOV".
في حالة تخزين الملفات من هذا النوع نستخدم امتداد (**.MOV**).

- **صيغة ملف** "DivX":

هنالك شركة عالمية اسمها "DivX" والتي تقوم بإنتاج سلسلة من أجهزة الترميز وفك الترميز (Codecs) للفيديو والتي اشتهرت لقدرتها على المنافسة بالجودة العالية وذلك باستخدامها لآلية الضغط العالية بصيغة "MPEG-4". تعتمد صيغ ملفات "DivX" (Digital VideoExpress) على التوازن بين الجودة وحجم الملف حيث تتنافس مع الصيغ الأخرى المعروفة مثل "WMV" لأنظمة ويندوز و "MOV" لمشغلات "QuickTime". هنالك نسخة مفتوحة المصدر (Open Source) من هذه الصيغة تسمى "Xvid" تتميز بالضغط العالي للفيديو مما يصغر حجم الملف مع الحفاظ على جودة عالية. تستخدم مع أنظمة التشغيل المختلفة وهي مناسبة جدًا لنقل ملفات الفيديو عبر الإنترنت .

وفي النهاية، نقوم بتلخيص أشهر أنواع الصيغ الرقمية للصورة والصوت والفيديو في الجدول (١٠- ٦).

جدول (١٠- ٦): أشهر أنواع الصيغ الرقمية للصورة والصوت والفيديو

الصيغة	الاسم الكامل	ملحوظات
AAC	Advanced Audio Coding	ترميز الصوت المتقدم، تم تطويره لتحسين "mp3" باستخدام تقنيات ضغط أكثر تطوراً.
AIFF	Audio Interchange File Format	صيغة ملف تبادل الصوت لنظام ماكنتوش لتخزين الصوت غير المضغوط بجودة "CD".
ALE	Apple Lossless Encoding	ترميز أبل بدون الفقد، يتيح التخزين بجودة "CD" وبنصف حجم الملف الأصلي.
ATRAC	Adaptive Transform Acoustic Coding	الترميز الصوتي باستخدام التحويل المتكيّف، تم تطويره من قبل شركة سوني، من النوع ذي الفقد، يعطي جودة قريبة من "CD" بحجم ملفات صغير.
ATRAC3	Adaptive Transform Acoustic Coding 3	نسخة مطورة من السابق، يستخدم في مشغلات سوني ويتيح تصغير حجم الملفات بشكل أكبر.
ATRAC3plus	Adaptive Transform Acoustic Coding 3 plus	أحدث نسخة من النظام السابق ويستخدم مع منتجات سوني لتصوير الفيديو (Hi-MD).
AU	Audio Format	صيغة رقمية للصوت تستخدم لنقل الملفات الصوتية عبر الإنترنت مع مختلف أنظمة التشغيل.
AVCHD	Advanced Video Coding High Definition	ترميز الفيديو المتقدم عالي الوضوح، يسمح بتسجيل الفيديو بمقاس "1080i" و "720p" وبحجم ملف مناسب، يستخدم للتسجيل على أقراص الشعاع الأزرق (Blue Ray Discs).
AVI	Audio Video Interleaved	صيغة تناوب بيانات الصوت والصورة أثناء عملية التخزين،ويستخدم مع نظام ويندوز لتخزين وتشغيل الصوت.
BMP	Bitmap Pictures	صيغة الصورة النقطية، والتي تكون مضغوطة أو غير مضغوطة. تستخدم مع نظام ويندوز.
DV	Digital Video	صيغة الفيديو الرقمي التي تستخدم في الكاميرات الرقمية للتسجيل على الأقراص الصغيرة (Mini DV Cassette). عند نقل التسجيل للحاسب نحتاج إلى حجم كبير (لتخزين "5" دقائق فيديو نحتاج مساحة 1GB).

الصيغة	الاسم الكامل	ملحوظات
DivX	Digital Video Codec Created from DivX Company	صيغة رقمية على أساس صيغة "MPEG-4" وتستخدم لإرسال الفيديو عبر الإنترنت لصغر حجم الملفات.
GIF	Graphic Interchange Format	صيغة تبادل الرسومات لتخزين الصور الرقمية البسيطة على شبكة الإنترنت .
JPEG	Joint Photographic Expert Group	صيغة :مجموعة خبراء التصوير المشتركة"
MPEG	Moving Picture Experts Group	"مجموعة خبراء الصور المتحركة" والتي تعنى بوضع المواصفات والمقاييس لترميز الصوت والفيديو.
MPEG-1	Moving Picture Experts Group- Part1	المرحلة الأولى من الصيغة السابقة، تستخدم في الكاميرات الرقمية للصور والفيديو البسيطة، كذلك تستخدم كملف ضغط لتسجيل الفيديو على أقراص "CD".
MPEG-2	Moving Picture Experts Group- Part2	المرحلة الثانية من الصيغة السابقة، تستخدم في أفلام "DVD" والبث التلفزيوني الرقمي عبر الأقمار الاصطناعية.
MPEG-4	Moving Picture Experts Group- Part4	المرحلة الرابعة من الصيغة السابقة، تستخدم لاستعراض وتحميل الفيديو من الإنترنت وفي الكاميرات الرقمية الحديثة.
MP3	MPEG-1, Audio Layer 3	من أشهر الصيغ الرقمية لتخزين ونقل الموسيقى وتعتبر من النوع ذي الفقد مما يتيح الحصول على حجم ملفات صغير جداً.
MP3Pro	MP3 Professional	نسخة محدثة من "MP3" تتيح الحصول على جودة عالية بمعدل إرسال بتات قليل.
QuickTime	QuickTime	صيغة رقمية لتخزين وتشغيل ملفات الفيديو مع الصوت والتي تم تطويرها من قبل شركة "Apple". تتناسب هذه الصيغة مع نظام ماكنتوش وتعمل مع أنظمة ويندوز.
RAW	RAW Image Format	صيغة غير مكتملة (غير ناضجة) للصور الرقمية بأقل ما يمكن من البيانات للمعالجة ومن هنا جاءت التسمية. أحيانًا يطلق عليها اسم (Digital Negative).

الصيغة	الاسم الكامل	ملحوظات
RealMedia	Real Media	من أشهر الصيغ الرقمية لتدفق (Streaming) البيانات المختلفة (الصور والفيديو) عبر الإنترنت، ومنها (RealAudio) للصوت و (Real Video) للفيديو.
SDII	Sound Designer II	صيغة رقمية للصوت تستخدم في نظام ماكنتوش وتستخدم عادة في برمجيات تحرير الصوت.
SHN	Shorten	صيغة رقمية للصوت من النوع بدون الفقد ، مما تتيح جودة عالية مع حجم ملفات أقل (نصف الحجم مقارنة مع صيغ "WAV" أو "AIFF".
TIFF	Tag Image File Format	صيغة رقمية مرنة للصور تستخدم في النشر المكتبي (Desktop Publishing). هنالك صيغ منها تعتمد الضغط وصيغ أخرى بدون الضغط.
Vorbis	Vorbis Audio Format	صيغة رقمية مفتوحة المصدر لضغط الصوت حيث تستخدم مجاناً. تتشابه هذه الصيغة مع "MP3" من ناحية الفقد للبيانات والسرعات المختلفة لإرسال البتات، ولكنها تتفوق عليها من ناحية الجودة.
WAV	Waveform Audio	صيغة رقمية معتمدة للصوت مع أنظمة التشغيل ويندوز حيث تستخدم لتخزين الصوت عالي الجودة (جودة CD) بدون عملية الضغط، لكنها تتطلب حجم ملفات كبير (تخزين دقيقة صوتية يتطلب حجم ملف بمقدار 10MB).
WMA	Windows Media Audio	صيغة رقمية معتمدة وواسعة الانتشار للصوت مع أنظمة التشغيل ويندوز. تتفوق على صيغة "MP3" من ناحية الجودة في حالة سرعات إرسال البتات المتدنية "96 kbls" أو "64 kb/s".
WMV	Windows Media Video	صيغة رقمية معتمدة وواسعة الانتشار للفيديو مع أنظمة التشغيل ويندوز، حيث تستخدم لاستعراض وتحميل الفيديو عبر الإنترنت .
Xvid	Xvid	صيغة رقمية للفيديو مفتوحة المصدر من النوع ذي الفقد وتعتمد على صيغة "MPEG-4". أخذت الاسم المعاكس لصيغة "DivX"

تدريبات على الوحدة العاشرة

(١٠- ١) ما المشكلة الرئيسة للملفات الرقمية للصوت والفيديو؟

(١٠- ٢) ما العملية المستخدمة لتقليل حجم البيانات؟

(١٠- ٣) احسب الحجم بالبايت الذي يشغله تسجيل صوتي على قرص"CD" لمدة ساعة؟

(١٠- ٤) احسب الحجم بالبايت الذي يشغله تسجيل فيديو غير مضغوط لمدة عشر دقائق؟

(١٠- ٥) ما أنواع ضغط البيانات وما الفرق بينهما؟

(١٠- ٦) احسب عدد البتات اللازم لتمثيل الصور التالية:

- صورة أبيض و أسود.
- صورة ذات "32" لون.
- صورة حقيقية ذات "16" مليون لون.

(١٠- ٧) وضح المقصود بصيغة "TIFF" وأين تستخدم؟

(١٠- ٧) وضح المقصود بصيغة "GIF" وأين تستخدم؟

(١٠- ٨) وضح المقصود بصيغة "PNG" وأين تستخدم؟

(١٠- ٩) وضح المقصود بصيغة "JPEG" وأين تستخدم؟

(١٠- ١٠) وضح المقصود بصيغة "BMP" وأين تستخدم؟

(١٠- ١١) قم بمسح صورة باستخدام الماسح الضوئي (Scanner) وتخزينها بالصيغ الرقمية الواردة أعلاه مبينًا حجم الصورة لكل صيغة؟

(١٠- ١٢) وضح المقصود بصيغة "MP3" وأين تستخدم؟

(١٠- ١٣) لديك قرص صلب سعته "700MB"، أوجد عدد الدقائق التي يمكن تخزينها بنظام "MP3" بمعدل "128 kb/s"؟

(١٠- ١٤) لديك قرص صلب سعته "700MB"، أوجد عدد الدقائق التي يمكن تخزينها بنظام 'MP3" بمعدل "256 kb/s"؟

(١٠- ١٥) لديك قرص صلب صوتي (Audio CD) يستخدم سرعة إرسال البتات "1411.2kb". أوجد نسبة الضغط في حالة استخدام صيغة "MP3" للسرعات: "96 kb/s" و "320kb/s"؟

(١٠- ١٦) ما الميزات الإيجابية لصيغة ملفات "AAC" الرقمية؟

(١٠- ١٧) ما أنواع الصيغة الرقمية "WMA" وأيهم أفضل؟

(١٠- ١٨) ما إيجابيات وسلبيات الصيغة الرقمية للصوت "WAV"؟

(١٠- ١٩) ما المقصود بمصطلح "MPEG"؟

(١٠- ٢٠) ما مواصفات المرحلة الأولى لصيغة الفيديو الرقمي "MPEG-1" وأين تستخدم؟

(١٠- ٢١) ما مواصفات المرحلة الثانية لصيغة الفيديو الرقمي "MPEG-2" وأين تستخدم؟

(١٠- ٢٢) ما مواصفات المرحلة الرابعة لصيغة الفيديو الرقمي "MPEG-4" وأين تستخدم؟

(١٠- ٢٣) ما مواصفات الصيغة "H.264" للفيديو الرقمي وأين تستخدم؟

(١٠- ٢٤) ما مواصفات الصيغة "MOV" للفيديو الرقمي وأين تستخدم؟

(١٠- ٢٥) ما مواصفات الصيغة "DivX" للفيديو الرقمي وأين تستخدم؟

(١٠- ٢٦) بالرجوع للجدول (١٠- ٥)، اختر أفضل صيغة للصورة والصوت والفيديو من ناحية الجودة؟

(١٠- ٢٧) بالرجوع للجدول (١٠- ٥)، اختر أفضل صيغة للصورة والصوت والفيديو من ناحية حجم الملف؟

الرموز و المصطلحات

إنجليزي	الرمز	عربي
A- Law Companding		قانون A لضغط وفك ضغط البيانات الرقمية
AC Coupling		اقتران التيار المتردد "إمكانية تمرير التيار المتردد بين دائرتين"
Accumulator		مُراكم "لوحدة المعالجة المركزية"
Actual Peak Unipolar Error	e_u	الخطأ الأحادي الأقصى الفعلي
Actual Step Size	Δv_u	قيمة التدرج الفعلي
Adaptive		المتكيف " متغير تبعا لشروط "
Adaptive Delta Modulation	ADM	تعديل دلتا المتكيف
Adaptive Transform Acoustic Coding	ATRAC	التحويل المتكيف للترميز الصوتي
Adaptive Transform Acoustic Coding 3	ATRAC3	التحويل المتكيف للترميز الصوتي ٣
Adaptive Transform Acoustic Coding 3 plus	ATRAC3+	التحويل المتكيف للترميز الصوتي ٣+
Add/Drop Function		عملية إضافة أو سحب "للقنوات"
Advanced Audio Coding	AAC	ترميز الصوت المتطور
Advanced Video Coding	AVC	ترميز الفيديو المتطور
Advanced Video Coding High Definition	AVC-HD	ترميز الفيديو المتطور عالي الوضوح
Aliasing		التعرج "تداخل الطيف"
Alternate Mark Inversion	AMI	تحويل العلامة المتردد
American Standard Code for Information Interchange	ASCII	الترميز القياسي الأمريكي لتبادل المعلومات الرقمية
Amplitude	A	السعة "القيمة"
Amplitude Variations		التغييرات في السعة
Analogue		تماثلي
Analogue Pulse Modulation		تعديل النبضات التماثلي
Analogue to Digital Conversion	A/D	تحويل الإشارة من تماثلية إلى رقمية

عربي	الرمز	إنجليزي
الرسوم المتحركة		Animation
مرشح إزالة التعرج		Ant- Aliasing Filter
إشارات غير دورية		Aperiodic Signals
ترميز أَبلْ بدون فقد	ALE	Apple Lossless Encoding
صوتي "إشارة سمعية"		Audio
قرص مدمج صوتي "مخزن عليه ملفات صوتية"		Audio CD
صيغة صوتية	AU	Audio Format
ترددات الصوت	AF	Audio Frequencies
صيغة تبادل الملفات الصوتية	AIFF	Audio Interchange File Format
صيغة تخزين للصوت والفيديو	AVI	Audio Video Interleaved
الطول المتوسط		Average Length
تعديل النطاق البيني		Band Pass Modulation
التعديل الرقمي للنطاق الأساسي		Baseband Digital Modulation
رمز ثنائي		Binary Code
الأعداد الثنائية		Binary Numbers
تعديل إزاحة الطور الثنائي	BPSK	Binary Phase Shift Keying
استرجاع ثنائي \ استعادة ثنائي		Binary Restoration
تسلسل ثنائي		Binary Sequence
كلمات ثنائية		Binary Words
ثنائي القطبية		Bipolar
الترميز ثنائي القطبية		Bipolar Encoding
الصورة النقطية "أحد صيغ الصور الرقمية"	BMP	Bit Map Picture
موقع البت		Bit Position
تسلسل البيانات		Bit Sequence
فاصل		Blank

عربي	الرمز	إنجليزي
المخطط الوصفي		Block Diagram
بايت وحدة قياس البيانات		Byte (8 bit)
مذبذب توليد الموجة الحاملة		Carrier Oscillator
قاعدة كارسون		Carson's Rule
قرص مضغوط قابل لإعادة التخزين		CD R\W
قرص مضغوط غير قابل لإعادة التخزين		CD Rom
قيمة التردد الوسيط		Center Frequency
ترميز القناة		Channel Coding
فك ترميز القناة		Channel Decoding
حرف العالي		Character Shift
استخراج إشارة الساعة		Clock Extraction
تردد نبضات الساعة		Clock Frequency
استعادة نبضة الساعة		Clock Recovery
إشارة الساعة		Clock Signal
الترميز وفك الترميز		Coders and Decoders
طول ترميز الكلمة "عدد بتات الترميز"		Codeword Length
الكشف المترابط		Coherent Detection
التأشير المشترك ، التأشير الشائع		Common Signaling
قرص مضغوط "أسطوانة حاسب آلي"	CD	Compact Disc
عملية الضغط وفك الضغط "لإرسال بيانات ذات نطاق عريض عبر قناة لها نطاق منخفض"		Companding
التعقيد		Complexity
ضغط		Compression
نسبة الضغط		Compression Ratio
معدل بيانات ثابت		Constant Bit Rate

عربي	الرمز	إنجليزي
صيغة الحاوية		Container Format
مستمر		Continuous
الطور المتواصل		Continuous Phase
اشارة مستمرة "متصلة زمنياً"		Continuous-time Signal
نبضات التحكم		Control Bits
التكلفة		Cost
تردد القطع	f_c	Cutoff Frequency
شرطة "- "، الإشارة الطويلة "ترميز مورس"		Dash
بتات البيانات		Data Bits
اتصالات البيانات		Data Communications
ضغط البيانات		Data Compression
تخفيض البيانات		Data Reduction
القيمة العشرية		Decimal Value
فك التشفير "إزالة السرية عن المعلومات"		Decryption
تعديل دلتا	DM	Delta Modulation
إشارات ذات قيم محددة		Deterministic Signals
تعديل إزاحة الطور التفاضلي	DPSK	Differential Phase Shift Keying
تعديل ترميز النبضات التفاضلي	DPCM	Differential Pulse Code Modulation
المفاضل		Differentiator
رقمية		Digital
الصيغ الرقمية الصوت		Digital Audio Formats
الصوت الرقمي في الأقراص المدمجة دي في دي، وبلو راي		Digital Audio in CD, DVD and Blue-Ray
الصوت الرقمي في الحاسب الآلي		Digital Audio in Computers
الصيغ الرقمية للصوت والصورة والفيديو		Digital Audio, Image, and Video Formats

إنجليزي	الرمز	عربي
Digital Cameras		الكاميرات الرقمية
Digital Carrier Systems	E1	أنظمة الحامل الرقمية
Digital Coding		الترميز الرقمي
Digital Data		البيانات الرقمية
Digital Image Formats		الصيغ الرقمية للصورة
Digital Pulse Modulation		تعديل النبضات الرقمي
Digital Signal		الإشارة الرقمية - مستوى صفر
Digital Symbols		رموز رقمية
Digital Telephone Systems		أنظمة الهاتف الرقمية
Digital to Analog Conversion	D/A	التحويل من الرقمي إلى التماثلي
Digital Transmission		التراسل الرقمي
Digital Video	DV	الفيديو الرقمي
Digital Video Codec Created from DivX Company		ترميز الفيديو الرقمي لشركة ديفكس
Digital Video Express	DivX	الفيديو الرقمي السريع "صيغ ملفات بآليات ضغط عالية"
Digital Video Formats		الصيغ الرقمية للفيديو
Digital Waveforms		موجات رقمية
Discrete		متقطعة
Discrete Signal		الإشارة المتقطعة "الرقمية"
Discrete-Time Signal		إشارة متقطعة زمنياً
Distinct States		الحالات المميزة
Dot		نقطة "."، الإشارات القصيرة
DVD Recorders		مسجلات دي في دي
Dynamic Range		المدى الديناميكي
Encoded Data Bits		بتات البيانات المرمزة

عربي	الرمز	إنجليزي
مرمّز		Encoder
تصحيح الأخطاء		Error Correction
التسلسل الهرمي الأوربي		European Hierarchy
توسعة ، فك الضغط		Expansion
الطول المتوقع		Expected Length
مفتاح العالي		Figure Shift
دقة الملف		File Resolution
عنوان لحجم الملف		File Size Header
إشارة العينات ذات القمة الثابتة		Flat Top Sampling
تهيئة ، تنسيق ، وضع في صيغه		Formatting
متسلسلة فورير		Fourier Series
تحويل فورير		Fourier Transform
محاذاة الإطار		Frame Alignment
زمن الإطار		Frame Time
النطاق الترددي		Frequency Domain
جهاز تعديل التردد		Frequency Modulator
جهد التدريج الكامل	Vfs	Full Scale Voltage
التردد الأساسي		Fundamental Frequency
فجوة		Gap
استجابة ترددية تبعا لتوزيع جاوس		Gaussian Frequency Response
مرشح تمرير تردد منخفض جاوسي		Gaussian LPF
تعديل الإزاحة الصغرى الجاوسي	GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
المخطط الوصفي العام		General Block Diagram
ضوضاء التدرج		Granular Noise
الرسومات		Graphics

إنجليزي	الرمز	عربي
Graphics Interchange Format	GIF	صيغة تبادل الرسومات
Gray Coding		ترميز جراي
Hamming Coding		ترميز هامنج
Hamming Distance		مسافة هامنج
Hierarchy System		النظام الهرمي
High Resolution Video Signal	HDTV	إشارة الفيديو عالي الدقة "الوضوح"
High Spectral Efficiency		كفاءة الطيف الترددي العالية
Huffman Code Tree		شجرة ترميز هوفمان
Huffman Coding		ترميز هوفمان
Ideal Sampling		أخذ العينات المثالي
Image Size		حجم الصورة
Information Capacity		سعة المعلومات
Input		الدخل
Input Voltage	V_i	الجهد على المدخل
Integrator		المكامل
Joint Photographic Experts Group	JPEG	اتحاد خبراء التصوير
Keyboard		لوحة المفاتيح
Lab		مختبر "معمل"
Letter Shift		حرف العالي
Line Code Types		أنواع ترميز الخط
Line Coding Parameters		معاملات ترميز الخط
Line Feed		خط تغذية
Line Speed		سرعة الخط
Linear Pulse Code Modulation	L-PCM	تعديل ترميز النبضات الخطي
Loosely		فضفاضة

إنجليزي	الرمز	عربي
Lossless		بدون فقد
Low Bit Rate		معدل بيانات منخفض
M-array Modulation	M-ary	التعديل متعدد المستويات
M-array Phase Shift Keying	M-ary PSK	تعديل إزاحة الطور متعددة المستويات
Maximum Input Voltage	V_{imax}	أقصى جهد للدخل
Maximum Output Voltage	V_{omax}	أقصى جهد للخرج
Maximum Value for Normalized Signal	$X_u(max)$	أقصي قيمة للإشارة النسبية
Maximum Value of Analogue Signal	$V_u(max)$	أعلى قيمة للإشارة التماثلية
Memory less Sources		مصادر بدون ذاكرة
Message		رسالة
Method		طريقة
Mid Rise		منتصف ارتفاع الفترة الزمنية
Mid Tread		منتصف عرض الفترة الزمنية
Modulo 2		قواعد الجمع الثنائي
Morse Code		ترميز مورس
Moving Picture Experts Group	MPEG	صيغة مجموعة خبراء الصور المتحركة "لتنسيق ملفات الفيديو"
Moving Picture Experts Group-Part1	MPEG-1	صيغة مجموعة خبراء الصور المتحركة رقم "١"
MP3 Professional	MP3Pro	صيغة إم بي "3" الاحترافية "للملفات الصوتية"
MPEG-1, Audio Layer 3	MP3	صيغة إم بي ثري للملفات الصوتية
Multimedia		الوسائط المتعددة
Multimedia Container		حاوي الوسائط المتعددة
Natural Sampling		أخذ العينات الطبيعي
Noise Performance		فعالية الضوضاء
Noncoherent Detection		الكشف غير المترابط

إنجليزي	الرمز	عربي
Nonsinusoidal Signals		إشارات غير جيبية
Nonuniform Quantization		عملية التكمية غير المتماثلة
Normalization		نسبة لأقصى قيمة، التطبيع، المعيارية
Normalized Step Size	ΔX_u	قيمة التدريج الواحد المعياري "النسبي"
NTSC (National Television System Committee)	NTSC	نظام NTSC للبث التلفزيوني "نظام لجنة التليفزيون الوطني"
Number of Frames		عدد الإطارات
Number of Voice Channels		عدد القنوات الصوتية
Nyquest		نايكوست "اسم عالم"
Open Source		مفتوحة المصدر
Original Signal		الإشارة الأصلية
Output Voltage	V_o	جهد الخرج
PAL (Phase Alternating Line)	PAL	نظام بال للبث التلفزيوني
Parallel to Serial Converter		التحويل من توازي إلى توالي
Parity Bits		بتات التكافؤ
Pass Band		نطاق تمرير
Pass Band Digital Modulation		التعديل الرقمي في نطاق تمرير "عالي"
Peak Unipolar Normalized Error	E_u	أقصى خطأ أحادي معياري "نسبي"
Periodic Signals		إشارات دورية
Phase Shift		إزاحة الطور
Polar		قطبي
Polar Coding		الترميز القطبي
Portable Network Graphics	PNG	رسومات الشبكة المحمولة
Positive DC		جهد مستمر موجب
Protection Schemes		أنظمة الحماية

إنجليزي	الرمز	عربي
Publishing		النشر
Pulse Amplitude Modulator Circuit		دائرة تعديل سعة النبضات
Pulse Duration		زمن وجود للنبضة
Pulse Modulation		تعديل النبضات
Pulse Position Modulation	PPM	تعديل موقع النبضة
Pulse Signals		إشارات نبضية
Pulse Voltage Level		قيمة جهد النبضة
Pulse Width Modulation	PWM	تعديل عرض النبضات
Quadrature Amplitude Modulation	QAM	تعديل السعة التعامدي
Quadrature Modulator		المعدل التعامدي
Quadrature Phase Shift Keying	QPSK	تعديل إزاحة الطور التعامدي
Quantization Noise Power		قدرة ضوضاء التقريب
Quantized Curve		منحني التقريب
Quantized Levels		مستويات التقريب
Quantized Signal		الإشارة المقربة
Quantized Steps		خطوات التقريب
Quantized Values		القيم المقربة
Quantizer		المقرب
Quick Time Format		صيغة الزمن السريع "لحفظ ونقل ملفات الفيديو"
Radio Waves		موجات الراديو
Random Signals		إشارات عشوائية
Real Media	RM	وسط حقيقي "أحد صيغ حفظ ملفات الوسائط"
Received Voltage	V_r	قيمة الجهد المستقبل
Rectangular Pulse		نبضة مربعة الشكل

إنجليزي	الرمز	عربي
Rectifier		موحد الموجة
Redundancy		متكرر، حشو
Redundant Information		المعلومات المتكررة
Reflected Binary Code		الترميز الثنائي المنعكس
Regeneration		إعادة توليد
Relative Input Amplitude		سعة الدخل النسبية
Relative Output Amplitude		سعة الخرج النسبية
Repeated Patterns of Pixels		النماذج المتكررة لمجموعات البكسل
RF Amplifier		مكبر ترددات الراديو، مكبر ترددات اللاسلكي
Rounding		تدوير، التقريب "الأرقام"
Sample and Hold		أخذ العينة مع الاحتفاظ بقيمتها
Sampling		أخذ العينات
Sampling Period	T_s	الزمن الدوري لأخذ العينات
Sampling Time		زمن أخذ العينة
Scanner		الماسح الضوئي
Serial Transmission		الإرسال المتوالي
Shannon Bound		حدود شانون
Shannon-Hartley Theorem		نظرية شانون هارتلي
Shorten Format	SHN	صيغة التقصير "أحد تنسيقات الصوت الرقمي"
Signal		إشارة
Signal Interference and Noise Immunity		المناعة ضد الضوضاء والتداخل بين الإشارات
Signal Spectrum		طيف الإشارة
Signal Types		أنواع الإشارات
Sinusoidal Signals		إشارات جيبية

إنجليزي	الرمز	عربي
Slope Overload Distortion		تشويه الميل الزائد
Sound Designer II	SDII	مصمم الصوت ٢
Source Coding		ترميز المصدر
Source Decoding		فك ترميز المصدر
Space Communications		الاتصالات الفضائية
Space Division Multiplexing	SDM	التعدد بالتقسيم المكاني
Squiring Circuit		دائرة التربيع
Standard Deviation	σ	الانحراف المعياري
Standards Organization		هيئة المعايير القياسية
Start		البداية
Step		خطوة ، مرحلة
Stop		إيقاف
Surround Sound		الصوت المحيط
Symbols		الرموز
Sync. Pulses		نبضات التزامن
Synchronous Time Division Multiplexing		التعدد بتقسيم الزمن المتزامن
Synchronous Transmission		الإرسال المتزامن
Tagged Image File Format	TIFF	صيغة ملف الصورة المعلمة
Telemetry		القياسات عن بعد
Teleprinter		المبرقة الطابعة
Time and Frequency Multiplexing		التعدد بالتقسيم الزمني والترددي
Time Domain		المدى الزمنى
Time Function	f(t)	الدالة الزمنية
Time of One Frame	T_f	زمن إطار واحد

عربي	الرمز	إنجليزي
مسارات		Tracks
الشفافية		Transparency
مثلث		Triangle
النبضة المثلثة		Triangular Pulse
التقريب للقيمة الأقل		Truncation
التقريب المتماثل		Uniform Quantization
مقرب متماثل		Uniform Quantizer
أحادي القطبية		Unipolar
ترميز أحادي القطبية		Unipolar Coding
ترميز أحادي القطبية		Unipolar Encoding
النبضة المثالية	$\delta(t)$	Unit Impulse
إشارة النبضة المثالية		Unit Impulse Signal
قيمة		Value
المتغير		Variable
معدل بيانات متغير		Variable Bit Rate
الفيديو		Video
محادثة فيديو		Video Conferencing
نظام الفيديو المنزلي	VHS	Video Home System
هواتف الفيديو		Videophones
صيغة فوربس للصوت الرقمي	Vorbis	Vorbis Audio Format
صيغة الموجة "أحد الصيغ الرقمية الصوت"	WAV	Waveform Audio
العرض		Width
صوت وسائط الويندوز "أحد تنسيقات الصوت الرقمي"	WMA	Windows Media Audio
البوابة المنطقية		X-NOR

المراجع

اسم المرجع	المؤلف
1- Digital Communications, Fundamentals and Applications, first edition 1988.	Bernard Sklar
2- Elements of Digital Communications, first edition, 2003.	Sarkar N.
3- Digital Communications, Principles and System Modeling, 2010.	Apuba Das
4- Introduction to Analog and Digital Communications, second edition, 2007.	Haykin S.
5- Communication Electronics, third edition, 2001.	Frenzel L. E.
6- Electronic Communications, sixth edition, 1991.	Shrader R. L.
7- Electronic Communications, Schaum's outlines, second edition, 1998.	Temes L., Schultz M.E.
8- Modern Communication Circuits, second edition, 1998.	Smith J.R.
9- Modern Electronic Communications, seventh edition, 2002.	Miller G. M., Beasley J.S.