الفصل الثاني عشر

نظم الاتصالات الليفية البصرية

Optical Fiber Communication Systems

استعرضنا في الفصول السابقة المكونات الأساسية لوصلة اتصالات ليفية بصرية والتي اشتملت على المنابع الضوئية والمرسلات والمقارن والموصلات والألياف والكابلات والكواشف والمستقبلات . نستعرض في هذا الفصل كيفية تكوين وصلة ليفية بصرية بإحضار المكونات مع بعضها واختيار الأنسب منها لتكوين الوصلة المناسبة بناءً على معطيات سنقوم بشرحها .

١٢-١ منهجية تصميم نظم الألياف البصرية

Optical Fiber System Design Methodology

تتشابه أسس تصميم نظم النقل الليفية مع نظم نقل المعلومات الأخرى مثل الراديو والموجات الصغرية والكابلات المحورية والسواتل. وتختلف عنها في تصميم النظم الفرعية المكونة من عناصر البصريات الليفية. لايقتصر تصميم النظام البصري الليفي على الوسط الناقل أو العناصر البصرية الليفية الأخرى كالمنبع والكاشف بل يشتمل على إلكترونيات معالجة الاشارات وطرق التشكيل والتجميع والتشفير بالإضافة إلى الاعتمادية والكلفة .

لن نتمكن من تقديم معايير التصميم كاملة في هذا الفصل إذ يحتاج ذلك إلى كتاب مستقل. بل سنقوم بتقديم مواصفات العناصر الأساسية في نظام الاتصالات البصرية واجراءات التصميم وكذلك اعطاء أمثلة على أهم عنصرين في التصميم وهما ميزانية القدرة ومعدل المعلومات .

يتكون نظام الاتصالات من ثلاثة عناصر أساسية وهي المرسل والمستقبل وقناة الاتصال. تحدد استخدامات النظام البصري الليفي مواصفات العناصر الداخلة ضمن

المكونات الأساسية الآنف ذكرها .

عند تخطيط نظام بصري ليفي يجب علينا في البداية تحديد نوعية هذا الاستخدام والتي يمكن أن يقع ضمن التقنيات الآتية :-

١ - رقمي Digital .

إذا كان الإرسال رقمياً فيجب علينا معرفة مايلي :

أ - معدل خطأ البتات bit error rate (BER) .

ب - مدى درجات حرارة التشغيل بالدرجات المئوية.

٢ - تماثلي Analog .

أما في حالة الإرسال التماثلي فلابد من معرفة الآتي :

أ - عرض النطاق بالهيرتز Hertz .

ب - التشوه مقاساً بالديسيبل.

جـ - مدى درجات حرارة التشغيل بالدرجات المئوية .

٣ - صوت Audio

عندما تكون الرسالة المرسلة صوتية فعلينا معرفة الآتي :-

أ - عرض النطاق بالهيرتز Hertz .

ب - التشوه بالديسيبل.

جـ - اللغط بالديسيبل (لعدة قنوات) .

د - مدى درجات حرارة التشغيل بالدرجات المئوية .

٤ - فيديو Video .

أما إرسال الصورة والذي يحتاج لعرض نطاق أوسع من ذلك المستخدم في الصوت فيجب معرفة مايلي :-

أ - عرض النطاق بالهيرتز Hertz .

ب - التشوه بالديسيبل.

جـ - اللغط بالديسيبل (لعدة قنوات) .

د - مدى درجات حرارة التشغيل بالدرجات المئوية.

١٢-١-١ مواصفات عناصر الوصلة الليفية البصرية

Specifications of Fiber Optic Link Elements

ا - مواصفات المرسل Transmitter Specifications

١ - معاوقة الدخل بالأوم (Ω).

٢ - أقصى إشارة دخل بالجهد المستمر(V_{dc}) أو V_{rms} أو الاتساع الأقصى للجهد V_p.

٣ - طول موجة الضوء λ بالميكروميتر (μm).

٤ - مقدار قدرة الخرج البصرية بالميكروواط (μw).

٥ - زمن الصعود rise time للخرج البصري بالنانوثانية (μs).

٦ - جهد التغذية المستمر (DC) لتشغيل دائرة المرسل.

ب - مواصفات المنبع الضوئي Light Source Specifications

١ - التيار الأمامي المستمر (Continuous) بالمللي أمبير(mA).

٢ - التيار الأمامي النبضي بالمللي أمبير (mA).

٣ - الطول الموجي للانبعاث الأقصى بالنانوميتر(nm).

٤ - عرض الطيف بالنانوميتر(nm).

٥ - الجهد العكسي بالفولت المستمر(V_{dc}).

٦ - مدى درجات الحرارة بالدرجات المئوية (^{o}C).

٧ - قدرة الخرج البصرية الكلية بالميكروواط (μW).

٨ - أوقات الصعود والهبوط بالنانوثانية (ns).

جـ - مواصفات الليف Fiber Specifications

١ - أحادي النمط أو متعدد النمط.

٢ - عتبي أو متدرج .

٣ - التوهين بالديسيبل لكل كيلومتر (dB/km).

٤ - فتحة النفوذ العددية NA.

٥ - التشوه النمطي intermodaldistortion بالنانوثانية لكل كيلومتر (ns/km).

٦ - معامل انكسار اللب.

٧ - معامل انكسار الكساء.

٨ - قطر اللب بالميكروميتر (µm).

٩ - قطر الكساء بالميكروميتر (µm).

١٠- قوة الشد بالرطل لكل انش مربع (psi).

١١- نصف قطر الثني بالسنتيمتر(cm).

د - مواصفات الكابل Cable Specifications

١ - عدد ا لألياف .

٢ - قطر اللب بالميكروميتر (µm) .

٣ - قطر الكساء بالميكرومتر (µm).

٤ - قطر الكابل بالمللي ميتر(mm).

٥ - وزن الكابل بالكيلوجرام لكل كيلومتر (kg/km).

٦ - نصف القطر الأدنى لثني الكابل بالسنتيمتر (cm).

٧ - عناصر التقوية والحماية.

هـ - مواصفات الكاشف Detector Specifications

١ - التيار الأمامي المستمر Continuons بالمللي أمبير (mA).

٢ - التيار النبضي الأمامي بالمللي أمبير (mA).

٣ - الجهد العكسي الأقصى بالفولت المستمر(V_{dc}).

٤ - مدى درجات الحرارة بالدرجات المئوية (^{o}C)

٥ - قدرة الخرج البصرية بالميكروواط (μw).

٦ - تيار العتبة بالملي أمبير (mA).

٧ - زمن الصعود والهبوط بالنانوثانية (ns).

٨ - نمط الاشعاع بالدرجات الزاوية angular degrees.

و - مواصفات المستقبل Receiver Specifications

١ - قيمة معاوقة impedance الخرج بالأوم (Ω).

٢ - مستوى اشارة الخرج بالفولت المستمر(Vdc) أو الفولت الفعال (Vrms).
أو الفولت الأقصى (Vp).

٣ - الحساسية البصرية بالميكروواط(μw) أو النانووات (nw) أو الديسيبل(dB)
أو ميجابت لكل ثانية (Mb/s).

٤ - المدى الحركي dynamic البصري بالديسيبل (dB).

٥ - الحمولة الزائدة overload للخرج التماثلي بالنسبة المئوية(%).

٦ - زمن الصعود للخرج التماثلي بالنانوثانية (ns).

٧ - زمن الصعود للخرج الرقمي بالنانوثانية (ns).

٨ - جهد التغذية المستمر(DC) لتشغيل دائرة المستقبل.

٢-١٢ اعتبارات التصميم Design Considerations

قبل التفكير في تصميم النظام البصري لابد من أخذ عوامل عديدة بعين الاعتبار نذكرها فيما يلي :-

١ - هل الإشارة المراد إرسالها واستقبالها تماثلية أم رقمية ؟

٢ - ماعرض نطاق المعلومات اللازم ؟

٣ - مامقدار القدرة اللازمة ؟

٤ - ماهي مسافة خط النقل أو المسافة بين المرسل والمستقبل ؟

٥ - ماهي العوائق المحتملة في خط النقل؟

٦ - ماهي معلمات الإشارة المحتملة tolerable ؟

٧ - مامقدار القيمة المقبولة لنسبة الإشارة إلى الضوضاء للنظام التماثلي.

٨ - مامعدل خطأ البتات المقبول وزمن الصعود للنظام الرقمي؟

يتيح تحديد المعلمات آنفة الذكر فرصة البدء في تصميم النظام البصري الليفي.

١٢-٢-١ اجراءات التصميم Design Procedures :

نورد فيما يلي إجراءات تصميم النظام البصري الليفي :

١ - حدد عرض نطاق الإشارة.

٢ - حدد نسبة الإشارة إلى الضوضاء إذا كانت الإشارة تماثلية ويعبر عنها بالديسيبل.

٣ - حدد معدل خطأ البتات ، وهي نسبة البتات الخطأ إلى المجموع الكلي للبتات، إذا كانت الإشارة رقمية .

٤ - حدد مسافة الوصلة أي المسافة بين المرسل والمستقبل.

٥ - اختر الليف بناءً على التوهين .

٦ - احسب عرض نطاق النظام . يحسب هذا بتقسيم معامل عرض النطاق، محسوبا بالميجاهرتز لكل كيلومتر (MHz/ km)،على مسافة الوصلة. (يعطي معامل عرض النطاق من قبل الشركة الصانعة) .

٧ - حدد هامش القدرة power margin ، يمثل هامش القدرة الفرق بين قدرة خرج المنبع الضوئي وحساسية المستقبل.

٨ - أوجد الفقد الكلي لليف وذلك بضرب قيمة الفقد بالديسيبل لكل كيلومتر في طول الوصلة بالكليومترات.

٩ - أحسب عدد الموصلات . اضرب فقد كل موصل بعدد الموصلات.

١٠- إحسب عدد الوصلات الدائمة. اضرب فقد كل وصلة دائمة بعدد الوصلات الدائمة.

١١ - أضف فقد بمقدار 1dB لمقرن الكاشف.

١٢ - أضف فقد بمقدار 3dB نتيجة تأثير درجة الحرارة.

١٣ - أضف فقد بمقدار 3dB نتيجة تأثير العامل الزمني.

١٤ - أجمع الفقد الكلي لليف مضافاً إليه فقد الموصلات والوصلات الدائمة واقتران الكاشف وتأثيرات درجة الحرارة والزمن (وهي القيم المذكورة في الخطوات من ٨ إلى ١٣) للحصول على التوهين الكلي للنظام .

١٥ - اطرح التوهين الكلي للنظام من هامش القدرة إذا كان الفرق سالباً يمكن معالجة ذلك بعمل أحد أو مجموعة من الاختيارات التالية :

أ - استخدام مرسل بقدرة أكبر .

ب - استخدام ليف يفقد أقل.

جـ - استخدام وصلات نقل قصيرة .

د - استخدام مستقبل بمستوى حساسية أقل.

هـ - تعديل بعض المواصفات مثل تقليل قيمة معدل خطأ البتات في النظام الرقمي أو نسبة الإشارة إلى الضوضاء في النظام التماثلي.

١٦ - أوجد زمن الصعود . لإيجاد زمن الصعود الكلي تجمع أزمنة الصعود للعناصر الحرجة مثل المنبع الضوئي والتشتيت النمطي والتشتيت الباطني والكاشف. قم بتربيع أزمنة الصعود وأضفها لبعض. أوجد الجذر التربيعي للمجموع للحصول على زمن الصعود لكلي للنظام. حسب المعادلة التالية :

$$\text{زمن الصعود} = \sqrt{t_1^2 + t_2^2 + t_3^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (12.1)$$

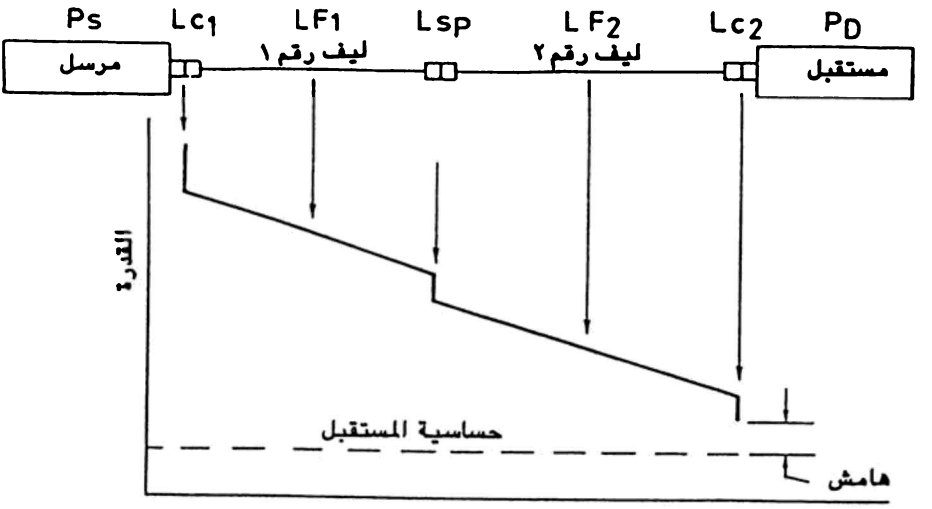
١٢-٣ ميزانية القدرة Power Budget

ذكرنا في البند السابق عدداً من خطوات التصميم ، (الخطوات من ٧ إلى ١٥) ، التي تدخل ضمن حساب مايسى بميزانية القدرة ، حيث رأينا أن التوهين الكلي للنظام الليفي البصري يحسب بطرح القدرة البصرية الداخلة للكاشف من القدرة البصرية الخارجة من المنبع.

يبين الشكل (١٢-١) الفقد في عناصر النظام المختلفة . يشير الرمز P_S إلى قدرة المنبع الضوئي و L_{C1} إلى فقد اقتران القدرة بين المنبع والليف وهو في حدود 1dB لكل مقرن. L_{F1} هو فقد الليف الواقع بين المنبع والوصلة الدائمة L_{SP} هو فقد الوصلة الدائمة و L_{F2} هو فقد الليف الواقع بين الوصلة الدائمة ومقرن الكاشف. L_{C2} هو فقد الاقتران بين الليف والكاشف . P_D هي القدرة المستقبلة من قبل الكاشف . يضاف لعناصر الفقد الآنف ذكرها الفقد نتيجة درجة الحرارة والزمن وهي في حدود 3dB لكل منها.

يمكن التعبير عن القدرة عند الكاشف P_D بالمعادلة التالية :

$$P_D = P_S - (L_{C1} + L_{F1} + L_{SP} + L_{F2} + L_{C2}) \quad .....(12.2)$$



الشكل (١٢- ١) ميزانية القدرة لوصلة ليف بصرية

مثال ١٢-١ :

أوجد مقدار هامش القدرة للوصلة في الشكل (١٢-١) إذا كان لدينا مايلي :

المرسل	الليف رقم ١
القدرة البصرية = 1mw (odBm)	حجم الليف = $100/140_{\mu m}$
قطر الشعاع = $100\ \mu m$	فتحة النفوذ العددية (NA) = 0.3
فتحة النفوذ العددية (NA) = 0.3	التوهين = 6dB/km
فقد المقرن = 1dB	الطول = 2km
فقد الوصلة الدائمة = 1.0 dB	

المستقبل	الليف رقم ٢
حساسية المستقبل = 125nA (-39dBm)	حجم الليف = $100/140\ \mu m$
قطر الكاشـــف = $140\ \mu m$	فتحة النفوذ العددية = 0.3
فتحة النفوذ العددية = 0.3	التوهين = 5dB/km
فقد المقرن = 1dB	الطول = 2.2km

الحـل : يحصل الفقد في عناصر النظام نتيجة عدم تطابق الاقطار أو فتحات النفوذ العددية وحيث أنها متطابقة في هذا المثال فيمكننا حساب هامش القدرة الكلي بالديسيبل باستخدام المعادلة (12.2) :

$$P_D = P_S - (L_{C1} + L_{F1} + L_{SP} + L_{F2} + L_{C2})$$
$$= O - (1 + 2 \times 6 + 1 + 11 + 1)$$
$$= -26\ dB\ .$$

وحيث أن حساسية المستقبل تساوي 39dBm - فإن القدرة عند الكاشف P_D تساوي $2\ \mu w$ ؛ لم نحسب في هذا المثال النقص في كفاءة النظام نتيجة التقادم الزمني وتأثير درجة الحرارة والذي يقدر 3dB لكل منهما أي أن الفقد الكلي سيكون 32dB - ويكون مستوى القدرة عند الكاشف 7dB فوق مستوى حساسية المستقبل.

تمثل القيم المذكورة في هذا المثال قيماً نظرية حيث أشرنا إلى تطابق قيم قطر المنبع وقطر لب الليف وكذلك تطابق أقطار لب الألياف المستخدمة في الوصلة وتساوي فتحات نفوذها العددية إضافة إلى تطابق قطر الكاشف مع قطر لب الليف الموصل للكاشف، إن مايحدث في التصميم العملي غير ذلك إذ ليس من السهولة تطابق كافة عناصر النظام ، لذا سنقوم بتغيير بعض القيم في عناصر النظام وحساب الفقد الكلي بناءً على المعطيات الجديدة والتي ندرجها في المثال التالي .

مثال ١٢-٢ :

أوجد مقدار القدرة للوصلة في الشكل (١٢-١) إذا كان لدينا مايلي :

المرسل	الليف رقم ١
القدرة البصرية = 1mw (odBm)	حجم الليف 85/125 μm
قطر الشعاع = 100 μm	فتحة النفوذ العددية (NA) = 0.26
فتحة النفوذ العددية (NA) = 0.3	التوهين = 6dB/km
فقد المقرن = 1dB	الطول = 2km
فقد الوصلة الدائمة = 1.5 dB	الليف رقم ٢
المستقبل:	حجم الليف = 100/140 μm
حساسية المستقبل = 125nA (-39dBm)	فتحة النفوذ العددية (NA)= 0.3
قطر الكاشف = 150 μm	التوهين = 5dB/km
فتحة النفوذ العددية= 0.4	الطـــول = 2.2 km
فقد المقرن = 1dB	

الحل : نرى في هذا المثال عدم تطابق أقطار العناصر المستخدمة وعدم تساوي فتحات نفوذها العددية وهو مانراه في الحياة العملية ولابد من حساب الفقد عبر عناصر الوصلة.

- فقد المرسل :

بالإضافة إلى فقد مقداره 1dB هناك نوعين آخرين من الفقد سببهما عدم تطابق فتحة النفوذ العددية للمنبع والليف وعدم تطابق أقطارهما وسنقوم فيما يلي بحساب الفقد لكل عنصر .

الفقد بسبب اختلاف قطر المنبع وقطر لب الليف هو :

$$L_{SF} = 10 \text{ Log } \left(\frac{\text{diam f}}{\text{diam s}} \right)^2$$

حيث تمثل diam f قطر الليف و diam s قطر المنبع

$$L_{SF} = 10 \text{ Log } \left(\frac{85}{100} \right)^2$$

$$= -1.4 \text{ dB.}$$

الفقد نتيجة عدم تطابق فتحات النفوذ العددية هو :

$$L_{NA} = 10 \text{ Log } \left(\frac{NA_F}{NA_S} \right)^2$$

حيث تمثل NA_F فتحة النفوذ العددية لليف و NA_S فتحة النفوذ العددية للمنبع .

$$L_{NA} = 10 \text{ Log } \left(\frac{0.26}{0.3} \right)^2$$

$$= -1.2 \text{ dB}$$

يبلغ الفقد الكلي عند السطح البيني interface للمرسل 3.6dB . لذا فإن الفقد الكلي حتى هذه النقطة هو 3.6dB .

- الفقد في الليف رقم ١ :

حيث أن الفقد لكل كيلومتر هو 6dB فإن الفقد الكلي لليف يساوي 12dB فيبلغ الفقد الكلي للنظام حتى هذه النقطة 15.6dB .

- **فقد التوصيل بين الليف والليف :**

نظراً لأن قطر وفتحة النفوذ العددية لليف رقم ٢ أكبر من مثيلاتها لليف رقم ١ فلا يحصل فقد إنما يضاف الفقد نتيجة الوصلة الدائمة فيكون الفقد الكلي بعد الوصلة الدائمة 17.1dB.

- **فقد الليف رقم ٢ :**

يبلغ الفقد لكل كيلومتر 5dB وحيث أن طول الليف يساوي 2.2km فان فقد الليف يساوي 11dB فيكون الفقد الكلي حتى نهاية الليف رقم ٢ 28.1dB.

- **فقد المستقبل :**

نظراً لأن قطر الكاشف وفتحة نفوذه العددية أكبر من نظيرتها لليف الواصل للكاشف فلا يحصل فقد وإنما هناك فقد مقداره 1dB نتيجة مقرن الكاشف فيصبح الفقد الكلي 29.1dB.

من القيم السابقة نستطيع أن ندرج الميزانية بالجدول التالي :

قدرة المرسل	o dBm
حساسية المستقبل	- 39 dBm
ميزانية القدرة	39 dB
فقد المرسل	3.6 dB
فقد الليف رقم ١	12 dB
فقد الوصلة الدائمة	1.5dB
فقد الليف رقم ٢	11 dB
فقد المستقبل	1 dB
الفقد الكلي	29.1 dB
هامش القدرة	9.9 dB.

الجدول (١٢-١) ميزانية القدرة للمثال رقم (٢) :

الجدول (١٢-١) ميزانية القدرة للمثال رقم (٢) :

لو أضفنا التأثير الزمني وتأثير درجة الحرارة على عناصر النظام والذي يقدر بحوالي 6dB لكلاهما فإن الفقد الكلي سيصبح 35.1dB ويصبح هامش القدرة 3.9dB

١٢-٤ ميزانية زمن الصعود أو عرض النطاق Rise Time or Bandwidth Budgets

يضمن التحليل في البند السابق توفر مقدار كافٍ من القدرة في الوصلة البصرية الليفية لمجابهة الاستخدامات المصممة من أجلها . تشكل القدرة أحد المعيارين الهامين في تصميم الوصلة البصرية الليفية ، حيث يمثل زمن الصعود أو عرض النطاق المعيار الآخر. يجب أن تعمل كافة مكونات النظام لمجابهة احتياجات عرض النطاق. يرتبط عرض النطاق BW وزمن الصعود t_r بالمعادلة التالية :

$$BW = \frac{0.35}{t_r} \quad \text{..... (12.3)}$$

١٢-٤-١ النظم التماثلية Analog Systems

توصف النظم التماثلية بدلالة عرض النطاق الكهربائي BW . لحساب زمن الصعود الكلي للنظام يتم اختيار عناصر النظام المختلفة للحصول على زمن الصعود الذي يحقق عرض النطاق الكهربائي المذكور في المعادلة (12.3) . لتبسيط الأمر يقسم النظام إلى مجموعات :

(١) دوائر تشغيل المرسل t_1.

(٢) زمن صعود المنبع t_2.

(٣) تشتيت الليف t_3.

(٤) زمن صعود الكاشف t_4.

(٥) دوائر تشغيل المستقبل t_5.

مثال ١٢-٣ :

أوجد عرض النطاق الكهربائي لنظام ليفي بصري بالمواصفات التالية :

(١) طول الوصلة 2km .

(٢) عرض النطاق xBW المسافة 25MHz × km (عرض النطاق البصري) .

(٣) زمن صعود دوائر تشغيل المرسل $t_1 = 10ns$.

(٤) زمن صعود المنبع $t_2 = 2ns$.

(٥) تشتيت الليف $t_3 =$

(٦) زمن صعود الكاشف $t_3 = 3\ ns$.

(٧) زمن صعود دوائر تشغيل المستقبل $t_5 = 12\ ns$.

الحل :

أولاً : نجد عرض النطاق البصري للوصلة بطول 2km وهو :

$$BW\ (opt) = \frac{25\ MHz \times Km}{2\ Km} = 12.5\ MHz$$

عرض النطاق الكهربائي $= 0.707 \times BW\ (Opt.)$

$$0.707 \times 12.5 =$$

$$8.8375\ MHz =$$

يرتبط عرض النطاق الكهربائي لليف بزمن الصعود حسب المعادلة (12.2)

$$t_r = \frac{0.35}{Bw} = \frac{0.35}{8.8375 \times 10^6}$$

$$= 39.6\ ns$$

زمن الصعود الكلي t_r :

$$t_r = \sqrt{t_1^2 + t_2^2 + t_3^2 + t_4^2 + t_5^2}$$

$$= \sqrt{10^2 + 2^2 + 39.6^2 + 3^2 + 12^2}$$

$$= 42.72 \text{ ns}$$

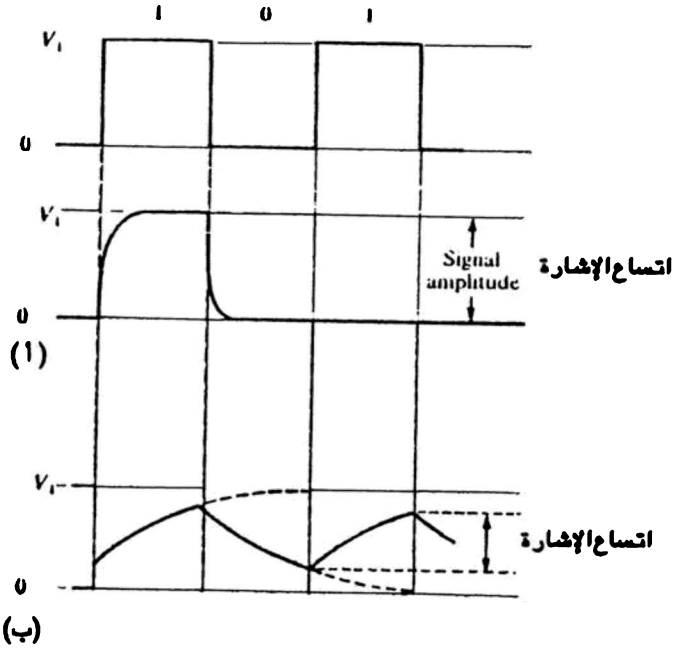
باستخدام المعادلة (12.3) نحصل على عرض النطاق الكهربائي للنظام

$$BW = \frac{0.35}{42.72 \times 10^{-9}} = 8.2 \text{ MHz}$$

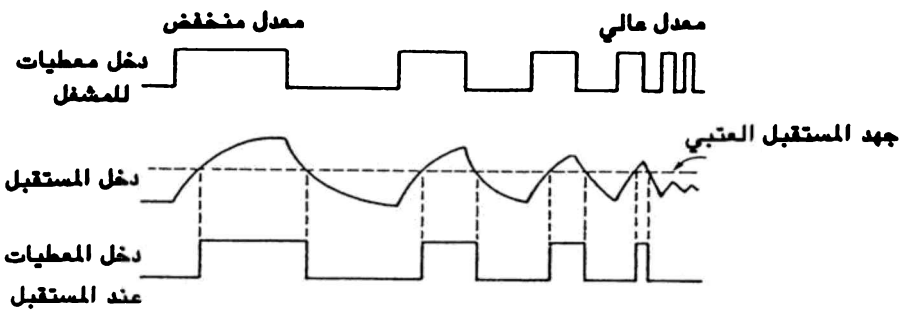
نلاحظ من هذا المثال أن السبب الرئيسي لانخفاض عرض النطاق هو تشتيت الليف وأن اختيار ليف بتشتيت أقل سيؤدي إلى زيادة عرض النطاق. لتحسين عرض النطاق في أي نظام نبدأ عادة بتحسين المركبة التي تعطي أسوأ إنجاز والقياس في هذا المثال هو زمن الصعود . في هذا المثال إذا لم يجدي تغيير الليف نستخدم مستقبلاً بزمن صعود أقل وإن لم يجدي نستخدم مرسلاً بزمن صعودٍ أقل وهلم جرا .

١٢-٤-٢ النظم الرقمية Digital Systems

يتم تحليل النظم الرقمية عن طريق معرفة معدل المعطيات ونسق التشفير code format . نرى في الشكل (١٢-٢) تأثير زمن الصعود على النبضة المنقولة ، حيث نرى في الشكل (١٢-٢أ) شكل النبضة المرسلة عندما يكون زمن الصعود منخفضاً (استجابة سريعة) حيث يلاحظ عدم وجود تشوه يذكر أما في الشكل (١٢-٢ب) فنرى شكل النبضة المرسلة عندما يكون زمن الصعود مرتفعاً (استجابة بطيئة) ويبدو تشوه النبضات واضحاً فيحصل تداخلاً بين النبضات وهو مايسمى تداخل بين الرموز intersymbol interference وعندما يرتفع معدل النبضات ينخفض اتساعها فيصبح من الصعب التمييز بين (0) و (1) كما في الشكل (١٢-٣).



الشكل (١٢- ٢) تأثير زمن الصعود
(أ) زمن صعود قصير
(ب) زمن صعود طويل



الشكل (١٢- ٣) تشوه بتات المعطيات لمعدلات معطيات مختلفة

نظراً لصعوبة الحصول على نظام لايؤثر على زمن الصعود أو زمن الهبوط فلابد من وضع مواصفات criterion بشكل الموجة المقبول. يرتبط زمن صعود النبضة ارتباطاً مباشراً بارتفاع أو بطء البتات في النظام ، يتحقق هذا الشرط إذا كان زمن الصعود t_r يساوي أو يقل عن 70% من عرض النبضة T_p.

$$t_r \leq 0.7 \times T_p \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (12.4)$$

لو نظرنا إلى نسق العودة للصفر RZ، حيث تشغل T_p نصف زمن البتة T كما في الشكل (١٢-٤) نجد أن :

$$t_r \leq 0.7 \times \frac{T}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (12.5)$$

$$\leq \frac{0.35}{B_r}$$

حيث أن $B_r = \frac{1}{T_p}$ وتمثل معدل المعطيات .

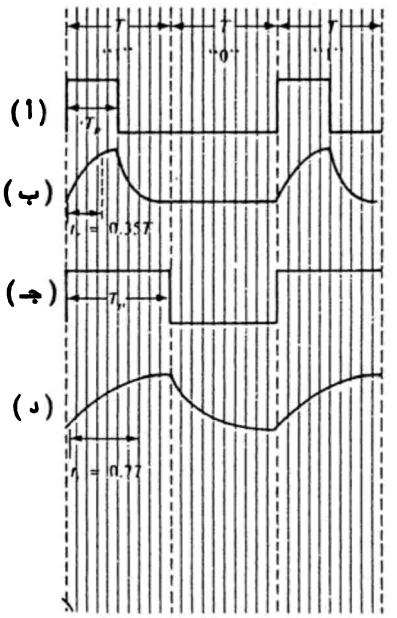
لو نظرنا إلى نسق عدم العودة إلى الصفر Non Return to Zero (NRZ)

حيث $T_p = T$.

نحصل على :

$$t_r \leq \frac{0.7}{B_r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (12.6)$$

نلاحظ من المعادلتين (12.5) و(12.6) أن لنفس معدل المعطيات نحتاج إلى قيمة t_r لنسق العودة للصفر تساوي نصف قيمة t_r لنسق عدم العودة للصفر بصورة أخرى يمكن أن نقول أن نقل العودة للصفر يحتاج إلى نظام أسرع.



زمن البتة T = Bit time

$B_r = \frac{1}{T}$

زمن الصعود $tr = 0.7T_p$

الشكل (١٢-٤) تأثير زمن الصعود لنظام العودة للصفر وعدم العودة للصفر

(أ) إشارة العودة للصفر المرسلة

(ب) إشارة العودة للصفر المستقبلة مع زمن الصعود المسموح به tr

(جـ) إشارة عدم العودة للصفر المرسلة

(د) إشارة عدم العودة للصفر المستقبلة مع زمن الصعود المسموح به t r

مثال ١٢-٤:

لدينا نظام اتصالات بصري ليفي بالمكونات التالية :

زمن صعود الثنائي الباعث للضوء LED = 6ns

تشتيت الليف النمطي Intramodal = 20ns/km

تشتيت الليف الباطني Intermodal = 2ns/km

زمن صعود الكاشف PIN = 8ns

أوجد معدل المعطيات الأقصى لنسق NRZ إذا كان (١) طول الليف 5km

(٢) طول الليف 500 m. (٣) أوجد التشتيت لكل كيلومتر والممكن استفادة في وصلة طولها 5km ومعدل المعطيات 50Mb/s باستخدام نسق NRZ.

الحل :

(١) يبلغ التشتيت للوصلة التي بطول 5km مايلي :

التشتيت النمطي = $10ns \times 5 = 50ns$

التشتيت الباطني = $2ns \times 5 = 10ns$

زمن الصعود نتيجة التشتيت = $(50^2 + 10^2)^{\frac{1}{2}} = 5\ Ins$

زمن الصعود الكلي للنظام t_r.

$$t_r = (6^2 + 51^2 + 8^2)^{\frac{1}{2}} = 52\ ns$$

معدل البتات B_r يساوي $\frac{0.7}{t_r}$

$$B_r = \frac{0.7}{52 \times 10^{-9}} = 13.46\ Mb/s$$

(٢) يبلغ التشتيت للوصلة التي بطول 500m مايلي :

التشتيت النمطي = $10ns \times 0.5 = 5ns$

التشتيت الباطني = $2ns \times 0.5 = 1ns$

زمن الصعود نتيجة التشتيت = $(5^2 + 1^2)^{\frac{1}{2}} = 5.1\ ns$

زمن الصعود الكلي للنظام t_r .

$$t_r = (6^2 + 5.1^2 + 8^2)^{\frac{1}{2}} = 11.22\ ns$$

أما معدل البتات B_r فيبلغ مايلي :

$$B_r = \frac{0.7}{11.22 \times 10^{-9}} = 68.5 \text{ Mb/s}$$

(٣) باستخدام المعادلة (12.6) نحصل على زمن الصعود الكلي للنظام

$$t_r = \frac{0.7}{50 \times 10^6} = 14 \text{ ns}$$

$$= (6^2 + t_F + 8^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$t_F = (14^2 - 6^2 - 8^2) = 9.8 \text{ ns}$$

إن زمن الصعود لليف t_F والبالغ 9.8ns هو نتيجة تشتيت الليف ، وحيث أن طول الليف يساوي 5km فإن التشتيت لكل كيلومتر يساوي $\frac{9.8}{5} = 1.96$ ns/km . معنى هذا وجوب استخدام ليف أحادي النمط بدون تشتيت نمطي للوصول على هذه القيمة المنخفضة من التشتيت.

١٢ - ٥ الخلاصة Summary

قدمنا في هذا الفصل منهجية تصميم نظم الألياف البصرية وذكرنا مواصفات المكونات الأساسية لوصلة الاتصالات البصرية الليفية تبعها بعد ذلك الاجراءات المتبعة في تصميم هذه الأنظمة . لابد من الإشارة هنا إلى أن تصميم الأنظمة لايعتمد على التحليل النظري فحسب بل لابد من التجربة لمعرفة النتائج الفعلية. غير أن التحاليل النظرية الجيدة تعطي مؤشرات لمواءمة مكونات النظام مع بعضها ومع تكرار التصميم ومقارنة النتائج العملية والتعديلات اللازمة يصبح تصميم الأنظمة سهلاً .

قدمنا في هذا الفصل نبذة مختصرة عن إجراءات تصميم نظم البصريات الليفية والتي تلخصت في طريقتين مكملتين لبعضهما الأولى تعتمد على ميزانية القدرة والتي تضمن حدوث أقل فقد ممكن والحصول على القدرة المطلوبة عند المستقبل ، أما الطريقة الأخرى وهي ميزانية زمن الصعود أو عرض النطاق فيتم فيها اختيار مركبات النظام التي تحقق زمن الصعود أو عرض النطاق المطلوب. بعبارة أخرى يمكن القول أن تصميم النظام يعتمد على القدرة ومعدل المعطيات آخذين بعين الاعتبار نسبة الإشارة إلى الضوضاء في النظام التماثلي

ومعدل خطأ البتات في النظام الرقمي ولابد من حساب تكلفة واعتمادية النظام للمكونات المقترحة.

نظراً للتطور السريع في هذا المجال فلابد للمصمم من قراءة الكتب والدوريات المتخصصة والاطلاع على المقاييس التي تصدر من قبل الهيئات المختصة - تصدر بعض الشركات الصانعة ملحوظات تطبيقية application notes توزع مجاناً أو تباع بسعر رمزي وتكتب عادة بلغة مبسطة عن المركبات التي تنتجها الشركة .

الفصل الثاني عشر

أسئلة

١ - إرسم مخططاً لوصلة ليفية بصرية واذكر عناصرها المختلفة .

٢ - ماهي أسباب الفقد بين المرسل والمستقبل في وصلة ليفية بصرية ؟

٣ - لماذا تستخدم المكررات في الوصلات الليفية البصرية ؟

٤ - ماالغرض من إستخدام التجميع ؟

٥ - ماهي العلاقة بين عرض النطاق ومعدل المعلومات وزمن الصعود ؟

٦ - عرف نسبة الإشارة إلى الضوضاء SNR .

٧ - عرف معدل خطأ البتات BER .

٨ - ماهي العلاقة بين مسافة النقل ومعدل نقل المعلومات لوصلة ليفية بصرية ؟

٩ - ما المقصود بميزانية القدرة ؟

١٠- قارن بين نسق العودة إلى الصفر RZ ونسق عدم العودة إلى الصفر NRZ .

مسائل

١ - أفرض أن لدينا منبع بصري مساحته الفعالة $960\,\mu m^2$. ماهو أصغر قطر لليف بصري يستخدم مع هذا المنبع للحصول على فقد اقتران يقل عن 1dB .

٢ - أوجد الفقد الناتج عند اقتران خرج منبع LED قطره $60\,\mu m$ مع ليف قطره $50\,\mu m$

٣ - أوجد فقد الاقتران نتيجة فتحة النفوذ العددية وعدم توائم المساحة بين منبع لامبرتي يبلغ قطره الفعال $60\,\mu m$ وقطر الليف $50\,\mu m$ وفتحة نفوذه العددية 0.22 .

٤ - صمم وصلة ليفية بصرية لإرسال إشارة فيديو عرض نطاقها 6MHz وطولها 20km . وافرض أن نسبة الإشارة إلى الضوضاء SNR في المرسل تساوي 40dB مستخدماً التشكيل التماثلي .

٥ - أوجد عرض نطاق نظام ليفي يستخدم فيه ثنائي LED زمن صعوده 15ns وتشتيت الليف 30ns وكاشف زمن صعوده 10ns .

٦ - لدينا ليف بصري طوله 10km قيمة جداء الطول في عرض النطاق البصري 50MHz x km . وزمن صعود المنبع 20ns وزمن صعود الكاشف 15ns أوجد عرض نطاق النظام .

- أوجد معدل نقل المعلومات الرقمي باستخدام نسق NRZ لوصلة طولها 2km وفيها مايلي :

- زمن صعود المنبع = 12ns
- تشتيت الليف = 24ns
- زمن صعود الكاشف = 10ns
- زمن صعود دائرة المنبع = 5ns
- زمن صعود دائرة الكاشف = 5ns

٧ - أعد المسألة رقم ٦ مستخدماً نسق العودة للصفر RZ .

٨ - أوجد تشتيت الليف لكل كيلومتر الذي يسمح بتشغيل الوصلة في المسألة رقم ٦ للعمل عند معدل معلومات قدره 30MHz .

٩ - لدينا نظام ليفي يستخدم فيه ثنائي LED تبلغ القدرة المنبعثة منه 2mw وفقد الاقتران بين الليف والمنبع يساوي 17dB . يبلغ فقد الليف 5dB/km وفقد موصل قدره 6dB . لكل موصل والفقد بين الليف والكاشف 1.2dB وتبلغ حساسية الكاشف 38dBm .

(أ) أوجد ميزانية القدرة إذا كان طول الليف 3km وبه ثلاثة موصلات .

(ب) ارسم مخطط ميزانية القدرة . إفرض وجود مقارن عند المنبع والكاشف بعد كل كيلومتر من الليف .