

المحاضرة التاسعة

تصميم أنظمة الإتصالات البصرية

العوامل التي يجب مراعاتها عند تصميم أنظمة الاتصالات البصرية

- ✓ نوع الإرسال (تمائلي- رقمي).
- ✓ المسافة الكلية بين المرسل والمستقبل.
- ✓ سرعة البث أو عرض النطاق المطلوب.
- ✓ نوع الليف الضوئي.
- ✓ توهين الليف.

العوامل التي يجب مراعاتها عند تصميم أنظمة الاتصالات البصرية

- ✓ قيمة القدرة المطلوبة.
- ✓ نوع المصدر والكاشف الضوئي.
- ✓ نوع الوصلات البصرية المستخدمة.
- ✓ نوع اللحام المتوفر.

الضوضاء في الكاشف الضوئي

- هي عبارة عن إشارات عشوائية غير مرغوب فيها تؤثر سلباً على أداء منظومة الإتصالات حيث توجد أشكال عديدة من الضوضاء التي تتواجد في الثنائيات الضوئية وتكون مصاحبة لها أثناء التشغيل.
- توجد هنالك ثلاثة مصادر أساسية للضوضاء في الكاشف الضوئي وهي:
 ١. ضوضاء التيار المظلم Dark Current Noise.
 ٢. ضوضاء الطلقة Shot Noise.
 ٣. الضوضاء الحرارية Thermal Noise.

ضوضاء التيار المظلم Dark Current Noise

- يعرف التيار المظلم بأنه التيار الذي يسري خلال الثنائي الضوئي بالرغم من عدم وصول الضوء إليه ولذلك لو وضع الثنائي في مكان مظلم بعيداً عن الضوء فسوف يسري تيار خلاله ويرمز له بالرمز I_d Dark Current .
- عادة ما تعطى قيمة التيار المظلم في مواصفات الثنائي الضوئي العملية وتعتمد قيمته على عدة عوامل منها:
 - i. نوع المادة المصنوع منها الثنائي.
 - ii. جهد الإنحياز العكسي.
 - iii. درجة الحرارة

ضوضاء التيار المظلم Dark Current Noise

- تعتبر الثنائيات الضوئية المصنوعة من الجرمانيوم الأسوأ من حيث التيار المظلم لذلك لم تجد استخداما في أنظمة الإتصالات البصرية، تصل قيمة التيار المظلم في بعض الحالات إلى أكثر من $1\mu\text{A}$ والتي تعتبر عالية جداً.
- يمكن التعبير عن التيار المظلم بالنسبة للثنائي الضوئي من النوع P-i-N بالعلاقة التالية:

$$I_{DA}^2 = 2eI_D B$$

ضوضاء الطلقة Shot Noise

- تعرف ضوضاء الطلقة بالتذبذب العشوائي للتيار الضوئي I_p الناتج على مخرج الثنائي الضوئي حول قيمته المتوسطة
- يمكننا الحصول على ضوضاء الطلقة بالنسبة للثنائي الضوئي من النوع P-i-N بالعلاقة التالية:

$$I_{shot}^2 = 2eI_p B$$

Thermal Noise الحرارية الضوضاء

- هي الضوضاء الناتجة عن ارتفاع درجة الحرارة في المكونات الإلكترونية لدائرة الكاشف الضوئي
- يمكن الحصول على الضوضاء الحرارية للكاشف الضوئي بالعلاقة التالية:

$$I_{Thermal}^2 = \frac{4kTB}{R}$$

- حيث R قيمة المقاومة الكهربائية للكاشف الضوئي

نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR

- في أنظمة الإتصالات البصرية لابد للكاشف الضوئي أن تكتشف أقل قيمة من قدرة الإشارة الضوئية المستقبلية
- إمكانية الكشف عن أضعف الإشارات الضوئية المستقبلية يتطلب أن يكون الكاشف الضوئي وبقية العناصر الإلكترونية جيدة بحيث تمكن من الحصول على القيمة المطلوبة والفعالة لنسبة الإشارة إلى الضجيج.
- إشارة الضجيج هي الجزء المعروف والغير مرغوب فيه والتي تقوم بالتشويش على عملية الإرسال والاستقبال

نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR

- تعرف نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR عند نهاية المستقبل الضوئي بالعلاقة التالية:

$$SNR = \frac{\text{signal power from photo current}}{\text{photo detector noise power}}$$

- للحصول على أعلى قيمة ممكنة لل SNR لابد من الأتي:
 - i. أن يكون للكاشف الضوئي كفاءة كمية عالية لتوليد أكبر قدر من قدرة الإشارة المرسله.
 - ii. التقليل من نسبة إشارة الضجيج في الكاشف الضوئي لأقل قيمة ممكنة.

نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR

- يمكننا الحصول على إجمالي الضوضاء الناتجة في الثنائي الضوئي بالعلاقة التالية:

$$I_N^2 = I_D^2 + I_{shot}^2 + I_{Thermal}^2$$

- بمعلومية قدرة الإشارة الضوئية P_0 المستلمة وحساسية R الثنائي الضوئي يمكننا الحصول على قدرة التيار الضوئي I_p المطلوب
- وبالتالي يمكن إيجاد نسبة الإشارة إلى الضجيج والتي تحدد مدى كفاءة وفاعلية أداء الوصلة البصرية

نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR

• وتكون العلاقة كالآتي

$$SNR = \frac{I_P^2 M^2}{I_N^2} = \frac{I_P^2 M^2}{I_D^2 + I_{shot}^2 + I_{Thermal}^2}$$

$$SNR = \frac{I_P^2 M^2}{2e(I_P + I_D)B + 4kTB / R}$$

ميزانية الخط البصري : Optical Link Budget

- قبل البدء في عملية التصميم يجب الأخذ في الاعتبار وتجميع وتحضير جميع البيانات حول جميع المكونات اللازمة للتصميم.
- هنالك عاملان أساسيان يجب أخذهما بعين الاعتبار:-
 - i. الأول وهو إجمالي الفقد الناتج للوصلة البصرية والذي يحدده حساب ميزانية القدرة للوصلة
 - ii. العامل الثاني وهو معرفة القيمة القصوى لعرض النطاق والتي تحدد السرعة القصوى لإرسال البيانات في النظام الرقمي.

ميزانية الخط البصري : Optical Link Budget

- تعتبر عملية حساب أو إيجاد ميزانية الخط البصري أو ما يسمى ميزانية القدرة Power Budget من أهم مراحل تصميم الوصلة البصرية أو نظام الاتصال البصري
- حيث تعرف بأنها جدولة وحساب جميع أنواع الفقد على امتداد خط الاتصال البصري.

ميزانية الخط البصري : Optical Link Budget

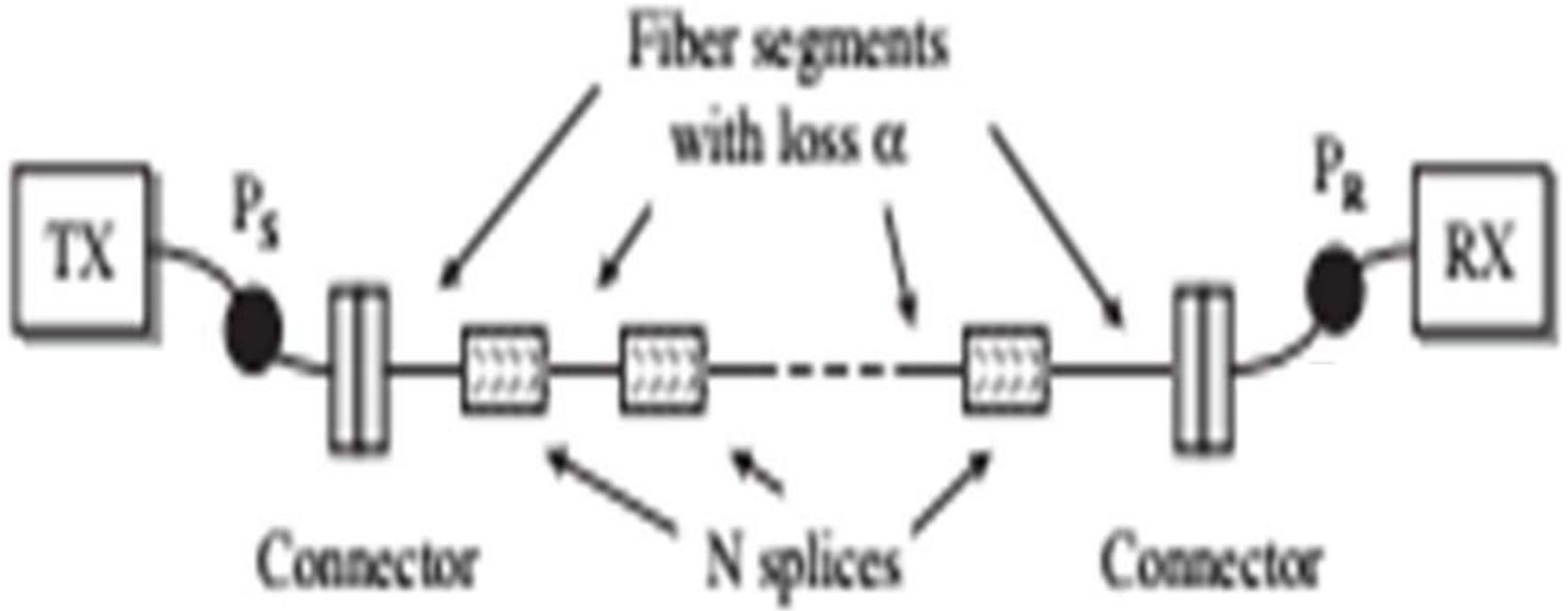
- توجد هنالك مجموعة من مسببات الفقد منها :-
 - i. الفقد الناتج عن الليف نفسه
 - ii. الفقد الناتج عند مناطق اللحام أو عند الوصلات البصرية
 - iii. الفقد الناتج الموهنات

ميزانية الخط البصري : Optical Link Budget

- يبدأ حساب ميزانية القدرة ابتداءً من قيمة القدرة الضوئية الخارجة من المصدر الضوئي
- ثم وصولاً إلى حساسية المستقبل وأخيراً قيمة القدرة الضوئية الفعلية الواصلة للكاشف الضوئي.
- القيمة القصوى للفقد = القيمة الخارجة من المصدر - حساسية المستقبل

$$P_T = P_S - P_R$$

$$P_T = 2 \times \text{ConnectorLoss} + \alpha L + N \times \text{SpliceLoss} \\ + \text{OtherLosses} + \text{SystemM argin}$$



الشكل أعلاه يوضح كيفية حساب قيمة الفقد الناتج خلال وصلة الإِتصالات البصرية

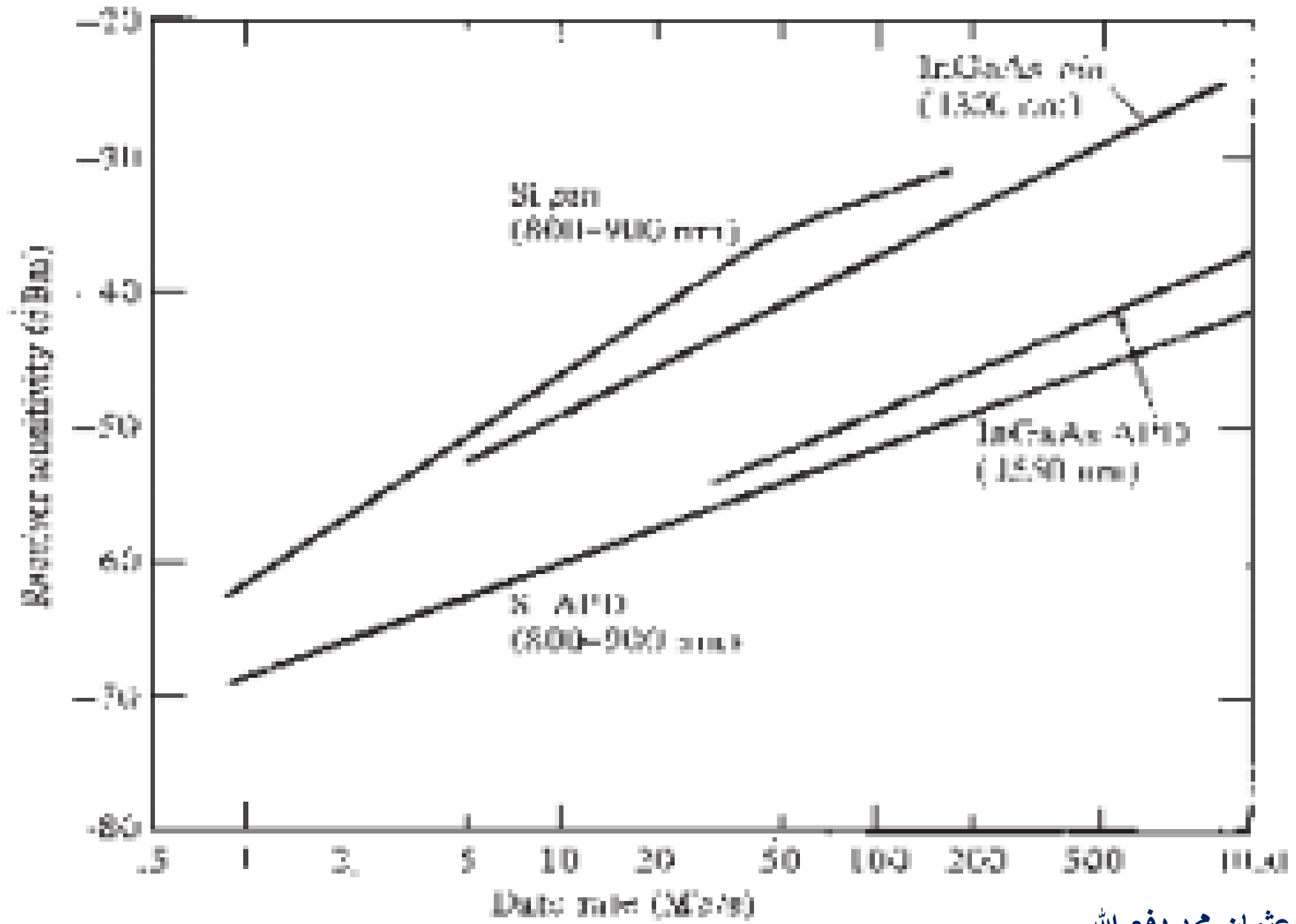
د عثمان محمد دفع الله
أستاذ مشارك جامعة كرري

ميزانية الخط البصري : Optical Link Budget

- لحساب القيمة القصوى للفقد الناتج خلال الوصلة البصرية لابد من معرفة العوامل الآتية:
 - i. الطول الكلي لليف البصري وقيمة الفقد لكل كيلومتر.
 - ii. عدد نقاط اللحام والفقد في كل نقطة.
 - iii. عدد الوصلات البصرية المطلوبة والفقد في كل وصلة.
 - iv. الفقد الناتج عن أي مكونات أخرى في النظام.
 - v. احتياطي التصميم System Margin

ميزانية الخط البصري : Optical Link Budget

- يمكن معرفة أو إيجاد قيمة حساسية الكاشف الضوئي بمعلومية معدل الإرسال ومعدل الخطأ في البتات BER بالرجوع للشكل التالي والذي يوضح قيمة حساسية المستقبل للكاشف الضوئي بالنسبة للثنائي الضوئي من النوع P-I-N والثنائي الضوئي الجرفي APD المصنوع من مادة السيلكون وعند معدل خطأ للبتات BER يساوي (10^{-9}) .
- أما بالنسبة للثنائي الضوئي الجرفي APD المصنوع من مادة InGaAs فإن معدل الخطأ في البتات يساوي (10^{-11})



د عثمان محمد دفع الله
 أستاذ مشارك جامعة كرري

حساب قيمة زمن الصعود: Rise Time Budget

- أهمية حساب زمن الصعود t_{sys} تتمثل في تحديد الزمن الذي يتم فيه تحويل الإشارة الضوئية المستقبلية إلى إشارة كهربائية
- والذي يقلل من التشتت وبالتالي يقلل من أداء الوصلة البصرية، حيث يقاس في الأنظمة البصرية بالنانوثانية.
- إجمالي زمن الصعود للوصلة هو عبارة عن جزر متوسط القيمة لمجموع زمن الصعود لكل المرسل المستقبل والتشتت اللوني وتشتت نمط الاستقطاب

حساب قيمة زمن الصعود: Rise Time Budget

$$t_{sys} = \left(\sum_{i=1} t_i^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$t_{sys} = \left(t_{TX}^2 + t_{CD}^2 + t_{PMD}^2 + t_{RX}^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

- غالباً نستخدم الإرسال الرقمي في أنظمة الإتصالات البصرية والذي يستخدم بعض أنواع التضمين الرقمي وتمثيل الإشارات الرقمية من الأحاد والأصفر بإحدى الطرق المختلفة مثل Return-to-Zero (RZ) والتي علاقة مباشرة مع عرض النطاق ومعدل البتات B (MHz) المرسله

حساب قيمة زمن الصعود: Rise Time Budget

- عند حساب زمن الصعود للوصلة البصرية يجب الأخذ في الاعتبار أنه لا يتجاوز القيمة المسموح بها للوصلة والتي تكون معلومة سلفاً بالعلاقات التالية:

$$t_{sys} (ns) = \frac{0.7}{BW (MHz)} \text{ for NRZ format}$$

$$t_{sys} (ns) = \frac{0.35}{BW (MHz)} \text{ for RZ format}$$

حساب قيمة زمن الصعود: Rise Time Budget

- زمن الصعود بالنسبة للمرسل t_{TX} يكون معلوم حيث يعتمد على في الأساس على سرعة استجابة المصدر الضوئي للتيار الكهربائي.
- زمن الصعود للمرسل عندما يكون المصدر الضوئي ثنائي الباعث الضوئي LED يساوي 2ns
- بينما يساوي 0.1ns عند استخدام ثنائي الليزر LD كمصدر ضوئي.

حساب قيمة زمن الصعود: Rise Time Budget

- لحساب زمن الصعود بالنسبة للكاشف الضوئي فإنه يعتمد على سرعة استجابة الثنائي الضوئي وعرض النطاق بالنسبة للمستقبل حيث نستخدم العلاقة التالية لحسابه:

$$t_{RX} = \frac{350}{B}$$

حساب قيمة زمن الصعود: Rise Time Budget

- لحساب زمن الصعود الناتج عن التشتت اللوني الناتج عن الليف البصري نفسه على طول الليف نستخدم العلاقة التالية:

$$t_{CD} = |D_{CD}| L \Delta \lambda$$

- لحساب زمن الصعود بالنسبة لتشتت نمط الاستقطاب نستخدم العلاقة التالية:

$$t_{PMD} = D_{PMD} \sqrt{L}$$