الفصل الحادي عشر

التشكيل وتعدد الإرسال

الفصل الحادي عشر
التشكيل وتعدد الارسال
Modulation and Multiplexing

يتطرق هذا الفصل إلى طرق نقل المعلومات بما في ذلك بعض طرق التشكيل وتعدد الارسال المستخدمة في أنظمة الاتصالات ، سنقدم بعض الدوائر المبسطة المستخدمة لتشكيل الثنائيات الباعثة للضوء LED's وثنائيات الليزر LD's . في نهاية الفصل نقدم تعدد الارسال بتقسيم الزمن وتعدد الارسال بتقسيم التردد وتعدد الارسال بتقسيم الطول الموجي .

١١ - ١ التشكيل Modulation

نقوم بعملية التشكيل بتحميل موجة المعلومات المراد نقلها والتي تسمى بالموجة المُشَكِّلة modulating wave على موجة أخرى تسمى الموجة الحاملة carrier wave وتدعى الموجة الناتجة من ذلك بالموجة المُشَكَّلة modulated wave .

توجد عدة طرق لتشكيل الموجة الحاملة تقع ضمن الفئات التالية :

أ - التشكيل التماثلي analog modulation: مثل تشكيل الاتساع amplitude modulation وتشكيل الزاوية angle modulation الذي يتفرع منه تشكيل التردد frequency modualtion وتشكيل الطور phase modulation وتكون الموجة الحاملة للمعلومات في أنواع التشكيل هذه موجة جيبية عالية .

ب - التشكيل النبضي التماثلي Analog Pulse Modulation

تكون الموجة الحاملة للمعلومات نبضية مكونة من قطار من النبضات pulse train ويشمل هذا النوع من التشكيل تشكيل اتساع النبضات pulse amplitude modulation وتشكيل الفترة الزمنية للنبضات pulse duration modulation وتشكيل مركز النبضات pulse position modulation .

جـ - التشكيل النبضي الرقمي Digital Pulse Modulation

مثل تشكيل رمز النبضات pulse code modulation وتشكيل دلتا delta modulation.

د - الإرسال الرقمي Digital Transmission

يتم في هذا الإرسال تحميل التشكيل النبضي على موجات جيبية عالية التردد لتسهيل الإرسال عبر المسافات وتشمل أنواع الإرسال الرقمي (١) الابراق بزحزحة الاتساع amplitude - shift keying (٢) الابراق بزحزحة التردد frequency - shift keying (٣) الابراق بزحزحة الطور phase shift keying. وتقابل هذه الأنواع تشكيل الاتساع ، تشكيل التردد وتشكيل الطور على التوالي.

١١-٢ التشكيل التماثلي Analog Modulation

استعرضنا آنفاً أنواع التشكيل المختلفة ووجدنا أننا نتعامل مع مَعْلمات عديدة مثل الاتساع والتردد والطور. غير أن استخدامها في الاتصالات البصرية قد لايكون ممكنا. والسبب في ذلك يرجع إلى الصعوبات الرئيسية التي نواجهها في كشف الإشارة حيث أن الكواشف الضوئية تستجيب فقط لسطوع irradiance الاشعاع الساقط عليها.

لإيضاح مفهوم التشكيل سنقوم بشرح أول أنواع التشكيل وأقلها تعقيداً وهو تشكيل الاتساع ثم نقدم بعد ذلك بعض أنواع التشكيل المستخدمة في أنظمة الاتصالات البصرية.

١١-٢-١ تشكيل الاتساع Amplitude Modulation

يتم في تشكيل الاتساع تغيير اتساع الموجة الحاملة عالية التردد طبقاً لتغيرات الموجة المُشَكِّلة المطلوب إرسالها. وتكون الموجة الحاملة عادة جيبية الشكل وثابتة التردد. أما الموجة المُشَكِّلة فغالبا ماتتكون من مجموعة من الموجات الضوئية والتي تكون في

مجموعها أصواتاً لكلمات تقال speechأو موسيقى. لو فرضنا أن الموجة الحاملة هي $v_C(t)$ فإنه يمكن التعبير عنها بالتالي :

$$v_c(t) = V_c \cos \omega_c t \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (11.1)$$

حيث أن V_c هو قيمة الحد الأقصى للاتساع peak amplitude وω هو التردد الزاوي للموجة الحاملة و t هو الوقت .

وإذا فرضنا أن الموجة الصوتية المُشَكِّلَة هي $v_m(t)$ فيمكن التعبير عنها بالتالي :

$$v_m(t) = \sum_{m=1}^{m=N} V_m \cos \omega_m t \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (11.2)$$

حيث أن V_m هو الحد الأقصى للاتساع . ولتبسيط العمليات الرياضية نفرض أن هناك تردد واحد للموجة المُشَكِّلَة عندها نكتب المعادلة (11.2) كالتالي :

$$v_m = V_m \cos \omega_m t \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (11.3)$$

طبقاً لمبدأ تشكيل الاتساع فإن اتساع الموجة الحاملة $v_c(t)$ يتغير تبعاً لتغير الموجة v_m وذلك للحصول على موجة مُشَكِّلَة modulated wave ويرمز لها بالرمز $v(t)$، لها نفس تردد الموجة الحاملة $v_c(t)$ ويتغير اتساعها تبعاً لتغير الموجة المُشَكِّلَة $v_m(t)$. ويعبر عن ذلك رياضياً بالمعادلة التالية :

$$v(t) = (V_C + V_m \cos \omega_m t) \cos \omega_C t \quad \ldots\ldots\ldots (11.4)$$

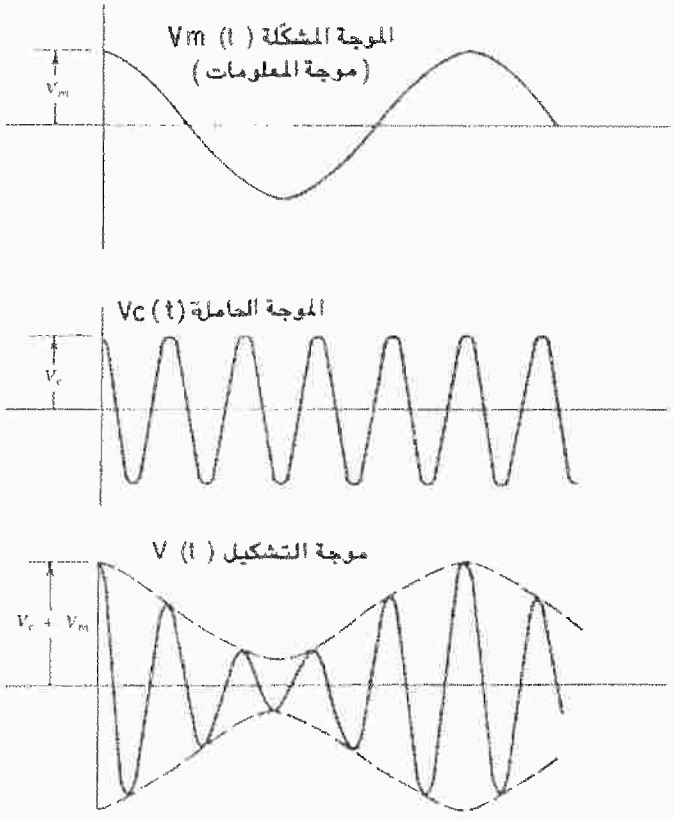
وباخراج V_C خارج القوسين تصبح المعادلة (11.4) كالآتي :-

$$v(t) = V_C \left(1 + \frac{V_m}{V_C} \cos \omega_m t\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (11.5)$$

تدعى النسبة $\frac{V_m}{V_C}$ بعامل التشكيل modulation factor ويرمز له بالرمز M وباستخدام هذا العامل تصبح $v(t)$ كالتالي :

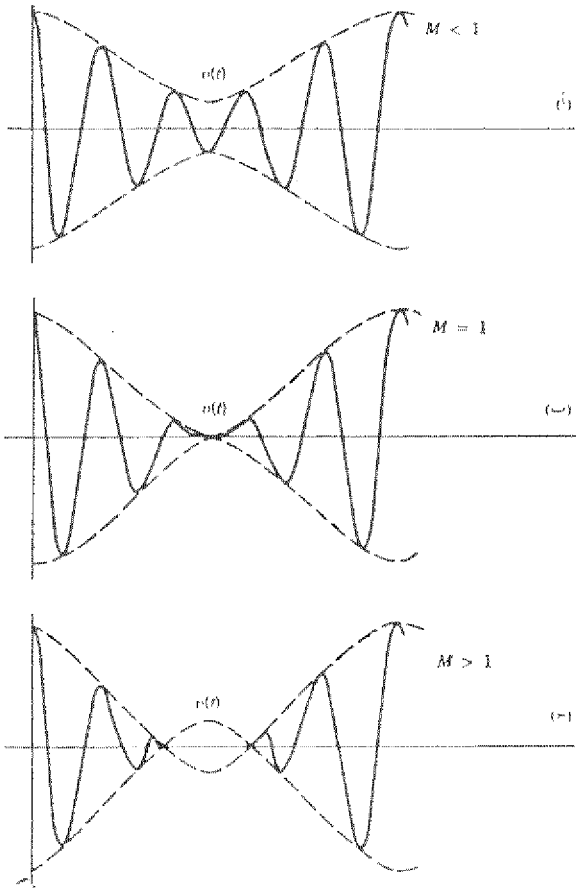
$$v(t) = V_C (1 + M \cos \omega_m t) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (11.6)$$

ولتوضيح شكل الموجة $v(t)$ بالمقارنة مع $v_m(t)$ و $v_c(t)$، يبين الشكل (١١-١) رسماً توضيحياً لكلٍ من هذه الموجات الثلاث .



الشكل (١١-١) تشكيل الاتساع

تؤثر قيمة عامل التشكيل M على شكل الموجة v(t) فإذا كانت قيمة هذا العامل M<1 فإن التشكيل في هذه الحالة يكون منخفضاً undermodulation ويبين الشكل (١١-٢أ) الموجة v(t) في هذه الحالة وإذا كان عامل التضمين M = 1 ، فإن التشكيل يكون كاملاً full modulation ويبين الشكل (٣-٢ب) الموجة v(t) في هذه الحالة . أما إذا كان عامل التشكيل M > 1 فإن التشكيل يكون متجاوزاً overmodulation ويبين الشكل (١١-٢جـ) الموجة v(t) في هذه الحالة . يؤدي التشكيل المتجاوز إلى إحداث تشويه distortion غير مرغوب فيه في الموجة v(t) . لهذا السبب يجب أن تكون قيمة عامل التشكيل واحد أو أقل (M≤1) .

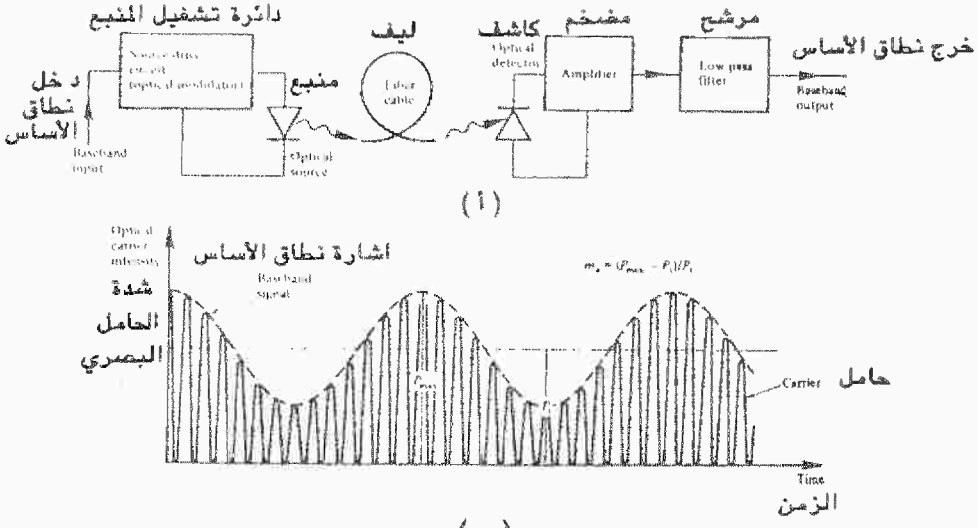


الشكل (١١-٢) تغير موجة التشكيل (أ) و (ب) تبعاً لتغير قيم عامل التشكيل M

كثيراً مايعطى عامل التشكيل كنسبة مئوية أي (M × 100%) . عندئذ تدعى هذه النسبة بنسبة التشكيل المئوية percent modulation ويجب أن لاتتجاوز 100% .

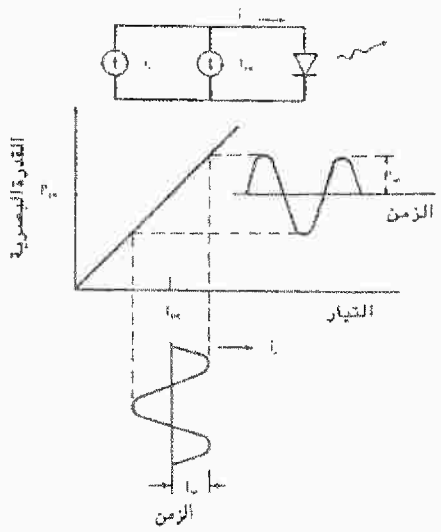
١١-٢-٢ تشكيل الشدة المباشر Direct Intensity Modulation

يمثل تشكيل الشدة المباشر أبسط أنواع التشكيل المستخدمة في أنظمة الاتصالات البصرية. يبين الشكل (١١-٣) رسماً تخطيطياً لنظام اتصالات بصري يستخدم التشكيل المباشر لشدة المنبع البصري بواسطة إشارة نطاق الأساس baseband . يختلف تشكيل الشدة المباشر عن تشكيل الاتساع بأن القدرة تتغير بما يتناسب وشكل موجة المعلومات بدلاً من تغير اتساع الموجة الحاملة كما هو الحال في تشكيل الاتساع.



الشكل (١١-٣) (أ) نظام ليفي بصري تماثلي يستخدم تشكيل الشدة المباشر
(ب) استخدام نطاق الأساس لتشكيل الشدة المباشر للحامل
البصري مرسومة بالمجال الزمني

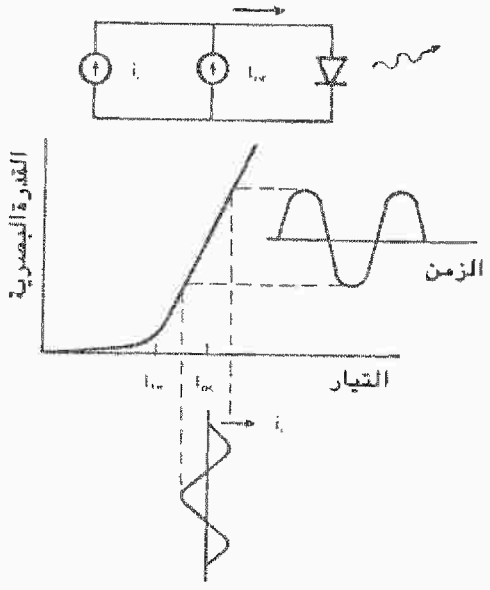
تطبق الإشارة المُشَكّلة على التيار المستخدم لقيادة drive الثنائي الباعث للضوء LED أو ثنائي الليزر وتتغير تبعاً لذلك القدرة البصرية الخارجة. لضمان التشغيل في المنطقة الخطية من خواص (التيار - القدرة) للمنبع فإننا نضع تيار إنحياز مستمر I_{DC}.
نرى في الشكل (١١-٤) العلاقة بين التيار والقدرة البصرية لثنائي باعث للضوء وتشكيل تماثلي وفي الشكل (١١-٥) العلاقة بين التيار والقدرة البصرية لثنائي ليزري - وتشكيل تماثلي .



الشكل (١١ - ٤) تشكيل تماثلي LED

يمثل I_{DC} تيار الانحياز المستمر و I_S تيار الإشارة

و P_{sp} هو اتساع الذروة للجزء المشكّل من قدرة الخرج



الشكل(١١ - ٥) تشكيل تماثلي لثنائي ليزر

يمكن التعبير عن التيار والقدرة البصرية الناتجة بالمعادلتين التاليتين :

$$i = I_{DC} + I_m \cos \omega t \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (11.7)$$

$$P = P_{DC} + P_m \cos \omega t \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (11.8)$$

يعرف عامل التشكيل للتيار m' على أنه النسبة بين التيار Im ومتوسط التيار I_{DC} أي :

$$m' = \frac{I_m}{I_{DC}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (11.9a)$$

وحيث أن تيار الذروة الكلي وتيار القيمة الدنيا هما $I_{DC} + I_m$ و $I_{DC} - I_m$ على التوالي فإن اتساع الإشارة I_m يصل إلى أكبر قيمة له إذا كان انحياز التيار المستمر هو نصف القيمة العظمى المسموح بها لتيار الثنائي . في هذه الحالة يكون $I_{DC} = I_m$ وينتج تياراً قيمته عند الذروة $2 I_{DC}$ وقيمته الدنيا صفراً وبعامل تشكيل يساوي الواحد .

يعرف عامل التشكيل البصري بدلالة القدرة البصرية كما يلي :

$$m = \frac{P_m}{P_{DC}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (11.9b)$$

يتيح لنا تعريف عامل التشكيل للتيار m' بأن نكتب المعادلة (11.7) بالصيغة التالية:

$$i = I_{DC} (1 + m' \cos \omega t) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (11.10)$$

وكتابة المعادلة (11.8) بالصيغة التالية :

$$P = P_{DC} (1 + m' \cos \omega t) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (11.11)$$

١١-٢-٣ تشكيل الشدة بحامل فرعي Subcarrier Intensity Modulation

يستخدم تشكيل الشدة المباشر للمنبع البصري إذا كان الهدف هو نقل إشارة نطاق أساس تماثلية . غير أن السعة العالية لنطاق الليف البصري تسمح بإرسال إشارات كثيرة للحصول على أحد مزايا الليف البصري . في هذه الحالة لابد من تجميع multiplexing عدد من قنوات نطاق الأساس baseband ضمن وصلة ليفية واحدة . يمكن الحصول على ذلك باستخدام تعدد ارسال تقسيم التردد frequency division multiplexing لقنوات

نطاق الأساس . في بداية الأمر تضع قنوات نطاق الأساس على حامل ذي تردد أكبر بكثير من أي الترددات التي يحتويها نطاق الأساس باستخدام تشكيل الأتساع الذي تم شرحه في البند (١١-٢-١) أو استخدام تشكيل التردد أو تشكيل الطور.

أياً كانت طريقة التشكيل فإن إشارات نطاق الأساس التماثلية تُحَمّل على حاملات فرعية subcarriers ثم تجمع بتقسيم التردد لتكون إشارة كهربائية مركبة قبل استخدامها لتشكيل قدرة المنبع البصري . يبين الشكل (١١-٦) رسماً تخطيطياً لوصلة اتصالات بصرية تستخدم تشكيل الشدة بحامل فرعي . تشكّل إشارات نطاق الأساس على حاملات فرعية بترددات راديوية باستخدام تشكيل الاتساع أو تشكيل التردد أو تشكيل الطور ثم تجمع قبل أن تطبق applied على دائرة قيادة المنبع . بعد تطبيقها على المنبع نحصل على إشارة بصرية خارجة ذات تشكيل شدة - تشكيل اتساع AM-IM أو تشكيل شدة - تشكيل تردد FM- IM لنفرض أننا استخدمنا إشارة جيبية وحيدة مُشَكّلة اتساعياً يعبر عن تيارها بالآتي :

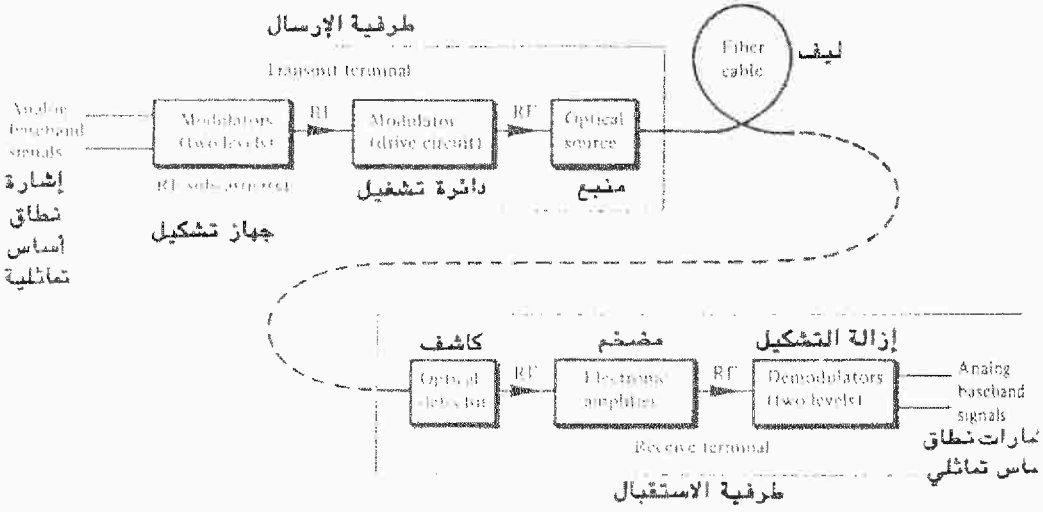
$$i = I_m (1 + m \cos \omega_m t) \cos \omega_C t \quad \text{..... (11.12)}$$

كي نعمل ضمن الجزء الخطي من خواص (التيار - القدرة) للمنبع لابد من إضافة تيار انحياز مستمر I_{DC} إلى المعادلة (11.12) .

لو قدنا بالتيار الناتج منبعاً بصرياً سواءً كان ثنائياً باعثاً للضوء LED أو ثنائياً ليزرياً فسنحصل على شدة لحزمة ضوئية مُشكّلة اتساعياً وهذا هو تشكيل الشدة - تشكيل الاتساع amplitude modulation - intensity modulation . سنحصل على قدرة بصرية وتيار مكشوف شبيه بالموجة المشكّلة في الشكل (١١-١جـ) والتي تمثل الحامل الفرعي في حالتنا هذه ، يعبر عن القدرة البصرية الناتجة بالمعادلة التالية :

$$P = P_{DC} + P_m (1 + m \cos \omega_m t) \cos \omega_C t \quad \text{..... (11.13)}$$

يتذبذب تردد الحامل البصري بسرعة كبيرة بينما يكون الحامل الفرعي ذو التردد الراديوي أبطأ وتردد موجة المعلومات أكثر بطأ .يكون شكل التيار المكشوف نفس شكل القدرة البصرية وتتولى دائرة الاستقبال استخلاص المعلومات من هذا التيار .



الشكل (١١- ٦) نظام نقل ليفي بصري تماثلي يستخدم تشكيل الشدة لحامل فرعي

١١-٢-٤ تشكيل الشدة بتشكيل تردد حامل فرعي Subcarrier Frequency Modulation

وضعت نظرية تشكيل التردد frequency modulation في أنظمة الاتصالات التقليدية للتغلب على مشاكل الضوضاء في تشكيل الاتساع. فمعظم الضوضاء تظهر على اتساع الموجة المرسلة الذي يتغير تبعاً للموجة المشكّلة المطلوبة . وكما هو الحال في تشكيـــل الاتساع تكون الموجة الحاملة جيبية الشكل ومحددة التردد .إذا كان تشكيل التردد

لإثارة جيبية وحيدة تتذبذب عند تردد $f_m = \frac{\omega_m}{2\Pi}$ فإن تيار تشكيل التردد FM يأخذ الشكل التالي :

$$i = I_m \cos (\omega_C t + \beta \sin \omega_m t) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (11.14)$$

حيث β هو عامل تشكيل التردد و ω_m التردد الزاوي للموجة المشكّلة وω_C التردد الزاوي للموجة الحاملة .

يُشْغِل طيف إشارة تشكيل التردد منطقة تحيط بتردد الموجة الحاملة f_C وله عرض نطاق يساوي :

$$BW = 2 \Delta f + 2 B \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (11.15)$$

حيث أن Δf هو إنحراف التردد الأعظم maximum frequency deviation وB هو عرض نطاق النطاق الأساس ويساوي f_m للإشارة الجيبية .

يعبر عن Δf بالمعادلة التالية :

$$\Delta f = \beta f_m \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (11.16)$$

حيث أن f_m هو أعلى تردد تشكيل للإشارة المرسلة .

يعبر عن عرض نطاق النطاق الأساس بالمعادلة التالية طبقاً لقاعدة كارسون Carson's rule :

$$BW = 2 f_m (1 + \beta) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (11.17)$$

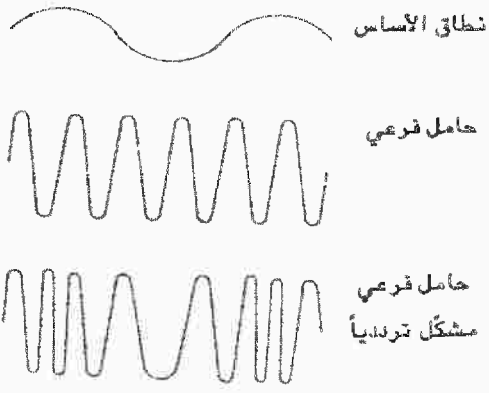
إذا كانت قيم β أقل من واحد بكثير فإن عرض نطاق النظام الكلي من المعادلة (11.17) يصبح $2 f_m$. ويماثل هذا عرض نطاق نظام التشكيل الاتساعي . أما إذا كانت $\beta >> 1$ وهو الوضع السائد في تشكيل التردد فإن طيف تشكيل التردد سيتجاوز ذلك المطلوب لتشكيل الاتساع. يتطلب تشغيل الثنائيات الباعثة للضوء LED وثنائيات الليزر LDفي المنطقة الخطية من خواص التيار - القدرة للمنبع استخدام تيار انحياز مستمر I_{DC} فيمكننا كتابة المعادلة (11.14) بالصيغة التالية :

$$i = I_{DC} + I_m \cos (\omega_C t + \beta \sin \omega_m t) \quad \ldots\ldots (11.18)$$

عند استخدام هذا التيار لإجراء تشكيل شدة لمنبع بصري ينتج تشكيل الشدة بتشكيل تردد حامل فرعي. وتتغير القدرة البصرية لموجة جيبية وحيدة كالتالي :

$$P = P_{DC} + P_m \cos (\omega_C t + \beta \sin \omega_m t \quad \ldots\ldots\ldots \quad (11.19)$$

يبين الشكل (١١-٧) موجات تشكيل التردد حيث نرى أن شكل التيار المكشوف له نفس شكل القدرة البصرية . تسترجع دوائر إزالة التشكيل المعلومات من طور التيار المكشوف والذي يساوي $\beta \sin \omega_m t$.



الشكل (١١- ٧) موجات PM للحامل الفرعي للقدرة البصرية وللتيار المكشوف نفس شكل الموجة كما للحامل الفرعي المشكل

يمكن إرسال عدة قنوات تشكيل التردد FM باستخدام تعدد ارسال تقسيم التردد بنفس الطريقة التي تم فيها إرسال قنوات تشكيل الاتساع AM وحيث أن عرض النطاق FM أكبر من عرض نطاق AM فإن عدد قنوات FM الممكن إرسالها سيكون أقل من قنوات AM .

١١-٣ تشكيل النبضات Pulse Modulation

يكتسب تشكيل النبضات أهمية خاصة بسبب الاعتماد المتزايد على الاتصالات الرقمية digital communications . يشمل تشكيل النبضات التشكيل التماثلي

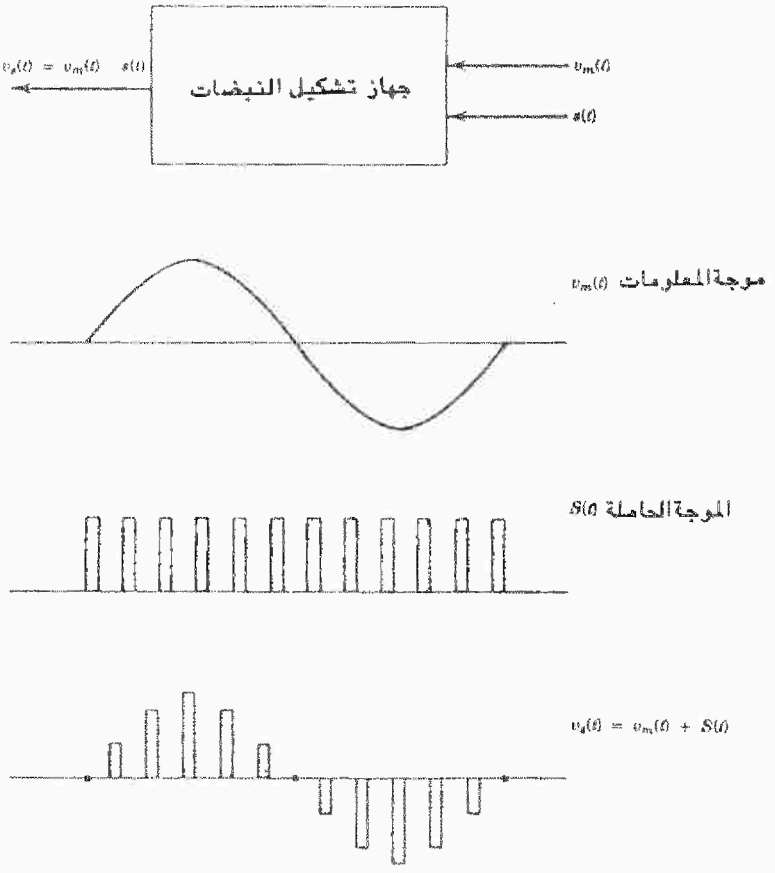
والذي يندرج تحته تشكيل اتساع النبضات pulse amplitude modulation (PAM) وتشكيل الفترة الزمنية للنبضات pulse duration modulation (PDM) وتشكيل مركز النبضات pulse position modulation (PPM) أما تشكيل النبضات الرقمي فيندرج تحت تشكيل رمز النبضات pulse code modulation(PCM) وتشكيل دلتا delta modulation.

١١-٣-١ تشكيل اتساع النبضات Pulse Amplitude Modulation (PAM)

عند دراستنا لتشكيل الاتساع وتشكيل التردد رأينا كيف يمكن إرسال الموجات المتغيرة مع الزمن بكاملها. يختلف أسلوب تشكيل النبضات عن أساليب تشكيل الاتساع والتردد في أنه يعتمد على إرسال الموجات المطلوبة من خلال إرسال عينات منفصلة ومتكررة repeated discrete samples من هذه الموجات بدلاً من إرسالها بالكامل.

تكمن فائدة الإرسال النبضي في وجود فراغات زمنية بين عينات الموجة المطلوب إرسالها، حيث يمكن إستغلال هذه الفراغات في إرسال عينات موجات أخرى ضمن نفس المجال الزمني وتحقيق مايسمى تعدد الارسال بتقسيم الزمن time division multiplexing.

يوضح الشكل (١١-٨) مبدأ تشكيل اتساع النبضات حيث نرى أن الموجة الحاملة ليست جيبية كما هو الحال في تشكيل الاتساع، بل هي موجة دورية تتكون من قطار من النبضات train of pulses تعمل طبقاً لمبدأ نظرية العينات sampling theorem. كما هو واضح من الشكل(١١-٨) تتم عملية ضرب الموجة $v_m(t)$ بدلالة العينات $S(t)$ والحصول على موجة العينات $v_s(t) = v_m(t)\ S(t)$ والتي ترسل بعد تضخيمها إلى دائرة تشغيل المنبع الضوئي.



الشكل (١١-٨) الحصول على موجة العينات V_s (t) للموجة V_m (t) عن طريق ضرب V_m (t) بتابع العينات S (t)

يتم بهذه الطريقة أخذ عينات للموجة تشابه بصفة تقريبية الموجة الحقيقية. ويجب أن تعبر هذه العينات عن التغير الفعلي للموجة وأن يكون معدل تكرار النبضات للحامل النبضي ضعف تردد الموجة المُشَكَّلة. وللحصول على مناعة جيدة من الضوضاء يجب أن يكون معدل العينات ثلاثة إلى أربعة أمثال تردد الموجة المشكلة . على سبيل المثال لو أردنا إرسال موجة صوتية عرض نطاقها 4000Hz فإننا نستخدم حامل نبضي بتردد 16kHz . أي أربعة أضعاف أعلى تردد للموجة الداخلة. إن العدد الإجمالي للعينات لكل ثانية = عدد الدورات cycles لكل ثانية x عدد العينات لكل دورة وهي مايسمى بمعدل العينات sample rate أي أن الموجة الصوتية الآنف ذكرها تحتاج إلى $4 \times 4000 \times 8 = 128000$

نبضة لكل ثانية . يتأثر تشكيل الاتساع بعدم خطية المنبع لذا فهو أقل كفاءة من التشكيل المباشر ولايعتد به .

١١-٣-٢ تشكيل الفترة الزمنية للنبضات Pulse Duration Modulation(PDM)

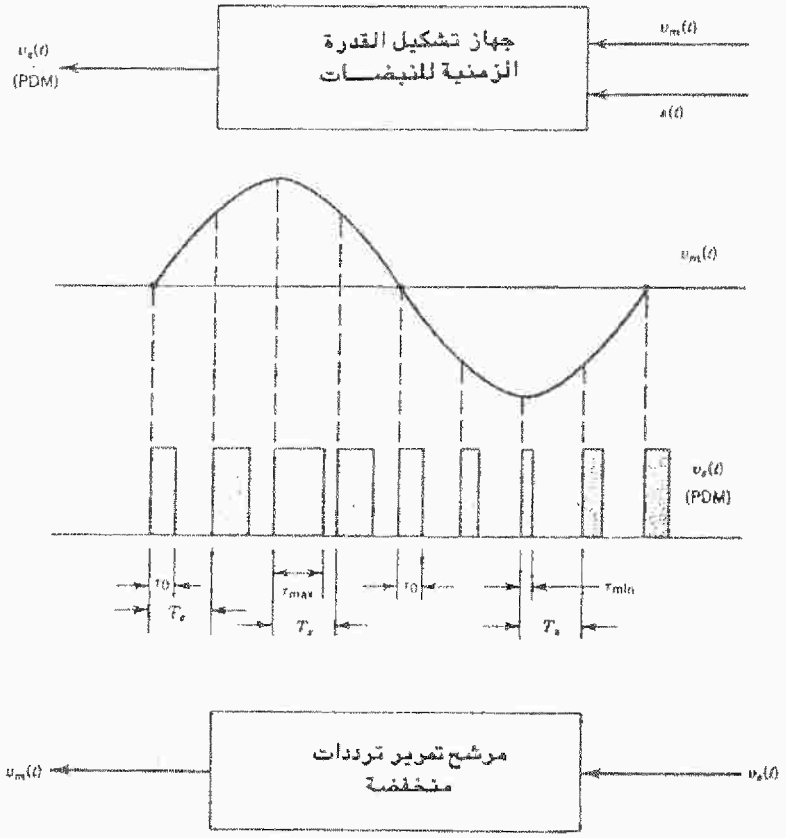
يعتمد تشكيل الفترة الزمنية للنبضات على تغير الفترة الزمنية التي تستغرقها النبضة طبقاً لتغير الموجة المطلوب إرسالها كما في الشكل (١١-٩) . ويدخل هذا النوع من التشكيل في نطاق مايعرف بتشكيل زمن النبضات pulse time modulation(PTM) لأنه يعتمد على تغيير أحد العوامل الزمنية للنبضة وهو فترتها . لتشكيل الفترة الزمنية للنبضات أسماء أخرى مثل تشكيل عرض النبضات pulse width modulation (PWM) أو تشكيل امتداد النبضات pulse length modulation (PLM) .

يتميز تشكيل الفترة الزمنية للنبضات عن تشكيل اتساع النبضات بأنه أقل عرضة للضوضاء غير أن كفاءته قليلة لأن جزءاً كبيراً من الطاقة المرسلة لاتحمل معلومات ومانهتم به هو التغير في عرض النبضة حول قيمة معينة . ترسل الموجة المشكّلة إلى دائرة تشغيل المنبع للحصول على قدرة خارجة تناسب تشكيل الفترة الزمنية للنبضات.

١١-٣-٣ تشكيل مركز النبضات Pulse Position Modulation (PPM)

يعتبر تشكيل مركز النبضات نوعاً من أنواع تشكيل زمن النبضات PTM . لكن الفترة الزمنية للنبضة الواحدة pulse duration في هذا النوع تكون ثابتة بينما يتغير حدوث النبضة أو مركز النبضة طبقاً لتغير الموجة المطلوب إرسالها . فإذا كانت الموجة المطلوب إرسالها $V_m(t)$ موجة جيبية حسب المعادلة التالية :

$$V_m(t) = V_m \cos \omega_m t \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (11.20)$$



الشكل (١١- ٩) مبدأ تشكيل القدرة الزمنية للنبضات

فإن مقدار التغير الزمني في حدوث النبضة وليكن $\delta(t)$ يعطى على النحو التالي :

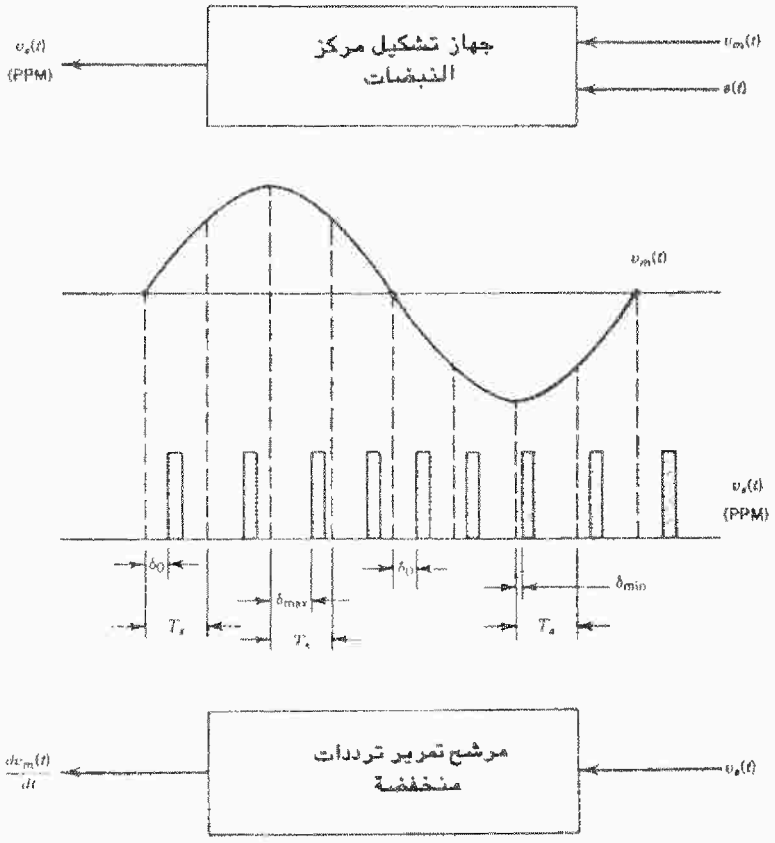
$$\delta(t) = \delta_0 \ (1 + M \cos \omega_m t) \ \ldots\ldots\ldots\ldots\ (11.21)$$

حيث يمثل الرمز δ_0 مقدار انزياح حدوث النبضة عند $v_m(t) = 0$ ويمثل الرمز M عامل التشكيل ويجب أن نلاحظ أن مقدار انزياح حدوث النبضة $\delta(t)$ مضافاً إليه الفترة الزمنية الثابتة للنبضة T_0 يجب أن لايتجاوزا معاً قيمة دور النبضات T_s ويمكن التعبير عن ذلك

رياضياً بالعلاقة التالية :

$$(\delta(t)+T_0)<T_s$$

ويوضح الشكل (١١-١٠) مبدأ تشكيل مركز النبضات.



الشكل (١١-١٠) مبدأ تشكيل مركز النبضات

ترسل الموجات المشكّلة لدائرة تشغيل المنبع للحصول على تغير شدة يعتمد على مبدأ تشكيل مركز النبضات . يتميز تشكيل مركز النبضات بأنه لايتأثر بعدم خطية المنبع ،كما ان التشكيل يؤثر على توقيت النبضات ، لذا فهو يسمح بنقل نبضات ضيقة جداً . يتميز

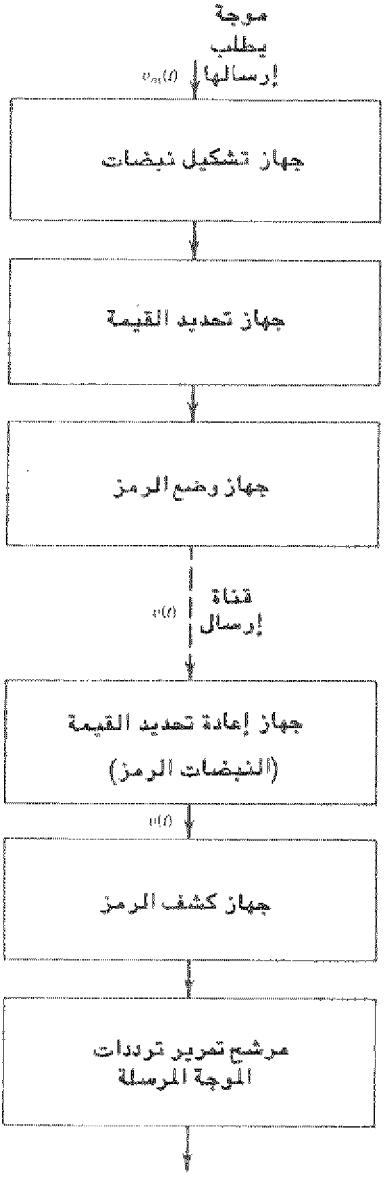
تشكيل مركز النبضات بأنه لايتأثر بعدم خطية المنبع ،كما ان التشكيل يؤثر على توقيت النبضات ، لذا فهو يسمح بنقل نبضات ضيقة جداً . يتميز تشكيل الشدة بتشكيل مركز النبضات بكفاءة تفوق قليلاً تشكيل الشدة المباشر لكن التحسن في نسبة الإشارة للضوضاء أقل . لذا يستخدم في الوصلات البصرية التماثلية الطويلة.

يوجد نوع آخر من التشكيل ويدعى تشكيل تردد النبضات pulse frequency modulation (PFM) والذي يعطي كسب تشكيل تردد نطاق واسع كما أن الأجهزة المستخدمة في هذا التشكيل غير معقدة ، لذا يشيع استخدامه في الأنظمة التماثلية النبضية.

١١-٣-٤ تشكيل رمز النبضات Pulse Code Modulation

تتميز أنواع التشكيل التي درسناها لحد الآن في هذا الكتاب بخاصة مشتركة هي الطبيعة التماثلية لتشكيل الموجة المطلوب إرسالها داخل الموجة الحاملة . ففي طرق التشكيل السابقة يجري تغيير أحد عوامل الموجة الحاملة ، الاتساع أو التردد أو الزمن بشكل مستمر تبعاً لتغير الموجة المرسلة.

ندرس في هذا البند نوعاً جديداً من التشكيل يختلف عن الأنواع السابقة بأن له طبيعة رقمية وليس طبيعة تماثلية ، ففي هذا النوع من التشكيل يجري أخذ عينات للموجة المطلوب إرسالها ، ثم يتم وضع رموز لهذه العينات ، غالباً ماتتكون من مجموعات متسلسلة من الوحدات الرقمية الثنائية sequence of binany digits حيث يجري إرسال هذه الرموز عبر قنوات الاتصال . وفي الاستقبال يجري كشف هذه الرموز واستعادة الموجة المرسلة . يدعى هذا النوع من التشكيل بتشكيل رمز النبضات ويتمتع بمزايا عديدة أدت إلى انتشار استخدامه . يتكون تشكيل رمز النبضات من المراحل التالية عند الإرسال كما هو موضح في الشكل (١١-١١).



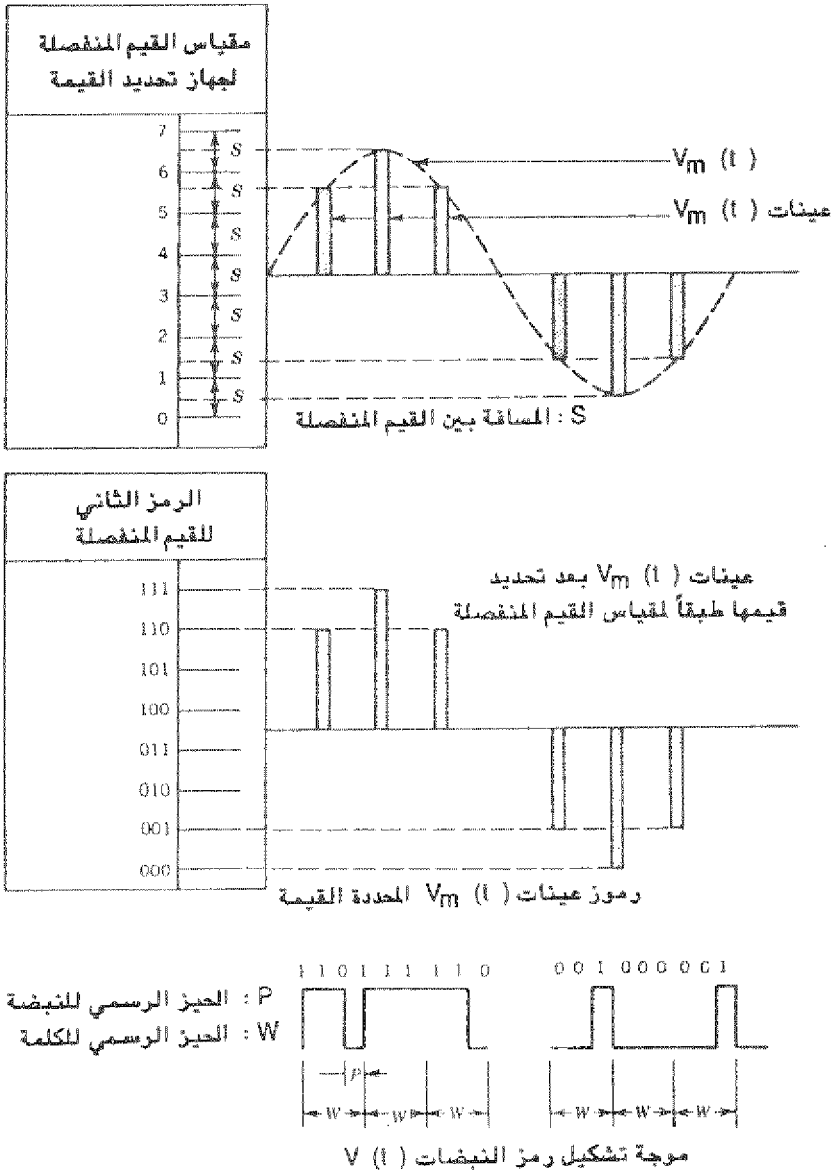
الشكل (١١-١١) مراحل تشكيل رمز النبضات

أ - جهاز تشكيل النبضات أو جهاز أخذ العينات ، ويعمل هذا الجهاز ، على ضرب الموجة المطلوب إرسالها بموجة دالة العينات التي تتكون من قطار من النبضات الدورية التي يبلغ اتساع كل منها وحدة قياسية واحدة ويتجاوز ترددها ضعف تردد الموجة المطلوب إرسالها طبقاً لنظرية العينات. وينتج عن هذا الجهاز قطار من النبضات المختلفة الاتساع ، التي يعبر تغير اتساعها عن تغيرات الموجة المرسلة كما هو موضح بالشكل (١١-٨).

ب- جهاز تحديد القيمة quantizer ،ويعمل هذا الجهاز على أخذ موجة العينات الناتجة عن جهاز تشكيل اتساع النبضات ،ومقارنة كل من هذه النبضات بمقياس يتكون من عدد محدد من القيم المتتالية والمنفصلة عن بعضها discrete values . ثم اختيار أقرب قيمة من هذه القيم لمقدار اتساع النبضة. وتحديد اتساع النبضة بهذه القيمة الجديدة. وعلى ذلك يكون اتساع أي من النبضات الخارجة من هذا الجهاز محدد بإحدى القيم المنفصلة التي يحددها المقياس المستخدم. ويوضح الشكل (١١-١٢) عملية تحديد القيمة هذه.

جـ- جهاز وضع الرمز encoder ، يعمل هذا الجهاز على أخذ موجة العينات المحددة الاتساع طبقاً لمقياس جهاز تحديد القيمة ، ثم يقوم بتحويل كل نبضة من نبضات هذه الموجة إلى رمز تمثله مجموعة من النبضات ثابتة الاتساع والفترة الزمنية . يعطي معدل البتات لتشكيل رمز النبضات بالتعبير التالي ، معدل البتات = عرض النطاق × عينات لكل دوره × بتات لكل عينة .

د - تمرر النبضات التي تعبر بالرمز عن عينات الموجة المرسلة إلى دائرة قيادة أو تشغيل المنبع . يأخذ الضوء الخارج من المنبع شكل موجة تشكيل رمز النبضات وترسل عبر الليف البصري. ويبين الشكل (١١-١٢) عملية وضع الرموز بالوحدات الرقمية الثنائية لموجة نبضات محددة القيمة ، وموجة تشكيل رمز النبضات التي تعبر عن ذلك. ويوضح الشكل (١١-١١) عملية استقبال موجة تشكيل النبضات واستخراج الموجة المرسلة منها ، المراحل الرئيسية التالية :



الشكل (١١-١٢) شكل الموجة عبر مراحل تشكيل رمز النبضات

أ - جهاز إعادة تحديد القيمة ، ويعمل هذا الجهاز على كشف الموجة المرسلة وتنقيتها من الضوضاء وإعادة تكوين الموجة المستقبلة خالية من الضوضاء من جديد.

ب - جهاز كشف الرمز decoder ويعمل هذا الجهاز على أخذ موجة تشكيل رمز النبضات بعد إعادة تكوينها وتنقيتها من الضوضاء ، ثم تحديد قيمة كل عينة من عينات الموجة المرسلة ، عن طريق كشف رمز كل عينة والممثل عادة بمجموعة من النبضات التي تعبر عن مجموعة من الوحدات الرقمية الثنائية التي تعطي قيمة معينة. وتعاكس هذه العملية عملية وضع الرمز الوارده فيما سبق والموضحة بالشكل (١١-١٢).

جـ - دوائر المرشح والمضخم وتعمل هذه الدوائر على استعادة الموجة المرسلة بشكلها الأصلي وتضخيمها.

يتميز تشكيل رمز النبضات بالصفات التالية :

أ - انخفاض التشويش وبالتالي ارتفاع نسبة الأشارة إلى الضوضاء ويعود ذلك إلى إمكانية استعادة موجة التشكيل عن طريق كشف وجود أو عدم وجود نبضة في كل حيز زمني لنبضة واحدة.

ب - يناسب هذا النوع من التشكيل الاتصالات عبر مسافات طويلة ، لأن أجهزة تكرار الإرسال الموجودة عبر مسافة الإرسال تستطيع إعادة تشكيل الموجة والتخلص من الضوضاء قبل إرسالها ثانية بقدرة أعلى إلى مكرر آخر أو إلى مقصدها الإخير.

جـ - يتوافق هذا النوع من التشكيل مع أنظمة إرسال البيانات data transmission التي تتزايد أهميتها في هذا العصر حيث يكثر تخزين وتبادل المعلومات.

يتعرض تشكيل رمز النبضات إلى مشاكل نوجزها فيما يلي :

أ - يتطلب إستخدام هذا التشكيل نطاقاً واسعاً من الترددات .

ب - تشمل مراحل تنفيذ هذا التشكيل دوائر إلكترونية أكثر تعقيداً من دوائر أنواع التشكيل الأخرى.

جـ - لايعتبر إستخدام هذا التشكيل اقتصادياً للمسافات القصيرة غير أن تقدم الإلكترونيات

وانخفاض كلفة الدوائر الألكترونية المعقدة بدأ يقلل من أهمية هذه المشكلة.

١١-٤ تعدد الإرسال Multiplexing

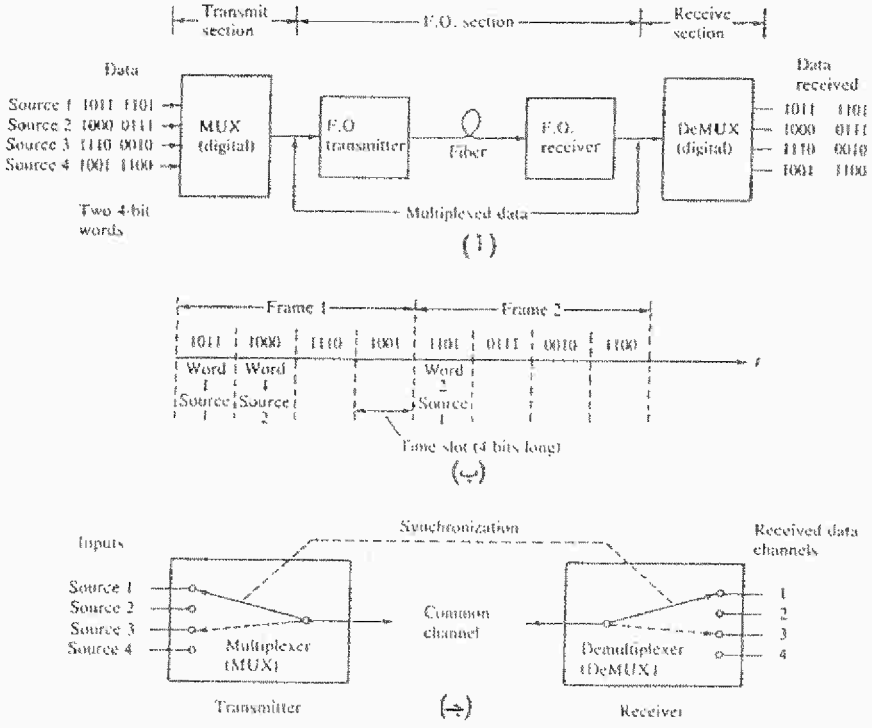
إن الغرض الأساسي من تعدد الارسال هو استغلال عرض نطاق قناة المعلومات لعدة مستخدمين. قناة المعلومات أو الاتصال هنا هي الليف البصري والموجة الحاملة هي الضوء. سنفرض في دراستنا أن منابع المعلومات المستقلة تخضع لنفس الشروط العامة مثل الاتساع والمعدل وعرض النطاق.

١١-٤-١ تعدد الإرسال بتقسيم الزمن Time Division Multiplexing (TDM)

يمكن في هذا النظام إرسال موجات من خلال إرسال عينات منها وفق تردد معين وينتج إرسال عينات موجة ما، وجود فراغات زمنية، يمكن استغلالها لإرسال عينات موجات أخرى. ويدعى إرسال عدد من الموجات من خلال إرسال عينات منها بشكل متتابع ضمن مجال زمني واحد بتعدد إرسال تقسيم الزمن ويبين الشكل (١١-١٣أ) مخططاً صندوقياً لنظام تعدد الإرسال بتقسيم الزمن يشمل عمليتي الإرسال والاستقبال.

وقد تكون المعلومات المرسلة مشكّلة بأحد طرق التشكيل الآنف ذكرها مثل تشكيل اتساع النبضات PAM أو تشكيل رمز النبضات PCM حيث ترسل النبضات لتعبر عن الموجة التماثلية الداخلة.

يتم في هذا الإرسال تحديد فترة زمنية يقوم فيها كل منبع معلومات ضمن نظام الإرسال بإرسال المعطيات. ففي الشكل (١١-١٣) تشترك أربعة منابع في نفس قناة الاتصال. ترسل معطياتها بالتتابع كما هو في الشكل (١١-١٣ب). عندما يكمل المنبع رقم 4 نقل معلوماته يحدد الشق الزمني الذي يليه إلى المنبع رقم 1. وهلم جراً. قد توجد طرق لتعدد الإرسال تسمح لمنبع معين بإرسال معلومات أكثر من المنابع الأخرى يعبر عن تتابع المنابع 1 إلى 4 بالرتل frame. نلاحظ أن المعطيات في الشكل (١١-١٣) تتكون من أربعة بتات.



الشكل (١١-١٣) تعدد الإرسال بتقسيم الزمن (أ) مخطط صندوقي للنظام

(ب) معطيات مجمعة في شقوق زمنية

(جـ) نموذج مبسط لمعدد الإرسال ومزيل تعدد الإرسال

يبين الشكل (١١-١٣جـ) فكرة مبسطة عن تشغيل معدد الإرسال multiplexer حيث يقوم مفتاح إلكتروني بأخذ عينات من كل قناة تتابعياً ومن ثم هناك تواقت synchronization بين معدد الارسال ومزيل تعدد الارسال demultiplexer يبدأ ثانية فينتج رتلاً آخر . من الناحية العملية يقوم كل مصدر دخل input source بتغذية مرحلة دخل وسيطة input buffer تتولى تخزين المعطيات بصفة مؤقتة . ثم تجمع في قناة رئيسية وهي الليف البصري . بهذه الطريقة يمكن استخدام قناة ذات سرعة عالية لنقل عدد كبير من المعطيات ذات المعدلات المنخفضة .

يرتبط عدد قنوات الدخل المتعددة N ومعدل معطيات قناة الدخل ومعدل معطيات الخرج بالعلاقة التالية :

$$\text{MUX Output rate} = N \times \text{Input rate} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (11.22)$$

حيث تعني mux معدد الإرسال.

بالإضافة إلى ذلك تضاف إشارات الترقيت والتحكم والتي اهملت في المعادلة (11.22) .

يجب أن تكون سعة القناة المشتركة وهي الليف البصري في هذه الحالة والمربوطة بمعدد الارسال multiplexer مساوية أو أكبر من معدل الخرج المذكور في المعادلة (11.22) . فرضنا في المعادلة (11.22) أن معدل معطيات قنوات الدخل متساوي . عندما تتغير المعدلات فإننا نستخدم أعلى معدل لحساب سعة القناة المشتركة. وهذا الشرط صحيح فقط لتعدد الارسال بتقسيم الزمن الثابت.

مَعْلَمَةٌ أخرى تذكر دائماً مع تعدد الارسال بتقسيم الزمن وهي معدل التبديل switching rate وهي تشير إلى عدد مرات الدخل لكل ثانية (يمثل كل دخل قناة معطيات) .

بالإضافة إلى الموجات المرسلة هناك إشارات تراقت synchronization وهي نبضات إضافية ذات طبيعة خاصة ضمن كل رتل frame من ارتال موجة النبضات لتوجيه عمل إزالة تقسيم الزمن ونقل عينات كل رتل إلى مكانها الصحيح.

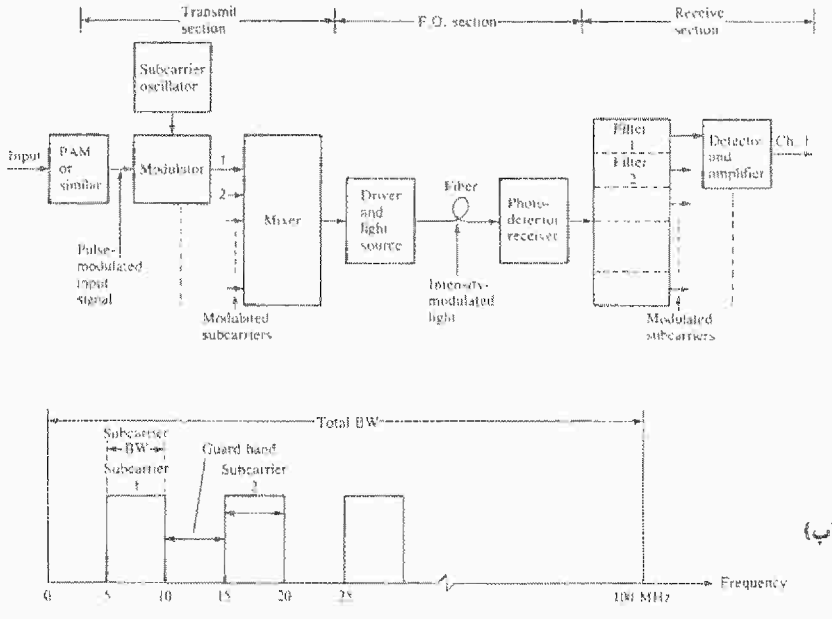
١١-٤-٢ تعدد الإرسال بتقسيم التردد Frequency Division Multiplexing

يتم في تعدد الارسال بتقسيم التردد تقسيم عرض نطاق قناة المعلومات إلى شقوق ترددات frequeny slots (حاملات فرعية subcarriers) يخصص لكل منبع حامل فرعي. يوضح الشكل (١١-١٤أ) مخططاً صندوقياً لنطاق تجميع تقسيم التردد FDM . لو فرضنا أن عرض نطاق النظام الليفي هو 100MHz (وهذا يعني أن الضوء المرسل يمكن تشكيله بواسطة موجة أو موجات حاملة بتردد يصل حتى 100MHz) : بعدها نرصد حاملات مختلفة (حاملات فرعية) لمنابع المعطيات المختلفة . نرى في الشكل

(١١-١٤ب) وجود نطاقات حراسة guard bands تفصل الحاملات الفرعية عن بعضها. يسهل هذا الإجراء فصل الحاملات الفرعية عن بعضها في جهاز الاستقبال.

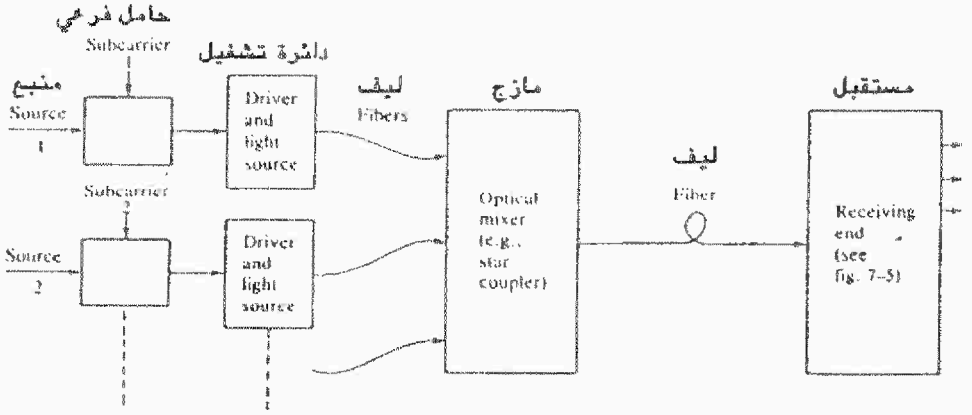
لو نظرنا إلى الشكل (١١-١٤ب) ثانية لوجدنا أن عرض نطاق الحاملات الفرعية هو 5MHz . في حقيقة الأمر يتغير تخصيص عرض النطاق حسب التطبيق. يشكل كل حامل فرعي بمنبع معطياتها data source الذي قد يكون تشكيل اتساع النبضات أو تشكيل رمز النبضات أو أي معطيات أخرى. وقد يكون هناك ثلاث مستويات من التشكيل. إذ تشكل المعطيات التماثلية قطار من النبضات(PAM) والذي يستخدم لتشكيل حامل فرعي (AM أو FM). تقوم الحاملات الفرعية المشتركة بتشكيل المنبع الضوئي.

تتولى مجموعة من مرشحات تمرير النطاق band pass filters باستعادة recover الحاملات الفرعية الأصلية عند جهاز الاستقبال لتسمح هذه المرشحات بمرور مدى محدود من الترددات بالعبور دون توهين.



الشكل(١١-٤) تعدد الارسال بتقسيم الزمن (أ) مخطط صندوقي للنظام
(ب) نطاقات التردد للإرشارة المرسلة

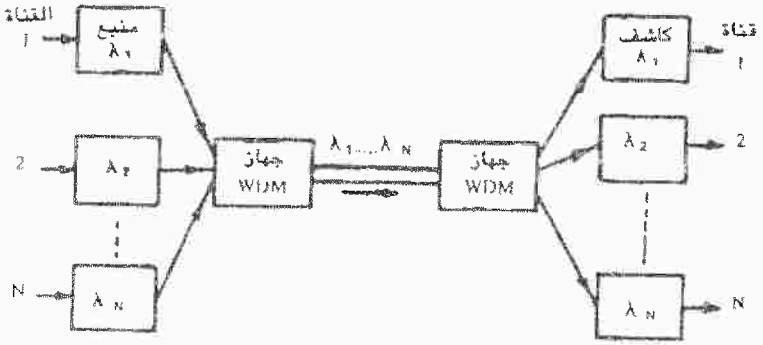
تمزج الحاملات الفرعية على مستوى الموجات الألكتروني كما هو واضح في الشكل (١١-١٤أ). يؤدي ذلك إلى حدوث لغط cross talk وتداخل الحاملات مع بعضها. يمكن التخلص من اللغط بعمل المزج على المستوى البصري. يبين الشكل (١١-١٥) مخططاً صندوقياً لهذا النظام. نلاحظ أن جهاز الاستقبال لم يتغير. عندما يتم تعدد الارسال على المستوى البصري، يشكّل منبع معطيات حاملاً فرعيا يقوم بقيادة المنبع الضوئي وسيكون عدد المنابع الضوئية بعدد منابع المعطيات المجمّعة. في تعدد الارسال المذكور في الشكل (١١-١٤) يوجد منبع واحد موصل بالليف. يسبب العدد الكبير من المنابع الضوئية إلى حدوث مشاكل تشبع عند الكاشف، لذا لابد من تحديد عدد المنابع المستخدمة وشدتها حتى لايتشبع جهاز الكشف.



الشكل (١١- ١٥) تعدد الإرسال بتقسيم الزمن - المزج على مستوى الإشارة البصرية

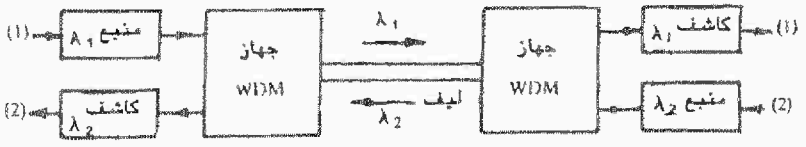
١١-٤-٣ تعدد الإرسال بتقسيم الطول الموجي Wavelength Division Multiplexing

يتم في نظام الاتصالات البصري - البسيط استخدام طول موجي واحد لإرسال المعلومات ولاتمكن هذه الطريقة من الاستفادة من عرض نطاق الليف. لذا فقد استحدثت طرق عديدة لإرسال عدة أطوال موجية في آن واحد. حيث يخصص لكل منبع معطيات ، أو مجموعة من منابع المعطيات ، طول موجي لإرسال المعلومات.



الشكل (١١-١٦) رسم صندوقي لنظام تعدد الإرسال بتقسيم الطول الموجي باتجاه واحد

يبين الشكل (١١-١٦) رسماً صندوقياً لنظام تعدد الارسال بتقسيم الطول الموجي باتجاه واحد . أما في الشكل (١١-١٧) فنرى نظام تعدد الارسال بتقسيم الطول الموجي مزدوج الإتجاه. قد يستخدم مع كل طول موجي أياً من نظم تعدد الارسال التي تمت مناقشتها سابقاً وبذا تزداد سعة نقل المعطيات لنظام الاتصالات .



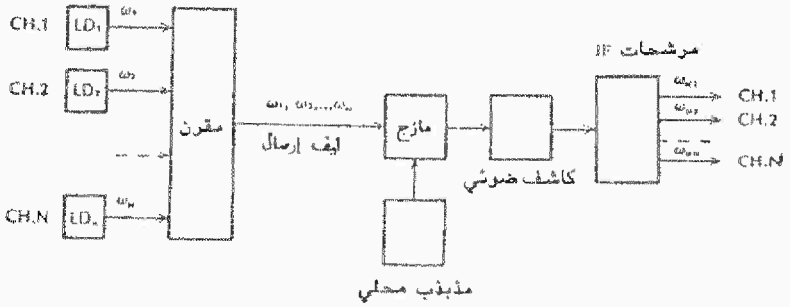
الشكل(١١-١٧)رسم صندوق لنظام تعدد الارسال بتقسيم الطول الموجي مزدوج الاتجاه

تؤدي كثرة المنابع المستخدمة في الإرسال إلى حدوث تشبع في الكاشف البصري لجهاز الاستقبال نظراً لازدياد القدرة البصرية المرسلة . أما في نظام WDM فإن الأطوال الموجية تعرّف قبل أن تصل الكاشف البصري. ويذهب كل طول موجي إلى كاشف مختلف لذا فإن حصول التشبع غير وارد . نستطيع في تعدد ارسال FDM وWDM إرسال عدد من قنوات المعلومات في آن واحد بينما لايمكن من إرسال أكثر من قناة واحدة في أي وقت في تعدد إرسال TDM .

١١-٤-٤ تعدد الإرسال بتقسيم التردد البصري Optical Frequency - Division Multiplexing(OFDM)

يمكن استخدام عدة منابع لإرسال المعلومات عبر الليف البصري بواسطة تعدد الارسال بتقسيم التردد البصري (OFDM) مترافقاً مع الكشف التخفيقي heterodyne حيث تمتزج حزمة الضوء من المتذبذب المحلّي local oscillator بالموجة المعدّلة عند مدخل الكاشف الضوئي. يحول الكاشف التخفيقي تغيرات الطور في تردد الحامل البصري إلى

تغيرات طور في الشدة البصرية. يبين الشكل (١١-١٨) مخططاً صندوقياً لهذا النوع من تعدد الإرسال. يعاير حرارياً عدد N من ثنائي ليزري متماثل لكي تبث هذه الثنائيات عند ترددات متفاوتة قليلاً ω_1 , ω_2 ..... ω_N وتشكّل الثنائيات بالرسائل المرغوبة . يقرن خرج كل ثنائي إلى الليف وتقرن الألياف المتعددة إلى ليف الإرسال. وعند المستقبل يمتزج الضوء من متذبذب محلي وعميد بكل حزمة مرسلة فينتج تردد متوسط intermediate frequency لكل قناة. تفرز sort لترددات المتوسطة ω_{IF1} , ω_{IF2} ..... ω_{IFN} إلكترونياً بواسطة مرشحات . تحدد سرعة الكاشف الضوئي التردد المتوسط الأعظمي المسموح به .



الشكل (١١-١٨) رسم صندوقي لتجميع تقسيم التردد البصري

يتشابه تعدد الارسال بتقسيم التردد البصري OFDM وتعدد الإرسال بتقسيم الطول الموجي حيث يستعمل كل منهما منابع بصرية منفصلة لكل قناة. أما الفروق بينهما فهي كما يلي :

١ - يتطلب تعدد الارسال بتقسيم التردد البصري OFDM كشفاً تخفيقياً بينما يستعمل تعدد الارسال بتقسيم الطول الموجي WDM كشفاً مباشراً .

٢ - تفرز sort أنظمة WDM القنوات في المجال البصري (قبل الكشف الضوئي) بينما

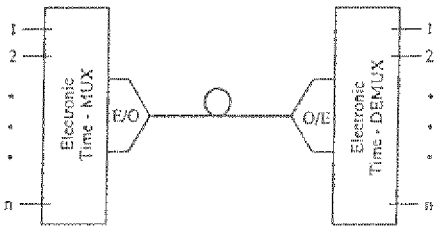
تفرزها أنظمة OFDM إلكترونياً بعد الكشف الضوئي.

٣ - أن الفرز الكهربائي عند الترددات الراديوية أكثر انتقاءً من الفرز البصري. لذا تكون القنوات المتجاورة في أنظمة OFDM أقرب إلى بعضها مما هو في أنظمة WDM. يسمح الفاصل الأضيق بين الأقنية المتجاورة بإرسال عدد أكثر من القنوات في نافذة طول الموجة الطويلة ذات التبعثر والفقد القليلين.

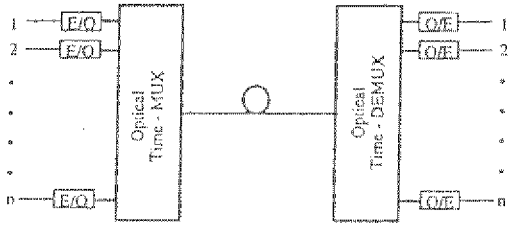
١١-٤-٥ تعدد الإرسال بتقسيم الزمن البصري Optical Time Division Multiplexing

شرحنا في البند (١١-٤-١) تعدد الارسال بتقسيم الزمن ونشرح في هذا البند تعدد الارسال بتقسيم الزمن البصري. يبين الشكل (١١-١٩أ) رسماً توضيحياً لتجميع تقسيم الزمن الآنف ذكره حيث يحصل تعدد الارسال في المجال domain الكهربائي أي قبل حدوث التحويل الكهروضوئي electrooptical(E/O). أما إزالة تعدد الارسال demultiplexing فتحدث بعد تحويل الموجات الضوئية إلى موجات كهربائية . فإذا كان لدينا عدد من قنوات الأساس يساوي N ومعدل بتات B فإن معدل بتات التجميع هو NB. تحصل مشاكل عديدة في جهاز الإزالة حيث يجب أن تعمل الدوائر الألكترونية بمعدل معطيات كامل. تبرز هذه المشاكل نتيجة (أ) محدودية سرعة الدوائر المتكاملة الرقمية (ب) محدودية سرعة المضخمات الخطية ذات القدرة العالية والضوضاء المنخفضة التي تقود ثنائي الليزر أو المشكّل modulator في أجهزة التحويل الكهروضوئي أو الضوكهربائي (جـ) محدودية عرض نطاق التشكيل لثنائيات الليزر والمشكّلات modulators . أدت هذه العوامل إلى تحديد الحد الأقصى لمعدل البتات المجمّعة كهربائياً إلى حوالي 10Gb/s.

أما في أنظمة تعدد الارسال البصرية المبينة في الشكل (١١-١٩ب) فقد تم التخلص من المشاكل في أجهزة التحويل الكهروضوئي والضوكهربائي . ينجز تعدد الارسال في OFDM بعد أن يتم التحويل الكهروضوئي أما الإزالة فتحدث قبل التحويل الضوكهربائي . تعمل الأجهزة الألكترونية المستخدمة في النظام بمعدل بتات نطاق الأساس.



(أ)



(ب)

الشكل (١١- ١٩) نظام تعدد الارسال بتقسيم الزمن البصري

(أ) تعدد الارسال بتقسيم الزمن في المجال الكهربائي

(ب) تعدد الارسال بتقسيم الزمن في المجال البصـــري

١١ - ٥ الخلاصة Summary

ناقشنا في هذا الفصل أنظمة التشكيل التماثلية والنبضية بنوعيها التماثلي والرقمي المستخدمة في أنظمة الاتصالات البصرية ووجدنا أن استخدام بعض المعلمات المستخدمة في أنظمة التشكيل مثل الاتساع والتردد والطور قد لايمكن استخدامها بصورة مباشرة في الاتصالات البصرية ويرجع ذلك إلى الصعوبات الرئيسية التي يواجهها كشف الإشارات حيث أن الكواشف الضوئية تستجيب فقط لسطوع الإشعاع الساقط عليها . لهذا السبب استخدمت حاملات فرعية تقوم بتشكيل الموجات وينتج عنها تشكيل الشدة مثل

تشكيل الاتساع - تشكيل الشدة ، وتشكيل التردد - تشكيل الشدة في الأنظمة التماثلية. أما تشكيل النبضات بأنواعه المختلفة فإنه يعتمد على إرسال عينات منفصلة ومتكررة تعكس مضمون المعلومات المراد إرسالها. يلخص الجدول (١١-١) جدولاً بصيغ التشكيل التي نوقشت في هذا الفصل .

الجدول (١١-١) صيغ التشكيل في النظام البصري

الأسم	الوصف	التعليق
تشكيل الشدة المباشر	تتغير القدرة البصرية طردياً مع نطاق الأساس	أبسط أنواع التشكيل التماثلي
تشكيل الشدة - تشكيل الاتساع AM-IM	تشكّل إشارة المنبع البصري بواسطة اشارة ذات تردد أقل مشكّلة اتساعياً	يسمح بتجميع تقسيم التردد لحامل فرعي.
تشكيل الشدة- تشكيل التردد FM-IM	تشكل إشارة المنبع البصري بواسطة إشارة مشكّلة ترددياً	يسمح بتجميع تقسيم التردد لحامل فرعي.
تشكيل اتساع النبضات (PAM)	تتكون من قطار من النبضات تعبر عن الموجة الأصلية	يتأثر هذا التشكيل بخطية المنبع
تشكيل الفترة الزمنية للنبضات(PDM)	تتغير الفترة الزمنية للنبضة طبقاً لتغير الموجة	لايتأثر كثيراً بالضوضاء كفاءته قليلة.
تشكيل مركز النبضات (PPM)	يتغير مركز النبضة طبقاً لتغير الموجة.	كفاءته تزيد عن تشكيل الشدة المباشر.
تشكيل رمز النبضات (PCM)	تؤخذ عينات من الموجة وترمّز	تشويش قليل. مناسب للإرسال الرقمي يتطلب نطاقاً واسعاً ودوائر متعددة .

إن الهدف من تعدد الارسال هو استغلال عرض نطاق قناة المعلومات وإستخدامها من قبل عدد من المستخدمين . شرحنا طرق تعدد الارسال الشائعة والتي تنقسم إلى قسمين الأول يعتمد على تعدد الارسال الالكتروني مثل تعدد الارسال بتقسيم الزمن (TDM) تعدد الارسال بتقسيم التردد(FDM) والقسم الثاني بصري ويضم ثلاثة أنواع وهي تعدد الارسال بتقسيم الطول الموجي (WDM) وتعدد الارسال بتقسيم التردد البصري (OFDM) وتعدد الارسال بتقسيم الزمن البصري(OTDM) نوجزها فيما يلي :

١ - تعدد الارسال بتقسيم التردد FDM

يتم بهذه الطريقة تقسيم عرض نطاق قناة المعلومات إلى مجموعة ترددات ويخصص لكل منبع ضوئي تردد معين على هيئة حاملات فرعية تمزج إلكترونياً وترسل عبر الليف البصري وفي جهاز الاستقبال يتم فصلها إلكترونياً من خلال مرشحات وتضخم بعد ذلك. يتأثر هذا النظام بخطية المنبع مما يؤدي إلى حدوث لغط بين القنوات .

٢ - تعدد الارسال بتقسيم الزمن TDM

ترتب بتات المعطيات المعبرة عن الموجات المرسلة وتتشارك زمنياً في مرورها بالليف. نستخدم في هذا النظام منبعاً بصرياً واحداً وكاشفاً ضوئياً واحداً . يتم في هذ النظام تداخل وفصل الإشارات كهربائياً . يناسب TDM الاتصالات الرقمية فهو لايغير سعة المعلومات بل يوزع البتات المتاحة بين عدة رسائل .

٣ - تعدد الإرسال بتقسيم الطول الموجي WDM

تسير عدة رسائل في قناة الاتصال وكل رسالة تحمل على طول موجي مختلف يتطلب هذا النظام وجود عدة منابع تبث الضوء على أطوال موجية مختلفة . يتم الكشف المباشر في هذا النظام .

٤ - تعدد الإرسال بتقسيم التردد البصري OFDM

تشكّل الرسائل على منابع ذات أطوال موجية مختلفة قليلاً . يستخدم في هذا النظام الكشف التخفيقي وتفرز القنوات إلكترونياً بعد الكشف الضوئي . يزيد هذا النظام في سعة الليف .

٥ - تعدد الإرسال بتقسيم الزمن البصري OTDM

يعتبر من أسرع أنظمة تعدد الارسال نظراً لسرعة نقل المعلومات التي يتميز بها هذا النظام حيث يتم تعدد الارسال بعد تحويل الإشارات الكهربائية إلى ضوئية في جهاز الإرسال ويزال تعدد الارسال قبل تحويل الإشارات الضوئية إلى كهربائية فأمكن بذلك التخلص من كثير من المشاكل التي تحدثها بعض الدوائر الإلكترونية المستخدمة في نظام TDM .

الفصل الحادي عشر

أسئلة

١ - ماهي الموجة الحاملة ؟

٢ - ماهي الموجة المشكلة ؟

٣ - عرف التشكيل واشرح تشكيل الاتساع ؟

٤ - أشرح تشكيل التردد ؟ وقارن بينه وبين تشكيل الاتساع؟

٥ - أذكر أنواع التشكيل وصفها باختصار ؟

٦ - ما الفرق بين تشكيل PAM وتشكيل PCM ؟

٧ - ما معنى تعدد الإرسال وما فائدته ؟

٨ - إشرح تعدد إرسال TDM .

٩ - إشرح تعدد إرسال FDM .

١٠- إشرح تعدد إرسال WDM .

١١- قارن بين تعدد إرسال FDM وتعدد إرسال OFDM .

١٢- قارن بين تعدد إرسال TDM وتعدد أرسال OTDM .

مسائل :

١ - لدينا الموجة $V_m(t)$ يطلب إرسالها بإستخدام تشكيل الاتساع على الموجة الحاملة $V_c(t)$ حيث أن

$$V_m(t) = 4\cos 2\Pi(1000)t + 8\cos 2\Pi(2000)t + 4\cos 2\Pi(3000)t$$

(أ) أوجد طول الموجة λ_c للموجة الحاملة $V_c(t)$.

(ب) أوجد التعبير الرياضي لموجة التشكيل $V(t)$.

(جـ) أوجد عوامل التشكيل M_1 , M_2 و M_3 لمركبات الموجة $V_m(t)$.

(د) أوجد الاتساع الأعظمى Maximum Amplitude والاتساع الفعال r m s والتردد لكل مركبة من مركبات موجة التشكيل .

٢ - لدينا الموجة $V_m(t)$ يطلب إرسالها بإستخدام تشكيل الاتساع على الموجة الحاملة $V_c(t)$ حيث :

$$V_m(t) = A_1 \cos \omega_m t + A_2 \cos 2\omega_m t + A_3 \cos 3\omega_m t$$

$$V_c(t) = A_c \cos \omega_c t$$

(أ) أوجد موجة التشكيل $V(t)$.

(ب) أذا كانت قيم الاتساع على النحو التالي :

$A_c = 40$ volts $\qquad A_1 = 10$ volts

$A_2 = 20$ volts $\qquad A_3 = 30$ volts

أوجد عوامل التشكيل M_1 , M_2 و M_3 لكل من المركبات الثلاثة للموجة $V_m(t)$.

(جـ) إذا كانت قيمة التردد الزاوي للحامل ω_c والتردد الزاوي ω_m على النحو التالي $\omega_m = 2\Pi\,(1\,000)$, $\omega_c = 2\Pi\,(100\,000)$. ماهي الترددات التي تظهر في موجة التشكيل ، وضح ذلك بالرسم .

٣ - لدينا الموجتان التاليتان :

$$i_c(t) = I_c \cos (215.2\,\Pi)(10^6)\,t$$

$$i_m(t) = I_m \cos (14\,\Pi)(10^3)\,t$$

حيث يجرى تحميل الموجة $i_m(t)$ على الموجة $i_c(t)$ طبقاً لمبدأ تشكيل التردد ، ويؤدي ذلك إلى إنحراف التردد الحامل Δf قدره $\Delta f = 70$ kHz .

(أ) أوجد تردد الموجة الحاملة f_c والموجة المحمولة f_m .

(ب) أوجد مقدار تأرجح التردد لموجة تشكيل التردد وكذلك أعلى قيمة وأقل قيمة يصلها هذا التردد .

(جـ) أوجد قيمة عامل التشكيل β وعرف نطاق التردد BW قارن بين عرض نطاق التردد مع تأرجح التردد .

(د) أكتب التعبير الرياضي لموجة التشكيل $i(t)$ على أن تؤخذ القيم الناتجة بعين الاعتبار .

٤ - لدينا موجة تشكيل التردد قيمة عامل التشكيل فيها $\beta = 5$ وتردد موجتها المحمولة $f_m = 3\ kHz$.

(أ) أوجد قيمة انزياح التردد Δf .

(ب) أوجد نسبة تشكيل التردد في الإرسال الاذاعي (88 – 108 MHz) حيث تسمح بانزياح أعظمي في التردد قدره $\Delta f_{max} = 75\ kHz$

٥ - إفرض أن لدينا ثنائي LED عرض نطاق 3dB يساوي 60MHz يبلغ ميل منحنى القدرة البصرية مقابل تيار الدخل 0.12mw/mA . يتكون تيار الدخل من تيار مستمر قدره 40mA وإشارة جيبية ترددها 35MHz كما يبلغ اتساع التيار الأقصى 30mA .

(أ) أحسب عامل التشكيل لتيار الدخل.

(ب) أحسب وارسم القدرة البصرية الناتجة.

(جـ) أحسب عامل التشكيل البصري.

(د) أرسم مخططاً لعدد من دورات الدخل.

٦ - إذا كان لدينا موجة عالية التردد $V_c(t)$ حيث :

$$V_c(t) = A_c \cos \omega_c t$$

ماهو نوع التشكيل المطبق على الموجة $V_m(t)$ المنخفضة التردد في كل من الحالات التالية :

التالية :

$$v(t) = [A_c + v_m(t)\cos\omega_c t] \quad (أ)$$

$$v(t) = \left(\frac{A_m}{2}\right)\cos(\omega_c - \omega_m)\, t \quad (ب)$$

حيث $v_m(t) = A_m \cos \omega_m t$