



اسم المادة : اتصالات 2

تجمع طلبة كلية التكنولوجيا والعلوم التطبيقية - جامعة القدس المفتوحة

acadeclub.com

وُجد هذا الموقع لتسهيل تعلمنا نحن طلبة كلية التكنولوجيا والعلوم التطبيقية وغيرها من خلال توفير وتجميع **كتب وملخصات وأسئلة سنوات سابقة** للمواد الخاصة بالكلية, بالإضافة لمجموعات خاصة بتواصل الطلاب لكافة المواد:

لِلوصول للموقع مباشرة اضغط [هنا](#)

وقفكم الله في دراستكم وأعانكم عليها ولا تنسوا فلسطين من الدعاء

تلخيص الوحدة الرابعة
إرسال المعطيات الثنائية بواسطة النطاق الأساسي

Baseband Transmission

الصفات التي تجعلنا نستخدم الاتصالات الرقمية عوضا عن التناظرية هي

- ١- الاداء مقارنة بالاتصالات القياسية بالرغم من التشويش النبضات الحاده .
- ٢- سلامة البيانات لإرسالها بدون اي تشويش
- ٣- معالجة البيانات والتشفير فيها ممكن .
- ٤- سهولة تشفير البيانات الرقمية .
- ٥- سهولة التحكم والمراقبة للأنظمة الرقمية
- ٦- امكانية ضغط البيانات الرقمية

اما المشكلة التي تعيق عملية الاتصال الرقمي هي تداخل الرموز

Inter - symbol Interference والتي تعنى تداخل الامتداد الزمني للرموز السابقة مع قيم الرموز اللاحقة مما تسبب ضجيج التداخل بين الرموز . التداخل هو نتيجة لعملية ارسال على ترددات متشابهة وينتج هذا التداخل في قنوات البث المتجاورة عندما تتداخل الطاقة من قناة الى قناة اخرى. وهناك نسبة مقبولة من (C/I) حتى تحصل على نوعية جيدة من الإشارة، وعند زيادة قدرة الإشارة الحاملة وطاقتها فان هذا يزيد من عملية التداخل. يقاس التداخل بشكل عام الى نسبة الإشارة الى التداخل)

Carrier - To - Interference C / I
(.

| We (f)

-

Mout (1)

Win OTH

Hg(f)

H(f)

Ha(f)

- مرشح الارسال

- مرشح القناة

- مرشح الاستقبال

L النبضات المسطحة القمة

$h(t) = \text{II}(t/T)$ النبضة الواحدة المربعة (ذات قمة مسطحة)
التردد للنبضات الداخلة بالمعادلة التالية: الطيف

$$h(t) =$$

$$a, ht - nT)$$

$$H(f) = T \cdot \text{sinc}(fT) / (T) = T \cdot \text{sinc}(fT)$$

ملاحظة : أن النبضات التي سيتم استقبالها لن يكون لها نفس الشكل المربع الحاد بسبب ما تتعرض له خلال خط النقل

الخصائص الانتقالية الكلية المكافئة للتصفيات في النظام يعبر عنها بالمعادلة التالية:

$$H(f) = H(f) H_e(f) H_R(f) H_T(f)$$

$H_c(f)$: الخصائص الانتقالية المكافئة لخط النقل كمصفي. ويتم تصميم $H(f)$ بحيث نحصل على أقل تداخل $H_r(f)$: الخصائص الانتقالية المكافئة لمصفي المرسل. $H_R(f)$: الخصائص الانتقالية المكافئة لمصفي المستقبل ويتم تصميم $H_R(f)$ بالمصفي الموزان Equalizing filter وتعتمد خصائصه على الاستجابة الترددية للوسط الناقل $H_c(f)$ حيث تتغير الخصائص الانتقالية للقناة من مكاملة الى اخرى وبالتالي يعاير المصفي نفسه للتقليل من ISI الى أقل درجة ممكنة. وفي أنظمة الاتصالات التجريبية يتم توليد نبضات تستخدم التكيف المصافي الكترونيا لأجل الحصول على أكبر انفتاح للعين Opening وبالتالي أقل ISI. من الجدير بالذكر أن المصفي المصمم ، سواء للمرسل او للمستقبل ، يكون مضروب بالمعامل 10^{-k} لتسهيل تصميمه عمليا بدون تأثير على ISI. حيث K معامل التكبير و T_d معامل التأخير الزمني.

الحل المثالي للتداخل (Ideal Solution for ISI)

استطاع العالم نيكوست (Nyquist) أن يجد شكلا مناسباً للنبضة المرسله يستطيع من خلاله الحصول على تداخل بين النبضات يساوي صفراً وذلك عند مراكزها ، وبذلك يتمكن المستقبل من اكتشاف النبضات عند هذه النقاط بطريقة سليمة وصحيحة. وقد تمكن نيكوست من تحقيق ذلك بواسطة الاقتراح سينك (sin

$$/ (t)$$

t التي لها سعة ٠ عند $t=0$ وتساوي صفر عند النقاط t

$$nTb = \text{حيث } n = 1, \dots$$

$$n = 3, 2,$$

$$\text{sinc}(t)$$

- التمكن من كتابة معادلتها على النحو التالي :

$$t=0 \quad t = nT \quad (TB=1/R)$$

$$p(t) = \text{sinc}(TR;t) = \{$$

يمكن رؤية نتيجة استخدام هذا الشكل الموجي للدلالة على النبضات وتأثيره على ظاهرة تداخل الرموز في الشكل حيث يمكننا استنتاج قيمة كل نبضة يتم استقبالها من خلال اخذ عينة من منتصفها بالضبط.

وكما نعلم عزيزي الطالب بان النبضة سينك ذات نطاق ترددي يساوي $2/R_b$ وبهذا نكون قد حققنا الهدفين المرجوين الا وهما عرض نطاق محدد وعدم حدوث تداخل ISI بين النبضات.

معيار نيكوست (Nyquist Criterion): وبالرغم من أن العالم نيكوست استطاع أن يحل المشكلة حلا جذريا لكن هذا الحل المثالي ليس حلا عمليا ، دعنا عزيزي الطالب نثبت ذلك أن النبضة التي فرضها العالم نيكوست تبدأ من $t=0$ إلى $t=T$ وهذا يعني اننا سننتظر فترة زمنية لا نهاية وطاقة هائلة لجعلها تستمر لفترة لا نهائية ايضا وبالتالي لا يمكن تحقيق ذلك عمليا فربما يقول البعض يجب بترها في المدى الزمني ولكن ذلك سيؤدي إلى زيادة عرضها الطيفي كما أن ذيولها عن اليمين واليسار غير محدده رياضيا وغالبا ما تسبب انحرافات للنبضات الأخرى عن مراكزها.

قناة نيكوست المثالية : (Ideal Nyquist Channel)

أن الحصول على شكل ذو هيئة \sin

$X(x)$ بشكل عملي يواجه نوعين من الصعوبات والمعيقات سنوجزها عزيزي الطالب اليك بشكل محدد ودقيق. | تعتبر ثابتة للترددات بين B

B - وتساوي هذه القيمة صفرا في غيرها من الترددات ويعتبر هذا الشكل مثاليا لا يمكن تحقيقه عمليا . انحراف النبضات عن مركزها يعمل على التمكين والتحكم بها وهذا يعمل حدوث الانحرافات في مكان اخذ العينة حتى لو كان ضئيلا لعدم دقة المستقبل. وبالتالي سيكون التزامن غير دقيق ويسبب حدوث ISI يوجد حل يحقق هذه الخصائص وهو استخدام المصفي او المرشح ذو اقتران جتا المرتفع ذو معامل الانزلاق

(Raised Cosine -Rolloff filter)

طيف الجتا المرتفع (Raised Cosine Spectrum) وحتى نستطيع التغلب على مشكلة تداخل الضجيج بين الرموز كون أن هذه النبضة يمكن تحقيقها نظريا ولا يمكن تحقيقها عمليا ، استندنا الى داله يمكن أن تحل هذه المعوقات بحيث اعتمدنا على نبضه يكون النطاق الترددي لها واسع مقارنة بنبضة نيكوست حيث يعتمد عرض النطاق على معامل التدرج (الامتداد) ، ونستطيع التحكم بعرض هذا النطاق بزيادة او نقصان المعامل فحينما يكون معامل التدرج $\alpha = 0$ يتكون لدينا الحالة الأولى لنبضة نيكوست المثالية (الشكل المستطيل) ، بينما عندما نزيد معامل الانزلاق نحصل على عدة اشكال للنبضة تكون قريبا من النبضة المثالية مع اكثر امتدادا وزياده

في عرض النطاق . وبعد دراسة الأشكال الناتجة كما هو موضح بالشكل الاتي وجدنا أن افضل معامل عندما يكون قيمة التدرج $= 1$ وهذه الإشارة تسمى جتا التمام و الخاصة ساهمت على انعدام الذبول في مجال التردد واتساع نطاقها في المجال الزمني بالإضافة الى التقليل بالطاقة التي كانت تستخدم بالفصوص الجانبية وتركزت بالفص الرئيسي وكل هذه الميزات انتجت الينا نبضه شبه مثاليه ويمكن تحقيقها عمليا.

الذبول الخاصة بها تقل بشكل سريع اي تتناسب مع $t/2$ ومن هنا نستنتج ان ذبول هذه النبضة اذا ما تم اخذ معامل التدرج $p=1$ فان الذبول تنتهي بشكل سريع مما يعني أن التداخل في هذه النبضة اصبح معدوما ويعبر عنها رياضيا في مجال الزمن كما يأتي

$$=0 \quad 20.25 \quad 3=(15$$

$$=0 \quad 30.2 \quad 3=0.5$$

الإشارات المستخدمة في عملية عند تغير معامل الانزلاق.

يتم حساب نطاق الارسال المطلوب من المعادلة التالية :

$$B1 = M$$

و الترميز الترابطي (correlative Coding) لقد تعاملنا فيما سبق مع ظاهره غير مرغوب فيها تسمى التداخل الرموزي ISI يكون لها أثر سلبي على أداء النظام اذا لم نستطع توقعه ، والذي ينتج عنها تدهور في اداء النظام وبعد معالجة هذا الظاهرة والتحكم والسيطره عليها ، يمكننا الأخذ والاستفاده منها وذلك عن طريق زيادة معدل الارسال بحيث يصبح معدل الارسال

Symbols

$$s / Hz /$$

٢، من غير التحكم بالتداخل (ISI) يكون من الصعب جدا ايجاد علاقة دقيقة وواضحة بين النطاق مسموح بث ومعدل بث الرموز. وهذا يسمى بالتزامن الترابطي ، ومن الاستخدامات المفيدة لهذه الظاهرة (ISI) في التطبيقات التالية

البث الثنائي المزدوج .)

(Duo - Binary Signaling) - طرق تطبيقية للترميز الترابطي. البث الثنائي المزدوج المعدل (Modified Duo).

(Binary Signaling -) . يمكن اضافة استخدام اخر وهو تحقيق شرط نيكوست عمليا

البث الثنائي المزدوج (Duo - Binary Signaling)

لا يمكننا التحكم بالتداخل (ISI) الا من خلال ايجاد علاقة دقيقة وواضحة بين النطاق المسموح البث عليه ومعدل بث الرموز

يعاني النظام من سلبية الا وهي انه اذا حصلت اخطاء فإنها تنتقل مع الاشارة الى بقية الأجزاء ما يسمى انتشار الأخطاء على بقية الأجزاء (Error Propagation) وهذا يسبب الترابط الرمزي ويمكن حلها عن طريق باستخدام (Pre - coding) قبل عملية الترابط وهي شبيهة

بالتشفير وهذا ما دعانا إلى حل هذه المشكلة فقمنا بتعديل النظام بحيث أصبح لدينا البث الثنائي
المزدوج المعدل

البث الثنائي المزدوج المعدل (Modified Duo).

- Binary signaling) أن النظام المزدوج يعاني من مشكله الا وهي انه اذا حصلت اخطاء فإنها تنتقل مع الإشارة الى بقية الأجزاء وهذا ما يسمى انتشار الأخطاء على بقية الأجزاء (Error Propagation) بالإضافة الى انه يعاني من سلبية كثافة القدرة عند نقطة الاصل ليس صفرا. ويمكننا تطوير النظام السابق وذلك بعمل ترابط بين رمزين ثنائيين ويمكن حلها عن طريق (Pre - coding) قبل عملية الترابط وهي شبيهة بالتشفير.

$$= Ck$$

akak حيث أن ® تمثل)

(Modulo - Two Operation) أو بما يعرف (XOR Gate) ويمثل الرمز عملية جمع النظام الحسابي العشري. حيث أن هذه المعادلة توضح عملية الطرح على فترة {Tb2} وهذه ايضا تعتبر (Level PRS-3) والمعادلة التالية تمثل مخرجات المتتالية :- 2 - C

$$Qk + Ak =$$

البيانات ثنائية المستوى ومتغيرة المستوى Baseband Transmission of M ary Data تتمتاز المعلومات المرسله في نظام الاتصالات باحتوائها على عدد محدد من مستويات المدى ، حيث يمثل كل مدى من هذه الاشارة جزء معين من اشارة المعلومات المرسله الكلى . مع العلم بان اقل مدى يمكن أن يستخدم في نقل المعلومات الرقمية يساوي اثنان وهذا ما يسمى بالنظام الرقمي ثنائي المدى | (Binary System) كما ويمكننا حساب مدى الاشارة الرقمية باستخدام النظام الثنائي.

البيانات ثنائية المدى (Binary System) عزيزي الطالب يبرز مصدر البيانات (Data Source) في نظام الاتصالات الرقمية طبيعة هذه البيانات عن قيم المنطق (Logic levels)، ممثلة بقيمتين : صفرا أو واحد وتسمى المعلومات بهذه الحالة بالمعلومات ثنائية المدى (١)

(Binary Levels : 0 or 1) . ومن خصائص المعلومات المهمة التي تتميز فيها، السرعة التي ينتج بها المصدر سلسلة المعلومات وتسمى هذه السرعة بسرعة ارسال البيانات أو المعلومات (Data Rate) ، ووحدتها في هذه الحالة هي (Bits /

sec) ويرمز لها Rb. البت (Bit) وهي عبارة عن اقل وحدة يمكن أن تمثل بها المعلومات الرقمية. | ويعتبر اهم عنصر لاي نظام اتصالات هو معرفة قيمة تشتت طيف المعلومات (مدى الطيف) . ويمكننا أن نعرف مفهوم مدى الطيف (Bandwidth BW) بأنه علاقة مباشرة في تصميم وبناء أي نظام اتصالات ، حيث انه لا يمكن التعامل او بث اشارة غير محدودة الطيف ، ويمكن تحديد مدى الطيف (BW) لأي نظام رقمي عن طريق معرفة سرعة البيانات حسب المعادلة حيث أن ٠ معامل قيمته تحقق المعادلة التالية 1 >= . عندما يكون البث مباشرة من المصدر تكون قيمة المعامل 1 = u.

$$BW = a.R$$

وبشكل يمكن حساب قيمة مدى الطيف
لاي نظام بغض النظر ان كان رقميا او تناظرية حسب المعادله
التالية :-

$$BW = W_{mms} - W_{mn}$$

W_{min} ,

القيم العليا والقيم السفلي لامتداد طيف الاشارة.

البيانات متعددة المستوى (M ary Signaling) في كثير من الأحيان تبعث المعلومات على
طريقة رموز (Symbols) للاستفادة ورفع كفاءة قيمة مدى الطيف بحيث يحتوي كل رمز
على عدد معين من الثنائيات (Bits) وتسمى هذه العملية بتجميع للمعلومات الأصلية

(Grouping or M-ary Signaling)

$$M = 2^K$$

حيث أن M: يمثل عدد خانات المستوى التي تتمثل به المعلومات أو عدد الرموز المستخدمة
حيث أن كل رمز يمثل قيمة مستوى معين.

K: عدد الرقم الثنائي (K binary bits) في الرمز الواحد (One Symbol).

لاحظ في حالة الثنائي Binary معدل سرعة الرموز يساوي معدل سرعة البت اي ان R_b
 $R_s =$ بشكل عام ، ويقاس معدل الطيف بالنسبة لسرعة الرموز المبعوثة في الاتصالات
الرقمية حسب العلاقة التالية :

$$B_m = d. R = 0.$$

ومن الجديد بالذكر ان المعلومات الرقمية الناتجة من مصدر المعلومات دائما يمثل قيمه منطقه
بغض النظر ان كانت بشكل رموز او ثنائيات .

التسوية الكيفية (Adaptive Equalization)

تعتبر التسوية الكيفية من المجالات المهمة في الارسال السريع وتعمل هذه التسوية
بشكل عام على تصحيح التسوية المرسله عبر قناة الاتصال حيث يتم فيها عملية
التسوية في المرحلة الأخيرة من عملية الاتصال وهي عملية الاستقبال . ونقصد
بالتسوية هنا هو جعل كفتي الميزان متماثلتين حيث تكون كفة المرسل هي بالضبط
كفة المستقبل بغض النظر ما يتوسط الكفتين ليلاشي تأثير قناة الاتصال . حتى يكون
التصحيح أوتوماتيكيا يجب وضع خوارزمية أو خطوات لتخفيض نسبة الخطأ
والسيطرة على التداخل الرمزي (ISI) .

بناء نظام التسوية الكيفية

عند تصميمنا لوحدات التسوية بصورة عامه وهذه التسوية بصورة خاصه يجب علينا أن نتذكر
أن حذف او تقليل تداخل الرموز بين النبضات وجيرانها لكل المدى الزمني ليس من أهدافنا .

فكل ما هو مطلوب هو حذف هذا التداخل عند لحظات زمنية معينة وهي تلك اللحظات التي يتم فيها اخذ العينة من مكان النبضات فقط وذلك يرجع لكون القرار الذي يتخذ بشأن هذه النبضة اذا كانت ١ ام ٠ ويبنى

على قيمة هذه العينة دون سواها يتم بناء هذه التسوية او المعاييرة من خلال تأخير النبضة عدد من المرات بواسطة عدد N . ويبين لنا عزيزي الطالب الشكل التالي خطوات تصحيح اتوماتيكية لعملية الاتصال وهي عملية الاستقبال من خلال في مجال الزمن للسيطرة على ISI .

الفرق بين $\{dnT\}$ و $\{y(nT)\}$ وينتج عنه الخطأ في المتتالية المرسله المستقبلية حسب المعادلة التالية

$$e(nT) = d(nT) - y(nT), n = 0, \dots, N-1$$

الخطأ في المتتالية يجب ان يكون صغيرا جدا يؤول الى الصفر $\{W_i\}$

(

)

$\{e(nT)\}$ ويستخدم لتصحيح وتعديل ظاهرة تداخل الرموز لتقليل الأخطاء. | تعرف الطاقة بانها حساب لمدى الخطأ عبر النظام

تلخيص الوحدة الخامسة

أساسيات التعديل الرقمي

التعديل الرقمي :

١ - مفهوم التعديل الرقمي Digital Modulation:

التعديل الرقمي هذه الإشارة المحمولة تكون إشارة رقمية ذات قيمتين فقط (0,1) أما الإشارة الحاملة ذات التردد العالي فهي غالبا إشارة جيبية ذات تردد وطور محددين واتساع أكثر من اتساع الإشارة المحمولة .

٢ - أنواع التعديل الرقمي :

- أ- تعديل الإزاحة السعوية Amplitude Shift Keying (ASK) ويشبه التعديل السعوي AM
- ب- تعديل الإزاحة الترددية Frequency shift Keying (FSK) ويشبه التعديل الترددي FM
- ت- تعديل الإزاحة الطورية Phase shift Keying (PSK) ويشبه التعديل الطوري PSK

أهمية التعديل الرقمي :

- التعديل الرقمي فهو التعديل الذي يتم فيه تغيير بعض خصائص الإشارة الحاملة وفقا لإشارة البيانات الرقمية الثنائية . هذه الخصائص تشمل السعة والتردد والطور .
- ففي أنظمة الاتصالات سوى كانت تناظرية أم رقمية نحتاج لاجراء عملية التعديل لعدة أسباب
- ١ - استخدام هوائي بطول مناسب : يقوم الهوائي بالتقاط الاشارات، ويتناسب طول الهوائي تناسب عكسي مع تردد الاشارة مع الطول الموجي للاشارة . فلو أرسلت الإشارة مباشرة بدون تعديل فهذا يعني تردد منخفض وبالتالي هوائي ذو طول كبير يتناسب مع الطول الموجي للاشارة والذي يساوي (c/f) .
 - ٢ - استخدام هوائي ثابت الطول : تذكر قيمة ترددات الاشارة والتي تتراوح بين $(20\text{ Hz} - 20\text{ KHz})$ وطول الهوائي يجب ان يتناسب مع كل هذه الترددات فاذا تم ارسال الاشارة مباشرة بدون تعديل فيجب أن يتناسب طول الهوائي مع الترددات $20\text{ Hz} - 20\text{ KHz}$ فتستكون النسبة بين اقل واكبر طول للهوائي 1:100
 - ٣ - استخدام الارسال المتعدد القنوات (Multiplexing) أي ان نتمكن من ارسال أكثر من قناة (بمعنى أكثر من موجة محمولة في نفس الوقت .
 - ٤ - حماية وحفظ اشارة المعلومات المحمولة من العوامل الطبيعية : فاذا تم ارسال الاشارة الصوتية مباشرة بدون تعديل فسوف تتأثر كبيرا بالعوامل الجوية المختلفة كالرياح والامطار والرطوبة وغيرها

- ٥- للتغلب على مشاكل انتشار الموجات (Wave Propagation) حيث ان انتشار الموجات ذات التردد العالي افضل من انتشار الموجات التردد المنخفض التي تواجه صعوبة في انتشارها
- ٦- التقليل من التشويش والتداخل باستخدام أنواع معينة من التعديل .

• التعديل والكشف الرقمي (FSK) :Frequency Shift Keying

نستخدم في حالة الاقفال الترددي FSK ترددا معينا f_1 لارسال الرمز (1) منطقي ، بينما نستخدم ترددا آخر f_2 لارسال الرمز (0) منطقي .
الحامل يمكن أن يأخذ إحدى القيمتين :

حيث يكون تردد الحامل ω_1 عندما يكون الرمز 1/ و ω_2 عندما يكون الرمز 0/

توليد إشارات FSK باستخدام VCO:

من المحتمل أن تكون قد تعرف تعريف سابقا طرق التعديل المتبعة في الأنظمة التناظرية.
وهنا نؤكد أن طرق التعديل والكشف المتبعة في الأنظمة التناظرية يمكن أن تستخدم من أجل النظم الرقمية . ويمن على سبيل المثال استخدام المذبذب المتحكم به بالجهد Voltage Controlled Oscillator (VCO)، الذي يعطي على خربه إشارة جيبية يتغير ترددها وفقا لمطال الإشارة المعطيات على مدخل التحكم للـ vco.

يتم تمثيل الصفر بـ $-p(t)$ والواحد بـ $+p(t)$.

يحسب مدى قيمة طيف (BW) إشارة FSK باستخدام ما يعرف بقاعدة كارسون (Corson Rule $2(\Delta f+B)$

عرض حزمة الإشارة FSK الدورية هو $2(\Delta f+B)$ حيث B هو عرض حزمة الإشارة الاساس Δf الانحراف الترددي .

هنا يوجد لدينا حالتان جديدتان :

- $\Delta f \gg B$ فإن عرض حزمة الإشارة FSK هي $2\Delta f$ تقريبا . وكما كان الفرق بين الترددين كبيرا ازداد عرض الحزمة ويمكن أن تعد عرض الحزمة ويمكن أن تعد عرض الحزمة في هذه الحالة غير مرتبط بـ B ويسمى هذه الحالة FSK عريض الحزمة وهي حالة خاصة من التعديل الترددي عريض الحزمة Wide Band Frequency Modulation (WBFM).
- إذا كان الفرق بين الترددين f_1, f_2 صغيرا مقارنة بـ B أي $\Delta f \ll B$ فإن عرض حزمة الارسال سيكون $2B$ وهو عرض الحزمة نفسه المطلوب لنظام الـ ASK ويسمى هذه

الحالة FSK، ضيق الحزمة ، وهي ايضا حالة خاصة من التعديل الترددي ضيق الحزمة

Narrow Band Frequency Modulation (NBFM)

كشف إشارات FSK

يتم باستخدام كاشف متزامن يتألف من ضاربين يعمل أحدهما عند التردد f_1 بينما يعمل الآخر عند تردد f_2 ويقوم عنصر القرار بمقارنة خرج الجامع الذي هو محصلة الجمع الجبري لخرجي المرشحين وذلك باستخدام جهد مقارنة صفري، إذا كان خرج المكمل العلوي المترابط بالتردد F_1 أكبر فإن خرج المقارن يكون 1 منطقيا أما إذا كان العكس فالخرج هو 0 منطقي .
أن الأثر السلبي لتراكم النبضات المتشابهة في الكشف المترابط يدفعنا باتجاه النوع الآخر وهي الكشف المترابط Incoherent Demodulation :

كشف إشارة تعديل الإزاحة الترددية غير المتزامن (غير المترابط) Non-Coherent Detection FSK
تمر الإشارة المعدلة المستقلة بمصفين للترددات BPF بحيث يمرر المصفي الأول التردد الحامل للنبضة (f_1) ويقوم المصفي الثاني بتمرير التردد الحامل للنبضة (f_0) .

والإشارة الخارجة من كل مصفى تدخل الى كاشف الغلاف Envelope Detector ثم يتم الكشف عن حزمة التردد الأساسي بإجراء التكامل للإشارة الناتجة وطرح الإشارة الناتجة من الجزء الأول من الإشارة الناتجة من الجزء الثاني نحصل على الإشارة الثنائية المشفرة بالشفرة ثنائية القطبية .

التعديل والكشف الرقمي (PSK) Phase Shift Keying :

إن مطول الحامل في هذا النوع من التعديل سيبقى ثابتا وكذلك التردد سيبقى ثابتاً f_c من أجل إرسال الرمز 1 أو الرمز 0 ولكن الطور الابتدائي للحامل يتغير عنه رياضيا بالعلاقة :

$$A_c \cos (2\pi f_c t + \pi)$$

ويمكن كتابة هذه العلاقة بشكل عام على النحو الاتي :

حيث $\varphi(t) = 0$ أو $\varphi(t) = \frac{\pi}{2}$ عندما يكون الرمز 1 و $\varphi(t) = \pi$ أو $\varphi(t) = \frac{3\pi}{2}$ عندما يكون الرمز 0.

توليد الإشارة وكشفها PSK

يكون توليد PSK بشكل مشابه تماما لمعدل ASK ، مع فرق وحيد هو أن المعلومات الرقمية تطبق على مشكل نبضات مستقلة أي يمثل (1) بـ $+P(t)$ و (0) بـ $-P(t)$.

خصائص التعديل الازاحة الطورية :

١- للموجة محتوى ثابت ولا يتأثر اتساعها بالضجيج أو التغيرات الخطية الأخرى ولذلك أكثر استخدام من الازاحة السعوية .

٢- يستعمل هذا التعديل في أنظمة الاتصالات ذات السرعة المتوسطة 4800bit/sec

٣- التوفير في القدرة حيث أن القدرة اللازمة لهذا النوع تساوي نصف الفترة اللازمة لأنظمة الإزاحة الأخرى .

• استقبال التعديل الإزاحة الطورية PSK

١- الكشف الترابطي coherent Detection:

أما كشف الاشارات PSK المتزامن (المترايط) فيتم باستخدام دائرة مشابهة لكاشف ASK والاختلاف بين كشف PSK و ASK يمكن في اختيار عينة المقارنة ، وبالتالي لتحديد إشارة خرج هل هي 1 او 0 نقوم باختيار جهد العتبة المساوي للصفر ، وذلك بفرض أن احتمالية حدوث الـ 1 والـ 0 من المصدر متساوية ولا يعتمد بعضها على بعض فإن كان خرج المرشح أكبر من الصفر كان الرمز المستقبل 1 وإن كان أصغر كان الرمز 0

بحيث يعمل هذا النظام على مقارنة احداثيات الاشارة القادمة مع الاداثيات الممثلة في فرعي الجهاز وبعد المقارنة يعمل الجهاز العامل للتكامل على ازالة الجزء الذي يحتوي على التردد العالي ويبقي على الجزء الذي يحتوي على التردد القليل الموجود به المعلومات المرسله .

بعدها يتم تحول الاحداثيات (X_i, Y_i) الى المعلومة المناسبة حسب الجدول الموجود في جدول عملية التحويل (Mapping Table) على سبيل المثال لو كانت الاحداثيات الناتجة هي $X_i = -A, Y_i = 0$ حسب فضاء الاشارة التي تكون متوفرة في Mapping Table كمرجع فان هذه الاحداثيات تحول الى الاشارة S_i والتي تعني أن المعلومة التي بعثت هي $d(t)=0$

٢- الكشف غير الترابطي (غير المتزامن) Non-coherent Detection

من الجدير بالذكر أن المعدلات غير المتزامنة غير عملية لاسترجاع اشارة المعلومات من الاشارة المعدلة PSK. حيث أن الدوائر التابعة لتلك التقنية لا تهتم بجزئية الطور في الاشارة وبالتالي لن يتم التمييز بين الاشارة الحاملة للنبضة (1) والاشارة الحاملة للنبضة (0).

أداء أنظمة تعديل الإزاحة الطورية PSK

أما بالنسبة لأداء المعدل الكشف للازاحة الطورية فيمكن مقارنة باداء المعدل الكشف لازاحة الترددية FSK.

فلاحظ انه عند نفس قيمة SNR يكون اداء الاول PSK أفضل من الاداء الثاني FSK.

معدلات الازاحة الطورية الرباعية QPSK Modulators:

اشارة QPSK يمكن الحصول عليها باستخدام المعدل المبين في الشكل من الاشكال يتضح لنا أن إشارة QPSK عبارة عن تراكيب Superpsition اشارتي BPSK احدهما معدلة للاشارة الحاملة $\cos wct$ والثانية معدلة للاشارة الحاملة $\sin wct$.

الاشارات الاربعة المحملة لاشارة QPSK منفصلة عن بعضها البعض بطور مقدارة 90 فترة الرمز في كل من القناتين الفردية (I) والزوجية (Q) مساوية لفترة الرمز في اشارة QPSK، وهي ضعف فترة الخانة الثانية ($T_0 = 2T_b$) من هذا الشكل يتضح لنا كيف أن البيانات الداخلة تنفصل الى فردية بالاشارة الحاملة $\sin wct$ بعدها يتم جمع الفرعين لينتج لدينا اشارة من بين اربع اشارات محتملة لكل رمز .

معدل الرمز (Symbol Rate) لإشارة QPSK يساوي نصف معدل القناة الثنائية Bit Rate الداخلة أي أن $R_s = R_b/2$ ويمكن استخدام فلتر قبل عملية التعديل في كل القناتين الفردية والزوجية ومن أجل تشكيل نبضات البيانات .

المعادلات العكسية للازاحة الطورية الرباعية (QPSK Demodulator)

عملية الكشف عن إشارة المعلومات المرسله QPSK المستقبلية مبنية في الشكل . في هذا المعدل العكسي كاننا نتعامل مع عكسين لـ BPSK كل منهما له إشارة حاملة مختلفة عن الأخرى بفرق في الطور مقداره 90 بعد ضرب الإشارتين الحاملتين المسترعتيتين مع إشارة QPSK المستقبلية ، يتم مكاملة نتيجتيها واخذ العينتين واخذ العينتين ومقارنتها مع قيمة العينة بعدها تمرر نتيجة المقارنة في كل من هاتين القناتين من خلال محول لجعلها على التوالي وكما تم استخدام تزامن القناة الثنائية Bit Synchronizer في مستقبل BPSK من أجل تحديد بداية ونهاية كل خانة ثنائية يجب استخدامه أيضا في مستقبل QPSK هذا التزامن يلزم لكل من المكمل (Integrator) واخذ العينة (Sampler) على حد سواء .

عملية استرجاع الإشارة الحاملة من الإشارة QPSK المستقبلية تتم بطريقة مشابهة لتلك المستخدمة لاسترجاع الإشارة الحاملة من إشارة BPSK لكن هنا ترفع إشارة QPSK المستقبلية لاس 4 بعدها تمر على فلتر لتمرير حزمة ترددات BPF بتردد مركزي مقداره $4f_c$ ومن ثم يتم تقسيم التردد على 4 طبعاً هنا يلزمنا استرجاع كل من الإشارتين الحاملتين $\cos wct$ و $\sin wct$ هكذا بعد الحصول على إحدى الإشارتين الحاملتين ولتكن $\cos wct$ نستطيع الحصول على إشارة $\sin wct$ بتأخير إشارة $\cos wct$ بمقدار 90 (أي ربع دورة) .

• التعديل والكشف الرقمي الطوري التفاضلي (Differential PSK(DPSK):

يستخدم في أنظمة التعديل الرقمي غالباً الحامل أجل الكشف ويتم استنتاج هذا الحامل من الإشارة المستقبلية ويسمى ذلك الكشف المتزامن Coherent Detection وعلى الرغم من ميزات هذا النوع من الكشف خصوصاً في مجال بساطة الدارات المستخدمة وقلة تعقيدها إلا أن ذلك يؤدي إلى نشوء أخطاء في بعض الأحيان بسبب عدم التزامن، أو عدم الدقة في توليد الحامل في طرف الاستقبال ، لذلك فإن استخدام طرق توليد إشارات ومن بين هذه الطرق طريقة توليد إشارات إقفال رقمي بطريقة DPSK.

عند استخدام DPSK تنتفي الحاجة إلى استخدام الحامل في الكشف أي يصبح استخدام الكشف غير المتزامن Non-coherent Detection ممكناً وبالتالي يمكن أن نعد هذا النوع من التعديل والكشف هو الطريقة الامتزازية لتوليد وكشف PSK.

يتم في هذا النوع توليد سلسلة جديدة من الرموز الثنائية من السلسلة الأصلية وذلك بمقارنة دخل بوابة XNOR بخرجها المؤخر بمقدار زمن بت واحد وهذا ما يسمى الترميز التفاضلي ومن ثم تعديل الحامل الجيبي بهذه السلسلة الرقمية الجديدة بطريقة PSK.

أما عملية استرجاع سلسلة البيانات المرسله من إشارة DPSK المستقبلية ، فتتم من خلال تمرير هذه الإشارة ونسخة عنها مؤخرة بمقدار خانة ثنائية واحدة T_b على معدل متوازن (ضارب) . يمكن استخدام أي طريقة مستخدمة لكشف إشارات PSK من أجل كشف هذا النوع من الإشارات كما يمكن استخدام دائرة مشابهة في بنيتها للدائرة المستخدمة في التعديل .

التعديل والكشف الرقمي (MSK) Minimum Shift Keying :

في الاقفال العادي يتم تردد الاشارة حال حصول تغير في إشارة الأساس من الصفر إلى الواحد بالعكس . وهذا التغير يتم بغض النظر عن انتهاء دور الحامل أي قبل انتهاء الاهتزاز الذي يكون عند حدوث التغير وبالتالي سيكون هناك انقطاعات في الطور عند حدوث كل تغير . إن هذا الانقطاع في الطور يؤدي الى زيادة عرض المجال الترددي المطلوب لإرسال وذلك بسبب التشوة الحاصل .

ونحن نعرف أن عرض المجال هو هنصر مهم جدا يجب استغلاله بشكل جيد ولذلك كان التفكير في طريقة لإلغاء هذه الآثار السلبية لعدم استمرارية الطور . يمكن القضاء على هذه الظاهرة بسهولة وذلك يسمى هذا النوع أيضا الاقفال الترددي ذو الطور المستمر Continuous Phase FSK.

تلخيص الوحدة السادسة

تقنيات التعديل الرقمي المتقدمة

تقنيات التعديل والكشف الرقمي متعدد المستويات :

(الاقفال الرقمي متعدد المستويات) (M-Ary Digital Shift Keying)

عرض حزمة الإرسال المطلوب لإرسال إشارة المعلومات المرمزة يمكن أن ينقص باستخدام الإشارات متعددة المستويات .

وهذا ما سنعممه هنا في حالة التعديل الرقمي للحامل الجيبي نعود فذكر أنه ومع استخدام مرشح تشكيل مثالي فإن معدل نايكويست هة (2bit/sec) وهذا يعني رمزين في كل ثانية لكل عرض حزمة 1Hz وهذا يعني أنه من أجل إرسال إشارة رقمية بمعدل إرسال R bps يلزمنا قناة إرسال بعرض $R/2$ Hz

إذا كانت $M = 2^K$ حيث k عدد الرموز الثنائية الممكن إرسالها برمز واحد باستخدام M -ary فإن معدل نايكوست يكون $2K \text{ (bit/sec)/Hz}$ أي 2 Symbol/sec/Hz .

ويلزمنا في حالات الاقفال الرقمية ضعف عرض حزمة الاساس كحج أدنى كما في حالة ASK, PSK وأكثر من ذلك في حالة FSK .

وكما رأينا في أنظمة حزمة الاساس فإننا نستطيع في أنظمة الاقفال الرقمي تحقيق وفر في عرض الحزمة على حساب الدقة ، أي على حساب نسبة الإشارة إلى الضجيج أو على حساب زيادة استطاعة الإرسال .

بناء على ذلك فإن عرض حزمة الإرسال المطلوبة لإرسال إشارة المعلومات المرزمة ينقص باستخدام الاشارات متعددة المستويات .

هذا ما سننعمه هنا حالة التعديل الرقمي للحامل الجيبي ويمكن تصنيف أنظمة الاقفال متعددة المستويات على الشكل الاتي :

- الإقفال المطاطي متعدد المستويات M -ASK
- الإقفال الطوري متعدد المستويات M -PSK
- الإقفال الترددي متعدد المستويات M -FSK
- الإقفال التعامدي متعدد المستويات M -QAM

التعديل والكشف الرقمي متعدد المستويات M -ASK :

في هذا النوع من الإقفال يتم تعديل الحامل الجيبي وفقا لـ M مستوى كل مستوى منها يمثل رمزا من الرموز متعددة المستويات ففي حالة الإقفال المطاطي الرباعي نستعرض عن تتالي كل خانتين (بتين) برمز واحد يمثل مستوى معيناً وبالتالي يكون لدينا أربعة مستويات جهدية تمثل الحالات $00, 01, 10, 11$ ويتم تعديل الحامل الجيبي وفقا لهذه المستويات فنحصل على حامل جيبي يتغير مطاله بشكل متناسب مع مطال هذه المستويات .

إذا كان زمن كل رمز ثنائي $T \text{ sec}$ فإن معدل إرسال السلسلة الأصلية هو $R=1/T$.

وإذا افترضنا أننا نرسل هذه الرموز بمعدل نايكوست فإن ذلك يتطلب قناة عرض حزمة تمريرها $BW=R/2 \text{ Hz}$ وإذا أرسلنا هذه الإشارة بطريقة $Binary$ فإن عرض الحزمة سيتضاعف.

أما في حالتنا هذه ، والتي نرسل بدل كل رمزين رمزا واحداً فإن زمن الرمز الجديد سيكون $2T$ ، وسيكون معدل الإرسال في هذه الحالة $R=1/2T$ وستنخفض عرض حزمة الإرسال إلى النصف وتسمى هذه الحالة 4 -ASK أي أن $M=4$ وفي حالة العمة M -ary ASK يكون لدينا M مستوى وبالتالي يتغير مطال الحامل الجيبي وفقا لتغير M حالة تمثيل كل منها $n=\log_2 M$ بتاً إن عرض الحزمة اللازم للإرسال ينخفض في كل حالة اللوغارتم لـ M لا تستخدم عادة أنظمة الـ M -ASK ذلك لضعف مناعتها ضد الضجيج ويستخدم بدلا فيها أنظمة الـ M -FSK و M -ASK.

أما كشف هذا النوع من التعديل فيتم بأي طريقة من طرق الكشف المطالي.

بعض خصائص M -ary ASK

- سهل التوليد

- سهل الكشف
 - دقته ومناعته ضد الضجيج منخفضان .
 - عرض حزمته ضيق مقارنة بالانواع الاخرى ، وهذه هي ميزته الأساسية .
 - لا يستعمل في تقنية الاتصالات المعيارية .
- ما عرض حزمة الاساس وعرض الحزمة الازم في حالة 4-ASK من أجل سلسلة معطيات بمعدل 100 Kbps ؟

عرض حزمة الاساس هي : $baseband BW = 100/2 = 50 KHz$
 عرض الحزمة اللازم هو : $Transmit BW = (2*50)/\log_2 4 = 50 KHz$
 ارسم الإشارة 8-ASK من أجل سلسلة المعطيات 100101110001 إذا كان تردد الحامل مساويا لثلاثة أضعاف معدل الإرسال .

استقبال تعديل الإزاحة السعوية متعدد المستويات M-ary Demodulation ASK

الكشف الترابطي Coherent Detection

عملية الكشف عن إشارة المعلومات المرسلّة من إشارة MASK المستقبلية تتم بواسطة معدلات عكسية مترابطة متزامنة Coherent أو غير مترابطة Non-Coherent .
 الفرق بين هذين النوعين من المعدلات العكسية يمكن في وجود أو عدم وجود دائرة لاسترجاع الطور في المستقبل .
 دائرة استرجاع الطور هذه تضمن التزامن في كل من الطور والتردد بين المذبذب المنتج للإشارة الحاملة في المستقبل وذلك المنتج لها في المرسل .
 المعدلات العكسية المترابطة تعطي نتائج أدق ، وبالتالي احتمالية خطأ أقل من المعدلات العكسية غير المترابطة لكن ببساطة المعدلات العكسية غير المترابطة وكونها غير حاسة لطور المعلومة المحتواة في الإشارة المستقبلية ، يجعلها أكثر استعمالاً .

معدل العكسي مترابط للكشف عن إشارة المعلومات من إشارة MASK المستقبلية .

نلاحظ من الشكل أن المعدل العكسي هنا يستخدم المستقبل المترابط بالإضافة الى استخدام دائرة لاسترجاع الإشارة الحاملة Carrier recovery من الإشارة المستقبلية .

استرجاع الإشارة الحاملة من إشارة MASK المستقبلية يمكن أن يتم من خلال فلتر بدائرة مقفلة الطور PLL. هذه تمكنا من الحصول على حزمة مرور ضيقة ، وبالتالي فإن قدرة الضجيج ستكون قليلة . أما استرجاع توقيت الرموز فيمكن تحقيقه بواسطة الفلتر والتقويم الكامل للموجة

Full Wave rectification

التعديل والكشف الرقمي متعدد المستويات M-PSK

تقسم في هذه الحالة سلسلة المعطيات إلى مجموعات من البتات كل مجموعة تحتوي n بت ويتم في هذه الحالة تغيير طور الحامل مع بداية كل مجموعة وفقاً لتتالي البتات ضمن كل مجموعة . تعطى العلاقة العامة لهذا النوع من الاقفال بالشكل الآتي :

حيث : li هي المركبة المتفقة بالطور ، و Qi هي المركبة المتعامدة بالطور و $|li| = |Qi|$

ومن هذه العلاقة يمكن ملاحظة ما يأتي:

- المطال ثابت بشكل دائم وكذلك التردد اللحظي.
- طور الابتدائي يتغير.
- تتشكل إشارة M -PSK من مركبتين : الأولى مركبة جيبية ونسميها المركبة المتفقة بالطور، والثانية جيبية ، وهي المركبة المتعامدة .

بعض الحالات الخاصة الأكثر انتشارا لهذا النوع من الإقفال :

التعديل رباعي الأطوار : 4 -PSK أو QPSK

نقسم سلسلة المعطيات هنا إلى مجموعات كل منها تحتوي $n = \log_2 4 = 2$ بتا، ويتغير طور الحامل من أجل كل مجموعة وبالتالي سيكون لدينا أربعة أطوار مختلفة يمثل كل منها مجموعة .

توليد الإشارة QPSK:

يتم إدخال سلسلة النبضات الرقمية إلى مقسم خانات (Splitter) هو عبارة عن محول تسلسلي / تفرعي $Serial\ to\ Parallel$ تدخل إليه الرمز تسلسليا فيحولها وبشكل متعاقب إلى مجموعات من الرموز التفرعية كل مجموعة عبارة عن بتين يطبق الأول على مدخل المعدل الجدائي الموجود في الفرغ العلوي I فيعدل حاملا جيبيا $\sin wct$ بينما يطبق الثاني على مدخل الفرع السفلي Q فيعدل حاملا تجيبيا $\cos wct$ وتقوم دائرة جمع خطي بجمع خرجي الفرعين العلوي والسفلي لنحصل على الإشارة QPSK. ما عرض حزمة الأساس وعرض الحزمة اللازم في حالة 4 -PSK من أجل سلسلة معطيات بمعدل $100Kbps$ ؟ حدد كفاءة عرض الحزمة .

عرض حزمة الأساس هي : $baseband\ BW = 100 / 2 = 50\ KHz$

عرض الحزمة اللازم هو : $Transmit\ BW = (2 * 50) \log_2 4 = 50\ KHz$

كفاءة عرض الحزمة: $BWE = 100\ Kbps / 50kHz = 2bps/Hz$

التعديل ثماني الأطوار 8-PSK

يتم هنا قدح هذا المولد الجيبي عند مرور ثلاثة رموز ليعطي طورا ابتدائيا جديدا بما يتناسب مع ترتيب تتالي البتات وكما علمنا فإن هناك ثمانية إمكانيات لتغير ترتيب ثلاثة بتات وهناك ثمانية إمكانيات لتغير قيمة الطور الابتدائي . ولهذا نسمي هذا النوع الإقفال ثماني الأطوار . ومن الجدير بالذكر أن معدل الإرسال وبالتالي للـ 8، والعلاقة التي تعطي الإشارة في هذه الحالة شبيهة في الشكل العام بمعادلة QPSK وتختلف عنه بتقييم الأطوار الابتدائية

توليد الإشارات 8-PSK

يبين المخطط الصندوقي في الشكل كيفية توليد الإشارة 8-PSK هنا يتم توزيع الإشارة الرقمية التسلسلية على مدخل المعدل إلى ثلاثة أقسام ويطبق كل قسم منها على فرع من

الفروع الثلاثة التي تضم محولا من مستويين إلى أربعة مستويات (محول رقمي تسلسلي) في الفرعين العلوي والسفلي أما الفرع الوسط فهو فرع بيتات التحكم .

كشف الاشارات 8-PSK

يبين الشكل مخططا صندوقيا لكاشف التعديل 8-PSK وهو يشابه في جزته الأول الكاشف في حالة QPSK فيختلف عنه بوجود المبدل التناظري الرقمي الذي نستخلص من خرجة الرمز C / Q .

التعديل 16-PSK

كما مبين في الشكل فإنه يتم تقسيم سلسلة المعطيات إلى مجموعات كل منها مشكلة من أربعة بتات ويقابل كل منها طور ابتدائي للحامل كما هو مبين على الدائرة القطبية . وبالتالي سيكون هناك 16 إمكانية لتغيير طور الحامل مع تنالي أي سلسلة من المعطيات إن طريقة توليد هذا النوع من التعديل وكشفه مشابهة لما سبق من أنواع التعديل M-PSK

التعديل والكشف الرقمي متعدد المستويات M-QAM

لاحظنا في حالة التعديل M-PSK أن مطال المركبة الجيبية يتغيران بشكل يبقى فبهم طال خرج الإشارة الجيبية الناتجة على خرج الجامع الخطي ثابتا . إن كل الفروق بين الرموز تكمن في اختلاف الطور الابتدائي للحامل . إذا تغيرت مطالات المركبة الجيبية والتحتية بحيث لا يتم التقيد بالشرط السابق حصلنا على إشارة خرج متغيرة المطال ، إضافة إلى كونها متغيرة الطور يسمى التعديل عندها التعديل الطالي الطوري APSK إن الحالة الخاصة العامة M-QAM وفيه تعطى الإشارة بالعلاقة العامة التالية :

الاقفال 16-QAM:

كما في حالة 16-PSK يتم توزيع سلسه نبضات الدخل الثنائي إلى مجموعات متتالية من الرموز يمثل كل منها تنالي أربع بتات والفارق هنا أن الطور والمطال يتغيران معا وليس الطور فقط في حالة 16-PSK تقسم البتات الأربع إلى قنوات مختلفة r, Q, Q, r معدل كل منها ربع معدل سلسلة الدخل بواسطة محول تسلسلي اتفرعي .

يقوم محول 2-2M مستوى بتحويل r, I إلى أربعة مستويات وكذلك Q, Q ويتم هذا وفقا للجدول المبين في الفرعين العلوي والسفلي في المخطط الصندوقي .

التعديل والكشف الرقمي متعدد المستويات M-FSK

يتم في هذا النوع توليد M تردد بما يتوافق مع عدد المستويات كل تردد يوافق تتالي n بت ، حيث $n = \log_2 M$ ويمكن التعبير عنه بالعلاقة العامة على الشكل :

حيث K ثابت يتعلق بحساسية المعدل و $\delta\omega$ هي الانزياح الترددي الأصغري الناتج عن الفرق بين ترددين $K = 1, 2, 3 \dots M/2$

وتطبق جميع العلاقات الخاصة بحساب عرض الحزمة في حالة FSK على حالة M-FSK مع مراعاة أن الانزياح الترددي الاعظمي هو $M\delta\omega = \Delta\omega$

يتم توليد M-FSK بطريقة بسيطة بتطبيق إشارات M-ary على مدخل VCO كما في حالة الثنائي فيتغير تردد بشكل متناسب مع مطال الإشارة M-ary منتجا إشارة m-FSK.

هناك بعض الملاحظات على تعديل M-FSK

- أعقد قليلا من ناحية التوليد
- أعقد من ناحية الكشف
- دقته ومناعته عالية ضد الضجيج عاليان
- عرض النطاق الترددي لها عريض جدا ما تم مقارنة من الأنواع الأخرى
- يستعمل في تقنية الاتصالات وخصوصا الفضائية .