DATA TRANSMISSION

Lecture Notes

Dr. Professor, J.M. Khalifeh

قسم المعلوماتية

الوحدة السادسة

تقنيات وأجهزة التعديل والكشف الرقمي

Digital Modulation and Demodulation Technique

المحاضرة معتمدة على: تراسل المعطيات، جمال محمد خليفة، كتاب جامعي، جامعة القدس المفتوحة 2008

مقدمة:

قمنا في الوحدات السابقة بالتركيز على الإشارات الرقمية وجوهر عملية الرقمنة وكيفية معالجة الإشارات الرقمية بحيث يمكننا إرسالها بشكل فعال في قنوات التراسل هذا إضافة إلى تراسل المعطيات الرقمية في قنوات حزمة الأساس.

إن الإمكانات التي تقدمها هذه القنوات على الرغم من أهميتها صغيرة جداً. ولابد لتوسيع إمكانات تراسل المعطيات من استخدام قنوات تمرير الحزمة والتي تسمح لنا بإرسال المعطيات باستخدام أوساط نقل جديدة كالأثير إضافة إلى أنها تسمح لنا بتوسيع إمكانية قنوات حزمة الأساس عند إرسال المعطيات فيها.

ولابد لنا حين إرسال المعطيات في قنوات حزمة الأساس من معالجة إشارات المعطيات بطريقة تجعل هذه الإشارات متوافقة في خواصها مع الشكل الذي يحقق أكبر قدر من الفعالية. هذه المعالجة هي ما نسميه التعديل الرقمي للحامل الجيبي. أي أننا نقوم بتحميل إشارة المعطيات على حامل جيبي يكون أكثر كفاءة بكثير من إشارات المعطيات للمرور عبر القنوات المعنية. وتسمى هذه العملية أحياناً بعملية تحويل الإشارة الرقمية إلى إشارة تناظرية. ونظراً لأن هذه التسمية قد تخلق التباساً مع المفهوم الذي درسناه سابقاً والذي يقصد به العملية العكسية لعملية الرقمنة، فإننا سنعتمد تسمية التعديل الرقمي للحامل الجيبي، والتي تعطي بنتيجتها إشارة تناظرية.

سنتطرق في هذه الوحدة إلى مفهوم التعديل الرقمي للحامل الجيبي، وأنواع هذا التعديل، والتقنيات المستخدمة في التعديل والكشف، وكيفية زيادة كفاءة استخدام عرض الحزمة وزيادة فعالية التراسل باستخدام طرق في التعديل كالتعديل متعدد المستويات، هذا إضافة إلى التجهيزات المستخدمة في ذلك كأجهزة المواديمات.

أهداف الوحدة:

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

1. تدرك أهمية استخدام التعديل الرقمي للحامل الجيبي في تراسل المعطيات
2. تكون قادراً على فهم واستخدام تقنيات التعديل الرقمي للحامل الجيبي، وفهم التطورات الجديدة في هذا المجال
3. تعرف أهمية التعديل متعدد المستويات والتعديل واستخدام هذه التقنية من أجل الاستخدام الفعال لعرض حزمة القناة المتوفرة
4. تكون قادراً على تصنيف بروتوكولات التعديل الرقمي المستخدمة في تراسل المعطيات
5. تحدد خصائص اجهزة التعديل وكشف التعديل (المواديمات) بشكل عام، بما يساعدك على انتقاء المناسب منها حسب التطبيق المطلوب.

التعديل الرقمي للحامل الجيبي

مفهوم التعديل الرقمي للحامل الجيبي

ربما تعرفتم في مقررات أخرى على طرق التعديل التناظرية AM بأنواعه وطرق التعديل FM ، PM والغاية منها وطرق توليدها وإرسالها وكشفها. وتعرف في هذا المقرر على كيفية إرسال هذه الإشارات باستخدام أنظمة حزمة الأساس Baseband Systems على شكل معلومات رقمية (دون تعديلها أي دون أن نقوم بإزاحة طيفها ليقع في النطاق الترددي للقنوات المستخدمة). وسنقوم في هذا الفصل بدراسة طرق إرسال إشارات المعطيات باستخدام قنوات تمرير الحزمة.

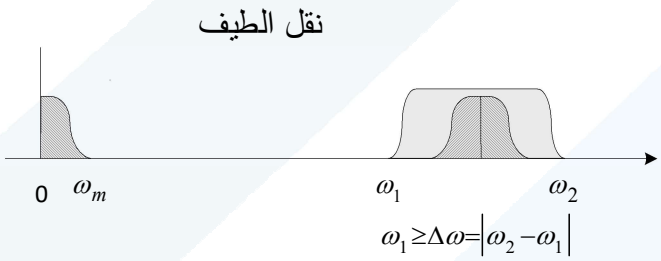
تتصف قناة حزمة التمرير بامتلاكها عرض حزمة محدود بين الترددين (ω_1,ω_2). بحيث يحقق ترددها الأدنى ω_1الشرط :

$$\omega_1 \geq \Delta\omega = |\omega_2 - \omega_1|$$

يتم إرسال الإشارة الرقمية التي هي بالأساس إشارة حزمة أساس، باستخدام عملية النقل الترددي لطيف الإشارة الرقمية بحيث يقع ضمن مجال الحزمة الترددية للقناة كما في الشكل (1) وذلك باستخدام الحامل الجيبي $\varphi_c(t)$ للإشارة الرقمية حيث :

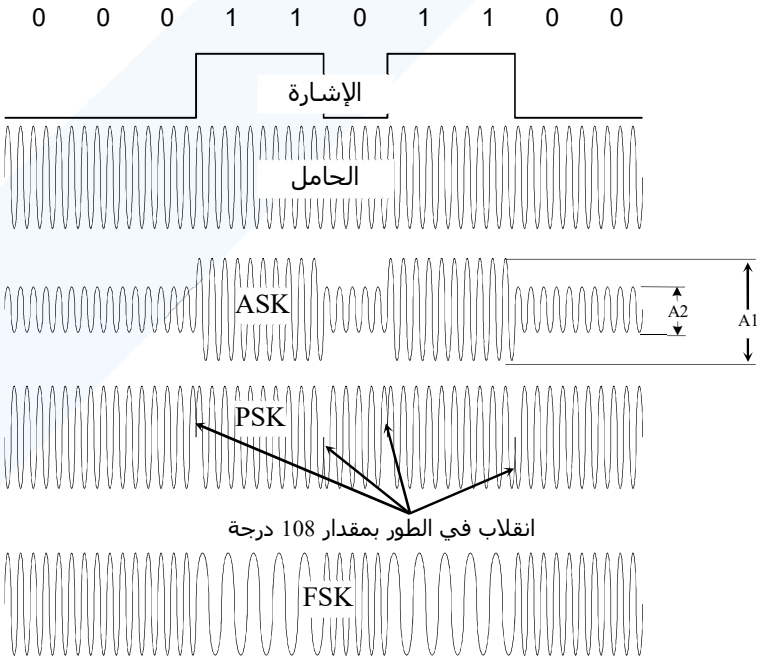
$$\varphi_c(t) = A_c \cos(\omega_c t + \theta)$$

وبشكل مشابه لما هو عليه الحال في أنظمة تعديل الإشارة التناظرية للحامل الجيبي فإن مطال الحامل الجيبي A_c أو تردده ω_c أو طوره θ سيتغير "سيتعدل " وفقاً لمطال الإشارة الرقمية.



شكل (1):التعديل هو إزاحة طيف الإشارة ليقع ضمن مجال تمرير القناة المستخدمة

وبما أن الإشارة التي نعنى بنقل طيفها هي إشارة رقمية أي إشارة مكونة من رموز ثنائية (0 , 1) فإن هذا النوع من التعديل سيقوم بفتح switching أو إقفال Keying مطال الحامل أو تردده أو طوره بين قيمتين بما يتناسب مع إرسال الرمز (0) أو (1) ولهذا سميت هذه الطرق من التعديل بطرق الإقفال. وتبعاً لبارامتر الحامل الجيبي الذي يتغير نميز ثلاثة أنواع من الإقفال كما في الشكل (2)



الشكل (2): نماذج إشارات التعديل الرقمي

1. الإقفال بالإزاحة المطالية ASK Amplitude shift keying

2. الإقفال بالإزاحة الطورية Phase shift keying PSK
3. الإقفال بالإزاحة الترددية Frequency shift keying FSK

تقاس سرعة إرسال المعطيات في أنظمة الإرسال الرقمي كما عرفنا سابقا بمعدل إرسال البيت، وهو عدد البيتات التي يمكننا إرسالها في ثانية واحدة bps.

وفي هذه الحالة فإن كل رمز مرسل يمثل بيتاً واحدة فقط. وبالتالي فإن سرعة إرسال الرموز التي نعبر عنها بالبود baud وهي رمز واحد في الثانية. وفي حالة الإقفال الثنائي فإن سرعة إرسال البيت تساوي سرعة إرسال الرمز أو ماتسمى سرعة baud. وهناك أنواع من الإقفال الرقمي أو المعالجة الرقمية تتيح لنا تضمين أكثر من بيت واحد ضمن الرمز المرسل وهي الأنظمة الرقمية متعددة المستويات. ونرمز لها بإضافة M-ary أو (M-) قبل اسم التعديل. ويدل الحرف M على عدد المستويات، ويعطى بالعلاقة :

$$M = \log_2 n$$

حيث n: هو عدد البيتات التي يمثلها الرمز.

وفي هذه الحالة فإن سرعة إرسال البود أقل بـ n مرة من سرعة إرسال البيت ، وبعبارة أخرى فإنه من أجل نفس سرعة baud فإن سرعة إرسال البيت تزداد بمقدار n مرة.

وسنقوم في الفقرات القادمة بدراسة طرق تعديل وكشف الإشارات وفق هذه الأنواع والأنواع الأخرى المشتقة منها.

أهمية التعديل الرقمي للحامل الجيبي

من الضروري جداً عند ارسال المعلومات إلى مسافات بعيدة استخدام إشارات كهربائية تشع بفعالية حقلاً كهرطيسياً، بمساعدة أجهزة الهوائيات، بحيث تتمكن الامواج الكهرطيسية من الانتشار بشكل جيد بين المرسل والمستقبل .إن هذه الإشارات المطلوبة هي الإشارات ذات التردد العالي، التي تسمى إشارات الحامل، وهي بشكل عام إشارة جيبية

$$\varphi_C(t) = A_C \cos(\omega_C t + \theta)$$

يتم اختيار ترددها بناء على المسافة بين المرسل والمستقبل وعلى ظروف الانتشار (وسط الانتشار)، وعلى مجموعة أخرى من العوامل التقنية والاقتصادية.

ومن الضروري التأكيد على أنه في أي ظرف كان فإن تردد الإشارة الحاملة ω_c يجب أن يكون أكبر بكثير من أعلى تردد موجود في طيف إشارة المعلومات المراد ارسالها والذي سنرمز له بـ ω_m. ويمكن توضيح ماسبق بأنه من أجل امرار الإشارات في الدارات الراديوية دون تشوه، ومن أجل مرورها في وسط الانتشار دون تشوه أو تداخل مع إشارات أخرى، فإن أعلى تردد في طيف إشارة المعلومات يجب أن يكون أصغر بكثير من تردد الإشارة الحاملة وذلك بسبب مجموعة من العوامل نذكر منها امكانية ارسال المعلومات بسرعة أكبر ويمكن توضيح ذلك بالشكل التالي :

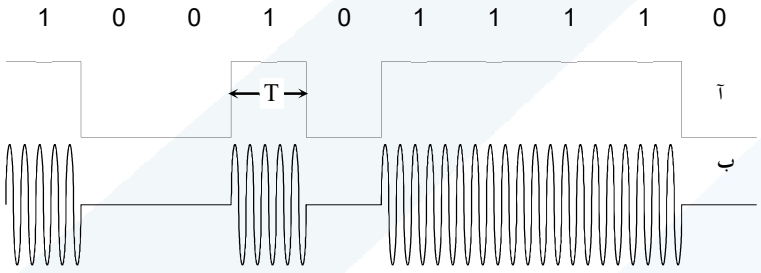
كلما صغرت قيمة النسبة $\omega_{m(\max)} / \omega_{c(\max)}$ كلما استطعنا اعتبار الإشارة المعدلة ضيقة الحزمة، وكلما استطعنا اهمال أثر التشوهات التي تتعرض لها الإشارة أثناء مرورها في الدارات الراديوية.

وبالتالي نستطيع زيادة سرعة الارسال دون أن تؤثر هذه التشوهات بشكل ملحوظ على جودة الارسال. ويمكننا التعبير عن ذلك بشكلٍ آخر بأننا بازدياد التردد الحامل نستطيع ارسال إشارات معلومات ذات عرض طيف ترددي أكبر. ونلاحظ مثلاً أنه لإرسال الإشارة الإذاعية التي يمتد طيفها حتى $f_{max} = 10^4 Hz$ فإن نسبة الترددين المذكورين أعلاه، حتى عند استخدام أطول الأمواج الإذاعية 2000 m أي بتردد حامل $fc = 150kHz$ تكون:

$$\frac{f_{m\max}}{f_{c\min}} = \frac{10^4}{15.10^4} = 0.06$$

أما عند إرسال الإشارة نفسها باستخدام الأمواج القصيرة 15-20MHz فإن قيمة هذه العلاقة تصبح أصغر. من جهة أخرى فإنه لإرسال الصورة التلفزيونية التي لها طيف ترددي يمتد حتى5~6MHz فإن تردد الحامل يجب أن يكون على الأقل 50-60MHz بحيث لا تتعدى النسبة المذكورة 10%.

وهناك سبب آخر هام جدا لجعل التردد الحامل اكبر بكثير من اعلى تردد موجود في طيف إشاره المعلومات وذلك انطلاقا من اننا نقوم بتصميم هوائي الارسال والاستقبال وفقا لتردد معين هو تردد الحامل. ان انزياح تردد الإشارة المرسلة او المستقبلة عن التردد الحامل



الشكل (3): آ- الإشارة الرقمية ب- وإشارة ASK الناتجه عنها

يخلق تشوها للإشارة يتناسب مع مقدار الانزياح عن التردد الحامل.

كما سنرى لاحقاً فإن التعديل يؤدي إلى نشوء مركبات ترددية جديدة أعلى وأخفض من التردد الحامل وبالتالي فإن كل مركبة ستتعرض للتشويه بمقدار بعدها النسبي عن التردد الحامل,وكلما كان هذا البعد النسبي صغيراً كلما كان التشوه أقل. إن هذا البعد النسبي أي التغير في التردد عن التردد الحامل متعلق بشكل مباشر بتردد الإشارة المعدِّلة (إشارة المعلومات) منسوباً إلى تردد الحامل. لذلك كلما كانت هذه النسبة أصغر كلما قل التشوه.

إضافة إلى كل ماسبق فإن التعديل يعطينا إمكانية تجميع أكثر من إشارة واحدة وإرسالها ضمن حزمة ترددية معينة لقناة ما. إذ يمكننا اختيار ترددات حاملة مختلفة بشكل ينضدد أطياف هذه الإشارات بجانب بعضها دون أن يكون هناك تراكب لهذه الأطياف.

ليس هذا كل شئ فهناك ميزة أخرى للإشارات الراديوية ذات الترددات العالية وهي قدرتها على الإنتشار في الأوساط الحرة والمقيدة على حد سواء إلى مسافة أبعد بكثير من إشارات حزمة الأساس. ففي حين تتعرض الإشارة الرقمية على سبيل المثال عبر كبل محوري إلى التخامد الكبير بعد مسافة بين 200 وحت 500 متراً حسب نوع الكابل، فإن إشارة التردد العالي التي تحمل نفس المعطيات تنتقل إلى مسافة أبعد بكثير تصل أحياناً إلى أكثر من 10 أضعاف هذه القيمة.

تقنيات التعديل والكشف الرقمي

التعديل والكشف الرقمي ASK

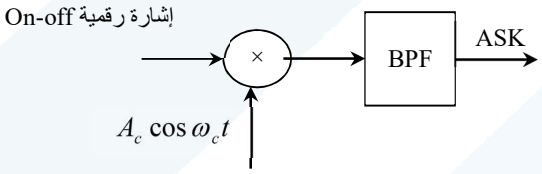
ليكن لدينا الإشارة الرقمية المبينة في الشكل(3). إذا عدّلت هذه الإشارة حاملاً جيبياً تعديلاً مطالياً فإن الإشارة الناتجة ستكون إشارة ASK حيث يقابل (1) المنطقي جزء من إشارة جيبية $A_1 \cos\omega_c t$ ويقابل (0) المنطقي جزء من إشارة جيبية $A_2 \cos\omega_c t$

وغالباً ما تكون A2=0 . يسمى هذا النوع من الإقفال أيضاً on, off Keying (OOK) وسبب التسمية أن مطال الإشارة الناتجة يفتح ويقفل بين قيمتين تتحددان بقيمة الرمزين 0 و 1 .

توليد إشارات ASK

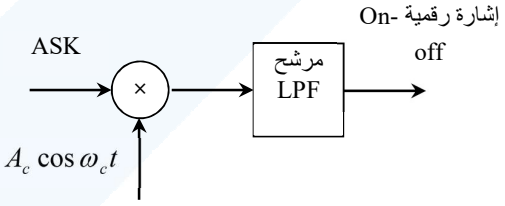
يتم توليد إشارة ASK بشكل بسيط بتطبيق المعلومات الرقمية بشكل إشارات مرمزة (on-0ff) على معدل جدائي. والمعدل الجدائي هو عبارة عن ضارب ونطبق على المدخل الثاني للضارب إشارة الحامل الجيبي كما في الشكل (5) ويكون الناتج عبارة عن إشارة ASK. ويمكن استخدام أي معدل AM من أجل الحصول على إشارات ASK وذلك بتطبق الإشارة الرقمية على مدخل إشارة التردد المنخفض للمعدل.

كشف الإشارات ASK



الشكل(5): معدل ASK

من أجل كشف الأنواع البسيطة من الإقفال مثل ASK نستخدم كاشف متزامن وقد مرّ معنا الكاشف المتزامن حيث نطبق على دخل الكاشف إشارة المعلومات الراديوية " المعدلة "، وعلى دخله الآخر نطبق إشارة جيبية مولدة محلياً لها نفس تردد الحامل، وفي هذه الحالة يكون خرج الضارب عبارة عن إشارتين إحداهما لها نفس طيف إشارة المعطيات الأصلية، أما الثانية فهي إشارة المعلومات معدلة لتردد ω_c



الشكل(6): كاشف ASK

2ω أي ضعف الحامل. يقوم مرشح تمرير التردد المنخفض بتمرير الإشارة المطلوبة فقط دون غيرها.

تدريب (1):

ماهو عرض حزمة الأساس وعرض الحزمة اللازم في حالة ASK من أجل سلسلة معطيات بمعدل 100 kbps؟

تدريب (2):

ارسم الإشارة ASK من أجل سلسلة المعطيات 100101110001 إذا كان تردد الحامل مساوٍ لثلاثة أضعاف معدل الإرسال.

2-3-2 التعديل والكشف الرقمي PSK

في هذا النوع من التعديل فإن مطال الحامل سيبقى ثابتاً والتردد ثابتاً f_c من أجل إرسال الرمز 1 أو الرمز 0، ولكن الطور الابتدائي للحامل يتغير عندما يتغير الرمز من 1 إلى الرمز 0 وبالعكس بمقدار $(180)^\circ$، وهذا مايمكن التعبير عنه رياضياً بالعلاقة:

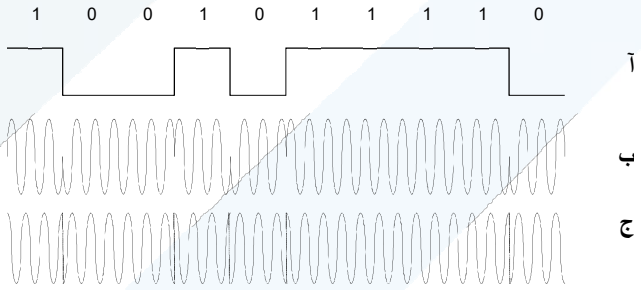
$$f_c(t)=\begin{cases} A_c\cos(2\pi f_c t) & \text{من أجل الرمز 1/} \\ A_c\cos(2\pi f_c t+\pi) & \text{من أجل الرمز 0/} \end{cases}$$

ويمكن كتابة هذه العلاقة بشكل عام على النحو التالي:

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

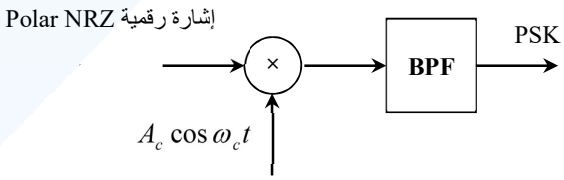
حيث $\varphi(t)=0$ كما في الشكل (7–ج) أو $\varphi(t)=\pi/2$ كما في الشكل (7–ب) عندما يكون الرمز 1 و $\varphi(t)=\pi$ أو $\varphi(t)=3\pi/2$ عندما يكون الرمز 0.

يمكن الملاحظة بسهولة أن هذا النوع من التعديل مشابه للتعديل ASK وذلك إذا استخدمنا الإشارات المستقطبة (NRZ) أي 1 يمثل + p (t) و 0 يمثل - p (t)، وفي هذه الحالة فإن انتقال المطال من القيمة الموجبة إلى السالبة أو العكس عند تغير الرمز من 1 إلى 0 سيؤدي إلى انعكاس الطور المذكور والذي يدل على وجود إشارة PSK .



الشكل (7): آ– الإشارة الرقمية ب،ج– وإشارة PSK الناتجه عنها

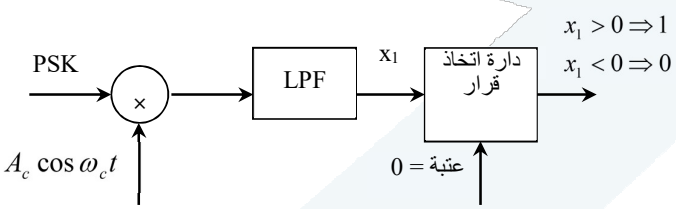
ولذلك فإن عرض حزمته مساوٍ لعرض الحزمة في حالة (ASK). **توليد وكشف الإشارات PSK**



الشكل(8): معدل PSK

يكون توليد PSK بشكل مشابه تماماً لمعدّل ASK مع فرق وحيد هو أن المعلومات الرقمية تطبق على مشكل نبضات مستقطبة أي يمثل (1) بـ P(t) + و (0) بـ – P(t) . إن الناتج هو عبارة عن إشارة معدّلة مطالياً بحزمتين جانبيتين مع كبت الحامل Double Side Band Suppressed Carrier (DSB-SC). يمثل الشكل (7–ب) إشارة PSK لاحظ الانقلاب في الطور عندما تغير إشارة المعلومات قطبيتها من الموجب إلى السالب والعكس وهذا معروف بالنسبة للتعديل DSB-SC.

أما كشف الإشارات PSK فيتم باستخدام دارة مشبهة لكاشف ASK، والاختلاف بين كشف PSK وASK يكمن في اختيار عتبة المقارنة كما في الشكل (9). حيث لدينا مستووي جهد أحدهما موجب يمثل الرمز 1 والآخر سالب يمثل الرمز 0. وبالتالي فإننا لتحديد إشارة خرج هل هي 1 أو 0 نقوم باختيار جهد العتبة مساوٍ للصفر، فإن كان خرج المرشح أكبر من الصفر كان الرمز المستقبل 1 وإن كان أصغر



الشكل(9): كاشف PSK

كان الرمز 0.

تدريب (3):

ماهو عرض حزمة الأساس وعرض الحزمة اللازم في حالة PSK من أجل سلسلة معطيات بمعدل 100 kbps؟حدد مردود (فعالية) القناة في هذه الحالة.

تدريب (4):

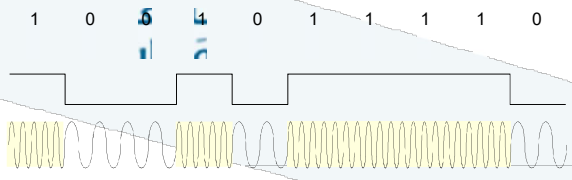
ارسم الإشارة PSK من أجل سلسلة المعطيات 100101110001 إذا كان تردد الحامل مساوٍ لثلاثة أضعاف معدل الإرسال والطور الابتدائي من أجل 1 هو 0 ومن أجل 0 هو 180^0.

3-3-2 التعديل والكشف الرقمي FSK

بينما نستخدم في حالة الإقفال الترددي FSK فإننا تردداً معيناً f_1 لإرسال الرمز (1) منطقي ، بينما نستخدم تردداً آخر f_2 لإرسال الرمز (0) منطقي. سنعتبر أن الإشارة المتبعة في الترميز أيضاً على شكل نبضات مستطيلة وذلك من أجل السهولة دون أن يؤثر ذلك على عمومية الاستنتاجات. وبالتالي فإن الحامل يمكن أن يأخذ إحدى القيمتين

$$\left.\begin{aligned} f_c(t)=A_c\cos\omega_1 t \\ f_c(t)=A_c\cos\omega_2 t \end{aligned}\right\} -\frac{T}{2}\le t\le\frac{T}{2}$$

حيث يكون تردد الحامل ω_1 عندما يكون الرمز /1/ و ω_2 عندما يكون الرمز /0/ كما في الشكل (10) .



الشكل (10): آ- الإشارة الرقمية ب- إشارة FSK الناتجه عنها

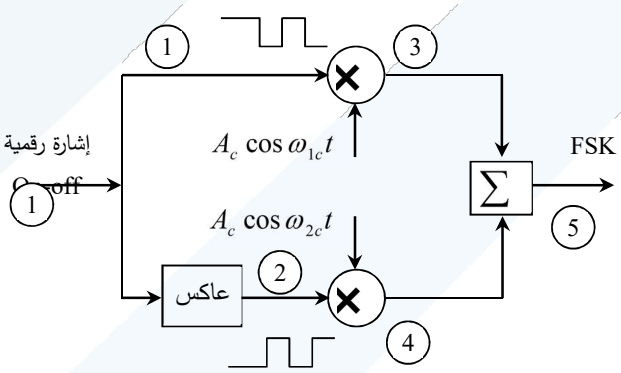
ننتقي بشكل عام $f_1 \;\&\; f_2 >> \frac{1}{T}$.

كما يكون $f_2 = f_c + \Delta f$ و $f_1 = f_c - \Delta f$ وبالتالي فإن الفرق الترددي بين الترددين الذين يمثلان الرمزين 0،1 $f_2 - f_1 = 2\,\Delta f\,[HZ]$ وتكون العلاقة التي تعبر عن الإشارة الرقمية المعدلة:

$$(*)\; f(t) = A_c os(\omega_c \mp \Delta\omega)t \quad , \quad -\frac{T}{2} \le t \le \frac{T}{2}$$

توليد وكشف FSK

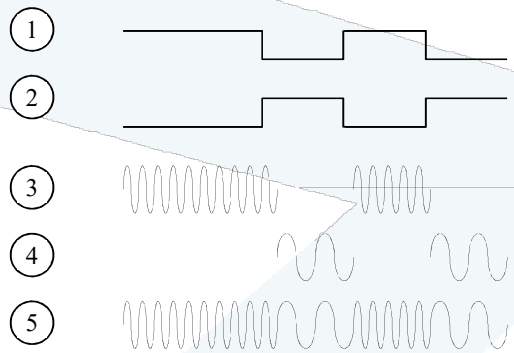
يتم توليد إشارات FSK بتطبيق الإشارات الرقمية على مشكل إشارات مستقطبة ومن ثم على مدخل معدل ترددي وعلى المدخل الآخر



الشكل(11): معدل FSK

يطبق الحامل الجيبي وبالتالي فإن تردد الخرج سوف ينتقل بشكل قفزة عند تغيير قطبية الإشارة. ويكون تغير التردد بمقدار 2Δf.

كما يمكن استخدام معدلين جدائيين كما في الشكل (11). يتم تطبيق الإشارة الرقمية على شكل سلسلة نبضات on-off على المدخل الكلي لدارة المعدل فتمر كما هي عبر الفرع العلوي، بينما تنعكس قبل مرورها في الفرع السفلي. أي أن الواحدات تطبق بمطال موجب p(t)

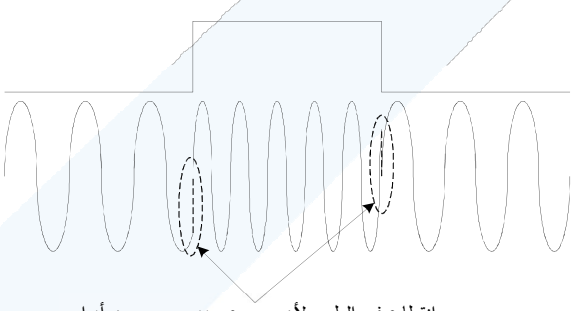


الشكل(12): أشكال الإشارات على خرج مراحل معدل FSK

على الفرع العلوي والأصفار بمطالات صفرية. بينما تنعكس الإشارات في الفرع السفلي ليتطبق الأصفار بجهود موجبة p(t) والواحدات بجهود ذات مستوى صفري. ويكون الناتج إشارة يتغير ترددها بتغير حسب كون الرمز واحداً أو صفراً.

التعديل والكشف الرقمي Minimum Shift Keying (MSK)

في الإقفال العادي يتم تغيير تردد الإشارة حال حصول تغير في إشارة الأساس من الصفر إلى الواحد أو 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 كما في الشكل.



انقطاع في الطور لأن مجموع عدد صحيح من أدوار

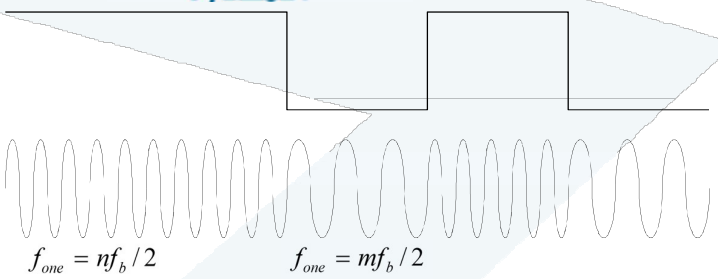
الحامل لاتطابق زمن البيت

الشكل (18): الانقطاع في الطور في الـ FSK

إن هذا الانقطاع في الطور يؤدي إلى زيادة عرض المجال الترددي المطلوب لإرسال الإشارة. وذلك بسبب التشوه الحاصل. ونحن نعرف أن عرض المجال هو عنصر هام جداً يجب استغلاله بشكل جيد، ولذلك كان التفكير في طريقة لإلغاء هذه الآثار السلبية لعدم استمرارية الطور.

يمكن القضاء على هذه الظاهرة بسهولة وذلك باختيار تردد الرمز صفر وتردد الرمز واحد لتكون مضاعفات صحيحة من نصف معدل إرسال البيت f_b.

$$f_{one} = \frac{nf_b}{2}, \qquad f_{zero} = \frac{mf_b}{2}$$



الشكل (19): شكل إشارات الـ CPFSK

ولذلك يسمى هذا النوع أيضاً الإقفال الترددي ذو الطور المستمر Continuous Phase FSK (CPFSK).

أسئلة التقويم الذاتي:

1. لماذا نستخدم تقنيات التعديل ارقمي للحامل الجيبي؟
2. أيهما أقدر على الانتشار في القنوات التناظرية، إشارة حزمة الأساس أم إشارة حزمة التمرير؟
3. ماهو دور الهوائيات في نظام التراسل؟
4. قارن بين ASK و PSK وFSK من حيث عرض الحزمة اللازم وسهولة التوليد والكشف؟
5. لماذا نلجأ إلى DPSK؟
6. لماذا نستخدم FSK؟
7. ماذا يعني الكشف المتزامن والكشف غير المتزامن؟
8. ما هو دور الضارب في كل من دارات التعديل ودارات الكشف؟
9. ما هو دور مرشح تمرير الحزمة في دارات التعديل؟
10. ما هو دور مرشح تمرير التردد المنخفض في دارات الكشف؟
11. ما أهمية عنصر المقارنة في دارات الكشف؟

تقنيات التعديل والكشف الرقمي متعدد المستويات

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

ناقشنا حتى الآن الأنواع البسيطة من أشكال التعديل الرقمي للحامل الجيبي (FSK , PSK , OOK) وقد نوهنا في محاضرة سابقة أثناء دراسة M-ary أن عرض حزمة الإرسال المطلوبة لإرسال إشارة المعلومات المرمزة يمكن أن ينقص باستخدامات الإشارات متعددة المستويات . وهذا ما سنعممه هنا في حالة التعديل الرقمي للحامل الجيبي ، نعود فنذكّر أنه ومع استخدام مرشح تشكيل مثالي فإن معدل نايكوست هو (2 bit / sec) أي رمزين في كل ثانية لكل عرض حزمه 1 HZ ، 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(bit / sec) / HZ أي (2Simpol/1sec.)/Hz

ويلزمنا في حالات الإقفال الرقمية فيلزمنا ضعف عرض حزمة الأساس كحد أدنى كما في حالة ASK وPSK وأكثر من ذلك بكثير في حالة FSK

وكما رأينا في أنظمة حزمة الأساس فإننا نستطيع في أنظمة الإقفال الرقمي تحقيق وفر في عرض الحزمة على حساب الدقة أي على حساب نسبة الإشارة إلى الضجيج، أو على حساب زيادة استطاعة الإرسال. وهذا الوفر في عرض الحزمة يتناسب مع $\log_2 M$.

إذاً :إن عرض حزمة الإرسال المطلوبة لإرسال إشارة المعلومات المرمزة ينقص باستخدام الإشارات متعددة المستويات . وهذا ما سنعممه هنا في حالة التعديل الرقمي للحامل الجيبي . ويمكن تصنيف أنظمة الإقفال متعدد المستويات على الشكل التالي:

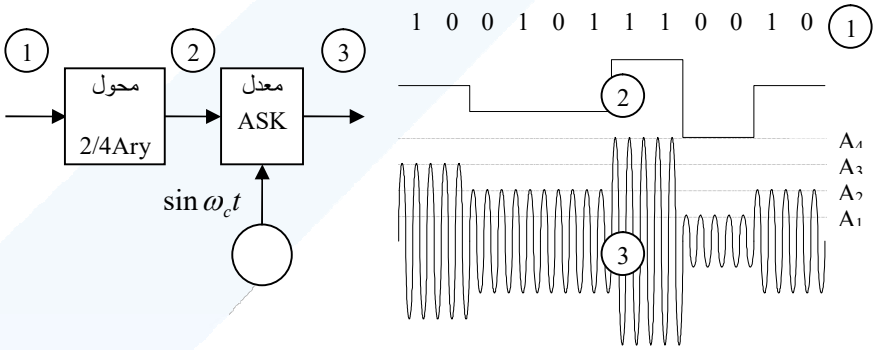
- الإقفال المطالي متعدد المستويات M–ASK
- الإقفال الطوري متعدد المستويات M–PSK
- الإقفال الترددي متعدد المستويات M–FSK
- الإقفال التعامدي متعدد المستويات M–QAM

سنقوم في هذه المحاضرات بشرح أنظمة الإقفال المتعددة المستويات مثل الإقفال الطوري الرباعي والثماني و M- PSK وكذلك الإقفال المطالي المتعدد المستويات (M- ASK) وكذلك الأنظمة المركبة من هذه الأنظمة معاً (M - PSK / M - ASK) وتستخدم الأنظمة المذكورة أعلاه في الأنظمة الهاتفية والميكروية وتبادل المعطيات عبر الأقمار الصناعية .

أما أنظمة الإقفال الترددي متعدد المستويات (M - FSK) وبسبب عرض حزمتها الكبير مقارنة مع أنظمة (M - ASK , M - PSK) فإنها تستخدم في أنظمة الاتصالات الفضائية " لإمكانية استخدام الفارق الكبير بين الترددات الحاملة " ، إن التركيز على استخدام هذه الأنظمة (M - FSK) ينشأ من تمتع هذا النوع من التعديل بحصانة ضد الضجيج .

التعديل والكشف الرقمي متعدد المستويات M-ASK

في هذا النوع من الإقفال يتم تعديل الحامل الجيبي وفقاً لـ M مستوى، كل مستوى منها يمثل رمزاً من الرموز متعددة المستويات، ففي



الشكل (20):الإقفال 4-ASK

حالة الإقفال المطالي الرباعي نستعيض عن تتالي كل خانتين ثنائيتين (بيتين) برمز واحد يمثل مستوى معين وبالتالي يكون لدينا أربعة مستويات جهدية تمثل الحالات 00,01,10,11 ويتم تعديل الحامل الجيبي وفقاً لهذه المستويات فنحصل على حامل جيبي يتغير مطاله بشكل متناسب مع مطال هذه المستويات كما في الشكل (20).

إذا كان زمن كل رمز ثنائي T sec، فإن معدل إرسال السلسلة الأصلية هو (b/sec) R=1/T. وإذا افترضنا أننا نرسل هذه الرموز بمعدل مساوٍ لمعدل نايكويست فإن ذلك يتطلب قناة عرض حزمة تمريرها B.W =1/2R Hz وإذا أرسلنا هذه الإشارة بطريقة B-ASK فإن عرض الحزمة سيتضاعف. أما في حالتنا هذه والتي نرسل بدل كل رمزين رمزاً واحداً فإن زمن الرمز الجديد سيكون 2T ، وسيكون معدل

الإرسال في هذه الحالة R=1/2T، وسينخفض عرض حزمة الإرسال إلى النصف وتسمى هذه الحالة 4-ASK أي أن M=4. وفي الحالة العامة M-ary ASK يكون لدينا M مستوى وبالتالي يتغير مطال الحامل الجيبي وفقاً لتغير M حالة تمثل كل منها $n = \log_2 M$ بيتاً.

فلو استبدلنا كل ثلاثة رموز برمز واحد له زمن 3T فسنميز بين ثمانية مطالات مختلفة للحامل الجيبي المعدل في هذه الحالة، وهذا يسمى 8-ASK (M=8)، و سينخفض معدل الإرسال سينخفض إلى الثلث وسينخفض أيضاً عرض حزمة الإرسال اللازمة إلى الثلث ضمن نفس الشروط. وبنفس الطريقة هناك التعديل 16 - ASK (M=16) وسينخفض معدل الإرسال إلى الربع.

- إن عرض الحزمة اللازمة للإرسال ينخفض في كل حالة بمقدار اللوغاريتم الثنائي لـ M.
- لا تستخدم عادة أنظمة الـ M–ASK وذلك لضعف مناعتها ضد الضجيج، وتستخدم بدلاً منه أنظمة الـ M–PSK و M–FSK
- أما كشف هذا النوع من التعديل فيتم بأي طريقة من طرق الكشف المطالي.

بعض خصائص M-ary ASK

- سهل التوليد
- سهل الكشف
- دقته منخفضه ومناعته ضد الضجيج أيضاً
- عرض حزمته ضيق مقارنة مع الأنواع الأخرى وهذه هي ميزته الأساسية
- لا يستعمل في تقنية الإتصالات المعيارية

تدريب (5):

ما هو عرض حزمة الأساس وعرض الحزمة اللازم في حالة 4-ASK من أجل سلسلة معطيات بمعدل 100 kbps؟

تدريب (6):

ارسم الإشارة 8-ASK من أجل سلسلة المعطيات 100101110001 إذا كان تردد الحامل مساوٍ لثلاثة أضعاف معدل الإرسال.

3-2 التعديل والكشف الرقمي متعدد المستويات M-PSK

يتم في هذه الحالة تقسيم سلسلة المعطيات إلى مجموعات من البيتات كل مجموعة تحوي n بيت، ويتم في هذه الحالة تغيير طور الحامل مع بداية كل مجموعة وفقاً لتتالي البيتات ضمن كل مجموعة. تعطى العلاقة العامة لهذا النوع من الإقفال بالشكل التالي:

$$\varphi_{M-PSK}(t) = I_i \sin \omega_c t + Q_i \cos \omega_c t$$
$$= A_c \sin \omega_c t + \theta_i$$
$$A_c = \sqrt{I_i^2 + Q_i^2}\ ; \theta_i = \tan^{-1}\frac{I_i}{Q_i}\ ; i = 1,2,...M$$

حيث: $|I_i| = |Q_i|$

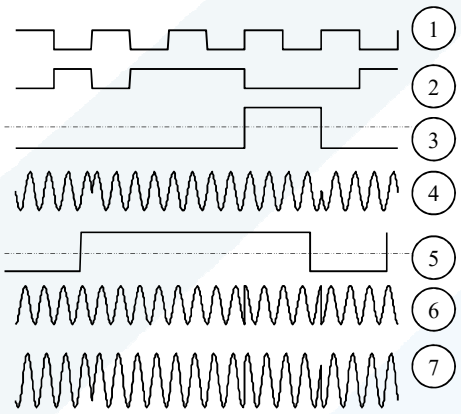
ومن هذه العلاقة يمكن ملاحظة ما يلي:

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

وتنطبق هذه الملاحظات العامة على كل أنواع الإقفال الطوري متعدد المستويات وسنقوم بدراسة بعض الحالات الخاصة الأكثر انتشاراً لهذا النوع من الإقفال ويمكن للطالب تعميم الدراسة بعد ذلك بمفرده.

التعديل رباعي الأطوار: 4-PSK

هنا يتم تقسيم سلسلة المعطيات إلى مجموعات كل منها تحوي $n = \log_2 4 = 2$ بيتاً، ويتغير طور الحامل من أجل كل مجموعة،



الشكل (24): المخططات الزمنية لمعدل 4-PSK

وبالتالي سيكون لدينا أربعة أطوار مختلفة يمثل كل منهامجموعة. ويبين الشكل (21) التوزع الفراغي لمجموعات الرموز المحتملة ونلاحظ وجود نموذجين.

نلجأ عادة في تمثيل الاقفال الطوري إلى التمثيل الفراغي أو القطبي، حيث نقوم بالإشارة إلى كل مجموعة رموز بنقطة أو شعاع قطبي، كما هو واضح في الشكل السابق. كما يمكن أن نمثل الإقفال الطوري بجدول يبين مطال الحامل المثل لكل مجموعة والطور المقابل لهكما في الشكل (22).

حيث يبين هذا الشكل التمثيل القطبي في حالة التوزيع الفراغي المربع وكذلك جدول الحقيقة للمعدل في هذه الحالة التي تسمى أيضاً الإقفال الطوري المربع Quaternary PSK أو Quadrature PSK. وينتج كل توزع بحسب المعدل المستخدم حيث يمكننا تصميم المعدل أساساً ليعطي التوزع الفراغي الذي نريده

يمكننا تمثيل الحالة الدائرية بالعلاقة:

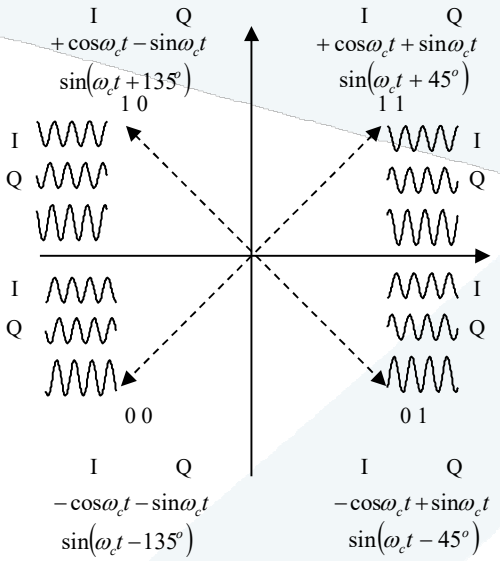
$$S_i(t)=Cos(\omega_c t+\theta_i) \quad ; \; i=1,2,3,4 \qquad -T/2\le t\le +T/2 \tag{1}$$

إن الطور الابتدائي في هذه الحالة هو :

$$\theta_i=0,+\frac{\pi}{2},\pi,-\frac{\pi}{2} \tag{2}$$

أما الحالة المربعة فتمثلها العلاقة :

$$\theta_i=\mp\frac{\pi}{4},\mp\frac{3\pi}{4} \tag{3}$$



الطور المقابل	الدخل الثنائي	
	I	Q
-135^o	0	0

جدول الحقيقة للمعدل 4-PSK

الشكل (22):التمثيل القطبي للتعديل 4-PSK

وفي كلتا الحالتين نلاحظ أن فرق الطور بين رمزين هو $\pi/2\,rad$

لاحظ أن الطور الابتدائي للإشارة يتغير بشكل قفزي عند بداية كل تشكيلة رموز مكونة من رمزين

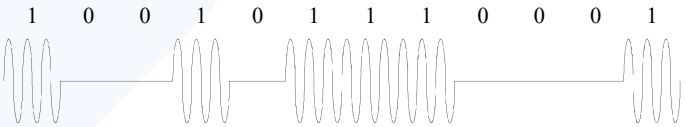
في كل لحظة زمنية مساوية لـ $T=2/R$ فإن كل من b_I تعدل حاملاً جيبياً $Sin\omega_c t$ و a_I تعدل حاملاً تجيبياً $Cos\omega_c t$

7- إجابات التدريبات

تدريب (1):

$$baseband\ BW = 100/2 = 50kHz$$
$$TransmitBW = 2.50 = 100\,kHz$$

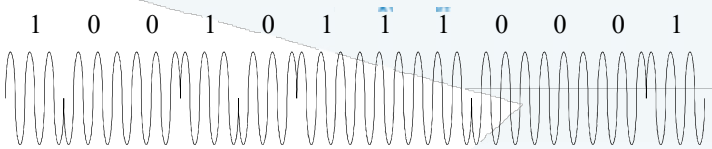
تدريب (2):



تدريب (3):

$$baseband\ BW = 100/2 = 50kHz$$
$$TransmitBW = 2.50 = 100\,kHz$$
$$BWE = 100kbps/100kHz = 1bps/Hz$$

تدريب (4):



تدريب (5):

$$baseband\ BW = 100/2 = 50kHz$$
$$TransmitBW = (2.50)/\log_2 4 = 50\,kHz$$

تدريب (6):