التوصية ITU-R F.763-5*

إرسال المعطيات بدارات HF تستعمل الإبراق بزحزحة الطور أو بتشكيل اتساع تربيعي

(المسألة ITU-R 145/9)

(2005-1999-1997-1995-1994-1992)

مجال التطبيق

تيسر هذه التوصية أنظمة إرسال المعطيات التي تستعمل الإبراق بزحزحة الطور (PSK) وبتشكيل اتساع تربيعي على قنوات ديكامترية HF. ترد معلومات في الملحق 6 لمعدلات المعطيات من 200 3 إلى 800 12 bit/s.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن هناك طلباً متزايداً على إرسال المعطيات بمعدل مرتفع؛

ب) أنه يمكن استعمال نمطين من مودمات الإبراق بزحزحة الطور لتلبية هذه الحاجة، وخاصة مودمات الإرسال المتوازي التي تستعمل الإبراق بالترددات الصوتية متعدد القنوات ومودمات الإرسال المتوالي التي تستعمل موجة حاملة فرعية وحيدة؛

ج) أنه يمكن تعويض الآثار السلبية لوسيط الإرسال، بالاستعانة بالتقنيات التالية فيما يخص النمطين من المودمات:

- أساليب مختلفة للتشغيل بالتنوع المزدوج بما في ذلك البث بالنطاق الجانبي الوحيد (SSB) المنفصل أو البث بالنطاق الجانبي المستقل (ISB)؛
- اقتران الكشف عن الخطأ وتشفير تصحيح الأخطاء مع تشذير الوقت؛
- معدل معطيات متغير من أجل تكييف النظام مع سعة القناة؛

وبالنسبة لمودمات الإرسال المتوازي فقط:

- استعمال مستويات مختلفة لتنوع الترددات في النطاق؛
- إدخال وقت الحراسة بين الأرتال لتعويض الانتشار بمسيرات متعددة وتشوه وقت تأخر الزمرة،

توصي

1 بتفضيل استعمال النظام الوارد وصفه في الملحق 1 لإرسال المعطيات بمعدلات اثنينية تصل إلى 400 2 bit/s باستعمال أنظمة تعدد الإرسال بتقسيم التردد (FDM) وأنظمة الإبراق بزحزحة الطور (PSK)؛

2 باستعمال النظام الوارد في الملحق 2 عند إرسال المعطيات بمعدلات اثنينية تصل إلى 600 3 bit/s باستعمال مودمات الإرسال على التوالي؛

3 بضرورة الرجوع إلى الملحق 3 للحصول على معلومات إضافية تتعلق بالإبراق بزحزحة الطور المعمم؛

---

* ينبغي أن تُرفع هذه التوصية إلى عناية لجنة الدراسات 8 للاتصالات الراديوية.

4 بالرجوع إلى الملحق 4 الذي يصف أنظمة تنوعية الأسلوب/الاستقطاب لتحسين أداء الأنظمة HF PSK؛

5 باستعمال النظام الوارد في الملحق 5 لإرسال المعطيات بمعدلات اثنينية تصل إلى 4 800 bit/s باستعمال مودمات الإرسال بالتسلسل؛

6 باستعمال خصائص النظام المفضل الوارد في الملحق 6 لإرسال المعطيات بمعدلات اثنينية تتراوح من 3 200 إلى 12 800 bit/s بواسطة مودمات الإرسال بالتسلسل.

الملحق 1

إرسال المعطيات بمعدل 400 2/200 1/600/300/150/75 bit/s على دارات HF تستعمل الإبراق بالتردد الصوتي متعدد القنوات والإبراق بزحزحة الطور PSK

1 وصف النظام

1.1 يتكون مطراف استقبال/إرسال النظام مما يلي:

- مرسل ومستقبل معلومات رقمية (مثل الحاسوب)؛
- مودم تكون وظيفته الأساسية تحويل المعلومات الرقمية إلى معلومات تماثلية بشكل يلائم دخل مرسل راديوي، وتحويل المعلومات التماثلية عند خرج مستقبل راديوي إلى معلومات رقمية تلائم دخل المستقبل الرقمي.

  ويؤدي أيضاً هذا المودم وظائف تشفير مختلفة ويجري خلط التنوع؛
- تجهيز للإرسال والاستقبال RF موصل بهوائيات.

2.1 على جانب الإرسال، يبث تدفق المعطيات الواردة بمعدل 2 400 bit/s بمحوال من التوالي إلى التوازي. وبفواصل 32 بتة (أي كل 13,33 ms) يرسل محتوى هذا المحوال بالتوازي إلى جهاز بذاكرة يكون خرجه موصلاً بمشكل QPSK.

يولد المودم في الإرسال إشارة سمعية مركبة تتألف من 18 نغمة في النطاق 300-3 000 Hz.

ويكون تباعد 16 نغمة من هذه النغمات 110 Hz (935 إلى 2 585 Hz) وتشكل بأسلوب DE-QPSK (التشكيل بتربيع الطور بتشفير تفاضلي) ولكل منها 75 Bd مما يسمح بمعدل ثنائي يبلغ $16 \times 75 \times 2 = 2\,400$ bit/s.

وتستعمل النغمة عند 605 Hz لتصحيح أخطاء التردد من طرف إلى طرف بما في ذلك تأثير دوبلر. وتستعمل النغمة عند 2 915 Hz (أو 825 Hz) لمزامنة النظام.

ويمكن لمخلط التنوع المزدوج أن يقبل إشارات دخل إما من مستقبلين يكون تشغيلهما بتنوع مكاني أو ترددي أو استقطابي وإما من مستقبل واحد يشغل بأسلوب ISB.

وعندما يكون معدل البتات مضاعفاً فرعياً لسرعة الإرسال، يمكن تطبيق ترتيبات مختلفة للتنوع بالنطاق. وكمثال، يحقق معدل المعطيات 1 200 bit/s تنوعاً مزدوجاً (2 × 1 200) ويحقق معدل المعطيات 600 bit/s تنوعاً رباعياً (4 × 600) وهكذا، وجميعها بسرعة إرسال 2 400 bit/s. وهكذا يمكن استعمال أقصى قدر من التنوع داخل النطاق، وفيما بين قنوات مستقلة وفقاً لمعدل المعطيات المختار. ويمكن تطبيق المعدلات 1 200/600/300/150/75 bit/s.

وإلى جانب اختيار التشغيل بتشفير أو بلا تشفير معدل المعطيات المتغير وأسلوب التنوع، يمكن بهذا المودم أيضاً اختيار فواصل التشذير مما يسمح باستعمال نظام اتصالات مرن كما يرد تلخيصه في الجدول 1.

وتتكون إشارة الإرسال من أرتال مدتها 13,33 ms. وتتضمن هذه المدة وقت حارس (4,2 ms) لتعويض آثار الانتشار بمسيرات متعددة.

ويستعمل المودم تقنيتين للحد من انحطاط الإشارة خاصة بسبب الضوضاء النبضية والخبو المنتظم:

- شفرة تصحيح الخطأ؛
- تشذير الوقت.

يستعمل نمط من شفرات الفدر الدورية BCH (16,8). وتخزن كلمات شفرة BCH في ذاكرة بحيث يمكن استخلاصها أثناء عملية التشذير. ويتم التشذير بمراعاة العناصر التالية:

- أول بتة لآخر كلمة تم تخزينها،
- ثاني بتة "للكلمة (m) التي سبق تخزينها"،
- ثالث بتة "للكلمة (2 m) التي سبق تخزينها"،
- البتة السادسة عشرة "للكلمة (15 m) التي سبق تخزينها".

الجدول 1

أساليب/معدلات المعطيات (التي يمكن أن تختار بصورة مستقلة للإرسال والاستقبال)

معدل المعطيات (bit/s)	أساليب بفك التشفير			أساليب بالتشفير		
	أساليب بالتنوع			تشذير الوقت تمديد الوقت المتيسر	أساليب بتنوع إضافي	
	في النطاق	قناة	مجموع	(المرسل والمستقبل) (s)	في النطاق	قناة	مجموع
2 400	–	2 ×	2 ×				
1 200	2 ×	2 ×	4 ×	12,8-0	–	2 ×	2 ×
600	4 ×	2 ×	8 ×	25,6-0	2 ×	2 ×	4 ×
300	8 ×	2 ×	16 ×	51,2-0	4 ×	2 ×	8 ×
150	16 ×	2 ×	32 ×	102,5-0	8 ×	2 ×	16 ×
75				205-0	16 ×	2 ×	32 ×

ويمكن اختيار سوية التشذير (كلمات الشفرة m) حسب ظروف الانتشار للمسير الراديوي بين 0 (لا تشذير) و1 و2 و4 و8 و16 و32 أو 64 بما يتفق مع مدة لاستقبال المعطيات تتراوح بين عدة مليثوان وعشرات الثواني. وبما أن البتات الخاطئة لا تنتمي إلى نفس الكلمة المشفرة، تحقق حماية أفضل من رزم الأخطاء.

ويرد في الشكل 1 أداء المودم في وجود ضوضاء غوسي موزعة أي احتمال الخطأ في البتات (P_e) كدالة لنسبة الإشارة إلى الضوضاء *S/N* في كل من أسلوبي التشفير أو لا تشفير في عرض نطاق يتراوح بين 250 و3 000 Hz.

ويصبح تأثير التشفير أكبر عند ارتفاع قيم نسبة الإشارة إلى الضوضاء *S/N*.

وتم التوصل إلى المنحنيات بإعداد تجربة اختبارية حيث تم تغذية المودم بنمط اختباري لإنتاج نغمات التردد الصوتي. وأضيف خرج المودم إلى الضوضاء الغوسي وتم رشحه وتطبيقه عند دخل استقبال مودم آخر استخلص من خرجه نمط الاختبار. وتم بعد ذلك تغذية محلل أخطاء المعطيات بنمط الاختبار حتى يمكن تحديد نسبة أخطاء البتات.

ويبين الشكل 2 نتائج محاكاة حاسوبية لأداء المودم في قناة بخبو.

تم محاكاة قناة بخبو حيث تم بمسيران بنفس الاتساع إرسال إشارات منفصلة بمدة انتشار بمسيرات متعددة 1 ms باختلاف التردد 1 Hz بغرض الحصول على خبو بالنطاق العابر كله لا يتوقف عند ترددات ثابتة.

ويتضح من الشكل 2 أن الأداء يتحسن باستعمال خليط من الأنماط المختلفة لتقنيات التنوع (داخل النطاق وخارجه) وتشفير تصحيح الأخطاء والتشذير لمعدلات 600 و1 200 و2 400 bit/s.

ويستعمل المودم حالياً على أساس تجريبـــي في وصلات الموجات الديكامترية بين محطتي راديو بوسط إيطاليا وجنوبها على مسافة حوالي 800 km (500 ميل).

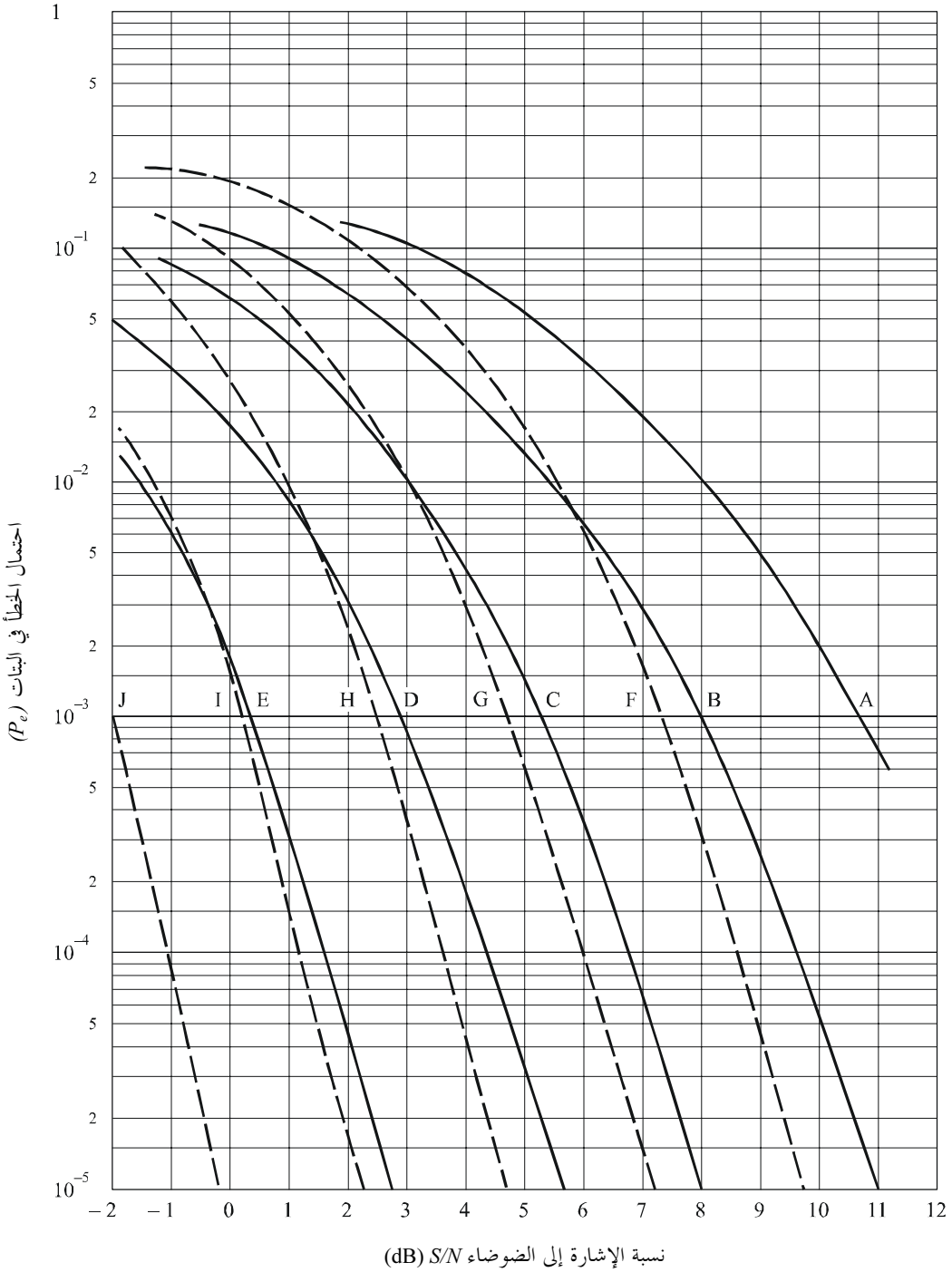
3.1 وعند الإرسال، يقوم تجهيز RF بالعمليات المتعلقة بتشكيل القنوات وينتج إرسالاً بخصائص مناسبة للقدرة والتردد الراديوي. وتجري العمليات العكسية المتعلقة بتحويل التردد عند الاستقبال من أجل الحصول على إشارة التردد الصوتي المركبة المطلوب إرسالها إلى المودم.

ولتجهيز RF خصائص محددة هي:

- ارتعاش الطور: أقل من 5° لمدة 10 ms من الفاصل الزمني (100 عينة)؛
- تشوه تأخر الزمرة: 500 µs عند الإرسال، 500 µs عند الاستقبال؛
- التشكيل البيني: 36 dB تحت قدرة غلاف الذروة.

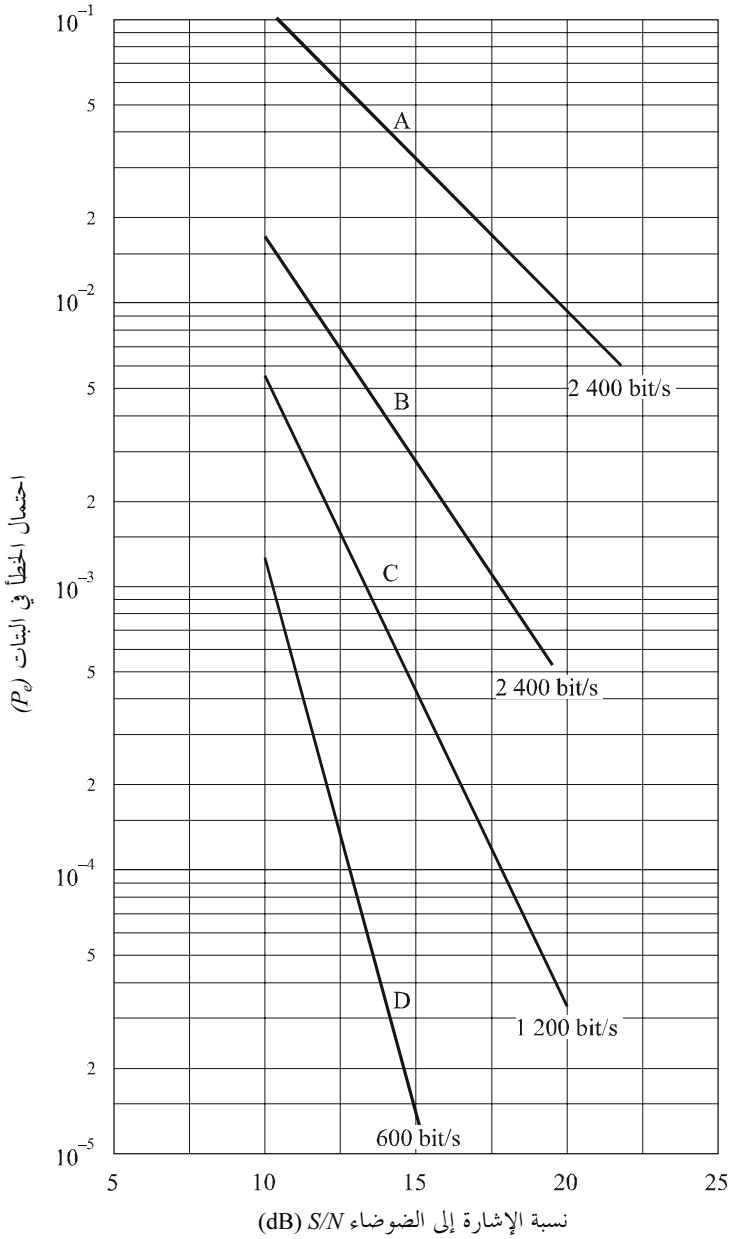
الشكل 1

احتمال الخطأ في البتات بدالة النسبة *S/N* لمعدلات بتات مختلفة وأساليب التشفير أو عدم التشفير وبالتنوع في النطاق لقناة بدون خبو، بضوضاء غوسي



الشكل 2

نسبة الخطأ في البتات بدالة النسبة *S/N* لقناة بخبو انتقائي باستعمال معدلات بتات 600 و1 200 و2 400 bit/s في الحالات التالية



A: بدون تنوع
B: خارج النطاق فقط
C: داخل نطاق التنوع وخارجه
D: داخل نطاق التنوع وخارجه باستعمال تشفير تصحيح الأخطاء والتشذير

0763-02

الملحق 2

إرسال المعطيات بمعدلات تصل إلى bit/s 3 600 على الدارات العاملة بالموجات الديكامترية (HF) باستعمال مودم إرسال على التوالي

1 اعتبارات عامة

يتيح المودم إرسال المعطيات في قناة HF kHz 3. وهو يستقبل المعطيات الرقمية ويعيد تكوينها بمعدل ≥ bit/s 3 600 ويولد إشارة تماثلية AF داخل النطاق السمعي 300-3 300 Hz.

وهو يتضمن الحماية من تعدد المسيرات وأثر دوبلر والخبو.

2 أساليب تشغيل المودم

توجد ثلاثة أساليب محتملة للتشغيل.

1.2 أسلوب التصحيح FEC نصف المزدوج

1.1.2 يستعمل هذا الأسلوب تشكيلاً للإبراق MPSK (M=2,4,8) بمعدل Bd 2 400، وبمعدل بتات للمستعمل 75 أو 150 أو 300 أو 600 أو 1 200 أو 2 400 أو bit/s 3 600 (لا تتوفر جميع معدلات البتات مع كل أشكال الموجات)، وبأرتال ذات 256 رمزاً مشكلاً (128 رمزاً من هذه الرموز للمستعمل)، أي ms 106,6.

2.1.2 يتكون تبادل المعطيات من ثلاثة أطوار هي التمهيد والحركة ونهاية الإرسال:

الشكل 3

وصف اتصال بأسلوب التصحيح FEC

تمهيد	حركة (المعطيات)	نهاية الإرسال

0763-03

يمكن طور تمهيد المودم المطلوب من كشف النداء واستقبال المعلمات التقنية (التشفير، التشذير، معدل المعطيات، التشكيل) الذي يلزمه لبقية الإرسال. ويشتمل طور الحركة على المعطيات التي سترسل. ويمكن طور نهاية الإرسال المودم المطلوب من الكشف عن الكلمة في نهاية رسالة بغرض إنهاء الوصلة والعودة إلى الاستعداد للحركة.

تتأثر نهاية الإرسال عندما يرسل المودم الطالب أرتال وضع السماعة. تطابق هذه الأرتال أرتال التمهيد، ولكنها تشتمل على بتة تتضمن معلومات وضع المهتفة.

3.1.2 الوظائف الموفرة هي:

- *البث*:
  - تشفير وتشذير المعطيات؛
  - الترتيل والتشكيل؛
  - إرسال إشارة AF.
- *الاستقبال*:
  - استقبال إشارة AF؛

- كشف التزامن؛
- إزالة تشكيل الإشارة المستقبلة؛
- فك تشذير وتشفير المعطيات.

2.2 أسلوب التصحيح FEC كامل الازدواج

يعادل هذا الأسلوب وصلتين مستقلتين من نمط التصحيح FEC نصف المزدوج. يرسل تمهيد في كل اتجاه يتلوه المعطيات وكلمة نهاية الرسالة ويتعرف عليهم المودم المطلوب. وكالحال بالنسبة لأسلوب التصحيح FEC نصف المزدوج، يحدد هذا التمهيد المعلمات التقنية التالية.

3.2 أسلوب الطلب الأوتوماتي للتكرار (ARQ)

1.3.2 يستعمل هذا الأسلوب تشكيلاً للإبراق MPSK (M=2، 4، 8) بمعدل 400 2 Bd، وبمعدل بتات للمستعمل 600 أو 200 1 أو 800 1 أو 400 2 bit/s (لا تتوفر جميع معدلات البتات مع كل أشكال الموجات)، وبأرتال ذات 256 رمزاً مشكلاً (128 رمزاً من هذه الرموز للمستعمل)، أي 106,6 ms.

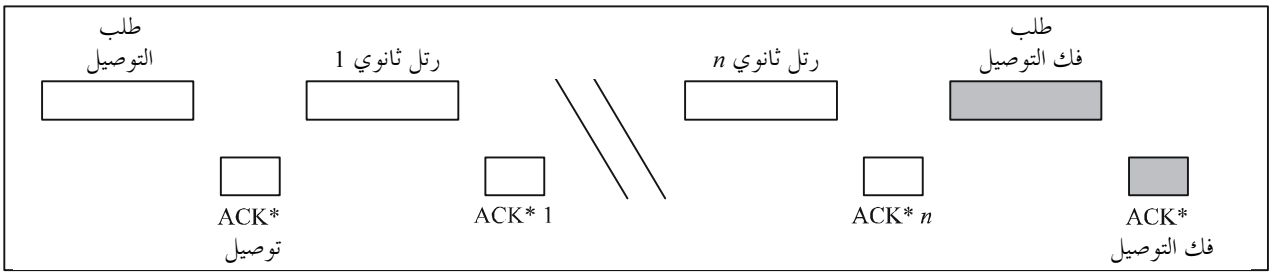
2.3.2 أسلوب ARQ هو أسلوب إرسال معطيات يشتمل على تكرار انتقائي بالفدرة. تقسم المعطيات للإرسال إلى فدرات تطابق رتل المودم. يرسل المودم الطالب رتلاً ثانوياً مكوناً من N فدرة (تساوي قيمة N الاسمية 64 ولكنها قد تكون أقل من ذلك خلال إرسال المعطيات الأخيرة) وينتظر إشعار المودم المطلوب باستلامه.

إذا لم تستقبل أي من الفدرات بطريقة صحيحة، يعاد إرسالها في الرتل الثانوي التالي المكون من فدرات جديدة.

الأطوار الموجودة في هذا الأسلوب هي طور إقامة النداء (التوصيل)، وطور إرسال المعطيات، وطور نهاية الإرسال (فك التوصيل). كذلك، يتيح أسلوب ARQ فك التوصيل المؤقت، وتبديل الطرف الطالب/المطلوب، والتحكم في التدفق، والقدرة التكيفية، ومعدل المعطيات، والتحكم في التردد.

الشكل 4

وصف اتصال بأسلوب ARQ



0763-04 *ACK: إشعار بالاستلام

لذا يشتمل أسلوب ARQ على طورين متميزين، وهما طور الإرسال (إرسال رتل ثانوي عند الطرف الطالب، وإشعار بالاستلام عند الطرف المطلوب)، وطور الاستقبال (استقبال إشعار بالاستلام عند الطرف الطالب، ورتل ثانوي عند الطرف المطلوب).

3.3.2 تحكم تكييفي

1.3.3.2 يتيح أسلوب ARQ القدرة التكييفية، ومعدل المعطيات والتحكم في التردد. ولا يدير المودم ضمن ذلك بصفة شاملة سوى معدل المعطيات التكييفي. وبالنسبة للتحكم في القدرة، يشير المودم إلى النظام بالتكييف الواجب القيام به

ويستمر في الإرسال، أما بالنسبة للتحكم في التردد، يفك المودم توصيله مؤقتاً بعد الإشارة إلى النظام بضرورة العثور على تردد جديد.

2.3.3.2 يقوم إجراء التحكم التكييفي في القدرة على قياسات إحصائية لنوعية الوصلة. وتحرز الزيادة في القدرة التكييفية بسرعة كبيرة، بينما يتطلب انخفاض القدرة ثابت مدة زمنية كبيرة.

3.3.3.2 يجرى التحكم في معدل المعطيات التكييفي على ثلاثة معدلات مختارة من بين أربعة معدلات متوفرة وهي 2 400، و1 800، و1 200، 600 bit/s.

تعتمد الزيادات التكييفية في معدلات المعطيات على قياسات إحصائية لنوعية الوصلة، بينما يعتمد الانخفاض سواء على القياسات الإحصائية لنوعية الوصلة، أو على عدم استقبال المعطيات أو الإشعارات بالاستلام خلال الإرسال.

4.3.3.2 إذا لم يكن التحكم التكييفي لانخفاض معدل المعطيات كافياً لاستئناف الإرسال، يطلب من النظام تنفيذ التحكم التكييفي في التردد.

يفك المودم توصيله لإتاحة البحث عن تردد جديد، ثم ينتظر استئناف الإرسال مع تخزين المعطيات التي لم ترسل بعد.

5.3.3.2 يمكن تشكيل المودم بأسلوب ARQ بحيث لا ينفذ التحكم في معدل المعطيات التكييفي. وعندئذ لا يتأثر سوى التردد والتحكم في القدرة.

4.3.2 الوظائف الموفرة هي:

- *إرسال ما يلي عند الطرف الطالب:*
  - تقطيع المعطيات،
  - تشفير المعطيات،
  - الترتيل والتشكيل،
  - إرسال إشارة AF.
- *إرسال ما يلي عند الطرف المطلوب:*
  - تشفير الإشعارات بالاستلام،
  - الترتيل والتشكيل،
  - إرسال إشارة AF.
- *استقبال ما يلي عند الطرف الطالب:*
  - استقبال إشارة AF،
  - الكشف عن التزامن،
  - إزالة تشكيل الإشارة المستقبلة،
  - فك تشفير الإشعارات بالاستلام.
- *استقبال ما يلي عند الطرف المطلوب:*
  - استقبال إشارة AF،
  - اكتشاف التزامن،
  - إزالة تشكيل الإشارة المستقبلة،
  - فك تشفير المعطيات،
  - إعادة تجميع المعطيات.

3 الخصائص التقنية للمودم

1.3 التشكيل

1.1.3 تتكون تقنية التشكيل من زحزحة طور موجة حاملة فرعية بتردد قدره 1 800 Hz. يبلغ معدل التشكيل 2 400 Bd بحد أدنى من الدقة قدره 10^{-5}.

2.1.3 يصاحب توليد 1 800 Hz استقرار للميقاتية قدره 10^{-5}.

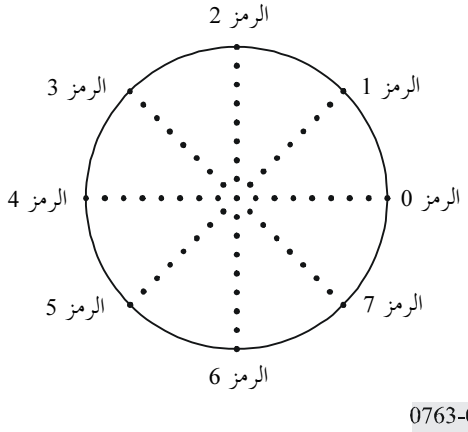
3.1.3 يمكن أن يكون لزحزحة طور الإشارة المشكلة بالنسبة إلى الموجة الفرعية المرجعية غير المشكلة إحدى القيم التالية:

رقم الرمز	الطور
0	0
1	$\pi/4$
2	$\pi/2$
3	$3\pi/4$
4	π
5	$5\pi/4$
6	$3\pi/2$
7	$7\pi/4$

يصاحب رقم الرمز n الرقم المعقد $(j n\pi/4)$.

الشكل 5

تشغيل حالات الطور



2.3 تحويل الشفرة

تحويل الشفرة عملية يصاحب فيها الرمز الذي سيرسل مجموعة من الأرقام الاثنينية.

1.2.3 معدل معطيات قدره 1 200 bit/s: 2-PSK

يجري تحويل الشفرة بواسطة تصاحب رمز مع رقم اثنيني وفقاً للقاعدة التالية:

البتة	الرمز
0	0
1	4

2.2.3 معدل معطيات قدره 2 400 bit/s: 4-PSK

يجري تحويل الشفرة بواسطة تصاحب رمز مع مجموعة مكونة من رقمين اثنينيين متتاليين وفقاً للقاعدة التالية:

البتة المزدوجة	الرمز
0 0	0
0 1	2
1 0	6
1 1	4

أحدث بتة — أقدم بتة

3.2.3 معدل معطيات قدره 3 600 bit/s: 8-PSK

يجري تحويل الشفرة بواسطة تصاحب رمز مع مجموعة مكونة من ثلاثة أرقام اثنينية متتالية وفقاً للقاعدة التالية:

البتة الثلاثية	الرمز
0 0 0	1
0 0 1	0
0 1 0	2
0 1 1	3
1 0 0	6
1 0 1	7
1 1 0	5
1 1 1	4

أحدث بتة — أقدم بتة

3.3 بنية الرتل

1.3.3 تكون بنية الرموز التي سترسل في أرتال متكررة طولها 106,6 ms. ويبلغ عدد الأرقام الاثنينية المرسلة في كل رتل 128 بتة عند 1 200 bit/s و256 bit/s و400 2 bit/s، و384 بتة عند 600 3 bit/s.

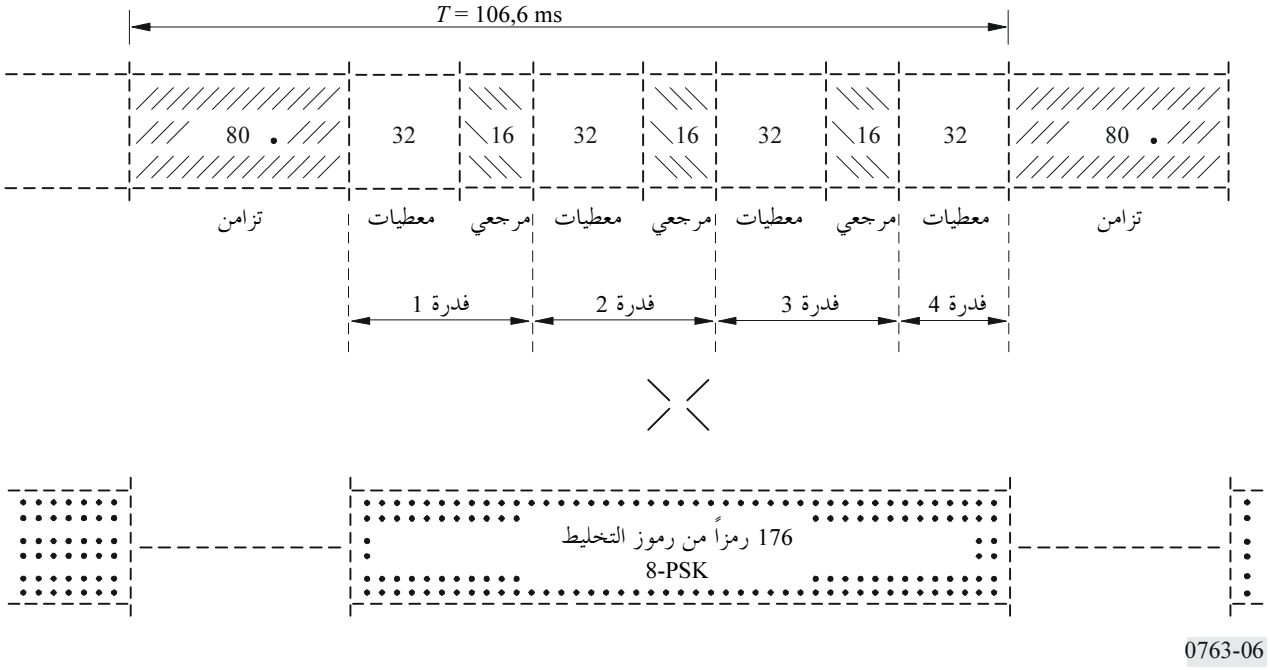
2.3.3 يتكون الرتل من 256 رمزاً بالتقسيم التالي: 80 رمزاً للتزامن، و48 رمزاً مرجعياً، و128 رمزاً للمعطيات.

يمثل الشكل 6 بنية الرتل.

3.3.3 يرسل تتابع التزامن بالتشكيل مزدوج الطور، وبمعدل تشكيل قدره 400 2 Bd. ويستعمله المودم للكشف عن وجود الإشارة ولتصحيح زحزحة التردد سواء من أثر دوبلر أو من الاختلاف بين الموجة الحاملة للإرسال والموجة الحاملة للاستقبال، وتزامن البتة وسواء زمن التسوية في حالة التسوية بالترشيح التكراري، أو تقييم القناة بالموجات الديكامترية (HF) في حالة الاكتشاف بطريقة التشابه الأقصى.

الشكل 6

بنية الرتل



4.3.3 توجد الرموز المرجعية ورموز المعطيات في بنية من أربع فدرات، تتكون أول ثلاث فدرات منها من 32 رمزاً للمعطيات يعقبهم 16 رمزاً مرجعياً، مع آخر فدرة تتضمن 32 رمزاً للمعطيات. وتطابق جميع الرموز المرجعية رقم الرمز 0.

تخلط هذه الرموز المرجعية ورموز المعطيات وعددها 176 رمزاً بواسطة تتابع تخليط يتكون من 176 رمزاً مكرراً كل 106,6 ms. ويرسل هذا التتابع في 8 حالات لتشكيل الطور 8-PSK بمعدل 400 2 Bd. لذا يمكن إنشاء رتل ذي 8 حالات للطور، أياً كان معدل المعطيات (1 200 bit/s، أو 400 2 bit/s، أو 600 3 bit/s).

عملية التخليط هي إضافة المقاس 8 لرقم الرمز المصاحب للمعطيات إلى رقم الرمز المصاحب للتخليط، مما يؤدي إلى عملية ضرب معقدة لرمز المعطيات في رمز التخليط.

4.3 التشفير بتصحيح الخطأ، التشذير

يمكن أن يؤدي استعمال التشفير بتصحيح الخطأ مع التشذير المناسب إلى تحسن ملحوظ في نسبة الخطأ في البتات (BER).

يمكن على أساس الأساليب الأساسية الثلاثة التالية،

- 8-PSK bit/s 3 600،
- 4-PSK bit/s 2 400،
- 2-PSK bit/s 1 200،

أن يتيح التشفير عدة إمكانيات للإطناب.

1.4.3 أسلوب التصحيح FEC

يشتمل هذا الأسلوب على استعمال التشفير التلافيفي مع التشذير التلافيفي كذلك. وتكون الشفرة التلافيفية المستعملة هي شفرة الإطناب 2 مع طول أقصى $K = 7$، بمصاحبة حدودية خصائص 171,133 (تمثيل ثماني).

يمكن الحصول على إطناب أدنى من 2 بطريق الخرق، بينما يمكن الحصول على إطناب أعلى من 2 بالتكرار.

نذكر من بين الاحتمالات ما يلي:

معدل المعطيات مع التشفير (bit/s)	شكل الموجة	الإطناب	طريقة التوصل إلى هذا المعدل للمعطيات
2 400	8-PSK	3/2	تحويل معدل المعطيات 1/2 إلى المعدل 2/3
1 200	4-PSK	2	شفرة غير معدلة عند معدل المعطيات 1/2
600	2-PSK	2	شفرة غير معدلة عند معدل المعطيات 1/2
300	2-PSK	4	الشفرة عند معدل المعطيات 1/2 مكررة مرتين
150	2-PSK	8	الشفرة عند معدل المعطيات 1/2 مكررة 4 مرات
75	2-PSK	16	الشفرة عند معدل المعطيات 1/2 مكررة 8 مرات

2.4.3 أسلوب ARQ

يستعمل تشفير ريد–مولومون، ولا يوجد تشذير.

معدل المعطيات مع التشفير (bit/s)	شكل الموجة	الإطناب	التشفير (رموز من 8 بتات)
2 400	8-PSK	3/2	RS (48,32)
1 800	4-PSK	4/3	RS (32,24)
1 200	4-PSK	2	RS (32,16)
600	4-PSK	4	RS (32,8)

5.3 طيف الإشارة المشكلة

يرد طيف الإشارة المشكلة بعد الترشيح ومناقلة قدرها 1 800 Hz في الشكل 7. ويساوي عرض النطاق الكلي 3 000 Hz.

6.3 التسامح في أخطاء الترددات بين الموجتين الحاملتين HF للإرسال والاستقبال

ينبغي أن يستطيع المودم التسامح في زحزحة قدرها ± 75 Hz بين الموجتين الحاملتين HF للإرسال والاستقبال (بما في ذلك الخطأ في تردد المرسل/المستقبل وزحزحة دوبلر) ومعدل تغير في التردد قدره 3,5 Hz/s على أقصى تقدير.

4 السطوح البينية مع تجهيزات أخرى

1.4 السطح البيني للمودم مع مطراف المعطيات

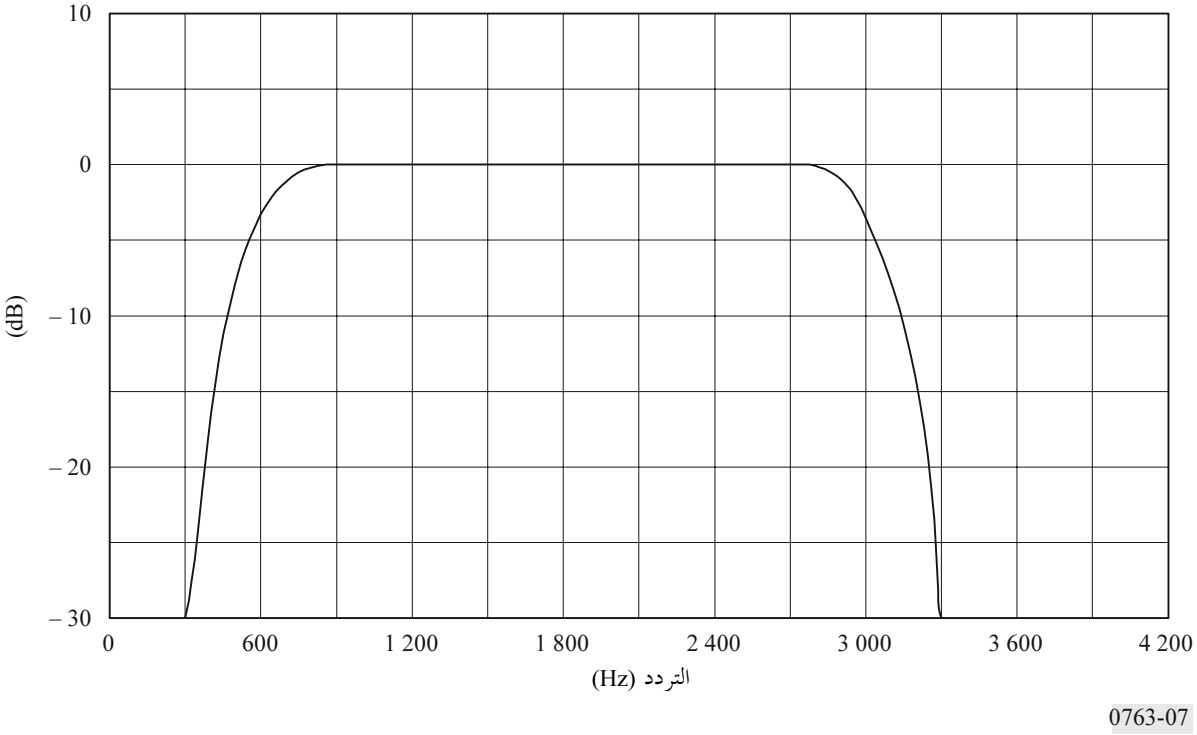
يتماشى مع توصية قطاع تقييس الاتصالات رقم V.24، بما أن الخصائص الكهربائية للسطح البيني تتوافق مع توصية قطاع تقييس الاتصالات رقم V.11 (RS 422).

2.4 السطح البيني للمودم مع المرسل والمستقبل

دارتا الدخل والخرج للمودم من النمط المتناظر مع الأرض، مع معاوقة قدرها 600 Ω عند 0 dBm.

الشكل 7

طيف الإشارة المشكلة



3.4 نوعية أداء المرسلات والمستقبلات المتصاحبة

يوصى بالخصائص التالية للمرسلات والمستقبلات للحصول على الأداء الأمثل:

1.3.4 ينبغي أن يكون لها نطاق تمرير لا يسمح بخسارة في الإرسال تتعدى ± 2 dB بالنسبة لتغير ما بين 300 Hz إلى 3 300 Hz.

الملاحظة 1 – يمكن تشغيل مودم على التوالي مع عرض نطاق للنظام قدره من 300 Hz إلى 3 000 Hz مع أداء منخفض. ويلزم المزيد من الدراسة لتصميم مودم على التوالي بموجة حاملة فرعية ذات 1 650 Hz، تشغل مع الأنظمة ذات عروض النطاقات المخفضة.

2.3.4 ينبغي ألا تتغير مهلة انتشار الزمرة بأكثر من 0,5 ms على 80% من هذا النطاق للتمرير.

3.3.4 ينبغي أن تكون دقة الترددات الدليلة للمرسل والمستقبل 10^{-6} على أدنى حد.

4.3.4 ينبغي أن يكون الثابت الزمني للدارة AGC أقل من 10 ms لإزالة الحساسية وأقل من 25 ms لإعادة الحساسية.

الملحق 3

أنظمة الإرسال التي تستعمل الإبراق بزحزحة الطور (PSK)

1 مقدمة

ترسل المعلومات عادة في قنوات HF بمعدل بتات يتجاوز 200 bit/s باستعمال أساليب تعدد الحالات وبإشارات مركبة. ويستند عادة أسلوب الإرسال هذا على تشغيل مجموعة من الحاملات الفرعية المتعامدة بزحزحة الطور PSK ثنائي الحالة. ويمكن بهذه التقنية التوصل إلى ضعف معدل البتات الذي يمكن التوصل إليه بتشكيل FSK بنفس النطاق ويمكن استعمال الإطناب لزيادة الحصانة من الضوضاء. وإلى جانب الإبراق بزحزحة الطور PSK على عدة ترددات، يوجد نمط آخر للتشكيل أكثر شيوعاً وله أهمية عملية – الإبراق المعمم PSK حيث لا تكون المعلومة المطلوب إرسالها في الفرق بين الطورين الآنيين لإشارات الموجة الجيبية ولكن في الفرق بين أطياف أطوار إشارات متعامدة مركبة. وتتصادف أطياف اتساع هذه الإشارات ويمكن تكييفها بخاصية تردد القناة (أو طيف التداخل) دون أن يؤثر ذلك على ظروف التعامد المتبادل. وعلى هذا الأساس يمكن النظر في تصميم مودم تكييفي يتسم بحصانة أكبر ضد الضوضاء وقدرة أكبر على تسيير الحركة.

في الماضي واجه التطبيق العملي للإبراق المعمم PSK المشاكل التقليدية المتعلقة بتركيب ومعالجة إشارات معقدة. وأمكن حل المشاكل الأساسية بفضل نظرية التركيب الجديدة وبظهور قطع مركبة إلكترونية صغرية بمستوى تكامل مرتفع فقد أمكن تجاوز عقبة التركيب الفني المعقد للدارات. ويرد في هذا الملحق المبادئ الرئيسية التي تحكم تصميم المودم بإبراق معمم PSK وكذلك عرض لنمط من أنماط التصميم ونتائج الاختبار المطبق عليه.

2 مسائل نظرية

1.2 انتقاء الإشارات

كما أثبت شانون (Shannon)، فإذا أريد الحصول على معدل إرسال يساوي سعة اتصال القنوات بخاصية تردد $Y(\omega)$ وضوضاء غوسي $N(\omega)$، ينبغي استعمال إشارات تتسم بعملية غوسية لقدرة P بنظام مستمر حيث يمكن التعبير عن طيف القدرة بالصيغة التالية:

$$F(\omega)=\begin{cases} B-\dfrac{Y(\omega)}{N(\omega)} & : \ \omega\in\Omega \\ 0 & : \ \omega\notin\Omega \end{cases} \tag{1}$$

حيث يحدد مدى التكامل Ω بالشرط $F(\omega) \geq 0$ وتتوقف القيمة الثابتة B على قدرة الإشارات. وبما أن الحدود المقبولة عملياً لتأخر إرسال المعلومة تخضع لمقاييس محددة، فينبغي تحديد المدة القصوى للإشارات وكذلك عددها. وفي مثل هذه الظروف فإن هناك تركيبات لأبعاد محدودة لإشارات متعامدة معينة حيث تكون مربعات نماذج الكثافة الطيفية بنفس قيمة $F(\omega)$ والتي يعتبر أنها تقترب من الظروف المثلى. ومع ذلك ينتج من المعادلة 1 أن $F(\omega) = 0$ بالنسبة لجميع الترددات حيث تكون $B < Y(\omega)/N(\omega)$، أي أنه ينبغي المحافظة على التعامد المتبادل عند رفض بعض أجزاء الطيف. إن هذه الخاصية ليست موجودة في الإشارات متعددة التردد المستعملة في أنماط المودم الحالية. وعلاوة على ذلك، فإن الشكل المتعامد لطيفها لا يكون بالشكل الأمثل ما عدا في قنوات ذات خاصية التردد المتناسق وفي حالة التداخل من نمط الضوضاء الأبيض. وتثبت الحسابات أنه ما لم تجتمع هذه الظروف يمكن أن ينتج عن ذلك خسارة في معدل الإرسال إلى نسبة قد تصل إلى 40% من سعة اتصال القناة.

وهناك معيار آخر لتقييم الطبيعة المثلى لتركيبات الإشارات المتعامدة وهو المواصفات الخاصة بشكل وظيفة الارتباط الذاتي. فمثلاً لضمان استقرار تشغيل نظام مزامنة، ينبغي أن يكون الفص الرئيسي لهذه الوظيفة ضيقاً بالقدر الكافي وألا تتجاوز الفصوص الجانبية مستوىً معيناً. والمطلوب في هذه الحالة هو ضمان التعامد المتبادل لطيف معين لاتساع الإشارات لا يفي بالضرورة بشرط المعادلة (1).

وبالنظر إلى ذلك، وحتى يعمم الإبراق PSK، تم تطوير صنف خاص من الإشارات على أساس استعمال أنظمة وظائف مركبة بتعامد مضاعف. ويمكن التعبير عن كثافاتها الطيفية كما يلي:

$$S_k(\omega) = |S(\omega)|\, e^{j[K\psi(\omega) + \alpha(\omega)]} \tag{2}$$

حيث:

$$|S(\omega)|^2 = A\left|\frac{d\psi(\omega)}{d\omega}\right|$$

A: عامل ثابت

$\alpha(\omega)$: دالة محدودة عشوائية.

ويمكن إذاً في حالة طيف اتساع معين أن يعرف طيف طور الإشارات وبالتالي كثافاتها الطيفية. ويمكن متابعة التركيب بإيجاد عينات لكثافات طيفية لإشارات بأرقام تسلسلية مختلفة وتحويلها بمساعدة تحويل فورييه السريع (Fast Fourier Transform) (FFT) إلى عينات زمنية. ويمكن خلط تركيب الإشارات بشفرة الإشارات في مجال الزمن باستعمال شفرة ريد سولومون؛ وحتى يتسنى ذلك ينبغي إضافة عدد من العينات الصفرية مسبقاً إلى عينات الكثافة الطيفية وعندئذ فقط ينجز تحويل فورييه السريع (FFT). وتجدر الإشارة إلى أن هذا النمط من التشفير المختلط (متعامد في مجال التردد وشفرة ريد سولومون في مجال الوقت) وهو فعال للغاية في قنوات HF.

2.2 اختيار خوارزمية للمعالجة

في حالة الأساليب متعددة الحالات لإرسال المعلومات، يفضل أن تعالج الإشارات التي سيتم استقبالها باستعمال الخوارزم الأمثل للاستقبال "الإجمالي". وتكون أبسط طريقة لتنفيذ هذه الخوارزم باستعمال عناصر من مزيلات التشكيل؛ وحتى يتحقق ذلك ينبغي أن تستوفى الشروط التالية:

- يجب أن تكون الإشارة متعددة الحالات إشارة مكونة من عدة عناصر، أي أنه يجب أن تكون حصيلة الإشارات الأولية؛
- يجب أن تتضمن كل إشارة أولية معلومة بشأن العنصر المقابل لكلمة الشفرة ;$b_{i,\,k}$؛
- يجب أن يكون التداخل الذي يؤثر على الإشارات الأولية مستقلاً على نحو متبادل.

وفي هذه الحالة يعبر عن قاعدة القرار بالصيغة التالية:

$$\max\left[L_i = \sum_{k=1}^{N} e_{i,\,k}\, y_k\right] \tag{3}$$

حيث:

$e_{i,\,k}$: معامل العلامة الذي يتخذ قيمة +1 عندما تكون $b_{i,\,k} = 1$

و-1 عندما تكون $b_{i,\,k} = 0$

$$y_k = \ell n\, \frac{W(Z_{k/1})}{W(Z_{k/0})}$$

حيث تكون:

Z_k: إشارة دخل مركبة (انظر الشكل 1)

$W(Z_k/1)$: احتمال أن تكون قيمة $Z_k = 1$

$W(Z_k/0)$: احتمال أن تكون قيمة $Z_k = 0$.

ويعرف في هذه الحالة الطابع الأمثل بتحديد مدى استيفاء الإشارات المستعملة للشروط المبينة أعلاه. ويترتب على الشرطين الأولين إمكانية استعمال مزيل تشكيل العناصر. وحتى يستوفى هذان الشرطان يكفي أن تتضمن كل عينة للكثافة الطيفية (أو عناصرها) معلومة عن علامة الرمز الاثنيني المقابل لها. ويمكن أن يفسر شرط استقلالية التداخل بشرط ينص على استقلال إسقاطات متجه الإشارات الواصلة بالنسبة إلى نظام الوظائف الأساسية لتحويلات فورييه. ويستوفى هذا الشرط في حالات الخبو المستقل في نطاقات الترددات المختلفة وحالات عدم تغير الوظائف الأساسية بالنسبة لزحزحة الوقت وحالات التداخل بطيف قدرة منتظم. ولا يمكن عملياً أن تستوفى جميع الشروط المبينة أعلاه بصورة كاملة بحيث تصبح الحصانة ضد ضوضاء مزيل تشكيل العناصر أضعف من الحصانة ضد الضوضاء المحتملة مع كونها أفضل كثيراً في حالة الاستقبال المنفرد لإشارات أولية.

يتكون المخطط الإجمالي لقسم الاستقبال بالمودم الذي ينفذ قاعدة القرار (3) من الوحدات التالية (انظر الشكل 8): وحدة لحساب لوغاريتم معدلات احتمال y_k؛ وحدة لحساب الأشكال الخطية L_i؛ وعنصر القرار لتحديد رقم الشكل الخطي بأقصى قيمة ممكنة؛ ومحوال رقمي يقارن تركيبته الخاصة للرموز الاثنينية بكل رقم، وهكذا يمكن تقييم تتابع المعلومة المرسلة.

3 وصف النظام

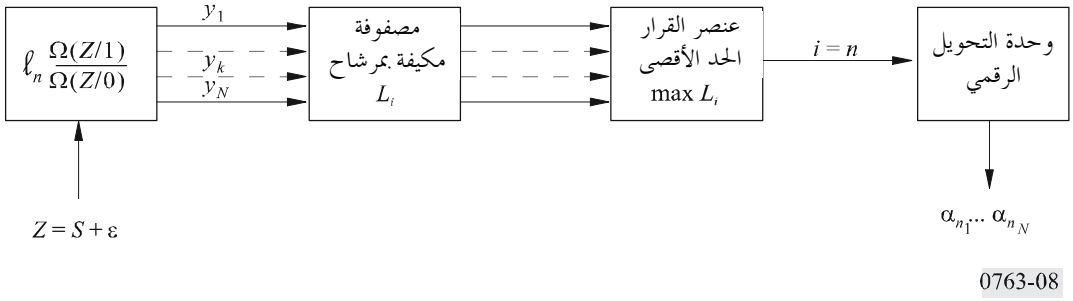
يرد بالشكل 9 مخطط وظائف النظام وهو يتكون من العناصر التالية: مطاريف المستعملين؛ جهاز لتحويل الإشارات (مودم) يقع إما مباشرة بالقرب من المطاريف وإما في جهاز منفصل للتحكم في الوصلة؛ وتجهيز بنطاق جانبي وحيد للإرسال

والاستقبال والهوائيات اللازمة له. وبمجرد تركيب المودم في وحدة التحكم، يتم الاتصال بالمطراف على قنوات التردد الصوتي.

وعند تركيب المودم مباشرة بالقرب من المطراف يمكن توصيله بدارات تيار مستمر.

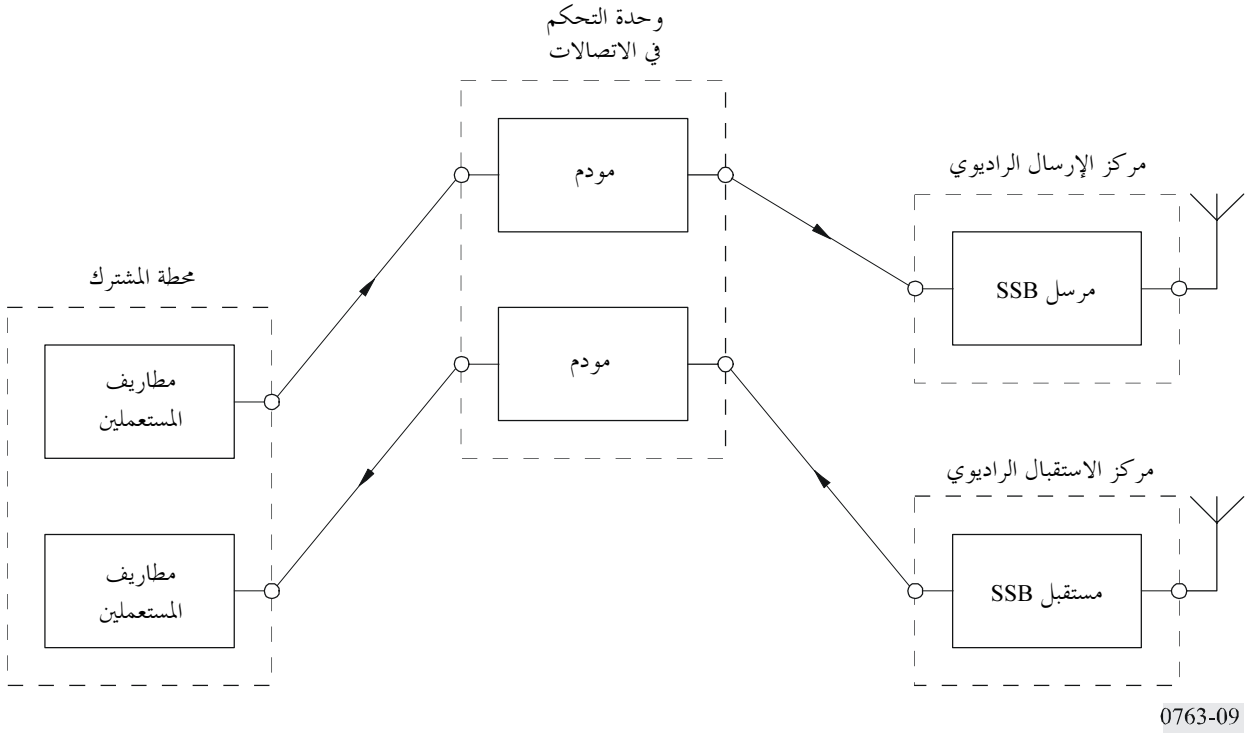
الشكل 8

القسم الخاص بالاستقبال بالمودم



الشكل 9

مخطط وظائف نظام محطة الإرسال



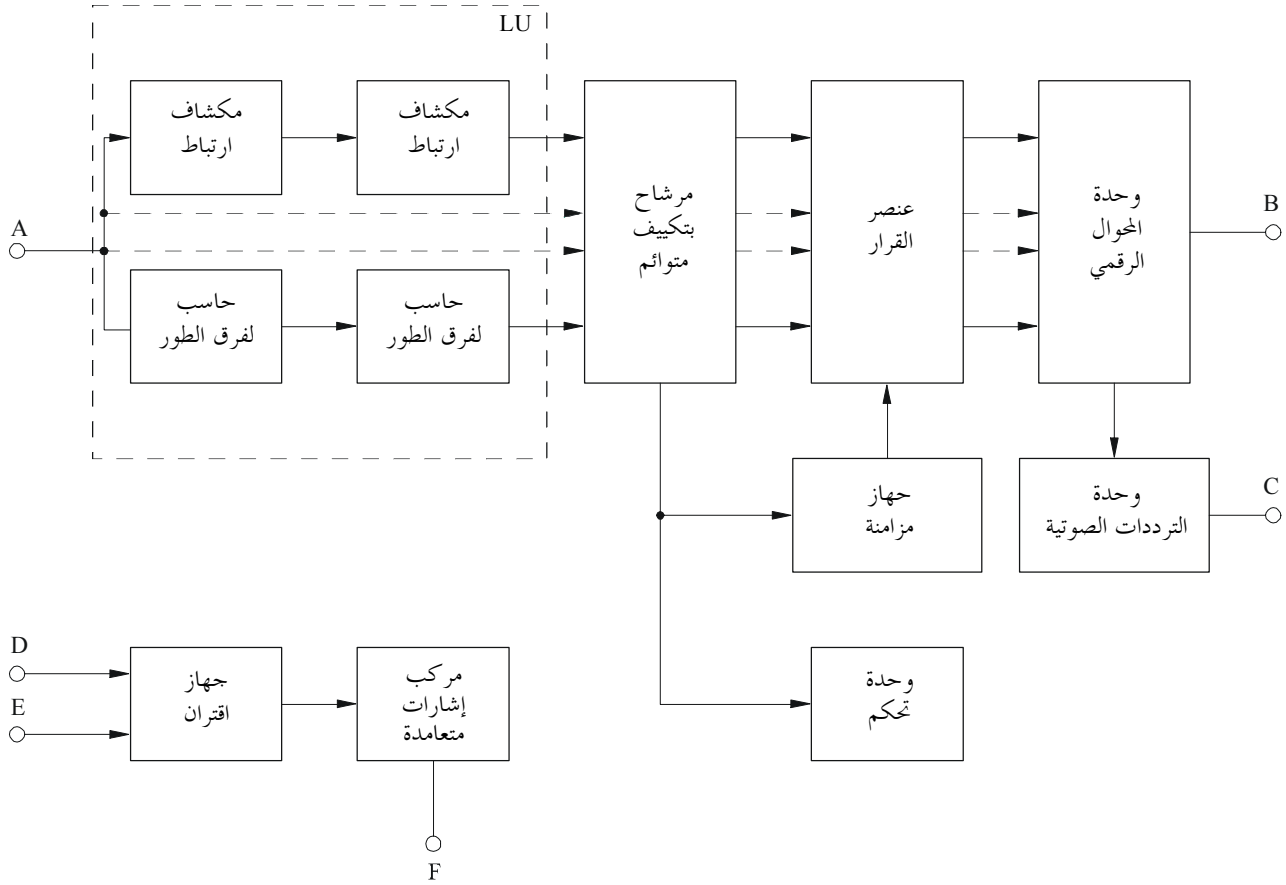
ويمثل الشكل 10 مخطط إجمالي لوظائف المودم وهو يوضح المبادئ التي تم بحثها أعلاه. وتم تصميم المودم لإرسال معلومة رقمية بمعدل 600-200 1 bit/s. وإذا كان المعدل أدنى من ذلك يستعمل كودك (مشفر–مفكك) إضافي. ويمكن الحصول على معدل 400 2 bit/s بزيادة عدد الإشارات المستعملة وبالتبديل إلى استقبال عناصر إشارات منفصلة. ويتكون مرسل المودم من جهاز اقتران (CD) ومركب إشارات متعامدة (OSS).

وتم تصميم جهاز الاقتران (CD) بحيث يتلاءم المودم مع مطراف المستعمل عن طريق قنوات التردد الصوتي أو دارات بتيار مستمر والتحكم في المركب. وهو يتضمن مكبر–مصحح بتردد صوتي، جهاز إعادة توليد ودارة منطقية للتحكم.

ويقوم مركب الإشارات المتعامدة (OSS) بإعطاء شكل للإشارات التماثلية ويكبرها إلى الحد المطلوب. ويتكون المركب من وحدة تشفير وذاكرة قراءة فقط (ROM) ومحوال رقمي/تماثلي (DAC) ومرشاح تردد منخفض ومكبر للقدرة. وللمركب OSS خاصية وظيفية تتمثل في أن العينات الزمنية لجميع الإشارات المطلوب استعمالها لإرسال المعلومة تكون مخزنة سلفاً في ذاكرة ROM، ويكون قد تم حسابها سلفاً على الحاسوب وفقاً للقواعد المعرفة في الفقرة السابقة.

الشكل 10

مخطط وظائف المودم



A: دخل مستقبل المودم
B: خرج بتردد صوتي لمستقبل المودم
C: خرج مستقبل المودم بتيار مستمر
D: دخل بتردد صوتي لمرسل المودم
E: دخل مستقبل المودم بتيار مستمر
F: خرج مرسل المودم

0763-10

تم في مرحلة أولية تركيب 16 إشارة متعامدة بغرض التحقق من المبادئ الأساسية المستعملة؛ وكان لهذه الإشارات طيف اتساع منتظم في المدى 1,1 إلى 2,42 kHz وعرض نطاق فعلي من 0,66 إلى 2,86 kHz. وكانت الكثافات الطيفية ممثلة بأربعة عينات مركبة، يمكن لكل منها إعطاء المعلومة على علامتي الرمزين الاثنينيين. وحتى يمكن تحويل الطيف إلى هذه العينات تم إضافة عينتين صفريتين وبعد تحويل فورييه أجريت مضاعفة إضافية بعنصر مركب.

وتم إدخال العينات الزمنية المحسوبة على هذا النحو في شبكة بمعدل 8 بتات بذاكرة ROM وبعد قراءتها عند تردد التوقيت 8,8 kHz، أمكن الحصول عند خرج DAC على إشارات تماثلية بمدة 3,33 ms، وفاصل تعامد 2,27 ms.

ويكون تتابع العمليات في مرسل المودم كما يلي: يعاد توليد إشارات المعلومة الاثنينية من المطراف وتخلط بحيث تشكل شفرة بأربع بتات ويجري تسييرها إلى دخل دارة التشفير التي تتحكم في الانتقاء في ذاكرة ROM لإحدى الأشكال الستة عشر للإشارة. وعند خرج ذاكرة ROM، تحول العينات بوحدة DAC إلى إشارة تماثلية يتم تكبيرها وتصل عن طريق القناة الصوتية إلى دخل المرسل بنطاق جانبي وحيد (SSB).

وكما يتضح من الشكل 8 يتكون قسم الاستقبال بالمودم من العناصر التالية: جهاز لحساب لوغاريتم نسب الاحتمال (مكشاف ارتباط (CDT)، حاسب لفرق الطور (PDC))، مرشاح بتكييف متوائم (MF) يحسب جميع الأشكال الخطية L_i، وعنصر القرار (DE) الذي يحدد قيمة الشكل الأقصى ووحدة محوال رقمي (DCU). كما يتضمن جهاز مزامنة (SD) ووحدة تحكم (CU). ويمكن بهذا التجهيز التشغيل بالأسلوب المفرد أو المزدوج بتنوع فضائي أو استقطابي.

ويتم تحويل الإشارات التماثلية إلى عينات للكثافة الطيفية بمكشاف الارتباط الذي يحسب العنصر الطوري والعنصر التربيعي بكل عينة. ويتم التخلص من عنصر عدم التيقن الأول بخصوص طور القناة بمساعدة جهاز PDC، ويجري حساب الطيف الطوري للإشارة المستقبلة. ويشغل المرشاح الملائم بحساب المصفوفة ويكيف كل عمود منها لانتقاء العينة الملائمة باستعمال مكبرات العكس. ويبحث عنصر القرار DE عن العمود بأقصى فولت خرج وباستعمال وحدة DCU يقوم بإرسال تتابع الرموز الاثنينية بأربعة عناصر الذي يصل إلى مطراف الخرج إما مباشرة وإما عن طريق وحدة فتح الترددات الصوتية (TKU).

ويستند تشغيل وحدة التحكم إلى المبدأ التالي: الفولت عند أطراف خرج المرشاح المكيف مطابق بدقة في حدود عامل ثابت مع توزيع مسبق للاحتمالات. وواضح أن مستوى أداء القناة يتحسن كلما كان هذا التوزيع أكثر حدة بما أنه لا ينبغي أن يظهر الفولت في حالة مثلى إلا عند مطراف واحد لخرج المرشاح المكيف. ويمكن أن نستعمل الفرق بين أقصى مستوى للفولت والمستوى الذي يقترب بصورة أكبر من الطرف الآخر لتقييم جودة القناة في عملية إرسال المعلومة.

4 البحث التجريبي

تم إجراء تجارب مختبرية على المودم باستعمال منضدة اختبار نمذجة تتضمن العناصر التالية: مستقبل بنطاق جانبي وحيد (SSB) ووحدة لمحاكاة القناة بشعاعين ومولد للضوضاء وعداد رقمي لحساب عدد الأخطاء. وتم استعمال تتابع شبه عشوائي ناتج عن مولد متكامل مع المودم كخليط للتجربة. وتم تحليل ثلاثة أساليب للتشغيل: قناة بمعلمات ثابتة وضوضاء بيضاء؛ قناة بشعاع واحد وخبو رايلي؛ وقناة بشعاعين بفرق في وقت انتشار الشعاع بمدة 1 ms واتساعات شعاعية وتوهينات رايلي متطابقة. وترد نتائج هذه التجارب في الشكلين 11 و12. ويوضح الشكل 11 على سبيل المقارنة منحنيات الحصانة ضد الضوضاء لمودم متعدد الترددات كما يرد وصفه في الملحق 1 لهذه التوصية لنفس معدل سرعة الإرسال. وتشير هذه المنحنيات إلى أن الحصانة ضد الضوضاء تكون أعلى في حالة المودم الذي تم اختباره. وتشير مقارنة المنحنيات A وB بالشكل 12 أ) إلى أن حصانة المودم ضد الضوضاء في حالة قناة بشعاعين أعلى بالمقارنة بالحصانة في حالة القناة بشعاع واحد. والسبب في ذلك هو أنه في حالات الخبو المنتظم، لا تكون قاعدة القرار (3) مثلى. وفي القناة بشعاعين يكون للخبو الانتقائي للترددات الذي يمكن أن يقاومه المودم بفعالية أكبر دور أساسي. ويبين الخط المنقط المنحني النظري للحصانة ضد الضوضاء لمستقبل غير متماسك لإشارات أولية تستعمل الإبراق PSK اثنيني الحالة عند خبو رايلي.

وتم إجراء اختبار الوصلة على المودم بمسيرات بخط عرض 600 3 km و300 4 km. وتم استعمال مرسل بنطاق جانبي وحيد (SSB) 15 kW وهوائيات إرسال اتجاهية وهوائيات استقبال في شكل شوك السمكة (للاستقبال المزدوج). وتم إجراء اختبارات بالمسير الأول أثناء فترتين بالليل والنهار على تردد واحد. وتم استعمال ترددين عند اختبار المسير الثاني. ومعدل

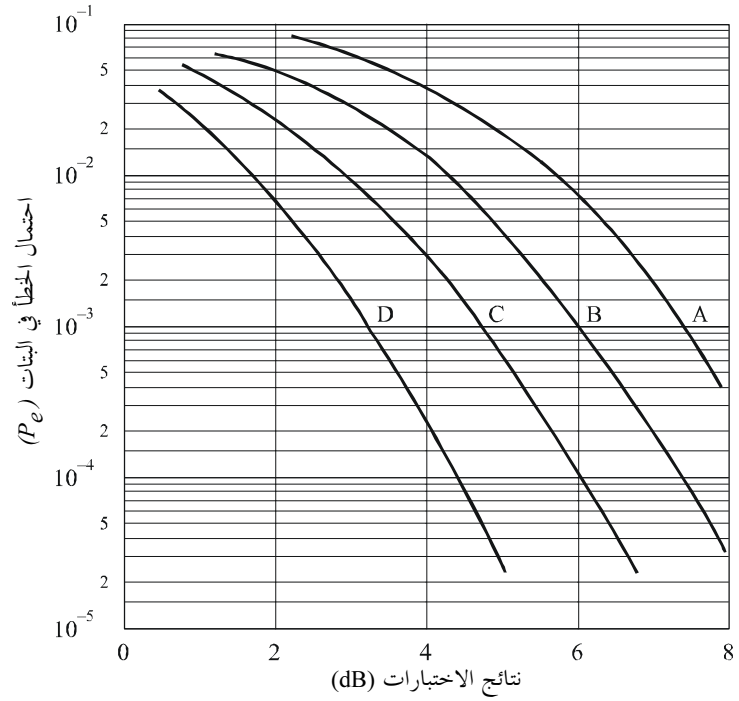
بتات المعلومة هو bit/s 1 200 وعلى أساس قياسات بفترة 5 دقائق، تم رسم منحنيات متكاملة توضح توزيع نسبة الخطأ كما يتضح ذلك من الشكل 12 ب).

5 استنتاجات

إن استعمال الإبراق PSK المعمم مع الاستقبال "الإجمالي" يزيد من إمكانية رفع مستوى الحصانة ضد الضوضاء عند إرسال المعلومة الرقمية. وتم تطوير مودم لتوضيح كيفية التطبيق العملي للإبراق PSK المعمم وهو مودم يستعمل إشارات بطيف منتظم، يشبه من هذه الناحية المودم المبين في الملحق 1 بهذه التوصية، وتشير نتائج الاختبارات إلى أنه يضمن معدل bit/s 1 200 ونسبة خطأ لا تتجاوز 10^{-4} إلى 10^{-3} طوال 95 إلى 98% من الوقت في حالة وصلات تغطي مسافات من 3 000 إلى 4 000 km.

الشكل 11

حصانة المودم ضد الضوضاء

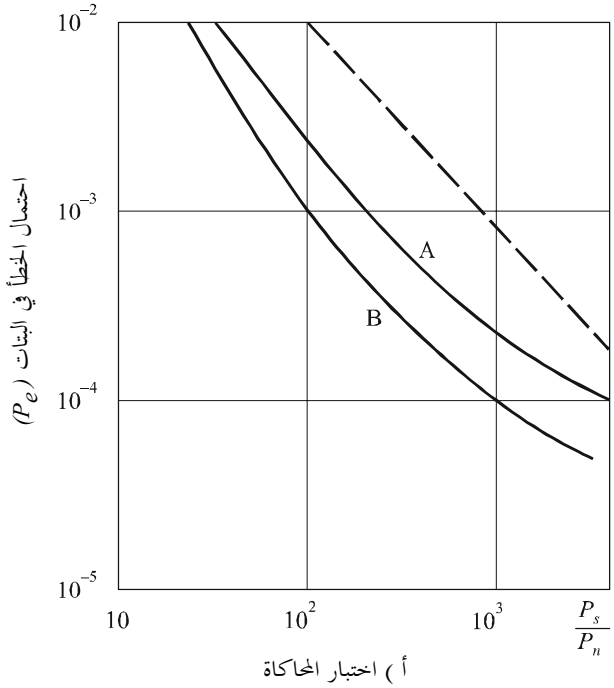


A: متعدد الترددات — bit/s 1 200
B: الإبراق بزحزحة الطور الاثنيني (DPSK)
C: متعدد الترددات — bit/s 600
D: الإبراق بزحزحة الطور الاثنيني (DPSK)

0763-11

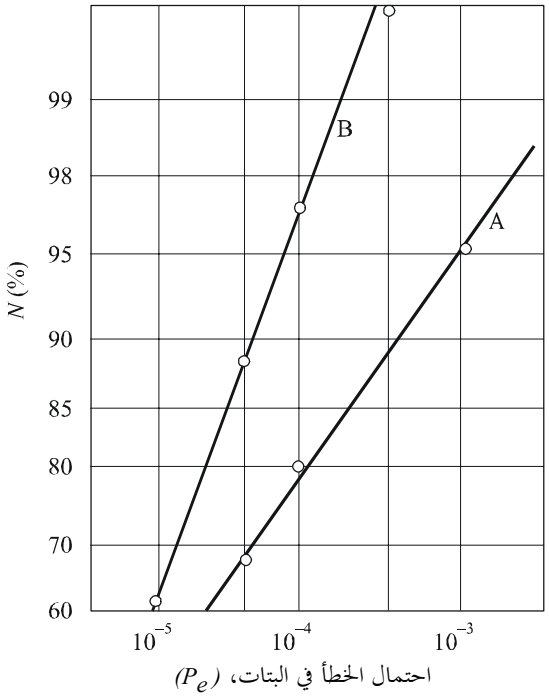
الشكل 12

حصانة المودم ضد الضوضاء في قنوات الخبو



أ) اختبار المحاكاة

A: بشعاع واحد
B: بشعاعين
سرعة الإرسال: 1 200 bit/s



ب) اختبار وصلة الاتصالات

A: 3 600 km
B: 4 300 km
سرعة الإرسال: 1 200 bit/s 0763-12

الملحق 4

تنوع الأسلوب/الاستقطاب
في أنظمة المعطيات الراديوية عالية التردد

1 مقدمة

يتفاوت اتساع الإشارات الراديوية بالموجات الديكامترية (HF) حينما يتغير اتجاه استقطابها فيما يخص هوائي الاستقبال. يحدث الاتساع الأدنى حينما يكون الاستقطاب تعامدي بينما يقابل الاتساع الأقصى الاستقطاب المتوازي. والخبو الناجم عن تغيرات الاستقطاب أكدته بعض الاختبارات التي توصلت إلى أنه غالباً ما تتزامن سوية الإشارة المستقبلة الدنيا مع سوية إشارة قصوى في عنصر متعامد. ويمكن استغلال هذا الأثر باستعمال نظام لعناصر الهوائي المتعامد لتحسين أداء النظام.

تتضمن عدة مودمات بموجات ديكامترية (HF) بنغمة تسلسلية تقنيات تسوية تكييفية على غرار تلك المذكورة في الملحق 2. وتستعمل بعض المودمات شكل موجة يدخل فيها التمهيد دورياً في قطار المعطيات. والتمهيد، الذي يتألف من رموز معروفة، ليتيح استجابة نبض آني للقناة التي يتعين تقييمها. عندئذ يمكن أن يستعمل مسوي استجابة النبض الآني لضم الطاقة من عدة مسيرات بمهل زمنية مختلفة. وتبقى استجابة النبض جارية عن طريق إجراء تحديث للموجات الصغرى من أجل تحديث المسوي التكييفي.

وبعد التسوية، يمكن لتواجد عدة أساليب انتشار متنوعة أن يكون مفيداً حيث أن من غير المحتمل أن تعاني من الخبو الآني مما يزيد من احتمال أن يستقبل جزء من الطاقة المرسلة. وهذه الظاهرة، التي تعرف بتنوع الأسلوب يمكن استغلالها طالما كانت الطاقة المرسلة التي تصل إلى المستقبل كافية للتغلب على الضوضاء. ويمكن استعمال كسب تنوع الأسلوب على أفضل وجه إذا كان الاختلاف في تأخر المسير كبيراً بما يكفي لتفادي الخبو المنتظم. وباستعمال عناصر هوائي تعامدي يمكن إنشاء مسيرات متعددة صناعية بقيمة ثابتة إلى حد ما عن دخل مزيل التشكيل. وبهذه الطريقة يمكن تحقيق كسب تنوع الاستقطاب بالاستفادة من قدرة المودم على التعامل مع التداخل بين الرموز وتحسين الأداء من خلال تنوع الأسلوب.

دُرست تقنيتان مختلفتان: تعرف الأولى بتنوع الإرسال وهي تستعمل هوائيين متعامدين يوجه كل منهما مرسل مقفل التردد منفصل ولكن طوري ويؤخر دخل النطاق الأساسي بواحد من المرسلات، ويتصل بمستقبل له هوائي وحيد. والثانية وتعرف بتنوع الاستقبال، وتستعمل مرسلاً وهوائياً وحيدين ولكن تستعمل مستقبلات مقفلة التردد بطورين للهوائيات المستقطبة عمودياً. ويوصل خرج المستقبل بمضمام تنوع الاستقبال مع مسير مؤخر في النطاق الأساسي، الذي ينتج الدخل في المودم. وتكون خروج المستقبل موصلة بمضمام تنوع الاستقبال ووظيفته جمع الإشارتين من أجل تشكيل دخل الإشارة في المودم. ويسمح هذا المضمام البسيط باستقبال التنوع دون تعديل المودم. وعادة ما تستعمل المستقبلات بالموجات الديكامترية HF التجميع AGC لاستيعاب المجموعة الدينامية العريضة للإشارة، للإبقاء على خرج يكون قريباً من بعض سويات المجموعة. وعندما تخفض سوية دخل الإشارة أثناء الخبو، يزداد كسب المستقبل من خلال تأثير AGC. ولذلك يعتبر توتر AGC إجراءاً مناسباً لقياس النسبة الآنية *S/N*. وينبغي أن يشدد تصميم المضمام على المكون بنسبة *S/N* أفضل من المكون بنسبة *S/N* الضعيفة. ولهذا السبب تستعمل تواترات AGC للمستقبلات عن طريق مضمام متنوع لتحديد نسبة تشكيل المجموع بإشارتين. وعندها تطبق الإشارة الناتجة على دخل المودم.

وبالنسبة للنظام الموصوف في الملحق 2 حيث تمتد مقدرة المسوي إلى أكثر من 5 ms، فقد وُجد أن تأخر في النطاق الأساسي قدره 2,7 ms هو الأمثل. وتبين أنه يمكن الحصول على أفضل النتائج حينما يكون المسير المؤخر هو المسير الأضعف. ويعزى ذلك إلى تقنيات مزامنة مستعملة في المودم. ولذلك فإن إجراء استعمال تأخر الإشارة مع الهوائيات العمودية يكفل أن تسبق الإشارة الضعيفة الإشارات القوية في كلتا التقنيتين.

2 استنتاجات

يمكن لهذا النمط من التنوع أن يحسن أداء أنظمة المعطيات الراديوية بالموجات الديكامترية HF. ويمكن أن يخفف تنوع الإرسال معدلات الخطأ حتى أربعة أمثال الاتساع في حين يمكن لتنوع الاستقبال أن يحسن معدل الخطأ حتى ثلاثة أمثال الاتساع. ويمكن تقييم التحسن الذي يتيحه التنوع بدراسة قدرة الإرسال الإضافية المطلوبة لتحسين أداء نظام يخلو من التنوع إلى السوية المحققة من التنوع. وبالنسبة لمودم يتضمن تعويض تكييفي، يعادل استعمال تنوع الإرسال زيادة في قدرة المرسل بنحو 6-8 dB في حين يعادل تنوع الاستقبال البسيط لزيادة في القدرة تبلغ 3-4 dB. وبالنسبة لنظام يستعمل تنوع الإرسال، يمكن أن يحل مرسلان بقدرة 100 W محل مرسل بقدرة 1 kW في حال تحقق كسب قدره 7 dB. وهذا التخفيض في قدرة المرسل إذا اقترن بإمكانية تنفيذ تنوع الاستقطاب إما في ظروف الإرسال أو في ظروف استقبال الوصلة دون تعديل المودمات الموجودة، يمكن أن يمثل تخفيضاً كبيراً في التكاليف. وسوف يتوقف نمط التنوع المستعمل في تطبيق معين على نمط الوصلات المعنية. وهذا يعني أن من الأرجح أن تستعمل المحطة الأساسية التنوع في حين لن تستعملها المحطة البعيدة. والتنوع في الإرسال والاستقبال مفيدان حين يمكن تعزيز أداء وصلات معطيات الاتصالات بالمنصات المتنقلة أو في المواقع النائية وذلك بهوائيات ومستقبلات ومرسلات إضافية في موقع المحطة الأساسية.

الملحق 5

إرسال معطيات بمعدلات تصل إلى 4 800 bit/s في دارات بالموجات الديكامترية (HF) مع مودم يستعمل الإرسال PSK أو بتشكيل اتساع تربيعي (QAM)

1 ملاحظات عامة

يسمح هذا المودم بإرسال المعطيات بمعدلات معلومات تصل إلى 4 800 bit/s تستعمل التشكيل QAM-16 في عرض نطاق يبلغ 300 إلى 2 700 Hz. وتحول طريقة التشكيل تبعاً لنوعية الوصلة إلى QPSK في المعدل 2 400 bit/s إلى BPSK في المعدل 1 200 bit/s.

2 السمات

- تتيسر معدلات معلومات تصل إلى 4 800 bit/s.
- يحول معدل المعلومات إلى 2 400 bit/s (مع QPSK) أو 1 200 bit/s (مع BPSK) تبعاً لنوعية الوصلة.
- يتراوح عرض نطاق الإرسال بين 300 و2 700 Hz مما يسمح بمباعدة بين القنوات تعادل 3 kHz.
- يشمل البروتوكول تتابعاً تزامنياً مقداره 28 رمزاً يقابل كل رتل من أرتال المعطيات المؤلف من 112 رمزاً بحيث تبلغ معدلات البتات الأولية للإرسال 6 kbit/s و3 kbit/s و1,5 kbit/s.
- لا يمكن تبديل معدل البتة بدلالة أسلوب التشكيل ببساطة إلا بتحقيق تقابل التبديل بدون تعديل سرعة إرسال الإشارات.
- يستعمل مسوٍ مكرر بقرار وثنائي الاتجاه.

3 الخواص

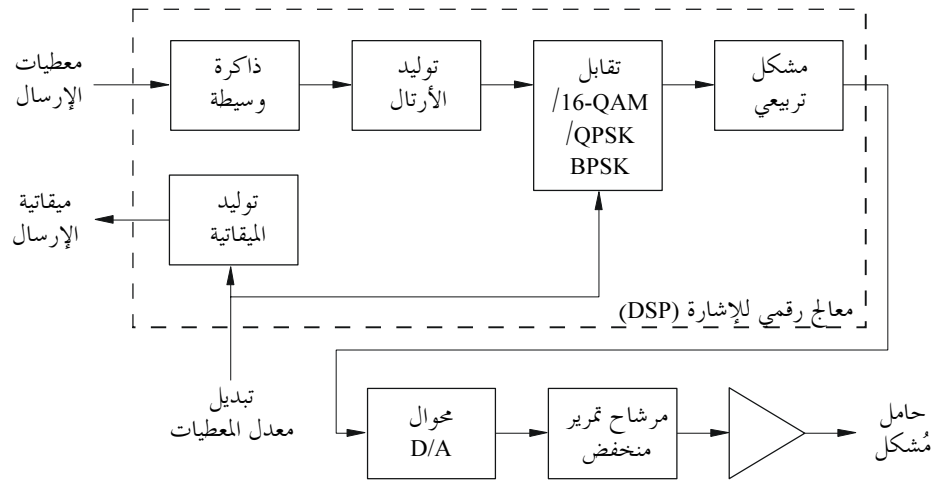
أسلوب التشكيل	16−QAM	QPSK	BPSK
معدل الموجة الحاملة (kbit/s)	6	3	1,5
معدل البتة للمستعمل (kbit/s)	4,8	2,4	1,2
سرعة إرسال الإشارات (kBd)	1,5		
طول الرتل	140 رمزاً (93,3 ms)		
تتابع التزامن	28 رمزاً		
طول المعطيات	112 رمزاً		
تسوية	ثنائي الاتجاه DFE		

4 مخطط إجمالي لمعالجة الإشارة

يوضح الشكلان 13a و13b المخططين الوظيفيين للمشكل ولمزيل التشكيل على التوالي.

الشكل 13a

مخطط وظيفي للمشكل

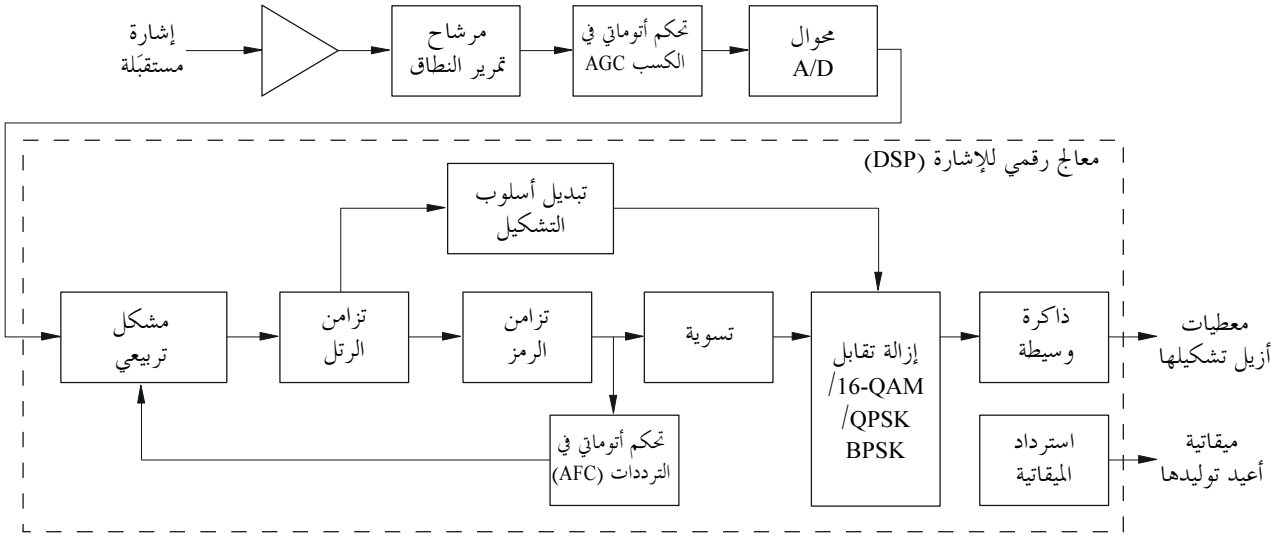


0763-13a

DSP: معالج رقمي للإشارة
LPF: مرشاح تمرير منخفض

الشكل 13b

مخطط وظيفي لمزيل المشكل



AFC: تحكم أوتوماتي في الترددات
BPF: مرشاح تمرير النطاق

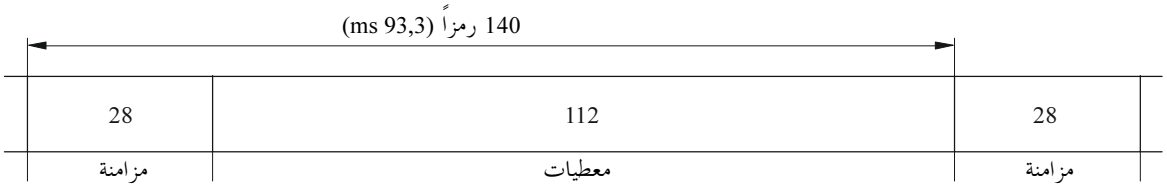
0763-13b

5 بنية الرتل

تتمتع الرموز التي سترسل ببنية مؤلفة من أرتال متكررة طولها 93,3 ms كما يوضح الشكل 14.

الشكل 14

بنية الرتل



0763-14

6 قاعدة التشفير للإرسال 16-QAM ومخطط الكوكبة للتشكيل 16-QAM

يوضح الجدول 2 قاعدة التشفير للإرسال 16-QAM ويبين الشكل 15 مخطط الكوكبة للتشكيل 16-QAM.

الجدول 2

قاعدة التشفير للتشكيل 16-QAM

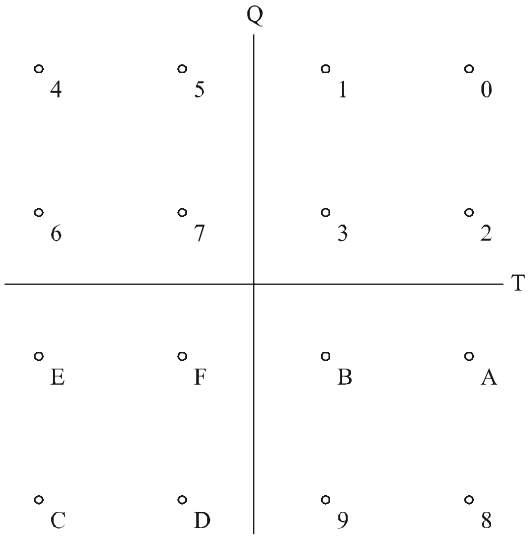
الرمز	البتة الثلاثية
0	0 0 0 0
1	0 0 0 1
2	0 0 1 0
3	0 0 1 1
4	0 1 0 0
5	0 1 0 1
6	0 1 1 0
7	0 1 1 1
8	1 0 0 0
9	1 0 0 1
A	1 0 1 0
B	1 0 1 1
C	1 1 0 0
D	1 1 0 1
E	1 1 1 0
F	1 1 1 1

أحدث بتة

أقدم بتة

الشكل 15

مخطط الكوكبة للتشكيل 16-QAM

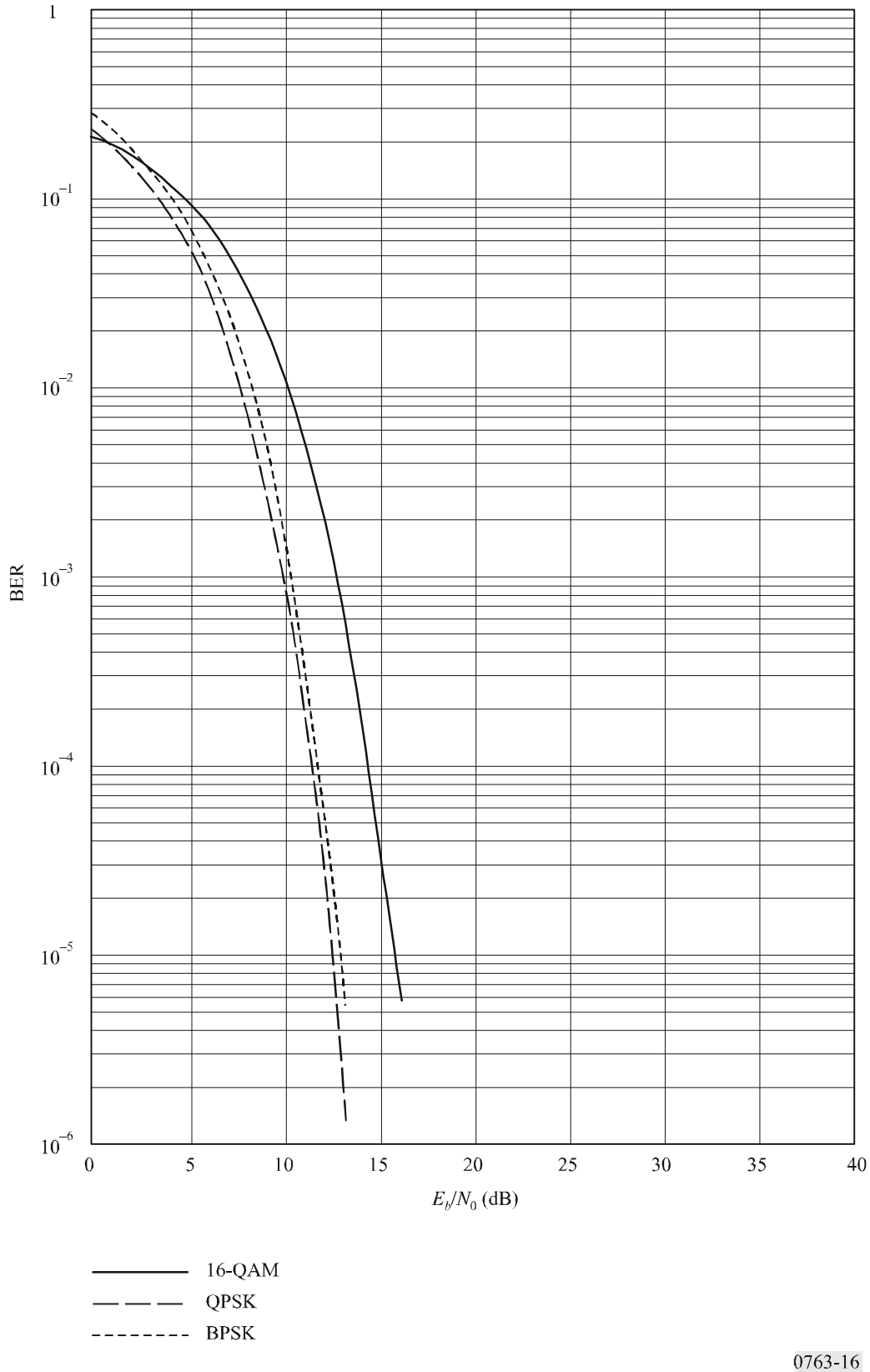


7 معطيات الاختبار

استعمل المسوي المكرر بقرار في الاختبار الموصوف أدناه 14 نقطة تفرع بتغذية أمامية وست نقاط تفرع بتغذية راجعة قادرة على التسوية في تأخر أقصى يعادل خمسة رموز. وترد في الشكل 16 نتائج الاختبارات بدون خبو في ضوضاء غوسية. وقد جرت اختبارات الخبو طبقاً للتوصية ITU-R F.520 مع كسوب على المسير متساوية وفروق تأخر تبلغ 3-0,5 ms من معدل خبو مقداره 0,5 Hz. وتوضح الأشكال من 17 إلى 19 نتائج اختبارات الخطأ في البتات في بيئة الخبو.

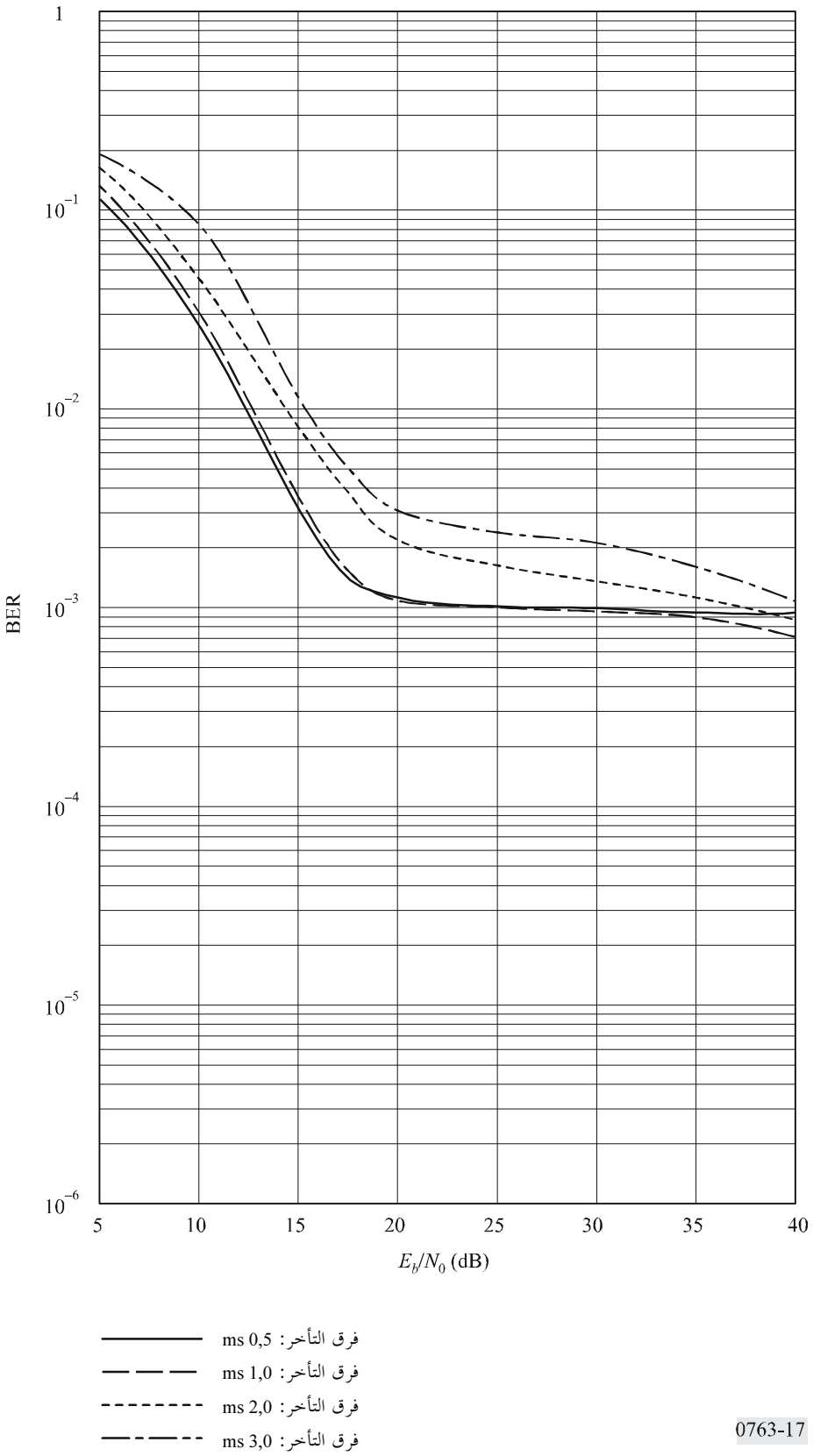
الشكل 16

BER بدلالة الكثافة الطيفية للضوضاء من أجل قناة دون خبو مع ضوضاء غوسية



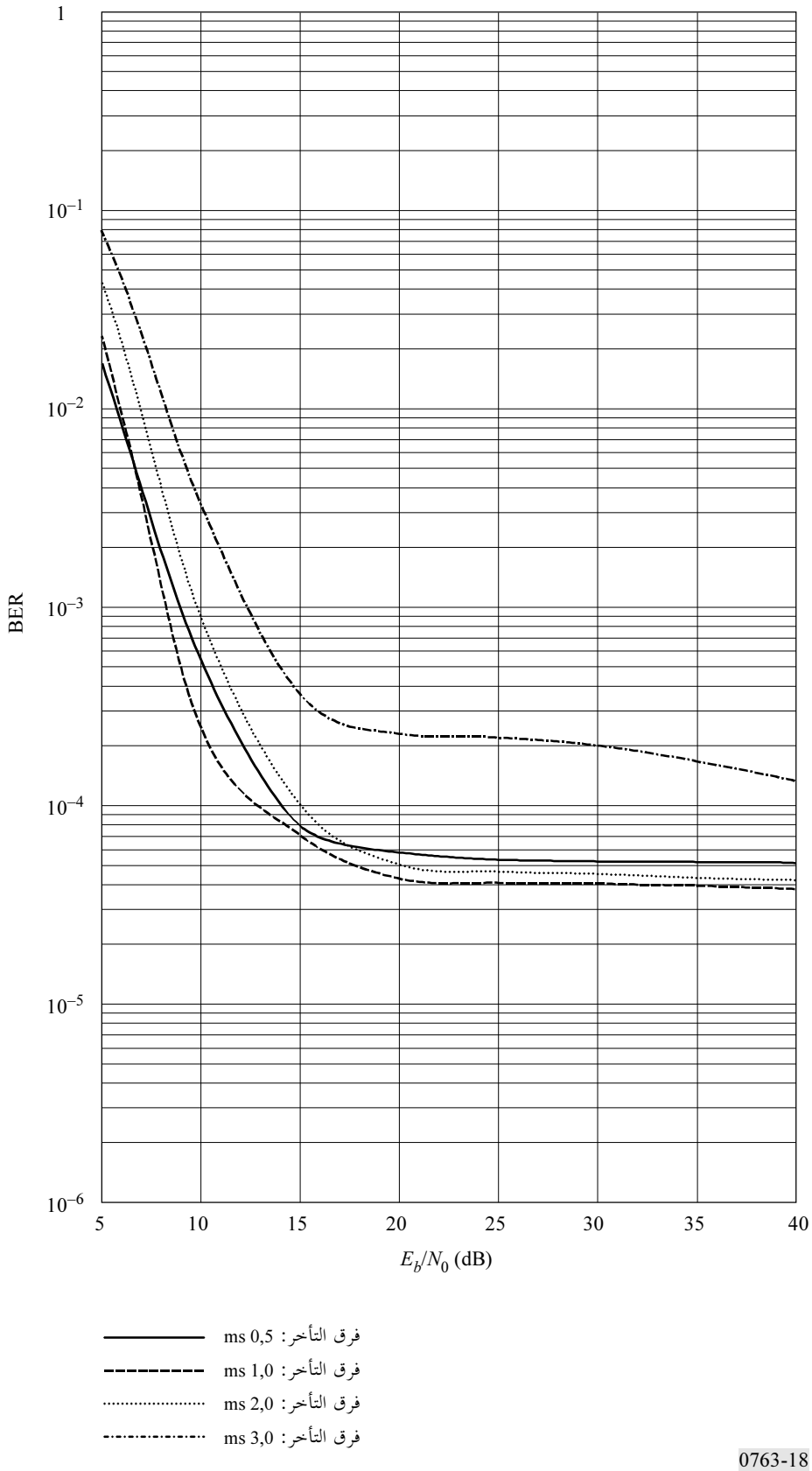
الشكل 17

BER للتشكيل 16-QAM بدلالة الكثافة الطيفية للضوضاء من أجل قناة بخبو



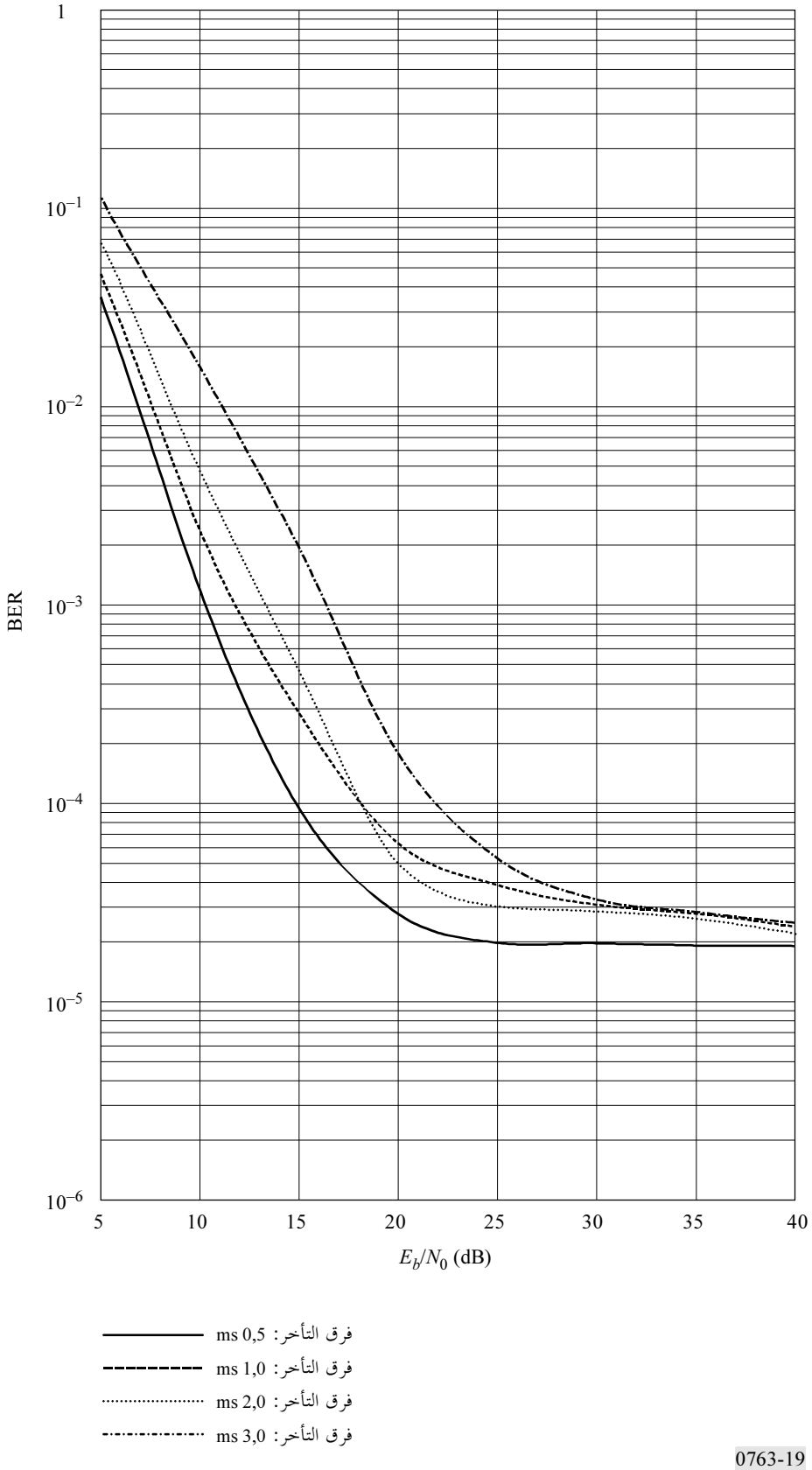
الشكل 18

QPSK BER بدلالة الكثافة الطيفية للضوضاء من أجل قناة بخبو



الشكل 19

BPSK BER بدلالة الكثافة الطيفية للضوضاء من أجل قناة بخبو



الملحق 6

إرسال المعطيات بمعدلات اثنينية عالية 200 3/800 4/400 6/000 8/600 9/800 12 bit/s باستعمال مودمات إرسال بالتسلسل على دارات ديكامترية HF

1 مقدمة

يوفر هذا الملحق وصفاً تفصيلياً للإشارات المرسلة عن طريق مودمات على شبكات الاتصالات الراديوية بموجات ديكامترية (HF). وهذه العائلة من أشكال الموجات يطلق عليها STANAG 4539. وهي عائلة من أشكال الموجات ذاتية التعرف للتشغيل المشفّر بين 200 3 bit/s إلى 600 9 bit/s (مع إمكانية تشغيل بفك تشفير عند 800 12 bit/s). وسمة التعرف الذاتي[1] لهذه الموجة العاملة من أشكال الموجات تمكن من التكيف السريع للتشكيل للاستجابة للظروف المتغيرة للقنوات. والسمات الرئيسية لأشكال الموجات هذه هي:

- القدرة على تتبع قناة HF بخبو ناجم عن تعدد المسيرات قدره 3-5 ms.
- القدرة على تصحيح الأخطاء الناجمة عن الخبو، وتعدد المسيرات والضوضاء.
- عرض نطاق التمرير يجب أن يتراوح بين 300 و050 3 Hz.
- الكشف الأوتوماتي لمعدل المعطيات والكشف عن التشذير.
- القدرة على التسامح في زحزحة قدرها ± 75 Hz بين حاملة الإرسال الديكامتري (HF) والاستقبال الديكامتري (HF).

1.1 عرض عام

يعرض هذا القسم إشارات ترسل عن طريق المودم إما بتشفير بمعدلات معطيات تبلغ 200 3، 800 4، 400 6، 000 8، 600 9 bit/s، وإما بدون تشفير بمعدل قدره 800 12 bit/s.

ويستعمل تشذير الفدرة للحصول على ستة أطوال للتشذير تتراوح من 0,12 إلى 8,64 s. ويستعمل انتقاء تشفير وحيد، وطول تقييدي قدره 7، وتشفير تلافيفي قدره 1/2، متقطع عند 3/4 لجميع معدلات المعطيات. ويستعمل نهج متكرر full-tail-biting لإنتاج شفرات الفدر من التشفير التلافيفي الذي يبلغ طوله نفس طول التشذير.

ترسل كل من معدلات المعطيات ومُشكلات التشذير على نحو واضح كجزء من شكل الموجة، وكجزء من التمهيد الأولي ثم بشكل دوري كتمهيد أعيد إدراجه وكذلك في فدرات الرموز الدورية المعروفة. ووظيفة التعرف الذاتي هذه تُعتبر هامة في وضع بروتوكولات ARQ كفؤة من أجل القنوات الديكامترية HF. وهكذا يكون مودم الاستقبال قادراً على استنتاج معدل المعطيات ومُشكلات التشذير من التمهيد أو من جزء المعطيات اللاحق لشكل الموجة.

2.1 التشكيل

تبلغ سرعة التشكيل 400 2 رمز/s بالنسبة لجميع الرموز، وهي قيمة يجب أن تكون دقيقة تبلغ ± 0,024 رمز/ثانية على وجه التقريب (10 ppm) عندما تطلق ميقاتية معطيات الإرسال، لا عن طريق تجهيزات مطراف معالجة المعطيات بل عن طريق المودم. وتقنيات التشكيل المستعملة هي الإبراق بزحزحة الطور (PSK) أو بتشكيل اتساع تربيعي (QAM). والموجة الحاملة الفرعية (أو زوج من الموجات الحاملة الفرعية التربيعية في حالة ما إذا كان تشكيل الاتساع التربيعي يتمركز حول 800 1 Hz بدقة تبلغ 0,018 Hz (10 ppm). ويبلغ طور الموجة الحاملة الفرعية التربيعية بالنسبة لطور الموجة الحاملة 90°. وتبلغ الكثافة الطيفية لقدرة الإشارة عند خرج المشكل 20 dB على الأقل تحت سوية الإشارة المقاسة عند 800 1 Hz، عند اختبارها خارج

[1] الرموز المرسلة في طور التمهيد ومراحل اختبار القنوات تحدد معدل المعطيات وعمق التشذير.

نطاق يتراوح بين 200 Hz و400 3 Hz. ويجب على المرشاح المستعمل أن يدخل تموج لا يزيد عن ±2 dB في المدى من 800 Hz إلى 800 2 Hz. والمرشاح المستعمل في هذه الحالة هو مرشاح Nyquist بجذر تربيعي حيث $\alpha = 0,35$.

1.2.1 الرموز المعروفة

بالنسبة لجميع الرموز المعروفة، التشكيل المستعمل هو الإبراق بزحزحة الطور PSK، مع رمز تقابل مبين في الجدول 1 وفي الشكل 20. ولا يطبق أي تخليط على الرموز المعروفة.

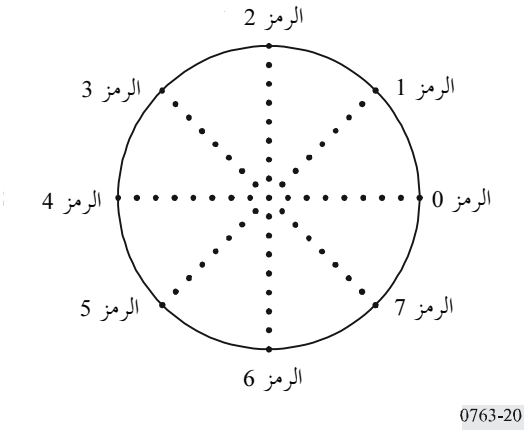
الجدول 3

تقابل الرموز 8-PSK

رقم الرمز	الطور	طوري	تربيعي
0	0	1,000000	0,000000
1	$\pi/4$	0,707107	0,707107
2	$\pi/2$	0,000000	1,000000
3	$3\pi/4$	0,707107–	0,707107
4	π	1,000000–	0,000000
5	$5\pi/4$	0,707107–	0,707107–
6	$3\pi/2$	0,0000000	1,000000–
7	$7\pi/4$	0,707107	0,707107–

الشكل 20

كوكبة الإشارات مع 8-PSK وتقابل الرموز



2.2.1 رموز المعطيات

بالنسبة لرموز المعطيات، سيتوقف التشكيل المستعمل على معدل المعطيات. ويصف الجدول 4 التشكيل المستعمل في كل حالة من حالات معدلات المعطيات.

الجدول 4

التشكيل المستعمل للحصول على كل معدل معطيات

معدل البيانات (bit/s)	التشكيل
3 200	QPSK
4 800	8-PSK
6 400	16-QAM
8 000	32-QAM
9 600	64-QAM
12 800	64-QAM

تستعمل الكوكبتان 16-QAM و32-QAM حلقات PSK متعددة للإبقاء على علاقة طيبة بين قيمة الذروة والقيمة المتوسطة، وكوكبة 64-QAM متغير لكوكبة QAM التمام التربيعي، المعدلة لتحسين معدل الذروة المتوسط.

1.1.2.1 رموز معطيات PSK

بالنسبة لكوكبات PSK، يجري التمييز بين بتات المعطيات وعدد الرموز لأغراض تخليط تشكيل QPSK للإشارة إليه باعتباره 8-PSK في التشغيل. ويطبق التخليط كإضافة إلى المقاس 8 لتتابع تخليط في عدد رموز 8-PSK. وتحويل الشفرة هي عملية تربط رمز يتعين إرساله بمجموعة من بتات المعطيات.

1.1.2.2.1 تقابل رموز QPSK

ينجز تحويل الشفرة بالنسبة لمعدل معطيات المستعمل وقدره 3 200 bit/s بربط واحد من الرموز المحددة في الجدول 3 بمجموعة من بتتين متتاليتين من بتات المعطيات (بتة مزدوجة) كما هو مبين في الجدول 5. والبتة الموجودة في أقصى اليسار، في هذا الجدول، هي أقدم بتة؛ أي المستنتجة من التشذير قبل البتة الموجودة في أقصى اليمين.

الجدول 5

تحويل الشفرة من أجل 3 200 bit/s

البتة المزدوجة	الرمز
00	0
01	2
11	4
10	6

2.1.2.2.1 تقابل رموز 8-PSK

ينجز تحويل الشفرة بالنسبة لمعدل معطيات المستعمل بربط رمز واحد بمجموعة من ثلاث بتات متتالية من بتات المعطيات (البتة الثلاثية) كما هو مبين في الجدول 6. وفي هذا الجدول، البتة الموجودة في أقصى يسار البتة الثلاثية هي الأقدم؛ أي المستنتجة من التشذير قبل البتتين الأخريين أما البتة في أقصى اليمين فهي البتة الأحدث.

الجدول 6

تحويل الشفرة من أجل 4 800 bit/s

البتة الثلاثية	الرمز
000	1
001	0
010	2
011	3
100	6
101	7
110	5
111	4

3.1.2.2.1 رموز معطيات تشكيل الاتساع التربيعي QAM

بالنسبة لكوكبة تشكيل الاتساع التربيعي لا يميز بين العدد المكون مباشرة من بتات المعطيات ورقم الرمز. وكل مجموعة من 4 بتات (16-QAM)، أو 5 بتات (32-QAM) أو 6 بتات (64-QAM) تقابل مباشرة رمز QAM. وعلى سبيل المثال، التجميعات الرمزية للبتات الأربع 0111 تقابل الرمز 7 في الكوكبة 16-QAM في حين أن التجميعات الرمزية لست بتات 100011 تقابل الرمز 35 في الكوكبة 64-QAM. ومن جديد، في كل حالة تعتبر البتة الموجودة في أقصى اليسار هي أقدم بتة، أي المستنتجة من التشذير قبل البتات الأخرى، والبتة في أقصى اليمين هي البتة الأحدث.

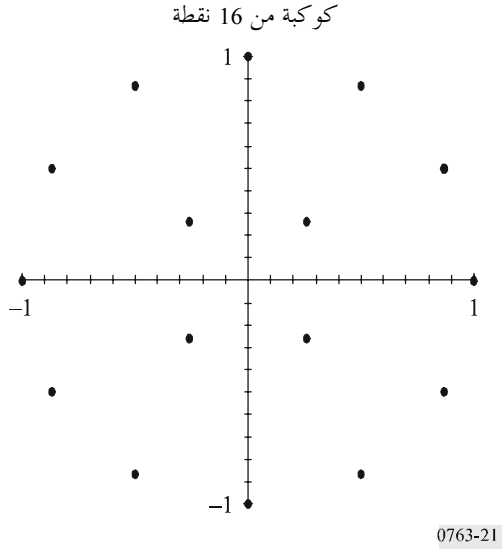
وتم اختيار تقابل البتات للكوكبات QAM بطريقة تخفض إلى أدنى حد عدد الأخطاء في البتات عندما تنطوي الأخطاء على نقاط تشوير مجاورة في الكوكبة.

4.1.2.2.1 كوكبة 16-QAM

يشار إلى نقاط الكوكبة، في حالة 16-QAM، في الشكل 21 ويرد وصفاً لها من حيث المكونات الطورية والتربيعية في الجدول 7. وكما يمكن أن نرى في هذا الشكل، تشتمل الكوكبة 16-QAM على دفعتين للإبراق بزحزحة الطور PSK: 4 رموز PSK داخلية و12 رمزاً PSK خارجياً.

الشكل 21

كوكبة تشوير 16-QAM



الجدول 7

مكونات طورية وتربيعية لكل رمز 16-QAM

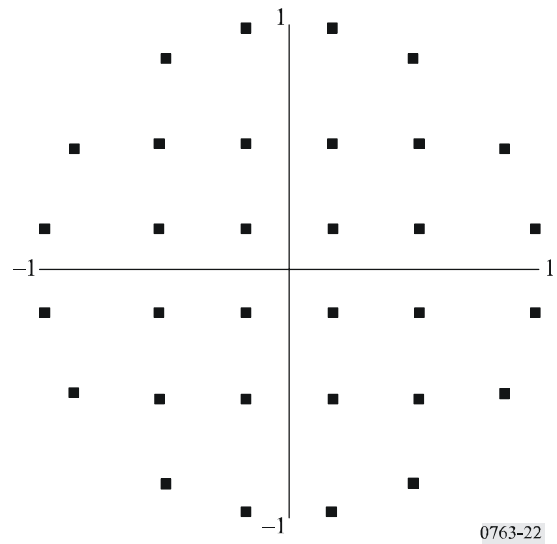
رقم الرمز	طوري	تربيعي
0	0,866025	0,500000
1	0,500000	0,866025
2	1,000000	0,000000
3	0,258819	0,258819
4	0,500000–	0,866025
5	0,000000	1,000000
6	0,866025–	0,500000
7	0,258819–	0,258819
8	0,500000	0,866025–
9	0,000000	1,000000–
10	0,866025	0,500000–
11	0,258819	0,258819–
12	0,866025–	0,500000–
13	0,500000–	0,866025–
14	1,000000–	0,000000
15	0,258819–	0,258819–

5.1.2.2.1 كوكبة 32-QAM

يوضح الشكل 22، نقاط الكوكبة المستعملة في 32-QAM ويتم تحديدها من حيث مكوناتها الطورية والتربيعية في الجدول 8. وتشتمل هذه الكوكبة على دفق خارجي من 16 رمزاً وتربيع داخلي من 16 رمزاً.

الشكل 22

كوكبة تشوير 32-QAM



الجدول 8

مكونات طورية وتربيعية لكل رمز 32-QAM

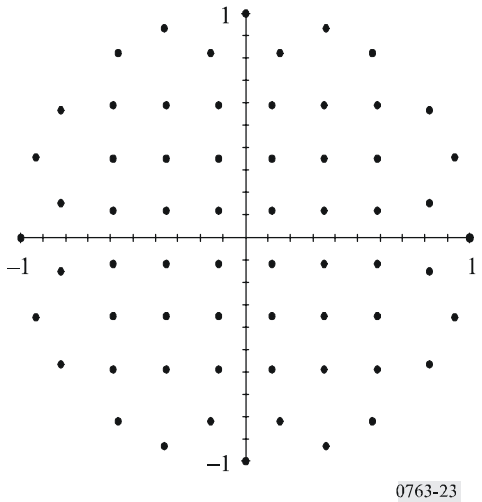
رقم الرمز	طوري	تربيعي	رقم الرمز	طوري	تربيعي
0	0,866380	0,499386	16	0,866380	0,499386–
1	0,984849	0,173415	17	0,984849	0,173415–
2	0,499386	0,866380	18	0,499386	0,866380–
3	0,173415	0,984849	19	0,173415	0,984849–
4	0,520246	0,520246	20	0,520246	0,520246–
5	0,520246	0,173415	21	0,520246	0,173415–
6	0,173415	0,520246	22	0,173415	0,520246–
7	0,173415	0,173415	23	0,173415	0,173415–
8	0,866380–	0,499386	24	0,866380–	0,499386–
9	0,984849–	0,173415	25	0,984849–	0,173415–
10	0,499386–	0,866380	26	0,499386–	0,866380–
11	0,173415–	0,984849	27	0,173415–	0,984849–
12	0,520246–	0,520246	28	0,520246–	0,520246–
13	0,520246–	0,173415	29	0,520246–	0,173415–
14	0,173415–	0,520246	30	0,173415–	0,520246–
15	0,173415–	0,173415	31	0,173415–	0,173415–

6.1.2.2.1 كوكبة 64-QAM

تبين نقاط الكوكبة المستعملة لتشكيل 64-QAM في الشكل 23 ووصفها من حيث مكوناتها الطورية والتربيعية في الجدول 9. وهذه الكوكبة هي بديل للكوكبة المعتادة من 8×8 مربع وتحقق معدل ذروة/متوسط أفضل دون التضحية بخصائص شفرة شبه غراي للكوكبة التربيعية.

الشكل 23

كوكبة تشوير 64-QAM



الجدول 9

مكونات طورية وتربيعية لكل رمز 64-QAM

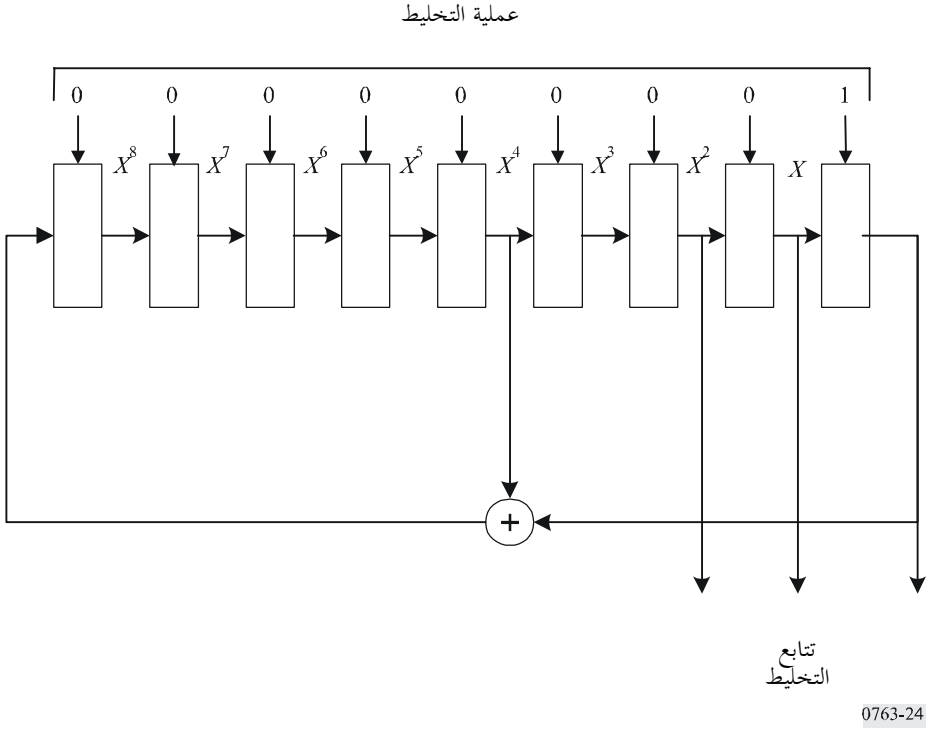
رقم الرمز	طوري	تربيعي	رقم الرمز	طوري	تربيعي
0	1,000000	0,000000	32	0,000000	1,000000
1	0,822878	0,568218	33	0,822878–	0,568218
2	0,821137	0,152996	34	0,821137–	0,152996
3	0,932897	0,360142	35	0,932897–	0,360142
4	0,000000	1,000000–	36	1,000000–	0,000000
5	0,822878	0,568218–	37	0,822878–	0,568218–
6	0,821137	0,152996–	38	0,821137–	0,152996–
7	0,932897	0,360142–	39	0,932897–	0,360142–
8	0,568218	0,822878	40	0,568218–	0,822878
9	0,588429	0,588429	41	0,588429–	0,588429
10	0,588429	0,117686	42	0,588429–	0,117686
11	0,588429	0,353057	43	0,588429–	0,353057
12	0,568218	0,822878–	44	0,568218–	0,822878–
13	0,588429	0,588429–	45	0,588429–	0,588429–
14	0,588429	0,117686–	46	0,588429–	0,117686–
15	0,588429	0,353057–	47	0,588429–	0,353057–
16	0,152996	0,821137	48	0,152996–	0,821137
17	0,117686	0,588429	49	0,117686–	0,588429
18	0,117686	0,117686	50	0,117686–	0,117686
19	0,117686	0,353057	51	0,117686–	0,353057
20	0,152996	0,821137–	52	0,152996–	0,821137–
21	0,117686	0,588429–	53	0,117686–	0,588429–
22	0,117686	0,117686–	54	0,117686–	0,117686–
23	0,117686	0,353057–	55	0,117686–	0,353057–
24	0,360142	0,932897	56	0,360142–	0,932897
25	0,353057	0,588429	57	0,353057–	0,588429
26	0,353057	0,117686	58	0,353057–	0,117686
27	0,353057	0,353057	59	0,353057–	0,353057
28	0,360142	0,932897–	60	0,360142–	0,932897–
29	0,353057	0,588429–	61	0,353057–	0,588429–
30	0,353057	0,117686–	62	0,353057–	0,117686–
31	0,353057	0,353057–	63	0,353057–	0,353057–

3.2.1 تخليط المعطيات

رموز المعطيات المقابلة لكوكبة رموز 8-PSK (بمعدل 3 200 bit/s و4 800 bit/s) مخلطة عن طريق إضافة المقاس 8 مع تتابع تخليط. ويتم تخليط رموز معطيات كوكبات 16-QAM و32-QAM و64-QAM باستعمال عامول حصري أو منطقي (XOR). وبالتتابع، تخضع بتات المعطيات التي تشكل كل رمز (4 من أجل 16-QAM، 5 من أجل 32-QAM و6 من أجل 64-QAM) (XOR) مع عدد مساوي من البتات من تتابع التخليط. وفي جميع الحالات، يكون تتابع تخليط كثير الحدود مُولد هو $1 + {}^4X + {}^9X$ ويمهد المولد حتى 1 في بداية كل رتل معطيات. ويبين الشكل 24 مخطط إجمالي لتتابع التخليط.

الشكل 24

مولد تتابع التخليط يوضح توليد التخطيط لرموز 8-PSK



بالنسبة لرموز 8-PSK (بمعدل 3 200 bit/s و4 800 bit/s) يتم التخليط بأخذ مجموع الأرقام الثمانية للقيمة الرقمية للاثنينية الثلاثية المؤلفة من البتات الثلاث الأخيرة (أقصى اليمين) في مسجل الزحزحة، ورقم الرمز (قيمة تحويل الشفرة). ومثلاً، إذا كانت البتات الثلاث الأخيرة في مسجل زحزحة تتابع التخطيط هي 010 وهي قيمة رقمية تساوي 2، وكان رقم الرمز قبل التخليط هو 6، سيكون الرمز المرسل هو الرمز 0: حيث $(6 + 2)$ المقاس $8 = 0$. بالنسبة لرموز 16-QAM، يجري التخليط بواسطة XOR لأرقام البتات 4 المقابلة للأخيرة (أقصى اليمين) أربع بتات في مسجل الزحزحة مع عدد الرمز. ومثلاً، إذا كانت البتات 4 الأخيرة في مسجل زحزحة تتابع التخطيط هي 0101 وكان رقم الرمز قبل التخليط هو 3 (أي 0011)، والرمز 6 (0110)، فسيرسل الرمز 6 (0110). بالنسبة لرموز 32-QAM، يتم التخليط بواسطة XOR لأرقام البتات 5 عن طريق البتات الخمس الأخيرة (أقصى اليمين) في مسجل الزحزحة مع عدد الرموز. وبالنسبة لرموز 64-QAM، يتم التخليط بواسطة XOR لأرقام البتات 6 عن طريق البتات الست الأخيرة (أقصى اليمين) في مسجل الزحزحة مع عدد الرموز.

وبعد تخليط كل رمز للمعطيات، يكرر (يزحزح) المولد عدد المرات اللازمة لإنتاج جميع البتات الجديدة لاستعمالها في تخليط الرمز التالي (ثلاثة رموز مكررة في 8-PSK، أربعة رموز مكررة في 16-QAM، وخمسة رموز مكررة في 32-QAM وستة رموز مكررة في 64-QAM). ونظراً لأن المولد يتكرر بعد استعمال البتات، يجب تخليط رمز المعطيات الأول لكل أرتال المعطيات بعدد مناسب من البتات من القيمة الأولية البالغة 00000001.

ويبلغ طول تتابع التخليط 511 بتة. بالنسبة لفدرة معطيات من 256 رمزاً و6 بتات لكل رمز، ويعني هذا أن تتابع التخليط سيتكرر بأكثر من ثلاثة أمثال بقليل، رغم أنه ليس هناك تكرار من حيث الرموز.

3.1 بنية الرتل

توضح بنية الرتل المستعملة في التشوير الذي يستهدفه هذا الملحق في الشكل 25. ويتبع تمهيد أولي من 287 رمزاً يعقبه 72 رتلاً من رموز المعطيات والرموز المعروفة بالتناوب. وكل رتل من المعطيات له فدرة معطيات تتألف من 256 رمزاً للمعطيات، يعقبه برنامج اختبار صغري من 31 رمزاً للمعطيات المعروفة. وعقب 72 رتلاً من المعطيات، يعاد إدراج مجموعة فرعية مؤلفة من 72 رمزاً في التمهيد الأولي لتسهيل الاكتساب المتأخر، وإلغاء أثر دوبلر وتكييف المزامنة. ويبلغ الطول الإجمالي للمعطيات المعروفة في هذه القطعة حالياً 103 رموز، أي 72 رمزاً من التمهيد أعيد إدخالها، بالإضافة إلى 31 رمزاً من القطعة السابقة للمسبار الصغري تعقب فدرة المعطيات التي يبلغ طولها 256 رمزاً.

الشكل 25

بنية الرتل لجميع أشكال الموجات

1.3.1 تمهيد المزامنة وتمهيد إعادة الإدخال

يستعمل تمهيد المزامنة للمزامنة الأولية السريعة. ويستعمل التمهيد المعاد إدخاله لتسهيل اكتساب (معطيات) إرسال جاري.

1.1.3.1 تمهيد المزامنة

يتألف تمهيد المزامنة من جزأين. الجزء الأول ويتألف من N فدرة على الأقل من 8-PSK 184 رمزاً يجب استعمالها على وجه الحصر من أجل التحكم الأوتوماتي في الكسب AGC الراديوي والمودم. وقيمة N قابلة للتشكيل بين 0 و7 (عندما تكون $N = 0$ لا يرسل هذا الجزء على الإطلاق) وهذه الرموز 184 تتشكل باستعمال الترافق المعقد للرموز 184 الأولى بالتتابع المحدد أدناه للجزء الثاني.

يتألف الجزء الثاني من 287 رمزاً. والرموز 184 الأولى تستهدف المزامنة وإلى إلغاء أثر دوبلر، في حين أن الرموز 103 الأخيرة، وهي مشتركة مع التمهيد المعاد إدخاله، تحمل معلومات تتعلق بمعدل المعطيات وبطول التشذير. والجزء الثاني من المزامنة، معبراً عنه كتتابع لرموز 8-PSK، وباستعمال عدد الرموز الوارد في الجدول 3، هو كما يلي:

1, 5, 1, 3, 6, 1, 3, 1, 1, 6, 3, 7, 7, 3, 5, 4, 3, 6, 6, 4, 5, 4, 0,
2, 2, 2, 6, 0, 7, 5, 7, 4, 0, 7, 5, 7, 1, 6, 1, 0, 5, 2, 2, 6, 2, 3,
6, 0, 0, 5, 1, 4, 2, 2, 2, 3, 4, 0, 6, 2, 7, 4, 3, 3, 7, 2, 0, 2, 6,
4, 4, 1, 7, 6, 2, 0, 6, 2, 3, 6, 7, 4, 3, 6, 1, 3, 7, 4, 6, 5, 7, 2,
0, 1, 1, 1, 4, 4, 0, 0, 5, 7, 7, 4, 7, 3, 5, 4, 1, 6, 5, 6, 6, 4, 6,
3, 4, 3, 0, 7, 1, 3, 4, 7, 0, 1, 4, 3, 3, 3, 5, 1, 1, 1, 4, 6, 1, 0,
6, 0, 1, 3, 1, 4, 1, 7, 7, 6, 3, 0, 0, 7, 2, 7, 2, 0, 2, 6, 1, 1, 1,
2, 7, 7, 5, 3, 3, 6, 0, 5, 3, 3, 1, 0, 7, 1, 1, 0, 3, 0, 4, 0, 7, 3,

0, 0, 0, 0, 0, 2, 4, 6, 0, 4, 0, 4, 0, 6, 4, 2, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 2, 4, 6, 0, 4, 0, 4, 0, 6, 4,
2,

$(D_0, D_0, D_0, D_0, D_0, D_0, D_0, D_0, D_0, D_0, D_0, D_0, D_0 + 0, 4, 0, 4, 0, 0, 4, 4, 0, 0, 0, 0, 0)$
Modulo 8
$(D_1, D_1, D_1, D_1, D_1, D_1, D_1, D_1, D_1, D_1, D_1, D_1, D_1 + 0, 4, 0, 4, 0, 0, 4, 4, 0, 0, 0, 0, 0)$
Modulo 8
$(D_2, D_2, D_2, D_2, D_2, D_2, D_2, D_2, D_2, D_2, D_2, D_2, D_2 + 0, 4, 0, 4, 0, 0, 4, 4, 0, 0, 0, 0, 0)$
Modulo 8

6,
4, 4, 4, 4, 4, 6, 0, 2, 4, 0, 4, 0, 4, 2, 0, 6, 4, 4, 4, 4, 4, 6, 0, 2, 4, 0, 4, 0, 4, 2, 0.

حيث تأخذ رموز المعطيات D_0 وD_1 وD_2 واحدة من 30 مجموعة من القيم المختارة من الجدول 10 للإشارة إلى معدل المعطيات وطول التشذير. ويشير المقاس إلى أن كل قيمة من القيم D تستعمل لزحزحة طور من تشفير باركر طوله 13 بتة (0101001100000) وذلك بإضافة في المقاس 8 قيمة D إلى كل قيمة من القيم 13 لتشفير باركر (0 أو 4). وبفضل هذه العملية من الممكن تشفير 6 بتات من المعلومات باستعمال تشكيل QPSK من 13 بتة (شذرة) بتشفير باركر. ولما كانت التتابعات الثلاثة لتشفير باركر لا تشغل سوى 39 رمزاً، يمد طول برامج الاختبار الصغري البالغ 31 رمزاً إلى 32 رمزاً لكل منها لتيسير رمزين إضافيين لازمين لتقوية تشفيرات باركر إلى 13 رمزاً حتى يبلغ الإجمالي 41 رمزاً.

الجدول 10

قيم رموز 8-PSK D_0، D_1، D_2
وفقاً لمعدل المعطيات وطول التشذير

معدل المعطيات (bit/s)	طول التشذير في أرتال (فدرة معطيات من 256 رمزاً)					
	1	3	9	18	36	72
3 200	0,0,4	0,2,6	0,2,4	2,0,6	2,0,4	2,2,6
4 800	0,6,2	0,4,0	0,4,2	2,6,0	2,6,2	2,4,0
6 400	0,6,4	0,4,6	0,4,4	2,6,6	2,6,4	2,4,6
8 000	6,0,2	6,2,0	6,2,2	4,0,0	4,0,2	4,2,0
9 600	6,0,4	6,2,6	6,2,4	4,0,6	4,0,4	4,2,6
12 800	[1]6,6,2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

N/A: لا تنطبق

[1] بالنسبة للمعدل 12 800 bit/s فإن 1 رتل تشذير يعني عدم وجود تشذير.

والتقابل المختار لاستنباط الجدول 10 يستعمل 3 بتات لتحديد معدل المعطيات وطول التشذير. والبتات الثلاث لمعدل المعطيات هي البتات الثلاث الأكثر دلالة (MSB) للرموز من 3 بتات مزدوجة والبتات المقابلة لطول التشذير هي البتات الأقل دلالة (LSB). ويحدد طول تشفير باركر من الكلمات المقابلة لثلاث بتات مزدوجة باستعمال الجدول 5، جدول تحويل الشفرة المزدوجة. وتقابل معدل المعطيات من 3 بتات وطول التشذير مبين في الجدول 11. ويجدر ملاحظة أن من تأثير تحويل الشفرة وضع 3 بتات مصاحبة لطول التشذير في تشكيل تربيعي مع 3 بتات لمعدل المعطيات.

الجدول 11

مخططات البتات لتحديد معدل المعطيات وطول التشذير

معدل المعطيات	تقابل 3 بتات
3 200	001
4 800	010
6 400	011
8 000	100
9 600	101
12 800	110

طول التشذير	تقابل 3 بتات	الاسم
1 رتل	001	Ultra short (US)
3 أرتال	010	Very short (VS)
9 أرتال	011	Short (S)
18 رتلاً	100	Medium (M)
36 رتلاً	101	Long (L)
72 رتلاً	110	Very long (VL)

ونظراً لأن تشفير باركر غير متوازن من حيث عدد s0 وs1، فقد تم اختيار المخطط من 3 بتات لتجنب المخططات 000 أو 111، وذلك لتقليل عدم التوازن في الرموز الثلاثة المختلطة إلى أدنى حد. وبشكل أكثر تحديداً، أحد التكرارات الثلاثة لتشفير باركر الذي يبدو في كل مُكون تربيعي يعتبر دائماً في طور زحزحة 180° بالنسبة للآخرين. ويؤدي هذا إلى عدم توازن صافي في كل مكون تربيعي للرموز البالغة 39 وهو 17 إلى 22 دائماً، بدلاً من أن يكون 12 إلى 27.

2.1.3.1 التمهيد المعاد إدخاله

التمهيد المعاد إدخاله مماثل للرموز 72 النهائية لتمهيد المزامنة. والواقع أن الرموز 103 النهائية مشتركة بين تمهيد المزامنة والفدرة الملاصقة المؤلفة من التمهيد المعاد إدخاله والمسبار الصغري الذي يسبقه مباشرة. والرموز 103 من المعطيات المعروفة (بما في ذلك الرموز الـــ103 للمسبار الصغري لرتل المعطيات السابق) هي كما يلي:

0, 0, 0, 0, 0, 2, 4, 6, 0, 4, 0, 4, 0, 6, 4, 2, 0, 0, 0, 0, 0, 2, 4, 6, 0, 4, 0, 4, 0, 6, 4,
2,

(D_0, D_0, D_0, D_0, D_0, D_0, D_0, D_0, D_0, D_0, D_0, D_0 + 0, 4, 0, 4, 0, 0, 4, 4, 0, 0, 0, 0, 0)
Modulo 8

(D_1, D_1, D_1, D_1, D_1, D_1, D_1, D_1, D_1, D_1, D_1, D_1 + 0, 4, 0, 4, 0, 0, 4, 4, 0, 0, 0, 0, 0)
Modulo 8

(D_2, D_2, D_2, D_2, D_2, D_2, D_2, D_2, D_2, D_2, D_2, D_2 + 0, 4, 0, 4, 0, 0, 4, 4, 0, 0, 0, 0, 0)
Modulo 8

6,
4, 4, 4, 4, 4, 6, 0, 2, 4, 0, 4, 0, 4, 2, 0, 6, 4, 4, 4, 4, 4, 6, 0, 2, 4, 0, 4, 0, 4, 2, 0.

حيث تأخذ رموز المعطيات D_0 وD_1 وD_2 من جديد واحدة من 30 مجموعة من القيم المختارة من الجدول 10 للإشارة إلى معدل المعطيات وطول التشذير الموصوف في الفقرة 1.1.3.1. والملاحظ أن الرموز 31 الأولى تسبق مباشرة المسبار الصغري المشار إليه أعلاه، والتي تعقب آخر 72 فدرة معطيات.

2.3.1 المسابير الصغرية

تدخل المسابير الصغرية البالغ طولها 31 رمزاً عقب كل فدرة معطيات من 256 رمزاً وفي نهاية كل تمهيد (حيثما تُعتبر جزءاً من التمهيد). وباستعمال تقابل رموز التشكيل 8-PSK، يستند كل مسبار إلى تتابع فرانك هايملر المتكرر. والتتابع المستعمل، والمحدد في عدد رموز التشكيل 8-PSK، يعرض على النحو التالي:

0, 0, 0, 0, 0, 2, 4, 6, 0, 4, 0, 4, 0, 6, 4, 2, 0, 0, 0, 0, 0, 2, 4, 6, 0, 4, 0, 4, 0, 6, 4.

وسيشار إلى المسبار الصغري بعلامة "+". وصيغة الطور المعكوس هي:

4, 4, 4, 4, 4, 6, 0, 2, 4, 0, 4, 0, 4, 2, 0, 6, 4, 4, 4, 4, 4, 6, 0, 2, 4, 0, 4, 0, 4, 2, 0.

وسيشار إلى المسبار الصغري المستعمل لهذا التتابع بعلامة "–" نظراً لأن طور كل رمز قام بدوران قدره 180° من علامة "+".

وهناك ما مجموعه 73 مسباراً صغرياً لكل مجموعة من 72 فدرة معطيات. ولأغراض التسهيل، يتم ترقيم كل مسبار صغري بالتتابع، مع تحديد المسبار الصغري 0 على اعتباره 31 رمزاً الأخيرة من التمهيد السابق (المعاد إدخاله)، ويعقب المسبار الصغري رقم 1 فدرة المعطيات الأولى بعد التمهيد (المعاد إدخاله). ويعقب المسبار الصغري 72 فدرة المعطيات 72، ويشكل أيضاً 31 رمزاً الأولى من الرموز 103 التالية المعاد إدخالها في التمهيد. وعرف المسباران الصغريان 0 و72 كجزء من التمهيد المعاد إدخاله بالعلامة – والعلامة + على التوالي. والمعلومات المتعلقة بمعدل المعطيات وطول التشذير، المشفرة في تمهيد المزامنة والتمهيد المعاد إدخاله، مشفرة أيضاً في المسبارين الصغريين 1 و72. والمسابير الصغرية 72 تجمع في أربع مجموعات من 18 مسباراً صغرياً متتالياً (من 1 إلى 18، 19 إلى 36، 37 إلى 54، 55 إلى 72). ويجدر ملاحظة أن فدرة المعطيات المكونة من 256 رمزاً التي تعقب المسبار الصغري الثامن عشر مباشرة، في كل مجموعة من المجموعات الثلاث الأولى، هي أيضاً الفدرة الأولى من معطيات فدرة تشذير أرتال طولها 1 و3 و9 و18. وتبدأ فدرة التشذير البالغ طولها 36 بعد المجموعة الثانية، ويبدأ التمهيد المعاد إدخاله بعد المجموعة الرابعة. وتسمح هذه البنية ببدء فك تشكيل المعطيات بمجرد معرفة حدود التشذير.

وكل تتابع مؤلف من 18 مسباراً صغرياً يشتمل على سبع علامات – وعلامة +، تعقبها ست قيم لعلامات تعتمد على معدل المعطيات وطول التشذير، وثلاث قيم لعلامات تحدد المجموعة المعنية من المجموعات الأربع من 18 مسباراً صغرياً، وأخيراً علامة +. وبالنسبة للمجموعة الرابعة، فعلامة + الأخيرة هذه (الاختبار الصغري 72) هي أيضاً مسبار صغري تمهيدي للتمهيد التالي المعاد إدخاله (ويستعمل الطور +).

ومن الناحية التصويرية، يتألف هذا التتابع من 18 مسباراً صغرياً كما يلي: – – – – – – – – + S_0 S_1 S_2 S_3 S_4 S_5 S_6 S_7 S_8 +، حيث تحدد القيم S_i الست الأولى في الجدول 12. ويلاحظ أن هذه المخططات من 6 بتات (+ هي 0) تناظر تسلسل تقابل من 3 بتات من الجدول 11 لمعدل المعطيات (S_2 S_1 S_0) وطول التشذير (S_5 S_4 S_3). وتعرَّف القيم الثلاث الأخيرة لعلامة S_i مجموعة المسابير الصغرية (حساب) في الجدول 13.

الجدول 12

قيم علامة S_0، S_1، S_2، S_3، S_4، S_5 بالاقتران بمعدل المعطيات وطول التشذير

معدل المعطيات (bit/s)	طول التشذير بالأرتال (فدرات معطيات من 256 رمزاً)					
	1	**3**	**9**	**18**	**36**	**72**
3 200	+ + – – + –	+ + – + – +	+ + – + – –	+ + – – + +	+ + – – + –	+ + – – – +
4 800	+ – + + + –	+ – + + – +	+ – + + – –	+ – + – + +	+ – + – + –	+ – + – – +
6 400	+ – – + + –	+ – – + – +	+ – – + – –	+ – – – + +	+ – – – + –	+ – – – – +
8 000	– + + + + –	– + + + – +	– + + + – –	– + + – + +	– + + – + –	– + + – – +
9 600	– + – + + –	– + – + – +	– + – + – –	– + – – + +	– + – – + –	– + – – – +
12 800	– – + + + –	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

الجدول 13

قيم علامة S_6، S_7، S_8 بالاقتران بمجموعة المسابير الصغرية

مجموعة الاختبارات الصغرية			
1 إلى 18	**19 إلى 36**	**37 إلى 54**	**55 إلى 72**
+ + –	+ – +	+ – –	– + +

تحدد الثماني مسابير الصغرية الأولى في كل مجموعة (+ – – – – – – –) فقط موقع نقطة بدء القيم التسع S_i التالية. وهذا ممكن نظراً لأن التتابعات S_i المستعملة تتضمن على أكثر تقدير تتابعات فرعية لطور من أربع + أو –. وهذا يجعل من المتعذر أن يحدث تتابع من سبعة مسابير صغرية في نفس الطور يعقبه تتابع باعتكاس الطور في أي مكان آخر باستثناء من بداية تتابع من 18 مسباراً صغرياً. وبمجرد تحديد موقع مخطط الثماني مسابير الصغرية الثابتة، يزول الغموض على الطور من 0° إلى 180° بحيث يمكن تكييف المسابير الصغرية التسعة التالية بطريقة ملائمة بمعدل المعطيات، وطول التشذير وبحساب مجموع المسابير الصغرية. والتتابع الكامل للمسابير الصغرية هو كما يلي:

[rp] – – – – – – – + S_0 S_1 S_2 S_3 S_4 S_5 S_6 S_7 S_8 + – – – – – – – + S_0 S_1 S_2 S_3 S_4 S_5 S_6 S_7 S_8 +
– – – – – – – + S_0 S_1 S_2 S_3 S_4 S_5 S_6 S_7 S_8 + – – – – – – – + S_0 S_1 S_2 S_3 S_4 S_5 S_6 S_7 S_8 [rp]

حيث [rp] يمثل 103 رموز من التمهيد المعاد إدخاله (بما في ذلك المسباران 72 و0).

4.1 التشفير والتشذير

التشذير هو تشذير الفدرات. وكل فدرة من معطيات الدخل مشفرة أيضاً باستعمال تقنية تشفير الفدرة، ويكون حجم تشفير الفدرة مساوياً لتشذير الفدرة. ثم ترسل بتات معطيات الدخل كفدرات متتالية من البتات تمتد على مدى طول التشذير المختار. يبين الجدول 14 عدد بتات معطيات الدخل لكل فدرة وفقاً لمعدل المعطيات وطول التشذير. ويجدر ملاحظة أنه يجب عدم الخلط بين "فدرة معطيات الدخل" مع فدرة معطيات 256 رمزاً التي تشكل جزءاً من رتل معطيات من تشكيل شكل الموجة. وسوف تقترن البتات من فدرة معطيات الدخل عن طريق عمليات تشفير وتشذير مع أرتال المعطيات من 256 رمزاً، التي تحدد طول التشذير.

الجدول 14

حجم فدرة معطيات الدخل بالبتات كدالة لمعدل المعطيات وطول التشذير

معدل المعطيات (bit/s)	طول التشذير بالأرتال					
	1	3	9	18	36	72
	عدد بتات معطيات الدخل لكل فدرة					
3 200	384	1 152	3 456	6 912	13 824	27 648
4 800	576	1 728	5 184	10 368	20 736	41 472
6 400	768	2 304	6 912	13 824	27 648	55 296
8 000	960	2 880	8 640	17 280	34 560	69 120
9 600	1 152	3 456	10 368	20 736	41 472	82 944

1.4.1 تراصف حدود الفدرة

تشذر كل فدرة تشفير داخل فدرة تشذير من نفس الحجم. وتتراصف حدود هذه الفدرات بحيث يتطابق بداية رتل المعطيات الأول الذي يعقب كل تمهيد يعاد إدخاله مع حدود تشذير ما. وهكذا بالنسبة لطول تشذير يبلغ ثلاثة أرتال، ستتضمن أرتال المعطيات الثلاث الأولى التي تعقب التمهيد المعاد إدخاله جميع البتات المشفرة لفدرة معطيات دخل وحيدة. وسيكون رمز المعطيات الأول من رتل المعطيات الأول في كل مجموعة تشذير هو البتة الأولى المأخوذة من التشذير باعتبارها البتة الأكثر دلالة.

2.4.1 تشفير الفدرة

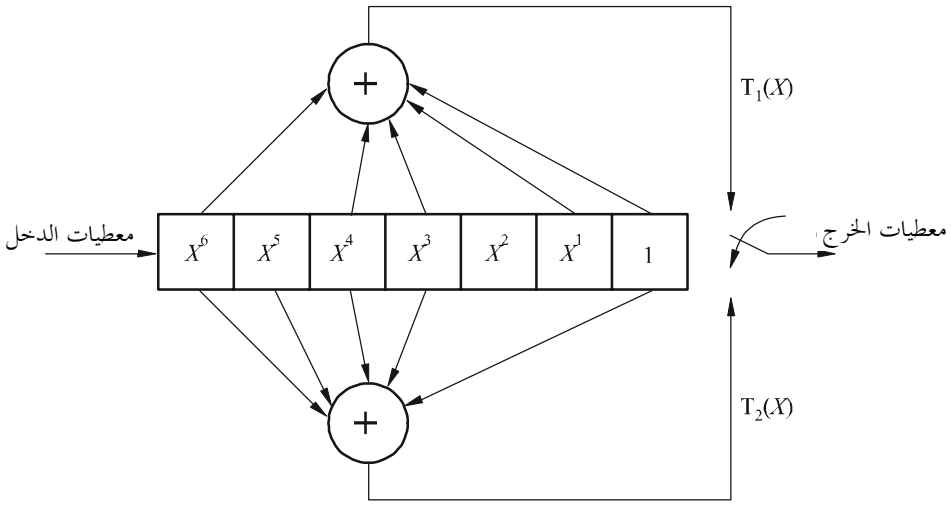
تستعمل تقنيات Full-tail-biting والتثقيب بمعدل تشفير تلافيفي قدره 1/2 لإنتاج تشفير فدرة قدره 3/4 يبلغ طوله نفس طول التشذير.

3.4.1 تشفير تلافيفي بمعدل 1/2

يستعمل تشفير تلافيفي بمعدل 1/2 وطول مقيد 7 قبل التثقيب. والشكل 26 هو عرض صوري للتشفير. ومولدا الحدودية المستعملان هما:

الشكل 26

طول مقيد 7، تشفير تلافيفي بمعدل 1/2



$$T_1 = X^6 + X^4 + X^3 + X + 1$$
$$T_2 = X^6 + X^5 + X^4 + X^3 + 1$$

تمثل عقدتا التبليغ الأولان في الشكل إضافة إلى المقاس 2. ولكل دخل بتة في المشفر، تؤخذ بتتان من المشفر، على أن تؤخذ بتة الخرج الأعلى $T_1(X)$، أولاً.

1.3.4.1 تشفير بأسلوب Full-tail-bitting

لبدء تشفير كل فدرة من معطيات الدخل، يُحمل المشفر مسبقاً بتحويل البتات الست الأولى من معطيات الدخل دون أخذ أي معطيات خرج. وتحفظ بتات الدخل الست الأولى مؤقتاً بحيث يمكن استعمالها "لتفريغ" المشفر. تؤخذ أول بتتان خرج مشفرتين بعد زحزحة البتة السابعة، وتعتبر أول بتتان ناتجتين عن تشفير الفدرة. وعقب تشفير آخر بتة معطيات دخل، يتم تشفير أول ست بتات المعطيات "المحفوظة". ويجب ملاحظة أنه لا يجب تغيير مسجل زحزحة المشفر قبل تشفير البتات المحفوظة، أي يجب ملئه بالبتات السبع الأخيرة من معطيات الدخل. ويتم تشفير بتات المعطيات الست "المحفوظة" بزحزحتها في المشفر واحدة تلو الأخرى، ابتداء بأحدث الست. وهكذا يستمر التشفير بأخذ بتتين خرج مشفرتان بقدر زحزحة كل بتة من البتات الست المحفوظة. وهذه البتات المشفرة هي البتات النهائية الناتجة عن شفرة فدرية (غير مثقبة). وقبل التثقيب، سيكون للشفرة الفدرية ضعف عدد بتات معلومات الدخل. يتم الانتقال من التشفير 1/2 إلى المعدل المطلوب 3/4 قبل إرسال البتات إلى التشذير.

2.3.4.1 تثقيب لمعدل 3/4

للحصول على شفرة 1/2 من الشفرة 3/4 المستعملة، يجب تثقيب المشفر بإرسال بتة واحدة من كل ثلاث بتات. ويجرى التثقيب باستعمال قناع تثقيب 1 1 1 0 0 1 المطبق على بتات الخرج من المشفر. وفي هذا التدوين يشير 1 إلى الإبقاء على البتة و0 تشير إلى عدم إرسال البتة. وفي حالة التتابع المولد من المشفر وقدره:

$$T_1(k), T_2(k), T_1(k+1), T_2(k+1), T_1(k+2), T_2(k+2) \ldots$$

يبلغ التتابع المرسل:

$$T_1(k), T_2(k), T_1(k+1), T_1(k+2) \ldots$$

وتحديد $T_1(0)$ و$T_2(0)$ باعتبارهما أول بتتين في تشفير الفدرة المولدة كما هو مبين في الفقرة 1.4.2، تكون قيمة k في التتابعات المذكورة أعلاه متعددة صحيح 3. وتثقب شفرة الفدرة بهذه الطريقة قبل إرسالها للتشذير.

4.4.1 بنية تشذير الفدرة

تشذير الفدرات المستعمل مصمم لفصل البتات المجاور لتشفير الفدرات المثقبة بقدر الإمكان خلال فترة التشذير مع أكبر فصل ممكن للبتات التي كانت قريبة جداً من بعضها في البداية. ويجب أن تكون بنية التشذير مرنة حيث توجد 30 تركيبة مختلفة لمعدلات المعطيات وطول التشذير.

1.4.4.1 حجم التشذير بالبتات

يتألف التشذير من صفيف وحيد البعد، مرقم من 0 إلى حجمه من البتات –1. ويتوقف حجم الصفيف على معدلات المعطيات وطول التشذير المختار على حد سواء كما هو مبين في الجدول 15.

الجدول 15

حجم التشذير بالبتات كدالة لمعدل المعطيات وطول التشذير

معدل المعطيات (bit/s)	طول التشذير بالأرتال					
	1	3	9	18	36	72
	حجم التشذير بالبتات					
3 200	512	1 536	4 608	9 216	18 432	36 864
4 800	768	2 304	6 912	13 824	27 648	55 296
6 400	1 024	3 072	9 216	18 432	36 864	73 728
8 000	1 280	3 840	11 520	23 040	46 080	92 160
9 600	1 536	4 608	13 824	27 648	55 296	110 592

2.4.4.1 حمولة التشذير

تُحمل بتات شفرة الفترة المثقبة في صفيف التشذير بدءاً من الموقع 0. ويمكن الحصول على موقع تحميل كل بتة متعاقبة من الموقع السابق بواسطة "قيمة تزايد التشذير" المذكورة في الجدول 16، كمقياس "لحجم التشذير بالبتات".

وإذا كانت البتة الأولى لشفرة الفدرة المثقبة هي B(0)، يمكن الحصول على موقع الحمل B(n) بالصيغة التالية:

موقع الحمل = (n* – قيمة تزايد التشذير) المقياس (حجم التشذير بالبتات)

ومن أجل 3 200 bit/s، وتشذير برتل واحد (حجم من 512 بتة بزيادة قدرها 97) تكون مواقع تحميل أول ثماني تشذيرات هي: 0 و97 و194 و291 و388 و485 و70 و167.

الجدول 16

قيمة تزايد التشذير كدالة لمعدل المعطيات وطول التشذير

معدل المعطيات (bit/s)	طول التشذير بالأرتال					
	1	3	9	18	36	72
	قيمة تزايد التشذير					
3 200	97	229	805	1 393	3 281	6 985
4 800	145	361	1 045	2 089	5 137	10 273
6 400	189	481	1 393	3 281	6 985	11 141
8 000	201	601	1 741	3 481	8 561	14 441
9 600	229	805	2 089	5 137	10 273	17 329

انتقيت هذه القيم المتزايدة لضمان أن تكون الدورات المختلطة للتثقيب وتخصيص مواقع البتات في كل رمز لكوكبة محددة الجاري استعمالها، هي نفسها وكأن لم يكن هناك تشذير. وهذا الأمر هام، لأن كل رمز في كوكبة ما يتضمن مواقع بتات "قوية" و"ضعيفة"، باستثناء بالنسبة لمعدل المعطيات الأدنى. ويشير موقع البتة إلى مكان البتة، الذي يتراوح ما بين البتة الأكثر دلالة MSB إلى البتة الأقل دلالة LSB، في تقابل الرموز. والبتة قوية الموقع هي بتة لديها مسافة متوسطة كبيرة فيما بين جميع نقاط الكوكبة، حيث البتة هي 0 وأقرب نقطة من مكان تواجدها هي 1. وعادة، تكون البتة الأكثر دلالة هي بتة قوية والبتة الأقل دلالة هي البتة الضعيفة. ووجود استراتيجية تشذير لا توزع هذه البتات بالتساوي وفقاً للطريقة التي توزع بها بدون تشذير يمكن أن تضر بحسن سير النظام.

3.4.4.1 استحضار التشذير

يبدأ تتابع الاستحضار لجميع معدلات المعطيات وطول التشذير من الموقع 0 من صفيف التشذير ويتزايد استحضار الموقع بمقدار 1. وهذا استحضار خطي بسيط من بداية صفيف التشذير وحتى نهايته.

5.1 الخصائص التشغيلية وبروتوكولات الرسالة

صُمم نسق شكل موجة معدل المعطيات العالي ليسمح له بالعمل مع معظم البروتوكولات المستعملة والمخططة للاستعمال بالموجات الديكامترية (HF). ويسهل التمهيد المعاد إدخاله حيازة (أو إعادة حيازة) إرسال راديوي جاري. ويستهدف من تمهيد المزامنة قصيرة الطول، والمدى الواسع لطول التشذير، واستعمال التشفير بأسلوب full-tail-bitting تيسير تشغيل فعال لبروتوكولات طلب التكرار الأوتوماتي ARQ. ولتحسين تشغيل هذه البروتوكولات، أضيف إلى المودم HF الخصائص التشغيلية التالية.

1.5.1 بداية الإرسال

يبدأ المودم الإرسال خلال 100 ms التالية لتلقيه فدرة معطيات دخل كاملة (ما يكفي من البتات لملء فدرة مشفرة ومشذرة)، أو بمجرد استقبال آخر بتة معطيات دخل، أيهما يحدث أولاً. ويمكن أن تحدث الأخيرة فقط عندما تكون الرسالة أقصر من فدرة التشذير. ومن حيث التعريف، يبدأ الإرسال بالإبراق الراديوي، يعقبه خرج تمهيد شكل الموجة بعد التأخر المحتمل السابق للإبراق، إن وُجد.

ويتوقف التأخر بين الوقت الذي يستقبل فيه المودم بتة معطيات الدخل الأولى وبداية الإرسال إلى حد بعيد على وسائل تسليم بتات معطيات الدخل إلى المودم. والسطح البيني المتسلسل المتزامن عند معدل معطيات المستعمل سيتميز بأكبر تأخير. ولهذا السبب فإن من المستصوب استعمال سطح بيني لا تزامني عالي السرعة (متسلسل أو منفذ إثرنيت) مع التحكم في التدفق إذا كان هذا التأثير مثيراً للقلق في بعض التطبيقات.

2.5.1 نهاية الرسالة

استعمال نهاية الرسالة (EOM) في الإشارة المرسلة هو خيار قابل للتشكيل. عند اختيار نهاية رسالة ما، يرفق مخطط نهاية رسالة من 32 بتة بآخر بتة لمعطيات دخل الرسالة. ونهاية الرسالة، يعبر عنها بترميز ستة عشري هو 4B65A5B2، حيث ترسل أقصى بتة على اليسار في المقام الأول. وإذا لم تملأ آخر بتة في نهاية الرسالة فدرة دخل المعطيات، ترجع البتات الباقية في فدرة دخل المعطيات إلى الصفر قبل تشفير وتشذير الفدرة.

وإذا كبح استعمال نهاية الرسالة، وإذا لم تملأ آخر بتة في معطيات الدخل فدرة معطيات دخل ما، ترجع البتات المتبقية في فدرة معطيات الدخل إلى الصفر قبل تشفير وتشذير الفدرة. ومن المتوقع أن يكبح استعمال نهاية رسالة ما فقط عندما يستعمل بروتوكول طلب التكرار الأوتوماتي (ARQ) فدرة ARQ تملأ بالكامل (أو على وجه التقريب) حجم فدرة معطيات الدخل (فدرة التشذير). وبدون هذه الخاصية، يمكن أن يتطلب استعمال نهاية الرسالة إرسال فدرة تشذير إضافية في هذه الظروف.

3.5.1 إنهاء إرسال ما

يجب أن ينهي المودم الإرسال بعد إرسال رتل المعطيات الأخيرة فقط، بما في ذلك مسبار صغري، مرتبط بفدرة التشذير النهائي. ويجدر ملاحظة أن رتل معطيات ما يتألف من فدرة معطيات من 256 رمزاً يعقبها مسبار صغري. كما ينبغي أيضاً مراعاة احتمال التأخر في معالجة الإشارة و/أو الإشارة المدخلة عن طريق مرشاح في مودم المرسل الديكامتري (HF) (كجزء من توقيت مفتاح خط المراقبة) لضمان إرسال المسبار الصغري النهائي بالكامل قبل إطفاء المرسل.

4.5.1 إنهاء معالجة المعطيات المستقبلة

هناك عدد من الأحداث التي يمكن أن تتسبب في توقف معالجة الإشارات المستقبلة لاسترجاع المعطيات، والعودة إلى أسلوب الاكتساب. وهي ضرورية لأن المودم غير قادر على اكتساب إرسال جديد في الوقت الذي يحاول فيه كشف وتشفير المعطيات.

1.4.5.1 الكشف عن نهاية الرسالة

يجب أن يقوم مودم القنوات الديكامترية (HF) دائماً بمسح جميع البتات المشفرة بحثاً عن الرسالة EOM من 32 بتة المذكورة في 2.5.1. وبمجرد الكشف عن نهاية الرسالة، سيعود المودم إلى أسلوب الاكتساب. ويجب أن يواصل المودم تسليم البتات المشفرة إلى المستعمل (DTE) إلى أن يتم تسليم البتة الأخيرة التي تسبق مباشرة نهاية الرسالة.

2.4.5.1 استقبال عدد محدد من فدرات المعطيات

المدة القصوى للرسالة المقاسة بعدد فدرات معطيات الدخل (فدرات التشذير) معلمة قابلة للتشكيل. ووضع هذه المعلمة عند الصفر يعني أنه يمكن استقبال عدد غير محدد. وبمجرد تشفير المودم وتسليمه إلى المستعمل (DTE)، يجب أن يعود عدد البتات المقابلة للمدة القصوى للرسالة المشكلة، ومودم الموجات الديكامترية (HF) إلى أسلوب الاكتساب وينهى تسليم البتات المشفرة إلى المستعمل (DTE). ويمكن لبروتوكول ARQ أن يختار التشغيل بعدد محدد من فدرات معطيات الدخل، حيث تكون رزمة ARQ محددة، أو تتغير أحياناً لاستيعاب ظروف انتشار متغيرة. وفي هذه الحالة، من المتوقع أن ترسل هذه المعلمة (المدة القصوى للرسالة) إلى طرف استقبال الوصلة كجزء من بروتوكول ARQ. ثم ترسل بعد ذلك إلى مودم الاستقبال عن طريق السطح البيني للتحكم عن بعد نظراً إلى أنه غير مدرج في الإشارة نفسها على عكس معلمات معدلات المعطيات وطول التشذير.

6.1 مقدرة الأداء

تعرض مقدرة الأداء لأسلوب معدل معطيات عالي في هذا الجزء. وتبين نتائج هذه الاختبارات أن المودم يعمل بطريقة موثوقة على دارات الموجات الديكامترية (HF) لكشف انحطاط القنوات المختبرة.

1.6.1 خصائص المحاكي

تم اختبار معدل المعطيات العالي باستعمال محاكي HF نطاق أساسي مخطط تبعاً لنموذج ويترسون وفقاً لتوصية قطاع الاتصالات الراديوية F.1487. وكمصدر للضوضاء استعمل ضوضاء غوسية بيضاء إضافية (AWGN) وتم قياس قدرة الإشارة والضوضاء في عرض نطاق قدره 3 kHz.

2.6.1 مرشاح قناة تردد راديوي

استعمل مرشاح استجابة تردد منتهية يعكس متطلبات نطاق التمرير الراديوي. والمرشاح من طراز $N = 63$ بالمعاملات التالية (القراءة من اليسار إلى اليمين، ثم من أعلى إلى أسفل) ومعدل عينات من 16 000 عينة/s.

3,4793306E-04	–4,6615634E-05	3,6863006E-05	6,8983925E-04
1,2186785E-03	7,1322870E-04	–6,2685051E-04	–1,1305640E-03
3,8082659E-04	2,2257954E-03	1,0150929E-03	–3,6258003E-03
–6,9094691E-03	–4,2534569E-03	1,1371180E-03	–1,0868903E-04
–1,1312117E-02	–2,2036370E-02	–1,8856425E-02	–4,9115933E-03
–1,3025356E-03	–2,1579735E-02	–4,8379221E-02	–4,8040411E-02
–1,4815010E-02	9,8565688E-03	–2,0275153E-02	–9,0223589E-02
–1,1587973E-01	–2,2672007E-02	1,6315786E-01	3,1537800E-01
3,1537800E-01	1,6315786E-01	–2,2672007E-02	–1,1587973E-01
–9,0223589E-02	–2,0275153E-02	9,8565688E-03	–1,4815010E-02
–4,8040411E-02	–4,8379221E-02	–2,1579735E-02	–1,3025356E-03
–4,9115933E-03	–1,8856425E-02	–2,2036370E-02	–1,1312117E-02
–1,0868903E-04	1,1371180E-03	–4,2534569E-03	–6,9094691E-03
–3,6258003E-03	1,0150929E-03	2,2257954E-03	3,8082659E-04
–1,1305640E-03	–6,2685051E-04	7,1322870E-04	1,2186785E-03
6,8983925E-04	3,6863006E-05	–4,6615634E-05	3,4793306E-04

3.6.1 أداء نسبة الخطأ في البتات (BER)

تم قياس نسبة الخطأ في البتات باستعمال مرشاح تردد راديوي، إلى جانب محاكي قنوات HF مبرمج لحفز القنوات التالية بنسبة خطأ في البتات قدرها 1×10^{-4}:

- قناة ضوضاء غوسية بيضاء إضافية (AWGN) تتألف من مسير وحيد بدون خبو. وتم قياس كل حالة لمدة 15 دقيقة.
- قناة Rician تتألف من مسيرين مستقلين ولكن بقدرة متوسطة متساوية، مع تأخير بين المسيرين قدره 2 ms. والمسير الأول كان بدون خبو. والثاني مسير بخبو رايلي مع موجة خلفية BW للخبو من اثنين سيغما 2 Hz. وتم قياس كل حالة لمدة ساعتين.

– في توصية قطاع الاتصالات الراديوية F.1487، "ظروف الانتشار المضطرب في خط العرض المتوسط" (القناة السيئة) تتألف من مسيرين مستقلين بخبو رايلي ولكن بقدرة متوسطة مساوية، مع تأخير ثابت بين المسيرين قدره 2 ms، مع خبو موجة خلفية BW من 2 سيغما 1 Hz. وتم قياس كل حالة لمدة ساعتين.

ويبين الجدول 17 الأداء المقاس، باستعمال فترة تشذير قصوى (تشذير "طويل للغاية" 72 رتلاً) لكل حالة من الحالات الواردة في نسبة خطأ في الأداء قدرها 1×10^{-4} مشفرة.

الجدول 17

اختبار لتقييم الأداء في أسلوب معدل المعطيات العالي بنسبة خطأ في البتات قدرها 1×10^{-4}

معدل معطيات المستعمل (bit/s)	متوسط معدل الإشارة إلى الضوضاء (dB) نسبة خطأ في البتات قدرها 1×10^{-4}		
	قناة ضوضاء غوسية بيضاء إضافية AWGN	قناة Riciah	قناة سيئة
[1]12 800	27	–	–
9 600	21	30	30
8 000	19	25	26
6 400	16	21	23
4 800	13	17	20
3 200	9	12	14

[1] معدل معطيات اختياري

4.6.1 أداء الإزاحة الدوبلرية

أثناء إجراء الاختبارات المخصصة لنوعية أداء الإزاحة الدوبلرية اكتسب المودم وأبقى على مزامنة لمدة خمس دقائق على الأقل مع إشارة اختبار كانت خصائصها على النحو التالي: 9 600 bit/s، وتشذير طويل للغاية، وتردد متخالف ± 75 Hz، ووقت الانتشار 2 ms، وخبو الموجة الخلفية قدره 1 Hz، ومتوسط معدل الإشارة إلى الضوضاء وقدره 30 dB.

7.1 تجهيزات الاتصالات المتصاحبة

كوكبات QAM الموصوفة في هذا الملحق أكثر حساسية لتغير التجهيزات من كوكبات الإبراق بزحزحة الطور PSK الموصوفة في أماكن أخرى من هذه التوصية. وبسبب هذه الحساسية، سيكون لمرشاح قناة التردد الراديوي أثراً كبيراً على نوعية أداء هذه المودمات التي تنفذ أشكال موجات معدل المعطيات العالي. بالإضافة إلى ذلك، ونظراً لطبيعة سوية حساسية كوكبات QAM، وأثر الإشعال المؤقت، يمكن أن يؤدي AGC وALC إلى انحطاط بالغ في الأداء.

_____