الوحدة الرابعة

التشوير

(أنواع الإشارات الكهربائية المستخدمة في تراسل المعطيات)

Signaling

د. جمال محمد خليفة

– مقدمة:

1–1 تمهيد

تعني كلمة تشوير Signaling والتي اشتقت من كلمة Signal تحويل المعطيات إلى إشارات يمكن معالجتها والتعامل معها في أوساط النقل ونقلها من مستخدم إلى آخر بشكل مناسب. وقد تم استخدام هذاالمصطلح بشكل واسع في مجال الاتصالات حين اقتضت الضرورة إرسال المعطيات الرقمية في الأسلاك الهاتفية النحاسية، ومن ثم جرى تعميمه ليشمل تهيئة المعطيات الرقمية لإرسالها في خطوط الاتصال التي كانت في بداياتها هاتفية في أغلبها. ومن ثم تم تعميم استخدام التشوير ليطبق على ارسال المعطيات الرقمية في أي نوع من خطوط وقنوات وشبكات تراسل المعطيات .

يمكن التعبير عن المعطيات المرسلة في نظام رقمي ما بالسلسة:

$\{m_i\}$ حيث $i= 1,2,...N$

ويتم عادة تقيم مدى صحة ودقة التراسل بما يسمى احتمال الخطأ

$\{P_i\}$ حيث $i= 1,2,...N$

حيث أن كل الرموز المرسلة مستقلة إحصائياً عن بعضها البعض.

يشكل تحويل هذه الرموز (ترميزها) إلى إشارات لها أشكال معينة ليتم إرساله في خطوط الاتصال كحزمة أساس جوهر عملية التشوير أو كما يمكن أن نسميها أحياناً ترميز الخط Line Coding.

يتم تحويل سلسلة المعطيات $\{m_i\}$ إلى إشارة يمكن تمثيلها بالعلاقة:

$$\sum_i x(t) = a_i . g(t - iT_b)$$

حيث يصف الجزء a_i طريقة تتالي البيتات على خرج المرمز، بينما تصف $g(t)$ شكل الإشارة الممثلة لكل بيت.

وسنطلق تعبير التشوير على التقنية التي تقوم بتغيير شكل الإشارة دون أي تعديل لتتالي الرموز الثنائية المرسلة، أي على التقنيات التي تهتم فقط باختيار أشكال الإشارات الممثلة للرموز الثنائية. بحيث تكون العلاقة السابقة على الشكل التالي:

$$\sum_i x(t) = m_i . g(t - iT_b)$$

حيث أن $m_i=a_i$

بينما سنقوم باستخدام مفهوم ترميز الخط في تلك الحالات التي يتم فيها استخدام تقنية تقوم بتغيير تتالي رموز المعطيات أو معدلها ومن ثم استخدام التشوير حيث $m_i \neq a_i$. ولابد من التنويه هنا إلى أن بعض المراجع تشمل الحالتين بتسمية ترميز الخط فقط أو بتسمية التشوير فقط.

وسنقوم في هذه الوحدة بإيضاح ضرورة استخدام التشوير، ثم شرح أكثر أنواع الإشارات استخداماً والمقارنة بين الأنواع المختلفة وذلك بناء على مواصفات قنوات التراسل ومتطلباتها.

1-2 أهداف الوحدة:

نتوقع منك عزيزي الدارس بعد الانتهاء من دراسة هذه الوحدة أن تكون قادراً على:

1. يعرف أهمية اختيار الإشارات المستخدمة في تراسل المعطيات
2. يتعرف على أنواع الإشارات المستخدمة في عمليات التشوير
3. يفهم تقنيات التشوير المختلفة
4. يفاضل بين أنواع التشوير المختلفة وفقاً للخصائ الطيفية والطاقية للقناة
5. يبين أهميةالتشوير متعدد المستويات في الاستخدام الأمثل لعرض حزمة القناة المستخدمة

1-3 أقسام الوحدة

تنقسم هذه الوحدة إلى ثلاثة أقسام رئيسية. يبين القسم الأول أهمية استخدام التشوير بشكل عام والأسباب الداعية لاستخدامه وهو مايحقق الهدف الأول من أهداف الوحدة. ويهتم القسم الثانية بالتعريف بأنواع الإشارات المستخدمة وخصائص كل نوع وكيفية المفاضلة بين هذه الأنواع بناءً على مواصفات وخصائص القنوات والأنظمة المستخدمة وهو مايحقق اللأهداف الثاني والثالث والرابع بينما تم افراد القسم الثالث للحديث عن التشوير متعدد المستويات ليحدد أهميته والغاية من استخدامه وخصائصه العامة وذلك تحقيقاً للهدف الخامس والأخير من أهداف الوحدة.

1-4 ما تحتاج إليه في دراسة الوحدة

تحتاج في دراسة هذه الوحدة إلى الأدوات التي تستخدمها عادة في تسجيل ملاحظاتك (دفتر ملاحظات وقلم) يمكنك قراءة الوحدة بتمعن والرجوع إلى مشرفك الأكاديمي لتوضيح بعض الأمور التي قد تواجه صعوبة في فهمها.

2. أنواع الإشارات الكهربائية المستخدمة في تراسل المعطيات

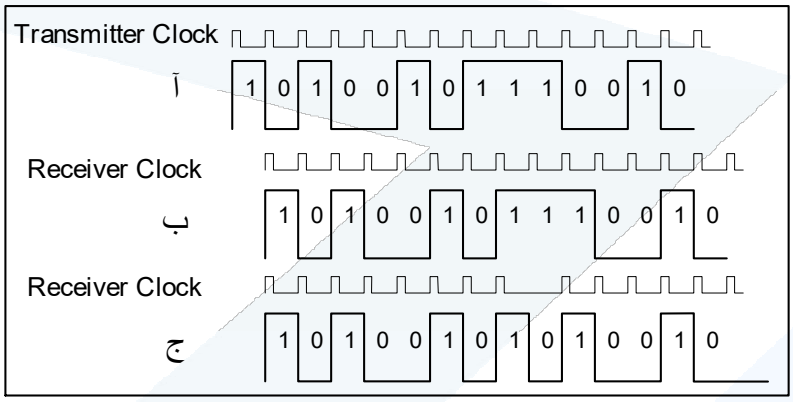
2-1 أهمية اختيار شكل الإشارة

إن تنوع واختلاف خواص قنوات الارسال، وتنوع التطبيقات والسعي الحثيث للحصول على أداء أفضل من أنظمة تراسل المعطيات، كان الدافع الأكبر وراء بذل الجهد والأموال لدراسة تقنيات التشوير واستنباط أشكال جديدة للإشارات المستخدمة، يكون استخدامها أكثر فعالية وأفضل أداءً.

فعلى سبيل المثال قد يكون نوع الربط بين قنوات الاتصال حساساً لوجود المركبة المستمرة (والتي تقاس بالقيمة المتوسطة زمنياً للإشارة المرسلة). وبالتالي فإن استخدام إشارات تراسل بقيمة أصغر للمركبة المستمرة سيعطي أداءً أفضل للنظام ككل. ونعرف أيضاً ان إعادة كشف الإشارات الرقمية في طرف الاستقبال يعتمد بشكل كبير على دقة التزامن بين المرسل والمستقبل والذي يتم توليده من الإشارات المستقبلة نفسها وبالتالي إن استخدام إشارات تعطي سهولة أكبر ودقة أعلى لتوليد إشارات التزامن سيكون له انعكاس إيجابي كبير على جودة تراسل المعطيات الرقمية. بالاضافة إلى عوامل أخرى كالتسميع بين القنوات crosstalk فهناك أنواع من الإشارات ينتشر طيفها بشكل أوسع من من طيف غيرها مما يؤثر سلباً على المجال الترددي المخصص للقنوات المجاورة. ويلعب تعقيد المرمز ومفكك الترميز دوراً في اختيار هذا الشكل من الإشارت أوذاك. يمتاز كل شكل من أشكال ترميز الخط بمجموعة من الصفات التي تجعله حسب التطبيق المستخدم أفضل من غيره أو أسوأ وسنقوم فيما يلي بتحديد السمات التي تجعل هذا الشكل أو ذاك أفضل أو اسوأ من غيره وهي:

- **المزامنة (ضبط التوقيت بين المرسل والمستقبل) Timing**

من الضروري أن يحتوي شكل الموجة الممثلة للمعطيات الرقمية على المعلومات الكافية التي تجعل جهاز الاستقبال يزامن عمله مع جهاز الإرسال بحيث يكون هناك تطابق في زمن إرسال الرمز وزمن استقباله، إن اختلاف الفترة الزمنية التي يفترض أن تكون مخصصة لاستقبال رمز ما عن الفترة الزمنية التي استمر فيها إرسال هذا الرمز قد يؤدي إلى استقبال الرمز السابق أو التالي، وبالتالي حدوث خطأ في الاستقبال كما هو مبين في الشكل(1). لآحظ أن عدم قدرة المستقبل على توليد نبضة المزامنة (نبضة الساعة في الشكل (1-ج) في الموضع التاسع أدى إلى استقبال خاطئ تجلى في استقبال صفر بدلاً من الواحد. ولذلك فإن من أهم المتطلبات من الإشارة المستخدمة في التشوير أن تحقق سهولة ودقة في كشف إشارة المزامنة بما يؤمن الكشف الصحيح للرموز المرسلة.



الشكل(1): يبين أهمية المزامنة بين نبضات الساعة في المستقبل ونبضات الساعة في المرسل.

ويعتمد كشف التوقيت على تتالي إشارات الأصفار والواحدات، وكذلك على تغيير مستوى الإشارة بين رمزين متتالين. وكما نعلم فإن سلسلة طويلة من الأصفار أو الواحدات تخلق تحدياً أما توليد إشارة المزامنة وتكون بعض أشكال الإشارات المستخدمة أفضل من غيرها فيما يتعلق بذلك. وبشكل عام فإنه كلما كان كشف التزامن مستقلاً عن الخواص الإحصائية للمعطيات أي عن كيفية تتالي الواحدات والأصفار كلما كان ذلك أفضل.

❖ قيمة المركبة المستمرة dc content

تعتمد المكررات repeaters المستخدمة في شبكات نقل الإشارات الهاتفية على طريقة في الربط تسمى ربط التيار المتناوب ac coupled، والتي تعتمد على استخدام المحولات transformers والمكثفات التي لاتسمح لمركبات التيار المستمر بالمرور من مرحلة إلى إخرى.

إن لهذه العملية تأثير ضار على استقبال الإشارة من ناحيتين، فهي تساهم بشكل كبير في تشويه شكل الإشارة المستقبلة عن الشكل الأصلي المرسل لعدم تمكن المركبة المستمرة من الوصول إلى طرف الاستقبال، كما أنها تزيد من قيمة هذه المركبة مع الزمن، إلى درجة تؤثر فيها هذه المركبة على استقرار عمل الأجهزة المستخدمة خصوصاً تلك التي تعتمد في تغذيتها الكهربائية على التيار المستمر وتحول خواصها يعطي إشارات مختلفة عن الإشارات المرغوبة.

❖ كثافة استطاعة الطيف Power Spectrum Density

تعبر كثافة استطاعة الطيف أي توزع استطاعة الإشارة وفقاً لطيفها وما يرتبط بها من مفهوم عرض الحزمة من أهم مميزات الإشارة عند إرسالها. فكلما نقص عرض الحزمة اللازم لإرسال المعطيات

وازدادت استطاعة الإشارة التي تحملها ضمن هذه الحزمة كلما ازدادت فعالية الإرسال. وبالتالي فإن استخدام إشارات ذات عرض حزمة أقل وكثافة استطاعة طيف عالية ضمن هذه الحزمة يقلل الاستطاعة الضائعة ويوفر في عرض الحزمة بما يسمح باستخدام الفائض منه لإرسال معطيات أخرى بما يزيد من كفاءة نظام التراسل.

- **مراقبة الأداء Performance monitoring**

وهذا المفهوم مرتبط بإمكانية اكتشاف الأخطاء التي تنشأ بسبب التراسل في القنوات المضججة noisy channel أو في القنوات التي تسبب تشوهاً للإشارة المرسلة ينتج عنه تداخلاً بين الرموز يعقد من إمكانية الكشف الصحيح للإشارات. وبالتالي فإن استخدام إشارات ذات مناعة عالية ضد الضجيج بشكل عام وضجيج التداخل بين الرموز بشكل خاص يقلل من إمكانية الأخطاء ويزيد من إمكانية مراقبة الأداء أثناء التراسل.

- **احتمال الخطأ probability of error**

تمتاز بعض الإشارات بسهولة كشفها أكثر من غيرها وسهولة تحديد ماإذا كان الرمز المرسل 0 أم 1. فاستخدام إشارت ذات مستويي جهد سالب وموجب مثلاً، أفضل من هذا المنظار من استخدام إشارات ذات مستوى موجب فقط أو سالب فقط. فكما نعلم أن الإشارة حين انتقالها في وسط التراسل تتعرض إلى تخامد تشوه وتراكب لإشارات ضجيجية عليها، مما يزيد من صعوبة كشفها ومعرفة الأصفار من الواحدات. ويجب أن يتم اختيار الإشارات المستخدمة بشكل يؤدي إلى نقصان الأخطاء وبالتالي نقصان متوسط احتمال الخطأ إلى أصغر ما يمكن بما يعكس وثوقية استخدام هذه الإشارات.

أسئلة التقويم الذاتي (1)

1. لماذا نقوم بتطبيق تقنيات التشوير في تراسل المعطيات؟
2. مأهمية المزامنة في عملية تراسل المعطيات؟
3. ماهي المحددات التي نفاضل على أساسها بين أنواع التشوير المختلفة
4. في أي تطبيقات نعتبر أن التشوير المطبق يجب أن يعطي إشارة خالية من مركبات التيار المستمر.
5. كيف يؤثر شكل الإشارة المستخدمة في التشوير على إمكانية كشف الأخطاء؟

2-2 أنواع الإشارات

هناك بشكل عام نوعين أساسيين من الإشارات المستخدمة في التشوير يعتمد الأول تغيير مستوى الإشارة ويسمى ترميز المستوى level codes ويتم التعبير عن اختلاف محتوى الرمز باختلاف مستوى الجهد الكهربائي للإشارة الممثلة له حيث يمكن أن يكون مستوى منخفض أو عال على كامل الفترة الزمنية المخصصة للرمز أو على جزء منها. وبالتالي تتم معرفة الرمز المرسل من قياس مستوى الجهد في طرف الاستقبال ومقارنته بجهد محدد.

أما النوع الثاني فيعتمد على الانتقال في مستوى الجهد ويسمى transition codes حيث يتم التعبير عن اختلاف محتوى الرمز بالانتقال من مستوى كهربائي للجهد الكهربائي للاشارة من مستوى إلى آخر. وبالتالي فإن تحديد محتوى الرمز من المعلومات يعتمد في طرف الاستقبال على طبيعة الانتقال من مستوى إلى آخر واتجاه هذا الانتقال.

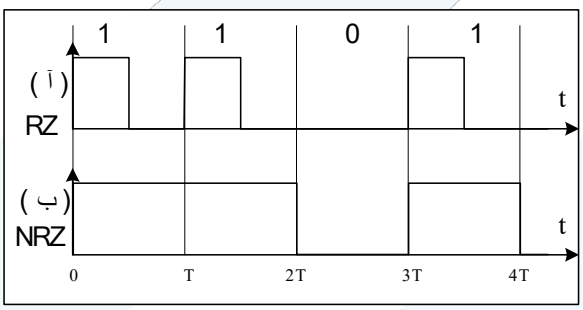
ويعتبر النوع الأول غير ذي ذاكرة أي أن مستوى الجهد لهذا الرمز أو ذاك مستقل بشكل عام عن كون الرموز السابقة في هذا المستوى أو ذاك. بينما يعتبر النوع الثاني نوعاً ذو ذاكرة أي يرتبط تمثيل الرمز بتمثيل الرموز السابقة وبالتالي على المستقبل أن يعرف كيفية تتالي الرموز السابقة ليتخذ قراراً نهائياً هول محتوى الرمز الحالي.

تصنف الاشارات المستخدمة في النوع الأول إلى نوعين هما إشارات العودة إلى الصفر Return to Zero (RZ) وفيه يعود مستوى جهد الإشارة إلى الصفر قبل ورود الرمز التالي، وإشارات اللاعودة إلى الصفر Non Return to Zero (NRZ) وفيه لايعود مستوى جهد الإشارة إلى الصفر قبل ورود الرمز التالي.

كما تصنف الإشارات المستخدمة حسب قطبية مستوى الجهد الممثل للرمز فإذا تم استخدام إشارات جهد كهربائي بقطبية واحدة (سالبة أو موجبة) إضافة إلى مستوى الصفر سمي التشوير وحيد القطبية Unipolar Signaling أما إذا تم استخدام المستويين الموجب والسالب إضافة إلى مستوى الصفر أو بدونه سمي التشوير قطبياً Polar Signaling. و يستخدم تعبير ثنائي القطبيةBipolar Signaling عادة لوصف ذالك النوع من التشوير الذي يتم فيه استخدام مستوى الجهد الموجب ومستوى الجهد السالب إضافة إلى مستوى الصفر. وسنقوم في الفقرة التالية باستعراض الأشكال الأساسية للتشوير لرموز الخط مع أشكال الموجات الكهربائية المستخدمة وكثافة استطاعة الطيف Power Spectral Density (PSD) لأهم الأشكال واحتمال الخطأ في كل نوع بالإضافة إلى حسنات وسيئات كل منها.

2-2-1 إشارات العودة إلى الصفر Non Return to Zero (NRZ) وإشارات العودة إلى الصفر Return to Zero (RZ)

من المعروف أن لكل رمز من رموز المعطيات فترة زمنية يتم على أساسها تحديد معدل الإرسال، والذي يعبر عن عدد الرموز المرسلة في واحدة الزمن. ويمكن عند تمثيلنا للرموز كهربائياً استخدام إشارات مختلفة. ومهما اختلف شكل الإشارة فإنها إما أن تشغل كامل الفترة الزمنية المخصصة للرمز وبالتالي فإن مستوى الجهد الممثل للرمز لايعود إلى الحالة الافتراضية (الصفرية هنا) قبل انتهاء فترة الرمز كما في الشكل (1-آ).



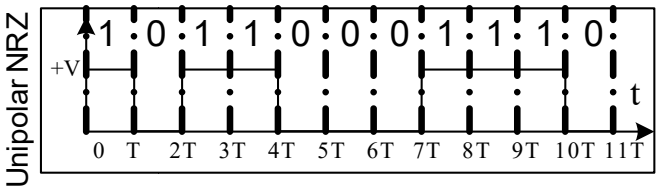
الشكل(2): آ- إشارات العودة إلى الصفر ب- إشارات اللاعودة إلى الصفر

وتسمى إشارات اللا عودة إلى الصفر. أو أن يتم استخدام إشارات لاتشغل كامل الحيز الزمني المخصص للإشارة وبالتالي تعود إلى الحالة الصفرية قبل انتهاء فترة الرمز كما في الشكل (1-ب) وتسمى إشارات العودة إلى الصفر. وليس من الضروري أن تتم العودة في هذه الحالة في منتصف فترة البيت على الرغم من أن جميع الاشارات المستخدمة تقريباً في هذا النوع تعود إلى الصفر في منتصف فترة البيت. وتختلف إشارات العودة إلى الصفر عن إشارات اللاعودة في خواصها الطيفية كما تختلف في خواصها المتعلقة بكشف إشارات المزامنة وكذلك كشف الأخطاء كما سنرى في الفقرات القادمة.

2-2-2 استخدام إشارات الفتح والإغلاق Binary On-Off Signaling

آ- التشوير وحيد القطبية مع عدم العودة إلى الصفر Unipolar NRZ

يتم تمثيل الواحد المنطقي 1 في هذا النوع من التشوير بإشارة ذات مستوى جهد غير الصفر +V أو -V، بينما يتم تمثيل الصفر المنطقي بإشارة ذات مستوى جهد مساو للصفر كما هو مبين في الشكل(3).



الشكل (3): التشوير وحيد القطبية دون العودة إلى الصفر

إن تمثيل تتالي الواحدات والأصفار ثابت كيفا كان موقع الصفر أو الواحد، أو كيفما تتالت سلسلة المعطيات.

أهم ميزات هذا النوع من التشوير هي:

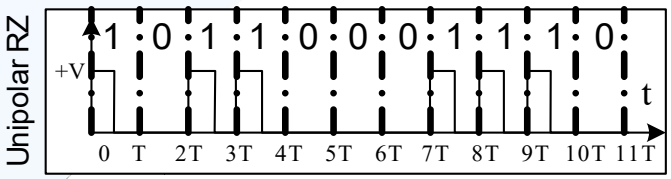
- سهولة توليده حيث يلزم فقط منبع طاقة واحد.
- عرض الحزمة اللازم للإشارة المنخفض نسبياً R Hz.

بينما يقلل من أهمية هذا النوع بعض السيئات وهي:

- فقد إمكانية كشف إشارة المزامنة بين المرسل والمستقبل عند ورود سلسلة طويلة من الأصفار أو الواحدات وذلك بسبب قلة عدد الانتقالات بين الرموز.
- لايقدم استخدامه تسهيلات لكشف الخطأ
- وجود قيمة كبيرة لمركبة التيار المستمر.

ب- التشوير وحيد القطبية مع العودة إلى الصفر Unipolar RZ

ويتم تمثيل هذا النوع من التشوير بجهد غير صفري للإشارة الممثلة لواحد المنطقي 1 وذلك خلال جزء من الفترة الزمنية المخصصة لكامل البيت، ومستوى جهد صفري في الفترة المتبقية من البيت والتي هي في أغلب الحالات نصف فترة البيت. بينما يتم تمثيل الإشارة الممثلة للصفر المنطقي بمستوى جهد مساوٍ للصفر بالنسبة لكامل فترة البيت وذلك كما في الشكل(5).



الشكل (5): التشوير وحيد القطبية مع العودة إلى الصفر

أهم ميزات هذا النوع من التشوير هي:

- سهولة توليده حيث يلزم فقط منبع طاقة واحد.
- وجود المركبة المتقطعة في طيف الإشارة عند أزمان مساوية لمعدل البيت وهذا يسهل عملية كشف إشارة المزامنة.

وهناك بعض السيئات وهي:

- عرض الحزمة اللازم للإشارة 2R Hz. وهو أكبر بمقدار الضعف من حالة نفس التشوير مع عدم العودة إلى الصفر.
- فقد إمكانية كشف إشارة المزامنة بين المرسل والمستقبل عند ورود سلسلة طويلة من الأصفار أو الواحدات.
- عدم وجود إمكانية كشف الخطأ
- وجود قيمة كبيرة لمركبة التيار المستمر.

تدريب (1)

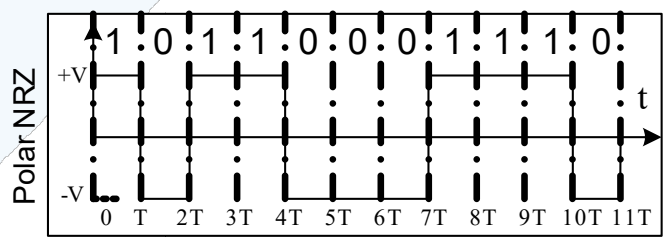
حدد عرض الحزمة اللازم لإرسال معطيات بمعدل إرسال 1Mbps إذا تم تشويرها:

1- باستخدام وحيدة القطبية دون العودة إلى الصفر.

2- وحيد القطبية مع العودة إلى الصفر.

2-2-3 التشوير باستخدام إشارت مستقطبة Polar NRZ Signaling

يتم تمثيل الواحد المنطقي في هذا النوع من التشوير بمستوى جهد موجب +V بينما يتم تمثيل الصفر المنطقي بمستوى جهد -V وذلك على كامل فترة الرمز ويطلق على هذا النوع أيضاً اسم NRZ(L) حيث أن الإشارة تحافظ دائماً على مستوى جهد سالب أو موجب ذات مستوى معين L ويبين الشكل (7) كيفية تمثيل هذا النوع من التشوير لنفس السلسلة السابقة من المعطيات.



الشكل(7): التشوير باستخدام إشارات مستقطبة دون العودة إلى الصفر

ويمكن أن يتم تمثيل الواحد المنطقي في هذا النوع من التشوير بمستوى جهد سالب V- ، بينما يتم تمثيل الصفر المنطقي بمستوى جهد موجب V+ ، وذلك دون أن تتغير خواص الطيف وخصائص التشوير الأخرى.

وأهم ميزات هذا النوع من التشوير:

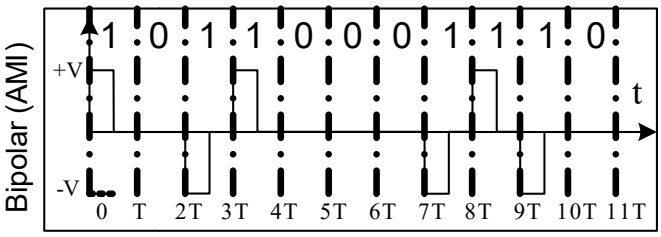
- عرض الحزمة اللازم منخفض مقارنة بالتشوير وحيد القطبية مع عدم العودة للصفر (B=R[Hz]).
- احتمال الخطأ منخفض نسبياً.
- الانخفاض الكبير لقيمة المركبة المستمرة وصولاً إلى انعدامها عند تساوي احتمال ورود الرمزين الممثلين للصفر والواحد المنطقيين).

ومن أهم سيئاته:

- إمكانية كشف الأخطاء وبالتالي مراقبة الأداء فيه منخفضة جداً.
- لايوجد انتقال في مستوى الإشارة عند ورود واحدات متتالية أو أصفار متتالية وبالتالي فإن ورود سلسلة طويلة من الأصفار أو الواحدات تؤدي إلى فقدان إمكانية كشف إشارة المزامنة.
- الصعوبة النسبية في توليده مقارنة بما سبقه حيث يحتاج إلى مولدي جهد لتشكيل الإشارات واحد لتوليد إشارات المستوى الموجب والآخر لتوليد إشارات المستوى السالب.

4-2-2 التشوير باستخدام إشارات مستقطبة مع العودة إلى الصفر Polar RZ Signaling

ويسمى أيضاً ثنائي القطبية مع قلب الإشارة (Bipolar, Alternate Mark Inversion (AMI أو الترميز شبه الثلاثي Pseudo Ternary (سنعود إلى هذه التسمية لاحقاً) حيث يتم تمثيل الواحد المنطقي بمستوى جهد موجب وسالب بشكل متناوب بينما يتم تمثيل الصفر المنطقي بمستوى جهد مساوٍ للصفر وبالتالي يبدو الأمر وكأننا نستخدم ثلاثة رموز باستخدامنا ثلاث مستويات إشارة، مع الملاحظة أن الإشارة الممثلة للواحد سواء أكانت بقطبية موجبة أو سالبة فإنها تعود إلى الصفر قبل نهاية فترة الرمز الواحد، وتشغل عادة نصف فترة الرمز. إن قلب قطبية الإشارة الممثلة للواحد هو الذي أكسبه اسم AMI.



الشكل (9): التشوير ثنائي القطبية مع العودة إلى الصفر

نلاحظ أيضاً أن هذا النوع من التشوير يمتلك ذاكرة حيث يعتمد تمثيل الواحد المنطقي على الواحد المنطقي الذي سبقه. وهذا النوع مستخدم بشكل واسع.

ومن أهم ميزات هذا النوع من التشوير

- عدم وجود المركبة المستمرة على الاطلاق وهذا واضح من تتالي الإشارات بقطبية مختلفة، مما يزيل القيمة المتوسطة لإشارة على كامل فترة سلسلة المعطيات، وبالتالي فإن استخدامه يقود إلى التخلص من المشاكل الناجمة عن وجود المركبة المستمرة.
- إن قلب القطبية بشكل دائم عند ورود الواحد المنطقي الجديد يحسن بشكل كبير إمكانية كشف إشارة المزامنة حيث لن يكون هناك احتمال لورود إشارة ذات مستوى جهدي للواحد المنطقي بقطبية معينة لفترة تزيد عن فترة البيت وسيكون هناك تغير إجباري لمستوى الإشارة. إن تناوب قطبية الإشارة الممثلة للواحدات المتتالية تولد في طيف الإشارة مركبات ترددية منفصلة عند ترددات مساوية لـ R [Hz] مما يحسن إمكانية كشف إشارة المزامنة.
- عرض الحزمة اللازم منخفض مقارنة بالتشوير وحيد القطبية مع عدم العودة للصفر (B=R[Hz]).
- احتمال الخطأ منخفض نسبياً وبالتالي فإن الأداء بوجود احتمال الاستقبال الخاطئ جيد.

بينما أهم سيئات هذا النوع:

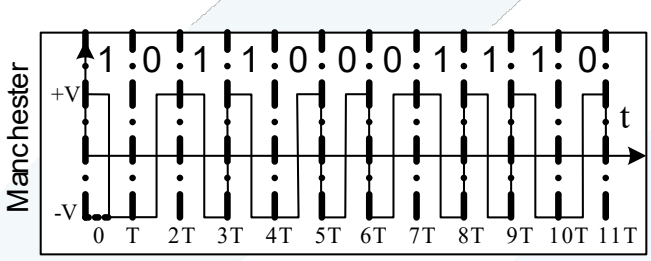
- يبقى احتمال ورود سلسلة من الأصفار ذو تأثير سلبي على إمكانية كشف إشارة المزامنة.
- معدل احتمال الخطأ أعلى من حالة وحيد القطبية.
- ازدياد التعقيد في توليد الإشارات الممثله له حيث يحتاج إلى مولدي إشارة كل منهما يعطي مستوى جهد معين إضافة إلى تعقيد دارة توزيع الإشارات بين المولدين.

5-2-2 التشوير باستخدام إشارات متعاكسة في الطور – مانشستر Manchester Coding

يتم في هذا النوع تمثيل الواحد المنطقي بنبضة ذات مستوى جهد موجب في النصف الأول من فترة الرمز ومستوى جهد سالب في النصف الثاني. وعلى العكس من ذلك يتم تمثيل الصفر المنطقي بمستوى جهد سالب في النصف الأول من فترة الرمز ومستوى جهد موجب في النصف المتبقي. وبهذا يتم تقييم محتوى الرمز من طبيعة الانتقال لمستوى الجهد في منتصف زمن الرمز فإن كان تحولاً من المستوى الموجب إلى السالب كان الرمز ممثلاً للواحد المنطقي والعكس صحيح.

يعتبر هذا التشوير دون ذاكرة أيضاً حيث لايعتمد تمثيل الرموز للمعطيات على تتالي هذه المعطيات. كما يسمى أيضاً بثنائي الطور Biphase حيث الطور الابتدائي للرمز الممثل للصفر π درجة و الطور الابتدائي للرمز الممثل للواحد 0 أو العكس.

يستعمل هذا النوع من التشوير في الشبكات المحلية التي تستخدم الإثرنيت ويبين الشكل (10) طريقة تمثيل الرموز في مثل هذا النوع من التشوير لنفس السلسلة السابقة من المعطيات.



الشكل (10): تشوير مانشستر

إن من أهم ميزات هذا النوع من التشوير:

- انعدام القيمة المتوسطة للإشارة وبالتالي المركبة المستمرة من كل رمز على حدة وبالتالي فإن قيمتها على كامل الإشارة صفر.
- هناك انتقال لمستوى الإشارة في منتصف كل رمز سواء كان واحداً أو صفراً وبالتالي فإن استخلاص إشارة المزامنة ممكن وبشكل دائم عند استخدام هذا النوع.
- لهذا النوع معدل خطأ يضمن أداءً جيداً يرقى إلى حالة التشوير القطبي دون العودة إلى الصفر.

أما أهم سيئاته فهي:

- عرض الحزمة الكبير اللازم للإشارة عند استخدام هذا النوع مقارنة بجميع الأنواع السابقة
- لايمتلك خصائص كشف الخطأ وبالتالي لايمتلك إمكانية إظهار الأداء

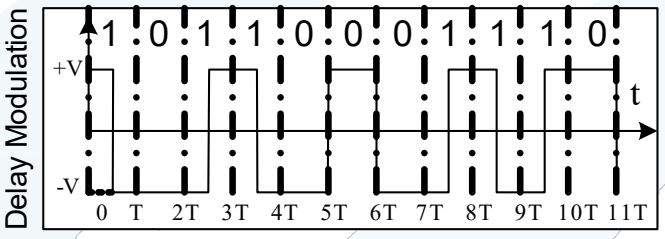
6-2-2 بعض طرق التشوير المطورة:

تعتبر جميع أنواع التشوير السابقة نوع من أنواع ترميزات الخطوط التي لاتمتلك ذاكرة، باستثناء الترميز AMI. أي أن شكل الإشارة الممثلة للرمز لاتعتمد على طبيعة تتالي الرموز السابقة.

وسنقوم في مايلي باستعراض بعض الترميزات ذات الذاكرة، والتي تعتبر تطويراً للأنواع السابقة لتلائم احتياجات خاصة عند تراسل المعطيات في قنوات الاتصال.

آ- **ترميز ميللر** Delay Modulation (Miller Code)

يعتمد تمثيل سلسلة المعطيات باستخدام هذا النوع على أن الانتقال من مستوى إلى آخر يتم في منتصف الرمز الممثل للواحد المنطقي ولايتم في نهاية هذا الرمز في أي حال من الأحوال بينما يتم الانتقال في المستوى بالنسبة للرمز الممثل للصفر المنطقي في نهاية فترة الرمز إذا كان الرمز التالي يمثل الصفر أيضاً بينما لايكون هناك أي انتقال في المستوى إذا كان الرمز التالي ممثلاً للواحد وذلك كما هو مبين في الشكل(10). ويبدو واضحاً أن تمثيل الرمز يعتمد على تتالي الرموز السابقة وبالتالي فإن هذا النوع ذو ذاكرة.



الشكل(11): ترميز ميللر

ويعطي هذا النوع امكانية استخلاص إشارة المزامنة دون أن يؤثر بشكل سلبي على عرض الحزمة اللازم.

أهم ميزات هذا النوع من الترميز

- يحتاج إلى عرض حزمة منخفض حيث أن معظم استطاعة الطيف متمركزة في مجال ذو عرض أقل من 0.5R [Hz] على الرغم من عدم وجود كثافة استطاعة طيف مساوية للصفر قبل 2R [Hz]
- محتوى التيار المستمر في قليل والمركبات المستمرة في طيفه معدومة.
- يعطي إمكانية جيدة لكشف إشارة المزامنة.

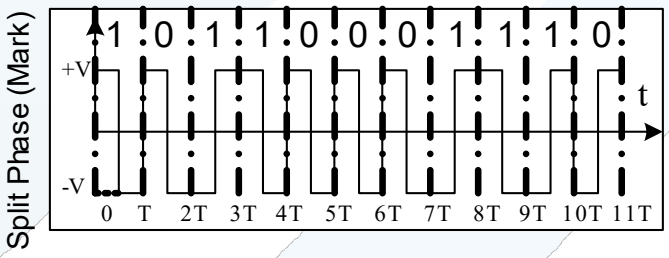
وله سيئة لايمكن التقليل من شأنها تحد من استخدامه في كثير من الحالات، وهي أنه لايتمتع بإمكانية جيدة لكشف الأخطاء وبالتالي لايمكن مراقبة الأداء.

ب- **ترميز الطور المنشطر** Split Phase

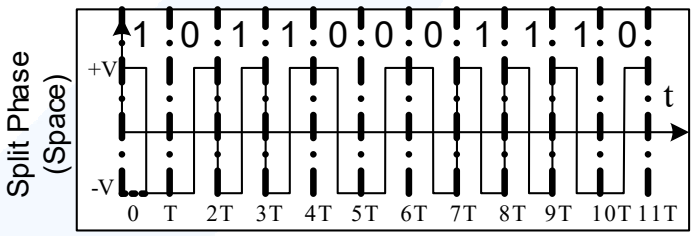
وهو مشابه في تمثيله للرمز لترميز مانشستر حيث أن الرمز يمثل بإشارة كهربائية ذات مستوي جهد موجب ومستوى جهد سالب بنفس القيمة ويتم الانتقال بين المستويين في منتصف زمن البيت. ويختلف عن تشوير مانشستر في أن هذا الترميز ذو ذاكرة أي أن ترميز الواحد المنطقي يعاكس ترميز

الواحد الذي يسبقه بينما ترميز الصفر المنطقي يبقى كما هو وهذا الكلام صحيح بالنسبة لترميز الطيف المشطور من أجل العلامة split phase (mark) . ويكون ترميز الطيف المنشطر من أجل الفراغ split phase (space) معاكساً بمعنى أن الرمز الذي يمثل الصفر هو الذي يبدل اتجاه الانتقال بين مستووي الجهد للرمز الواحد ويبقى الرمز الممثل للواحد دون تغيير لاتجاه الانتقال بين المستويين. ويقصد بالعلامة الإشارة الممثلة للواحد المنطقي، بينما يقصد بالفراغ الإشارة الممثلة للصفر المنطقي. وفي كلتا الحالتين فإن الطور الابتدائي للرمز الأول يختار بشكل عشوائي وذلك كما في الشكل(12).

يمتاز هذا النوع من الترميز بمحافظته على إمكانية استخلاص إشارة المزامنة في طرف الاسقبال حتى في اسوأ الأحوال.



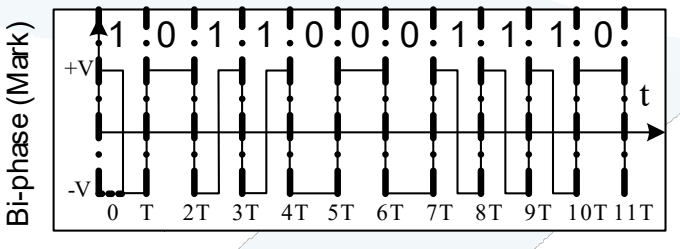
الشكل (12– آ): ترميز الطيف المشطور من أجل العلامة



الشكل (12– ب): ترميز الطيف المشطور من أجل الفراغ

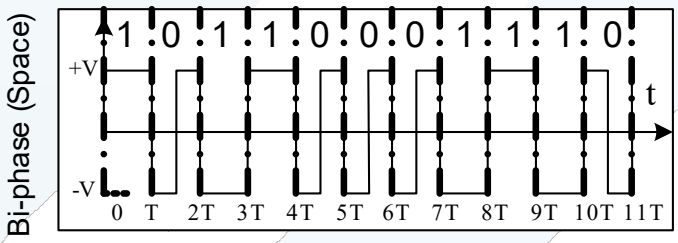
ج– التشوير ثنائي الطور Biphase

ويطبق هذا التشوير من أجل العلامة Biphase (Mark) ومن أجل الفراغ أيضاً Biphase (Space) . وفي الحالة الأولى فإنه يتم الترميز كما في حالة ترميز ميللر أي أن هناك انتقال للجهد بين مستويين بالنسبة للرمز الممثل للواحد في منتصف فترة الرمز. بينما لايوجد مثل هذا الانتقال في المنتصف بالنسبة للرمز الممثل للصفر. ويختلف هذا الترميز عن ترميز ميللر بأن هناك انتقال لمستوى الجهد في بداية زمن كل رمز وذلك كما هو مبين في الشكل(13)



الشكل (13): الترميز ثنائي الطور من أجل العلامة

أما في حالة Biphase (Space) فإن الأمر يتم بشكل معاكس أي أن الانتقال يتم في منتصف الفترة الزمنية الممثلة للصفر إضافة إلى الانتقال في بداية كل رمز وذلك كما هو مبين في الشكل (14).

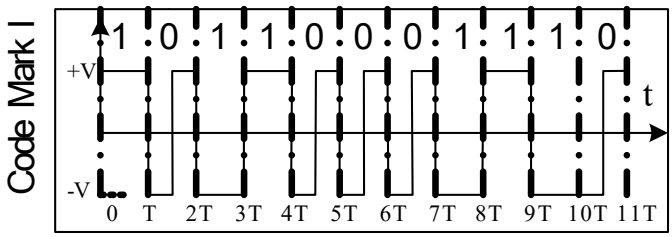


الشكل (14): الترميز ثنائي الطور من أجل الفراغ

ويمتاز هذا النوع من الترميز أيضاً بانعدام قيمة التيار المستمر وكذلك بإمكانية استخلاص إشارة المزامنة.

د- الترميز مع قلب العلامة Code Mark Inversion (CMI)

وفي هذا النوع من الترميز فإنه يتم تمثل الصفر كما في حالة ترميز مانشستر بتغيير الطور في منتصف الرمز بينا يتم ترميز الواحد المنطقي بشكل مشابه لما هو عليه في حالة polar NRZ إضافة إلى تغيير الطور الابتدائي للنبضة بشكل متناوب أي أن طور الرمز الممثل للواحد يعاكس طور الرمز الممثل للواحد الذي يسبقه. وذلك كما هو مبين في الشكل(15).



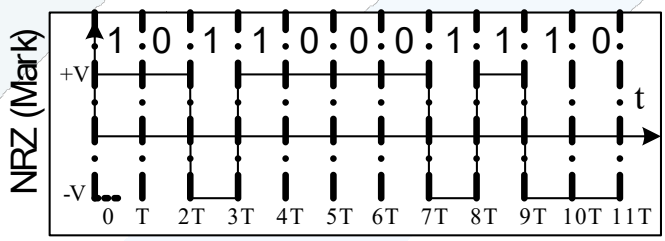
الشكل (15): الترميز مع قلب العلامة

ويمتاز هذا النوع من الترميز كسابقيه أيضاً بانعدام التيار المستمر وبإمكانية استخلاص إشارة المزامنة.

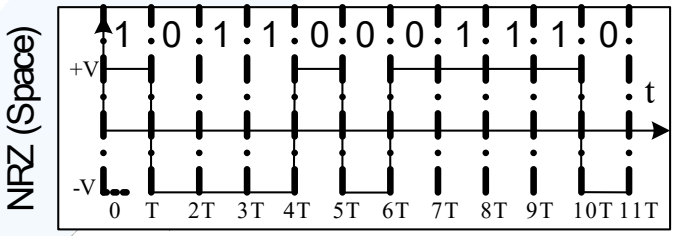
هـ- تشوير عدم العودة إلى الصفر مع عكس الطور NRZ (I)

وهناك نوعين من هذا التشوير النوع الأول ويتم عكس الطور (قطبية الجهد) عند كل بداية للرمز الممثل للواحد المنطقي بينما لايتم هناك أي انتقال لمستوى الجهد في بداية كل صفر ويسمى هذا النوع NRZ(M) وذلك كما هو مبين في الشكل(16). والنوع الثاني هو عكس هذا النوع ويتم الانتقال في مستوى الجهد في بداية كل صفر أما بداية الواحد فلا تحدث أي انتقال، وذلك كما هو مبين في الشكل(17).

وهذا النوع من التشوير هو ترميز مستوى مع الذاكرة وهو أسوأ من حيث كشف إشارة المزامنة من سابقيه ويحتفظ بمشاكل التيار المستمر. كما أن عرض الحزمة المطلوب لإرسال الإشارة المرمزة باستخدامه مساوٍ لحالته باستخدام التشوير القطبي مع العودة إلى الصفر.



الشكل (16): تشوير تبديل العلامة مع العودة إلى الصفر



الشكل (17) تشوير تبديل الصفر مع العودة إلى الصفر

تدريب (2)

ماهو عرض الحزمة اللازم لإرسال إشارة معطيات بمعدل 1Mbps في قناة تراسل باستخدام:

1-التشوير المستقطب

2- التشوير ثنائي الاستقطاب

3- تشوير مانشستر

4- تشوير ميللر

أسئلة التقويم الذاتي (2)

1. مالعلاقة بين شكل الإشارات المستخدمة وعرض الحزمة اللازم؟
2. ماعلاقة كثافة استطاعة الطيف بشكل الإشارة المستخدمة في التشوير؟
3. مالفرق بين أنواع التشوير ذات الذاكرة وأنواع التشوير بدون ذاكرة؟
4. أيهما أفضل برأيك من حيث كشف إشارة المزامنة، تشوير المستوى أم تشوير الإنتقال بين المستويات؟
5. كيف تؤثر كثرة عدد الانتقالات في الإشارة المستخدمة في التشوير على امكانية استخلاص إشارة المزامنة؟
6. مالفرق بين تشوير العودة إلى الصفر وتشوير عدم العودة إلى الصفر؟
7. مالفرق بين تشوير وحيد القطبية وتشوير ثنائي القطبية؟

2-3 المفاضلة بين أنواع التشوير المختلفة:

يمكننا أن نبدأ هذه الفقرة من سؤال ليس له جواب محدد. أي نوع من أنواع التشوير أفضل من غيره؟ وسيكون من السهل على من استوعب خصائص كل نوع أن يجيب بأن هذا السؤال غير محدد ولايمكن الجواب عليه بطريقة واحدة.

يتم اختيار الأفضل حسب طبيعة التطبيق. فكل نوع له مجموعة من الصفات الحسنة التي تجعله في تطبيق ما أفضل من غيره بينما في تطبيق آخر سيكون استخدامه سيئاً إن لم يكن مستحيلاً.

لقد تعرضنا لكثير من أنواع التشوير وترميز الخطوط ولافائدة من مقارنتها جميعها ببعضها البعض سيما وأن الكثير منها مشتق من بعضها الآخر ولكن هناك بعض العوامل الهامة التي لابد من الأخذ بها حين المفاضلة بين هذه الأنواع. وقد تم التطرق في بداية هذه الوحدة إلى هذه العوامل وهي قيمة المركبة المستمرة للإشارة المستخدمة، وعرض الحزمة اللازم لإرسال إشارة المعطيات، وسهولة كشف إشارة المزامنة، ومعدل الخطأ الناجم عن استخدام هذه الإشارات، وسهولة كشف الأخطاء وبالتالي مراقبة

الأداء، إضافة إلى سهولة توليد الإشارات ومناعة هذه الإشارات ضد الضجيج والتشوه والتداخل مع غيرها.

هناك أنواع من التشوير تحتاج لعرض حزمة إرسال كبير ولكنها تمتاز بسهولة كشف إشارة التزامن وانعدام التيار المستمر، وسهولة كشف الأخطاء ومناعة عالية ضد الضجيج مما يجعل استخدامها جيداً حين توفر عرض الحزمة اللازم ولكن قد يفضل استخدام غيرها عند عدم توفر هذه الحزمة. وهذا الأمر ينطبق على غير عرض الحزمة من العوامل. فقد نفضل استخدام نوع من التشوير يتصف بتعقيد طريقة توليده، وبكونه ليس الأفضل بين الأنواع الأخرى من حيث كشف الأخطاء ومناعته ضد الضجيج وسهولة كشف إشارة المزامنة ولكنه يكون ملائماً من حيث معدل الإرسال بحيث يسمح بإرسال معدل إرسال أعلى ضمن قنوات ذات سعات محدودة.

وكما نرى فإن عملية المقارنة بشكل مطلق هي قضية غير دقيقة، فلكل تطبيق طريقة التشوير الخاصة به انطلاقاً من متطلباته ومواصفاته.

يتم استخدام التشوير ثنائي القطبية مع عدم العودة إلى الصفر في تراسل المعطيات الرقمية التسلسلي باستخدام الدارة البينية RS-232، كما يتم استخدام تشوير مانشستر في شبكات الاثرنت 10 Mbps، بينما يتم استخدام 4B5B-NRZI في شبكات Fast Ethernet كما أنها تستخدم الترميز 8B6T، وفي شبكات التوزيع المعتمدة على الألياف الضوئية FDDI، في حين تستخدم شبكات Gigabit Ethernet الترميز 8B/10B-NRZI، في حين تسخدم شبكات وتستخدم أنظمة الحامل الرقمي T1 و T3 التشوير AMI مع قلب العلامة مع B8ZS. ويجد B6ZS Bipolar تطبيقاً هاماً له في أنظمة الحامل الرقمي T2، أما أنظمة الحامل الرقمي في اليابان وأوربا فتستخدم HDB3.

أسئلة التقويم الذاتي (3)

1. قارن بين أنواع التشوير التي تعرفها من حيث سهولة التوليد؟
2. قارن بين أنواع التشوير التي تعرفها من حيث عرض الحزمة اللازم.
3. قارن بين أنواع التشوير التي تعرفها من حيث قيمة التيار المستمر التي تنتجها.
4. قارن بين أنواع التشوير التي تعرفها من حيث سهولة كشف الأخطاء.
5. قارن بين أنواع التشوير التي تعرفها من حيث إمكانية كشف إشارة المزامنة.
6. ماهي أنواع التشوير المستخدمة في الشبكات المحلية LAN؟
7. ماهي أنواع التشوير المستخدمة في الشبكات الواسعة WAN؟

3- التشوير متعدد المستويات M-Ary signaling

تعتمد جميع طرق التشوير السابقة على استخدام إشارات لتمثيل رمز واحد من رمزين (0 أو 1). إن تمثيل كل منهما كهربائياً كما رأينا بإشارة كهربائية يتم بحيث تعبر هذه الإشارات عن حالتي الصفر والواحد، بينما يمكن في الاتصالات الرقمية استخدام أكثر من رمزين للتعبير عن M حالة ممكنة للإشارة وهذا ما يسمى بالتشوير متعدد المستويات.

فمثلاً عند استخدام أربعة مستويات للإشارات الكهربائية المستخدمة في التشوير نقول بأن لدينا 4-ary signaling وفي هذه الحالة فإن كل رمزين ثنائيين يعبران عن رمز واحد رباعي ويكون زمن الرمز الرباعي مساوٍ لضعف زمن الرمز الثنائي وهذا يؤدي إلى كون معدل إرسال الرموز الرباعية نصف معدل إرسال الرموز الثنائية:

$$T_{4-ary} = 2T_b \Rightarrow R_{4-ary} = \frac{R_b}{2}$$

وهذا واضح في الشكل (25)، ويعني ذلك أننا نحتاج إلى نصف عرض حزمة الإرسال الثنائي لإرسال 4-ary .

$$B.W_b = 2B.W_{4-ary}$$

وبنفس المناقشة نرى أننا في حالة الإرسال الثماني المستويات أي التشوير بثمان حالات (ثمان إشارات مختلفة) نحتاج إلى استبدال كل ثلاثة رموز ثنائية برمز 8-ary أي أن كل ثلاثة رموز ثنائية تعبر عن رمز واحد ثماني ويكون زمن الرمز الثماني مساوٍ لثلاثة أضعاف زمن الرمز الثنائي وهذا يؤدي إلى كون معدل إرسال الرموز الثمانية ثلث معدل إرسال الرموز الثنائية:

$$T_{8-ary} = 3T_b \Rightarrow R_{8-ary} = \frac{R_b}{3}$$

وهذا واضح أيضاً في الشكل (25)، ويعني أننا نحتاج إلى ثلث عرض حزمة الإرسال الثنائي لإرسال 8-ary

$$B.W_b = 3B.W_{8-ary}$$

يمكننا الآن تعميم ذلك على النحو التالي:

نحتاج في حالة الإرسال متعدد المستويات أي التشوير بـ M حالة (M إشارة مختلفة) إلى استبدال كل n رمز ثنائي برمز M-ary أي أن كل n رمز ثنائي تعبر عن رمز واحد M-ary ويكون زمن الرمز M-

ary مساوٍ n مرة من زمن الرمز الثنائي وهذا يؤدي إلى كون معدل إرسال الرموز M-ary 1/n معدل إرسال الرموز الثنائية:

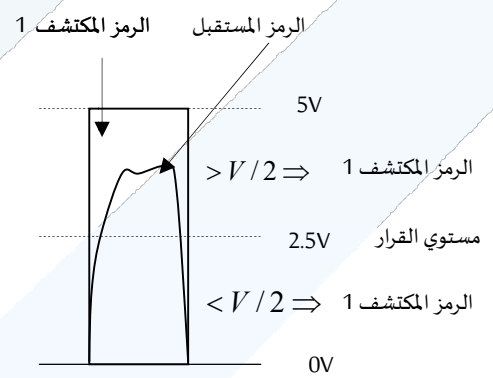
$$T_{M-ary} = nT_b \Rightarrow R_{M-ary} = \frac{R_b}{n}$$

وهذا واضح أيضاً في الشكل (25)، ويعني أننا نحتاج إلى 1/n عرض حزمة الإرسال الثنائي لإرسال إشارات M-ary

$$B.W_b = n.B.W_{M-ary}$$

يقودنا ذلك إلى إمكانية زيادة معدل إرسال المعلومات وبالتالي كمية المعلومات المرسلة بمقدار n مرة في حالة M-ary عما هو عليه في حالة الإرسال الثنائي حيث:

$$n = \log_2 M$$



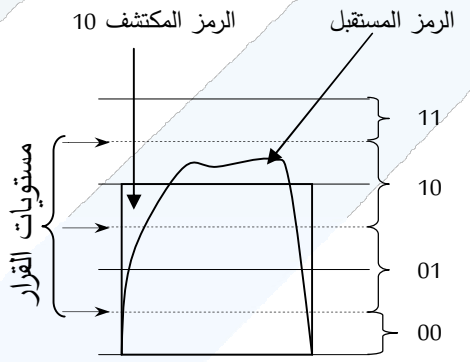
الشكل(25): الكشف في الحالة اثنائية

والسؤال الذي يطرح نفسه هو التالي: هل يتم ذلك دون مقابل؟ والحقيقة أن الجواب لا، فكما تعودنا يتم إنقاص عرض الحزمة على حساب الدقة أي على حساب زيادة استطاعة الضجيج وبالتالي إنقاص قدرة التمييز عند اكتشاف الرموز في الاستقبال. ولتوضيح ذلك لنعتبر أننا كنا نرسل الرمز 0 باستخدام 0v والواحد باستخدام 5v وهذا يعني أننا سنقارن في طرف الاستقبال الرموز المكتشفة بمستوى مقارنة 2.5v فالرمز المكتشف الذي سيملك مطالاً أعلى من 2.5v سيكون 1 والأقل سيكون 0 وذلك كما هو مبين في الشكل (25)، وبالتالي فإن الخطأ الأعظمي المسموح به دون حدوث استقبال خاطئ هو 2.5V .

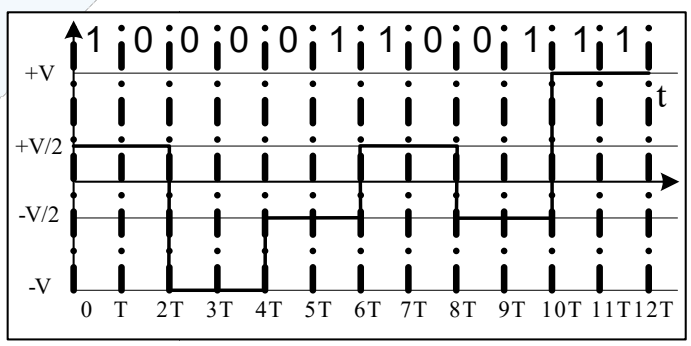
والآن لو استخدمنا التشوير 4-ary دون زيادة استطاعة الإرسال أي دون زيادة مطالات الإشارات المعبرة عن الرموز فإننا سنرسل الرمز 00 باستخدام 0v والرمز 01 باستخدام 5/3v والرمز 10 باستخدام

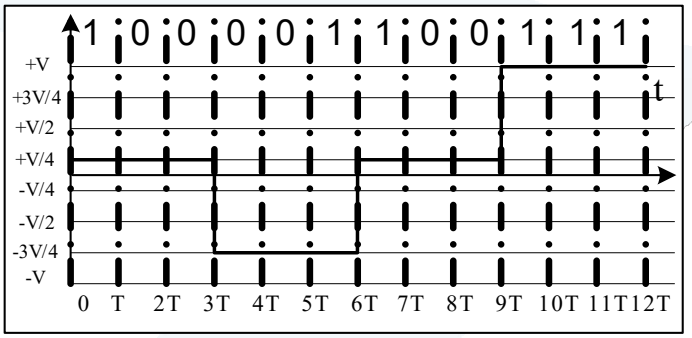
2x5/3v والرمز 11 باستخدام 5v وسيكوم لدينا في طرف الاستقبال ثلاثة مستويات لمقارنة الرموز المستقبلة لتحديد ما إذا كانت أحد الرموز الأربعة المرسلة والفرق بين هذه المستويات أقل مما هو عليه في حالة الإرسال الثنائي كما هو مبين في الشكل (26) وكلما ازدادت M كلما قل الفرق بين هذه المستويات وبالتالي ضعفت قدرة التمييز أي أن الخطأ الأعظمي المسموح به دون حدوث استقبال خاطئ اصبح 1.25V .

أما إذا أردنا الحفاظ على نفس قدرة التمييز في حالة الإرسال الثنائي وبالتالي على نفس قدرة اكتشاف الخطأ أي على نفس نسبة الإشارة إلى الضجيج فإننا نحتاج إلى زيادة استطاعة الإرسال في حالة M-ary عما هي عليه في حالة الإرسال الثنائي، وهذا يؤكد أن إنقاص عرض الحزمة اللازم لإرسال نفس كمية المعلومات أو زيادة كمية المعلومات المرسلة في حزمة ذات عرض ما لا يتم مجاناً بل يستلزم منا زيادة استطاعة الإرسال بنسبة ما.



الشكل (26): الكشف في حالة 4-ary





الشكل(27): مثال على التشوير M-ary

أسئلة التقويم الذاتي (4)

1. ماأهمية التشوير متعدد المستويات؟
2. ماالعلاقة بين عدد مستويات التشوير ودقة الاستقبال؟
3. ماالعلاقة بين عدد مستويات التشوير وعرض الحزمة اللازم؟

تدريب (4)

إذا كان معدل الإرسال في الحالة الثنائية 1.2Mbps كم يصبح هذا المعدل لنفس السلسلة من المعطيات في حالة التشوير :

1- 4-ary

2- 8-ary

3- 16-ary

4- الخلاصة

يعتبر اختيار شكل الإشارات الكهربائية التي يتم استخدامها لتمثيل الرموز الثنائية للمعطيات عاملاً مهماً يؤثر على جودة الإرسال ومعدل الخطأ وكذلك على عرض الحزمة اللازم لإرسال هذه المعطيات.

ويعتبر استخدام بعض الإشارات أفضل من استخدام غيرها من حيث إمكانية استخلاص إشارة التزامن. إن استخلاص إشارة التزامن مرتبط بشكل وثيق بطبيعة تغير مستوى الإشارة عند الانتقال من رمز إلى آخر فكلما كان هذا التغير موجودً عند كل رمز كلما كان كشف إشارة التزامن أسهل.

تستخدم شبكات تراسل المعطيات أنواعاً عديدة من التشوير (أو من ترميزات الخطوط) ويعتمد استخدام هذا النوع أو ذاك على خواص الإشارة المستخدمة ومعدل الإرسال وعرض الحزمة المتاح في وسط النقل وإمكانية مراقبة الأداء. فطرق التشوير المستخدمة في خطوط T1 غير تلك المستخدمة في خطوط T2 أو T3 كما أن طرق التشوير المستخدمة في شبكات LAN يختلف باختلاف التوبولوجي المستخدم ويختلف بالتأكيد عما هو عليه الحال في الشبكات WAN.

إن استخدام التشوير متعدد المستويات يزيد من كفاء استخدام الحزمة الترددية المتاحة ولكنه في نفس الوقت يقلل من كفاءة الاستقبال الجيد أو يزيد من تعقيد وكلفة الاستقبال.

إجابة التدريب (1)

1- 1MHz

2- 2MHz

إجابة التدريب (2)

1- 1MHz
2- 1MHz
3- 2MHz
4- 0.5MHz

إجابة التدريب (3)

1- 1Mbps
2- 1Mbps
3- 1Mbps
4-
5- 0.75Mbps
6- 0.75Mbps
7- 1.25Mbps

8- 1.2 Mbps

9- 1.25Mbps

إجابة التدريب (4)

1. 0.6Mbps
2. 0.4Mbps
3. 0.3Mbps