التوصيـــة ITU-R BS.1114-6

أنظمة الإذاعة الصوتية الرقمية للأرض الموجهة إلى مستقبلات ثابتة ومحمولة ومركبة على متن مركبات، في مدى التردد 30-3 000 MHz

(المسألة ITU-R 56/6)

(2007-2004-2003-2002-2001-1995-1994)

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن الإذاعة الصوتية الرقمية للأرض الموجهة إلى مستقبلات مركبة على متن المركبات ومستقبلات محمولة وثابتة المشغلة في مدى التردد 30-3 000 MHz والتي تؤمن تغطية وطنية وإقليمية ومحلية، تحظى باهتمام متزايد في العالم بأسره؛

ب) أن القطاع ITU-R قد أعتمد التوصيتين ITU-R BS.774 وITU-R BO.789 ليبين المتطلبات اللازمة لأنظمة الإذاعة الصوتية الرقمية الموجهة إلى مستقبلات مركبة على متن مركبات ومحمولة وثابتة للإرسال الأرضي والساتلي على التوالي؛

ج) أن التوصيتين ITU-R BS.774 وITU-R BO.789 تعترفان بالمزايا المتعلقة باستعمال مقترن لأنظمة الأرض والأنظمة الساتلية وتدعوان إلى اعتماد نظام إذاعة صوتية رقمية يسمح باستعمال مستقبل مشترك مجهز بدارات دمج على مستوى عال (VLSI) للمعالجة المشتركة وبتصميم مستقبلات قليلة الكلفة عن طريق الإنتاج الواسع؛

د) أن النظام الرقمي A الموصوف في الملحق 1 يفي بالمتطلبات التي تنص عليها التوصيتان ITU-R BS.774 وITU-R BO.789، وأنه قد تم اختبار النظام ميدانياً وعرضه في عدة بلدان وفي نطاقات ترددات مختلفة تقع بين 200 MHz و1 500 MHz؛

هـ) أن النظام الرقمي F الوارد وصفه في الملحق 3 يفي بمتطلبات التوصية ITU-R BS.774، وأنه قد تم اختباره ميدانياً وعرضه في النطاقين 188-192 MHz و535 2-655 2 MHz في أكثر من بلد؛

و) أن النظام الرقمي C الوارد وصفه في الملحق 4 يفي بمتطلبات التوصية ITU-R BS.774 وأنه قد تم اختباره ميدانياً وتجربته في النطاق 88-108 MHz؛

ز) أنه أثناء المؤتمر العالمي السابع لاتحادات الإذاعة (المنعقد في المكسيك من 27 إلى 30 أبريل 1992)، قررت اتحادات الإذاعة العالمية بالإجماع:

"1 أنه ينبغي بذل قصارى الجهود لوضع معيار دولي فريد من نوعه من أجل الإذاعة DAB و

2 حث الإدارات على اعتبار المزايا لصالح المستهلك فيما يتعلق بالتشفير باستعمال مصدر وقناة مشتركين وتنفيذ الإذاعة الصوتية الرقمية على الصعيد العالمي عند التردد 1,5 GHz"؛

ح) أن المؤتمر العالمي الإداري للراديو المعني بدارسة توزيع الترددات في بعض أجزاء الطيف (مالقة–طورمولينوس، 1992) قد قام بتوزيع نطاق الترددات 452 1-492 1 MHz على الخدمة الصوتية الساتلية وعلى الخدمة الإذاعية الأرضية التكميلية، لتوفير الإذاعة الصوتية الرقمية. كما تم منح توزيعات إضافية إلى بعض البلدان في النطاقات 535 2-655 2 MHz و310 2-360 2 MHz بموجب الحواشي 750B و757A من لوائح الراديو. وفضلاً عن ذلك، يتناول القرار رقم 527 الذي اعتمده المؤتمر WARC-92 موضوع الإذاعة الصوتية الرقمية بالموجات المترية (VHF)؛

ط) أن تدفق النقل MPEG.2 (MPEG-2 TS) مستخدم على نطاق واسع باعتباره حاوية للمعلومات المشفرة رقمياً؛

ي) أن عملية التقييس في أوروبا أدت إلى اعتماد نظام رقمي A (Eureka 147 كمعيار ETSI ETS 300 401) للخدمة الإذاعية الصوتية الساتلية والخدمة الإذاعية الصوتية الموجهة إلى مستقبلات مركبة على متن مركبات ومحمولة وثابتة؛

ك) أن عملية التقييس التي أجريت في اليابان أدت إلى اعتماد نظام رقمي F للإذاعة الرقمية للأرض متكاملة الخدمات في الإذاعة الصوتية (ISDB-T_{SB}) لنظام الإذاعة الصوتية الرقمية للأرض الموجهة إلى مستقبلات ثابتة ومحمولة ومركبة على متن مركبات؛

ل) أن تقنيات الإذاعة الرقمية متكاملة الخدمات (ISDB) قابلة للاستخدام في تنفيذ خدمات تستفيد من كامل مزايا الإذاعة الرقمية وأن التوصية ITU-R BT.1306 تضم نظام الإذاعة الرقمية للأرض متكاملة الخدمات (ISDB-T) للإذاعة التلفزيونية الرقمية للأرض،

وإذ تلاحظ

أ) أن ملخصاً للأنظمة الرقمية يرد في الملحق 1؛

ب) أن الأوصاف المكثفة للأنظمة الرقمية A وF وC ترد في المحلقات 2 و3 و4، على التوالي؛

ج) أن الصوف الكامل للأنظمة الرقمية A وF وC ترد في كتيب الإذاعة الصوتية الرقمية،

توصـــي

1 باستعمال الأنظمة الرقمية A و/أو F و/أو C الموصوفة في الملحق 1 و2 و3، على التوالي الخاصة بالخدمات الإذاعية الصوتية الرقمية للأرض الموجهة إلى مستقبلات مركبة على متن مركبات ومحمولة أو ثابتة والتي تعمل في مدى التردد MHz 3000-30.

2 بأنه ينبغي على الإدارات التي ترغب في تنفيذ خدمات الإذاعة الصوتية الرقمية (DSB) للأرض التي تفي كلياً أو جزئاً بالمتطلبات التي تنص عليها التوصية ITU-R BS.774 أن تستخدم الجدول 1 لتقييم مزايا الأنظمة الرقمية A وF وC في انتقاء النظام.

الجـــدول 1

تقييم أداء الأنظمة الرقمية A وF وC استناداً إلى الخصائص التقنية والتشغيلية الموصى بها والواردة في التوصية ITU-R BS.774

الخصائص التي تنص عليها التوصية ITU-R BS.774 (بإيجاز)	النظام الرقمي A	النظام الرقمي F	النظام الرقمي C
مدى النوعية السمعية وأنواع الاستقبال	من 8 إلى 384 kbit/s للقناة السمعية بزيادة 8 kbit/s للمرة الواحدة. وتستخدم المستقبلات مفكك تشفير سمعي بالطبقة II للأسلوب MPEG-2 يعمل عادة بالمعدل 192 kbit/s.	من نوعية المهاتفة إلى نوعية القرص المتراص. وهو قادر أيضاً على العمل في مدى سمعي متعدد القنوات 5.1. باستعمال مفكك تشفير سمعي متطور (ACC) MPEG-2 يعمل عادة بمعدل 144 kbit/s للصوت المجسم.	من 48 kbit/s إلى 96 kbit/s باستعمال مفكك تشفير HD Codec [1]
	النظام مخصص للاستقبال الثابت والمحمول والمركب على متن مركبة	النظام مخصص للاستقبال الثابت والمحمول والمركب على متن مركبة	النظام مخصص للاستقبال الثابت والمحمول والمركب على متن مركبة[2]
فعالية طيف أفضل من التشكيل بالتردد (FM)	نوعية صوت مجسم FM تتحقق في عرض نطاق يقل عن 200 kHz؛ متطلبات حماية القناة المشتركة والقناة المجاورة أقل من تلك التي يتطلبها التشكيل FM. الفعالية عالية للغاية في حالة المكررات التي تعيد استعمال نفس التردد. (التشكيل المتعامد متعدد الموجات الحاملة مع تشفير تلافيفي لتصحيح الأخطاء، تعدد إرسالات متعامد مشفر بتقسيم التردد (COFDM))	نوعية صوت مجسم FM تتحقق في عرض نطاق يقل عن 200 kHz؛ متطلبات حماية القناة المشتركة والقناة المجاورة أقل من تلك التي يتطلبها التشكيل FM. الفعالية عالية للغاية في حالة المكررات التي تعيد استعمال نفس التردد. وتزداد الفعالية عند استعمال تشكيل موجة حاملة لتشكيل الاتساع التربيعي 16/64 (QAM). (تعدد إرسال متعامد بتقسيم التردد (OFDM) مع قدرة متسلسلة وتشفير تلافيفي لتصحيح الأخطاء	نوعية معطيات صوت مجسم FM تتحقق دون طيف إضافي؛ متطلبات حماية القناة المشتركة والقناة المجاورة أقل بكثير من متطلبات التشكيل FM. ويشذر النظام لتخفيف مشاكل أول قناة مجاورة وهو أكثر مقاومة عند وجود تداخل رقمي تماثلي في نفس القناة.

الجـــدول 1 (*تابع*)

الخصائص التي تنص عليها التوصية ITU-R BS.774 (بإيجاز)	النظام الرقمي A	النظام الرقمي F	النظام الرقمي C
أداء في بيئة مسارات متعددة وبيئة حجب	نظام مصمم خصيصاً للتشغيل في مسارات متعددة. وهو يعمل على أساس تجميع قدرات الصدى الناتج في فاصل زمني معين. وتتيح هذه الخاصية استعمال مكررات في القناة لتغطية مناطق محجوبة بالتضاريس الأرضية	نظام مصمم خصيصاً لبيئة متعددة المسارات وهو يعمل على أساس تجميع قدرات الصدى الناتج في فاصل زمني معين. وتتيح هذه الخاصية استعمال مكررات في القناة لتغطية مناطق محجوبة بالتضاريس الأرضية	نظام مصمم خصيصاً للتشغيل متعدد المسارات. وهو تشكيل OFDM يتيح تحقيق درجة عالية من الأداء في المسارات المتعددة. وتتيح هذه الخاصية استعمال مكررات في القناة لتغطية مناطق محجوبة بالتضاريس الأرضية
معالجة إشارات مستقبل مشترك للإذاعة الساتلية (S) والإذاعة الأرضية (T)	لا يوجد. للأرض فقط	لا يوجد. للأرض فقط	لا يوجد. للأرض فقط
إعادة التشكيل والنوعية مقابل عدد البرامج	يقوم تعدد إرسال الخدمة على 64 قناة فرعية بسعة تتراوح بين 8 kbit/s و1 Mbit/s تقريباً تبعاً لسوية الحماية من الخطأ، ولمكن إعادة تشكيله بالكامل بأسلوب دينامي. وكل قناة فرعية قادرة أيضاً على احتواء عدد غير محدود من قنوات رزم المعطيات متغيرة السعة.	يقوم تعدد إرسال معطيات الحمولة على الأنظمة MPEG-2. ويمكن انتقاء معدل المعطيات السمعية في أي مرحلة من أجل تسوية النوعية السمعية للبرنامج مقابل عدد الخدمات. ويمكن إعادة تشكيل معلمات الإرسال مثل تصحيح التشكيل والأخطاء دينامياً من خلال إرسال وتعدد إرسال التحكم في التشكيل (TMCC)	يمكن إعادة توزيع البتات دينامياً على الخدمة السمعية أو خدمة المعطيات باستعمال وظائف النقل HDC. بناء على طلب الإذاعة في مدى يقدر بين 48 و96 kbit/s لأغراض الخدمة السمعية من أجل زيادة معدل المعطيات أو خفضه. ويعيد المستقبل التشكيل من أجل تسوية أسلوب إرسال التشغيل
توسع التغطية مقابل عدد البرامج	تتوفر خمس سويات لحماية الخدمة السمعية وثماني سويات لحماية خدمات المعطيات من خلال استعمال التشفير التلافيفي المتقطع في كل قناة من القنوات الفرعية الأربعة والستين (ويقع مدى التصحيح الأمامي للأخطاء (FEC) بين 1/4 و3/4)	تتوفر أربعة أنواع تشكيل وخمس سويات حماية. (تشكيل الموجة الحاملة: معدلات تشفير التشكيل بزحزحة طور رباعي تفاضلي (DQPSK) وQPSK و16-QAM و64-QAM، بمعدل تشفير: 1/2 و2/3 و3/4 و5/6 و7/8	يحافظ النظام على تغطية منتظمة لجميع البرامج. وقد تحظى الموجات الحاملة الثانوية بمدى منخفض بوجود تداخل ناجم عن القناة المجاورة. (تشكيل الموجة الحاملة: QPSK)

الجـــدول 1 (*تابع*)

الخصائص التي تنص عليها التوصية ITU-R BS.774 (بإيجاز)	النظام الرقمي A	النظام الرقمي F	النظام الرقمي C
المستقبل المشترك لأدوات مختلفة لبث البرامج			
– الخدمات الراديوية للأرض	تتيح خدمات الأرض المحلية والوطنية ودون الوطنية في نفس التشكيل وباستعمال مرسل واحد أو مرسلات متعددة تعمل في شبكة وحيدة التردد للاستفادة من ميزة المستقبل المشترك	تتيح خدمات الأرض المحلية والوطنية ودون الوطنية في نفس التشكيل وباستعمال مرسل واحد أو مرسلات متعددة تعمل في شبكة وحيدة التردد للاستفادة من ميزة المستقبل المشترك	نظام يستعمل هوائي مشترك ومدخل قوائم مع خدمات الإذاعة التماثلية FM القائمة. ويوفر الخدمة المحلية وكذلك خدمات الأرض الوطنية ودون الوطنية باستخدام مرسل واحد أو مرسلات متعددة تعمل في شبكة وحيدة التردد في حالة الجزء الرقمي من الأسلوب المختلط أو من الأسلوب الرقمي. وتتيح بث برمجة التشكيل FM التي تجعل الانتقال من الرقمي إلى التماثلي والعكس شفافاً
– الخدمة المختلطة الهجينة	تتيح استعمال نفس النطاق للإذاعة الصوتية للأرض (المختلطة) وكذلك استعمال مكررات في القناة لتعزيز التغطية الساتلية (الهجينة) مما يؤدي إلى جميع القنوات الواصلة إلى المستقبل المشترك بشفافية.	تتيح استعمال نفس النطاق للإذاعة الصوتية للأرض (المختلطة) وكذلك استعمال مكررات في القناة لتعزيز التغطية الساتلية (الهجينة) مما يؤدي إلى جميع القنوات الواصلة إلى المستقبل المشترك بشفافية.	
– التوزيع الكبلي	إشارات يمكن نقلها بشفافية عبر الكبل	إشارات يمكن نقلها بشفافية عبر الكبل	إشارات يمكن نقلها بشفافية عبر الكبل

الجـــدول 1 (*تابع*)

الخصائص التي تنص عليها التوصية ITU-R BS.774 (بإيجاز)	النظام الرقمي A	النظام الرقمي F	النظام الرقمي C
مقدرة المعطيات المقرنة بالبرنامج (PAD)	تتوفر قناة المقدرة (PAD) بسعة تتراوح بين 0,66 kbit/s و64 kbit/s من خلال تقليص أي قناة سمعية بنفس المقدار. ويتوفر في جميع المستقبلات الوسم الدينامي للبرنامج وتعرف هوية الخدمة الذي لا يبين إلا العرض الهجائي الرقمي للمستقبل. كما يتوفر فك تشفير لغة مسح النص الموسوعي (HTML) وفك تشفير الصور بأسلوب الفريق المشترك لخبراء التصوير (JPEG) في المستقبلات مع عروض بيانية (جداول بيانية فيديوية 1/4 (VGA)) وغيرها	يقوم تعدد إرسال المعطيات (PAD) على الأنظمة (MPEG-2)	المعطيات PAD جزء أساسي من النظام ويمكن توفيرها من خلال معطيات آنية دون مس لنوعية الأداء السمعي أو قنوات المعطيات ووظيفتا الوسم الدينامي للبرنامج وظهور تعرف هوية الخدمة على أي شاشة عرض مستقبل هجائي رقمي متاحتان في جميع المستقبلات
تخصيصات مرنة للخدمات	يمكن إعادة تشكيل تعدد الإرسال دينامياً بأسلوب شفاف للمستعمل	يمكن إعادة تشكيل تعدد الإرسال دينامياً بأسلوب شفاف للمستعمل	يعيد النظام أتوماتياً التشكيل بين السمعي والمعطياتي بأسلوب شفاف للمستعمل
مواءمة بنية تعدد الإرسال مع التوصيل البيني للأنظمة المفتوحة (OSI)	تمتثل بنية تعدد إرسال النظام للنموذج الطبقي للتوصيل OSI وخاصة فيما يتعلق بقنوات المعطيات، باستثناء خصائص الحماية المتباينة من الأخطاء في القناة السمعية للطبقة II للنظام (MPEG-2)	تمتثل بنية تعدد إرسال النظام امتثالاً كاملاً لمعمارية الأنظمة MPEG-2	يقوم النظام على النموذج الطبقي للتوصيل OSI .بما فيه المعطيات والصوت على حد سواء باستثناء الحماية الوحيدة من الأخطاء التي يوفرها الكودك السمعي

الجـــدول 1 (*تتمة*)

الخصائص التي تنص عليها التوصية ITU-R BS.774 (بإيجاز)	النظام الرقمي A	النظام الرقمي F	النظام الرقمي C
مقدرة خدمة معطيات القيمة المضافة	يمكن استعمال أي قناة فرعية (من بين الـــ 64 قناة) لا تعمل في الخدمة السمعية في خدمات معطيات مستقلة عن البرنامج. يمكن نقل قنوات رزم المعطيات لخدمات الدرجة العالية من الأولوية المتاحة في جميع المستقبلات المولفة لاستقبال أي خدمة تعدد إرسال في قناة المعلومات السريعة (FIC) ويصل إجمالي السعة إلى 16 kbit/s. المستقبلات مجهزة بسطح بيني للمعطيات الراديوية (RDI) لنقل المعطيات إلى الحاسوب	يمكن تخصيص أي سعة تصل حتى السعة الكاملة للحمولة النافعة إلى المعطيات المستقلة من أجل بث البيانات التجارية والاستدعاء الراديوي والصور الثابتة وغيرها، بنفاذ مشروط حسب الاقتضاء	يمكن تخصيص أس سعة تصل حتى السعة الكاملة للحمولة النافعة إلى المعطيات المستقلة من أجل بث البيانات التجارية والاستدعاء الراديوي والصور الثابتة وغيرها، بنفاذ مشروط حسب الاقتضاء
تصنيع مستقبلات قليلة الكلفة	تتيح تصنيع كميات كبيرة من المستقبلات قليلة الكلفة للمستعمل، وقد أدرجت مستقبلات نموذجية في رقاقتين اثنين. وأدخل أحد مصنعي الرقاقات كامل دارة المستقبلات في رقاقة واحدة	استمثل النظام خصوصاً لتمكين نشر مستقبلات محمولة على مركبة قليلة التعقيد مبدئياً. وأنشئ فريق تقييس بهدف انجاز مستقبلات قليلة الكلفة استناداً إلى تقنيات الإنتاج الكبير الدمج واسع النطاق	استمثل النظام خصوصاً لتمكين نشر مستقبلات محمولة على مركبة قليلة التعقيد مبدئياً

(1) ثمة معلومات إضافية عن الكودك HD (HDL) متاحة على العنوان التالي www.ibiquity.com

(2) الأساليب المستخدمة في مجموعة الرقاقات (الدارات) والتي تنطوي على نفس النطاق ونفس القناة (IBDL) (النظام C الرقمي) لا تصلح للتشغيل على متن مركبة بترددات أعلى من 230 MHz.

الملحق 1

عروض موجزة للأنظمة الرقمية

1 عرض النظام الرقمي A

أعد النظام الرقمي A، ويعرف أيضاً باسم نظام Eureka 147 للإذاعة الصوتية الرقمية (DAB) ، لأغراض تطبيقات الإذاعة الساتلية والإذاعة للأرض بهدف استخدام مستقبلات عادية قليلة الكلفة. وقد صمم النظام بحيث يتيح الاستقبال في مستقبلات ثابتة محمولة ومركبة على متن مركبات وذلك باستعمال هوائيات استقبال شاملة الاتجاهات قليلة الكسب. تعلو بمقدار 1,5 m عن سطح الأرض. ويتيح النظام A استعمالاً إضافياً لمرسلات الإذاعة الساتلية والإذاعة للأرض مما يؤدي إلى استعمال أفضل لفعالية الطيف وخدمة أكثر تيسيراً في جميع حالات الاستقبال. ويقدم خاصة أداء أفضل في بيئة المسيرات المتعددة والبيئة المعرضة للحجب وهي البيئة التي تماثل ظروف الاستقبال في المدن، باستعمال مكررات أرضية في القناة تعمل على ملء الثغرات. والنظام الرقمي A قادر على تقديم سويات مختلفة لنوعية الصوت تصل إلى نوعية عالية الجودة مقارنة بنوعية التسجيلات الرقمية الموجهة للجمهور العريض. كما يمكنه تقديم خدمات معطيات مختلفة وسويات مختلفة للنفاذ المشروط ومقدرة إعادة الترتيب دينامياً لخدمات متفرقة في الإرسال المتعدد.

2 عرض النظام الرقمي F

صمم النظام الرقمي F، المعروف أيضاً باسم النظام ISDB-TSB، ليقدم نوعية عالية الجودة للصوت وإذاعة المعطيات على درجة عالية من الاعتمادية حتى في الاستقبال المتنقل. كما صمم النظام ليوفر المرونة وإمكانيات التوسيع والنقاط المشتركة اللازمة للإذاعة متعددة الوسائط التي تستخدم الشبكات للأرض. وهو نظام متين يستعمل التشكيل OFDM والتشذير ثنائي الأبعاد للتردد والزمن والشفرات المتسلسلة لتصحيح الأخطاء. ويسمى التشكيل OFDM الذي يستعمله هذا النظام BST-OFDM (إرسال بتقطيع النطاق) ويضم النظام نقاطاً مشتركة مع النظام ISDB-T للإذاعة التلفزيونية الرقمية للأرض في الطبقة المادية. ويشمل على معلمات إرسال كبيرة التنوع مثل نظام تشكيل الموجات الحاملة ومعدلات التشفير شفرة تصحيح الخطأ الداخلية وطول التشذير الزمني. ويخصص بعض الموجات الحاملة للتحكم TMCC الذي يرسل المعلومات في معلمات الإرسال إلى التحكم في المستقبل. وبإمكان النظام الرقمي F استخدام طرائق تشفير سمعية عالية الانضغاط مثل الطريقة MPEG-2 AAC. وعلاوة على ذلك، فإنه يستخدم الأنظمة MPEG-2، ويشترك بنقاط كثيرة مع أنظمة أخرى تستخدم الأنظمة MPEG-2 مثل ISDB-S وISDB-T وDVB-S وDVB-T وهو قابل للتشغيل البيني معها.

3 عرض النظام الرقمي C

النظام الرقمي C، المعروف أيضاً بالنظام IBOC DSB، هو نظام كامل التطوير. وقد صمم لأغراض المستقبلات الثابتة والمحمولة والمركبة على متن مركبات[1] التي تستقبل إشارات واردة من مرسلات للأرض. وعلى الرغم من أن النظام الرقمي C قادر على العمل في أجزاء غير مشغولة من الطيف لكن من أهم خصائصه قدرته على توفير إذاعة إشارات تماثلية ورقمية في نفس الوقت في النطاق الموزع حالياً على الإذاعة FM. وتتيح هذه الخاصية إمكانية الانتقال الرشيد للإذاعات FM الراهنة من الإذاعة التماثلية إلى الإذاعة الرقمية إن رغبت في ذلك. كما يقدم النظام أداء أفضل في بيئات تعدد المسارات مما يفضي إلى اعتمادية بدرجة أعلى مما تقدمه الأنظمة FM التماثلية الحالية. ويوفر النظام الرقمي C أيضاً نوعية سمعية أفضل من تلك التي تعطيها التسجيلات الرقمية الموجهة للجمهور العريض. وفضلاً عن ذلك يتيح النظام للإذاعات المرونة اللازمة لتقديم خدمات

[1] الأساليب المستخدمة في مجموعة الرقاقات IBOC (النظام الرقمي C) لا تصلح للتشغيل على متن مركبة بترددات أعلى من 230 MHz.

جديدة لإذاعة المعطيات إضافة إلى البرامج السمعية المحسنة. ويوفر النظام أيضاً توزيع البتات بين المقدرة السمعية ومقدرة إذاعة المعطيات من أجل توسيع هذه المقدرة الأخيرة إلى أبعد حد.

الملحق 2

النظام الرقمي A

1 مقدمة

النظام الرقمي A هو نظام إذاعة رقمية متعددة الخدمات عالية الجودة موجهة إلى مستقبلات مركبة على متن مركبات أو محمولة أو ثابتة. وهو مصمم ليعمل في أي تردد لغاية 3 000 MHz لأغراض الإرسال الإذاعي الأرضي والساتلي والهجين (ساتلي وأرضي) والكبلي. وهو أيضاً نظام إذاعة رقمية متكاملة الخدمات (ISDB) مرن ومتعدد الاستعمالات قادر على توفير قدر واسع من الخيارات لتشفير المصادر والقنوات ولإرسال المعطيات المصاحبة للبرامج الصوتية وتوفير خدمات معطيات مستقلة عن البرامج وفقاً لمتطلبات مرونة التشغيل وتنوع الخدمة التي تعرضها التوصيتان ITU-R BO.789 وITU-R BS.774 مدعومة بالكتيب الخاص بالإذاعة الصوتية الرقمية والتقرير ITU-R BS.1203.

ونظام الإذاعة الصوتية وإذاعة المعطيات هذا بالغ الاعتمادية ويقدم فعالية كبيرة في استعمال الطيف والقدرة. وهو يستعمل تقنيات رقمية متقدمة لإلغاء الإطناب والمعلومات غير ذات الصلة من إشارة المصدر السمعية ثم يطبق إطناباً محكم الضبط على الإشارة المرسلة لتصحيح الخطأ. وبعد ذلك يتم نشر المعلومات المرسلة في كل من المجال الزمني مجال التردد بحيث يحصل المستقبل سواء كان ثابتاً أم متنقلاً على إشارة عالية الجودة حتى في حالة ظروف الانتشار الصعب في المسارات المتعددة. ويتحقق الاستعمال الفعال للطيف من خلال تشذير إشارات متعددة للبرنامج، ونظراً لإمكانية إعادة استعمال الترددات الخاصة يمكن توسيع شبكات الإذاعة دون حدود تقديراً من خلال تشغيل مرسلات إضافية في التردد المشع ذاته.

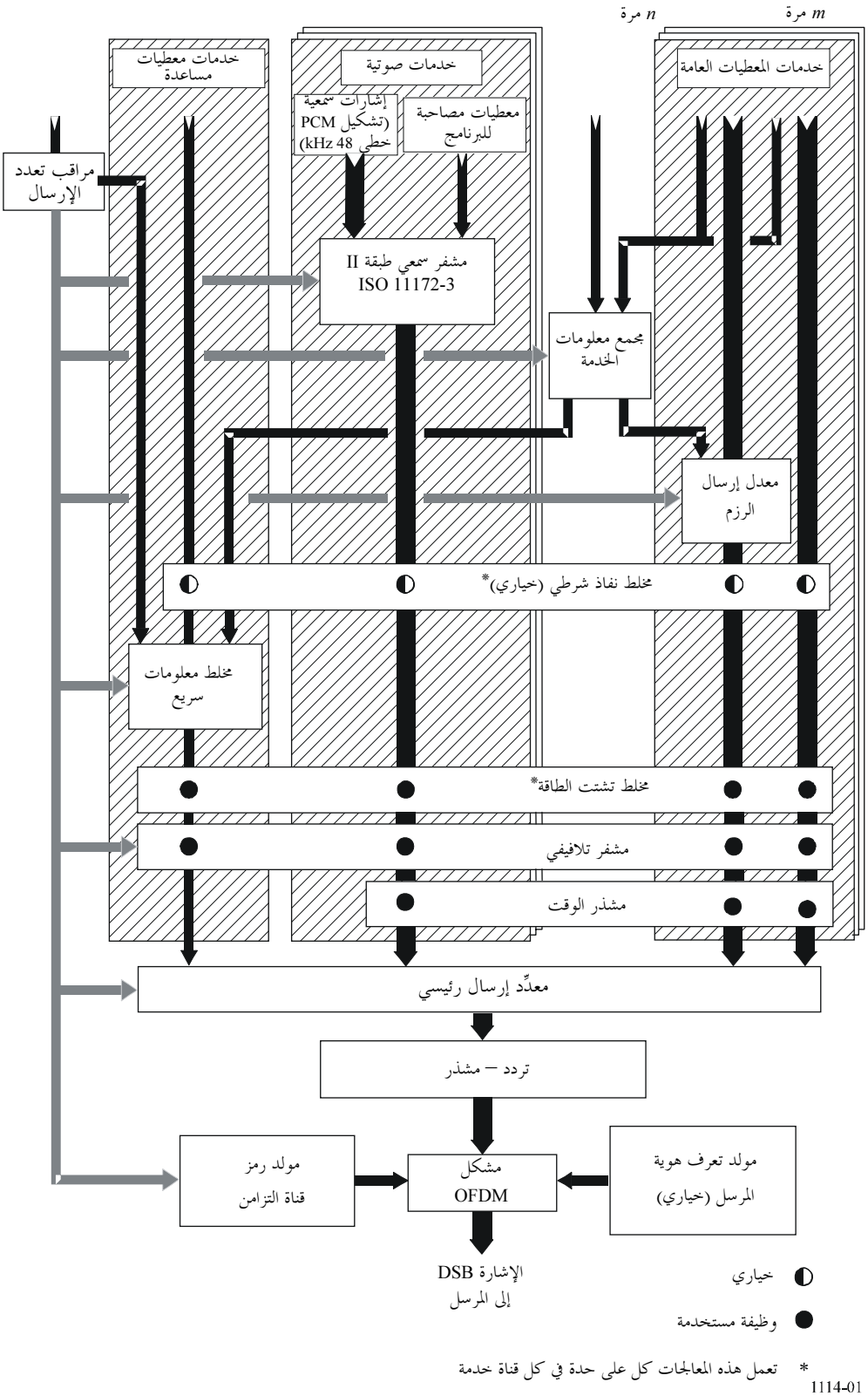
ويرد المخطط الوظيفي لجزء الإرسال من النظام A في الشكل 1.

وقد تم تطوير النظام الرقمي A من جانب اتحاد Eureka 147 للإذاعات الصوتية الرقمية (DAB) ويعرف بنظام Eureka DAB. وقد حظي بدعم كبير من طرف اتحاد الإذاعات الأوروبية (EBU) بهدف إدخال خدمات الإذاعة الصوتية الرقمية في أوروبا 1995. ومنذ عام 1988، أظهر النظام نجاحه وجُرِّب في أرجاء أوروبا وكندا والولايات المتحدة الأمريكية وفي بلدان أخرى من العالم. ويشار إلى النظام الرقمي A في الملحق 2 "بالنظام A". وترد المواصفات الكاملة الخاصة به في المعيار الأوروبي للاتصالات ETS 300 401 (انظر الملاحظة 1).

الملاحظة 1 – كان من المستحسن إضافة أسلوب جديد للإرسال يربط بين الأسلوبين I وII واعتبر بمثابة تحسين ملائم للنظام A من أجل السماح بمسافات متباعدة أكبر بين معيدات الإرسال العاملة في نفس القناة والمستخدمة في شبكة وحيدة التردد أو بمثابة موسع للتغطية أو مالئ للثغرات، مما يؤدي إلى مرونة أفضل وتكاليف أقل لدى تنفيذ الإذاعة الصوتية الرقمية للأرض في النطاق 452 1-492 1 MHz.

الشـــكل 1

مخطط وظيفي لجزء الإرسال في النظام A



2 استخدام نموذج الطبقات

يطابق النظام A النموذج الأساسي المرجعي للتوصيل البيني للأنظمة المفتوحة (OSI) الصادر عن منظمة التقييس الدولية (ISO) والذي يرد وصفه في المعيار ISO 7498 (1984). ويوصي باستخدام هذا النموذج في التوصية ITU-R BT.807 والتقرير ITU-R BT.1207، وتقدم هذه التوصية الشروحات اللازمة لاستخدامه مع أنظمة الإذاعة المصممة حسب الطبقات. وسيتم وصف النظام A فيما يتعلق بطبقات النموذج وفقاً للنموذج المعياري هذا، ويوضح الجدول 2 هذا الوصف.

ويتم وصف العديد من التقنيات المستخدمة بسهولة أكبر عندما يتعلق الأمر بتشغيل التجهيزات في المرسل أو في النقطة المركزية لشبكة التوزيع في حالة شبكة مرسلات.

الجـــدول 2

شرح لنموذج طبقات التوصيل البيني للأنظمة المفتوحة (OSI)

اسم الطبقة	الوصف	خصائص النظام
طبقة التطبيق	استعمال عملي للنظام	مرافق النظام نوعية صوتية أساليب الإرسال
طبقة التقديم	تحويل من أجل التقديم	تشفير وفك تشفير سمعي تقديم سمعي معلومات الخدمة
طبقة الدورة	انتقاء المعطيات	انتقاء البرنامج نفاذ مشروط
طبقة النقل	تجميع المعطيات	خدمات البرامج تعدد الإرسال الرئيسي للخدمات معطيات مساعدة تربط المعطيات
طبقة الشبكة	قناة منطقية	أرتال سمعية ISO معطيات مصاحبة للبرنامج
طبقة وصلة المعطيات	نسق الإشارة المرسلة	أرتال الإرسال تزامن
طبقة مادية	إرسال مادي (راديوي)	تشتت الطاقة تشفير تلافيفي تشذير زمني تشذير التردد تشكيل 4-DPSK OFDM، إرسال راديوي

الهدف الأساسي للنظام A هو توفير برامج إذاعة صوتية للمستمع، بحيث يبدأ ترتيب الأقسام في الوصف التالي من طبقة التطبيق (استعمال معلومات الإذاعة)، ويستمر إلى الطبقة المادية (وسائل الإرسال الراديوي).

3 طبقة التطبيق

تقابل هذه الطبقة استعمال النظام عند مستوى التطبيق. وتشمل المرافق والنوعية الصوتية التي تتوفر في النظام A والتي تقدمها الإذاعات إلى المستمعين، إلى جانب الأساليب المختلفة للإرسال.

1.3 المرافق التي يقدمها النظام A

يوفر النظام A إشارة تنقل تعدد إرسال المعطيات الرقمية، وبذلك تنقل عدة برامج في نفس الوقت. ويتضمن تعدد الإرسال معطيات البرامج السمعية، ومعطيات مساعدة تشمل معطيات مصاحبة للنظام (PAD)، ومعلومات عن تشكيل تعدد الإرسال (MCI)، ومعلومات عن الخدمة (SI). وقد ينقل تعدد الإرسال أيضاً معطيات مصاحبة للخدمات العامة للمعطيات التي قد لا تكون متصلة بإرسال البرامج الصوتية.

المرافق التالية متوفرة لدى مستعمل النظام A على وجه التحديد:

- الإشارة السمعية (أي البرنامج) يوفرها برنامج الخدمة المنتقى:
- تطبيق اختياري لوظائف المستقبل، مثلاً التحكم في المدى الدينامي، الذي قد يستعمل معطيات مساعدة مرسلة مع البرنامج؛
- عرض لنص يعطي بعض المعلومات المنتقاة ضمن المعلومات المرسلة عن الخدمة. وقد يتعلق الأمر بمعلومات متصلة بالبرنامج المنتقى أو برامج أخرى مقترحة؛
- اختيارات تسمح باختيار برامج أخرى ووظائف أخرى للمستقبل ومعلومات أخرى عن الخدمة؛
- خدمة أو عدة خدمات عامة للمعطيات، مثلاً قناة رسالة الحركة (TMC).

يوفر النظام إمكانية النفاذ المشروط، ويمكن للمستقبل أن يكون مجهزاً بخرج رقمي لإشارات المعطيات وإشارات سمعية.

2.3 النوعية السمعية

يمكن اختيار ضمن سعة تعدد الإرسال عدد خدمات البرامج ونسق تقديم كل من هذه الخدمات (مثلاً، مجسم وغير مجسم ومحيط إلخ)، والنوعية السمعية ودرجة الحماية من الأخطاء (وبالتالي الاعتمادية)، حسب احتياجات الهيئات الإذاعية.

وفيما يلي الاختيارات المتوفرة بالنسبة إلى النوعية السمعية:

- نوعية عالية، مع هامش المعالجة السمعية؛
- نوعية شفافة حسب التقدير الشخصي، كافية لأعلى نوعية للإذاعة؛
- نوعية عالية مكافئة لنوعية الخدمة FM الجيدة؛
- نوعية متوسطة مكافئة لنوعية الخدمة AM الجيدة؛
- نوعية كلامية فقط.

يؤمن النظام A استقبال نوعية منتظمة في حدود تغطية المرسل؛ وما بعد هذه الحدود تنخفض القيمة تدريجياً حسب التقدير الشخصي.

3.3 أساليب الإرسال

يشمل النظام A أربعة أساليب بديلة للإرسال تسمح باستعمال مدى واسع للترددات يصل إلى 3 GHz. وقد تم تخصيص أساليب الإرسال هذه لمراعاة تمديد دوبلر وتمديد الإمهال في حالة الاستقبال المتنقل في وجود الصدى بمسارات متعددة.

ويقدم الجدول 3 وقت انتشار الصدى الناتج ومدى التردد الاسمي للاستقبال المتنقل. ويبلغ الانحطاط العائد إلى الضوضاء عند أعلى تردد وفي أسوأ ظروف الانتشار بمسارات متعددة، وهي ظروف نادرة في العادة، مقدار 1 dB عند 100 km/h.

الجـــدول 3

المعلمة	الأسلوب I	الأسلوب II	الأسلوب III	الأسلوب IV
مدة الفاصل الحارس (µs)	246	62	31	123
وقت الانتشار الأقصى للصدى الناتج (µs)	300	75	37,5	150

واستناداً إلى الجدول 3، يمكن ملاحظة أن استعمال الترددات الأكثر ارتفاعاً يفرض حدوداً متشددة على وقت الانتشار. ويلائم الأسلوب I شبكة وحيدة التردد للأرض ملاءمة تامة، لأنه يسمح بمباعدة أكبر بين المرسلات ويلائم الأسلوب II الإذاعة المحلية بمرسل وحيد للأرض والإرسال الهجين الساتلي/الأرضي بتردد يصل إلى 1,5 GHz ملائمة تامة. إلا أنه يمكن استعمال الأسلوب II لشبكة وحيدة التردد بتغطية متوسطة أو كبيرة (مثلاً، 1,5 GHz) عن طريق إدراج، عند الضرورة، تأخر اصطناعي عند سوية المرسل أو عن طريق استخدام هوائيات إرسال اتجاهية. ويلائم الأسلوب III الإرسال الساتلي والإرسال التكميلي للأرض ملاءمة تامة، في جميع الترددات لغاية 3 GHz.

والأسلوب III هو أيضاً الأسلوب المفضل للإرسال الكبلي بتردد يصل إلى 3 GHz.

أما الأسلوب IV فيلائم الشبكات وحيدة التردد المتوسطة أو الكبيرة العاملة في نطاق الموجات الديسيمترية (UHF).

4 طبقة التقديم

تعني هذه الطبقة بتحويل المعلومات المذاعة وتقديمها.

1.4 تشفير المصدر السمعي

تقنية تشفير المصدر السمعي المستعملة هي التقنية ISO/IEC MPEG السمعية للطبقة II المحددة في المعيار ISO 11172-3 ويعرف نظام الانضغاط وتشفير النطاق الفرعي بالنظام MUSICAM أيضاً.

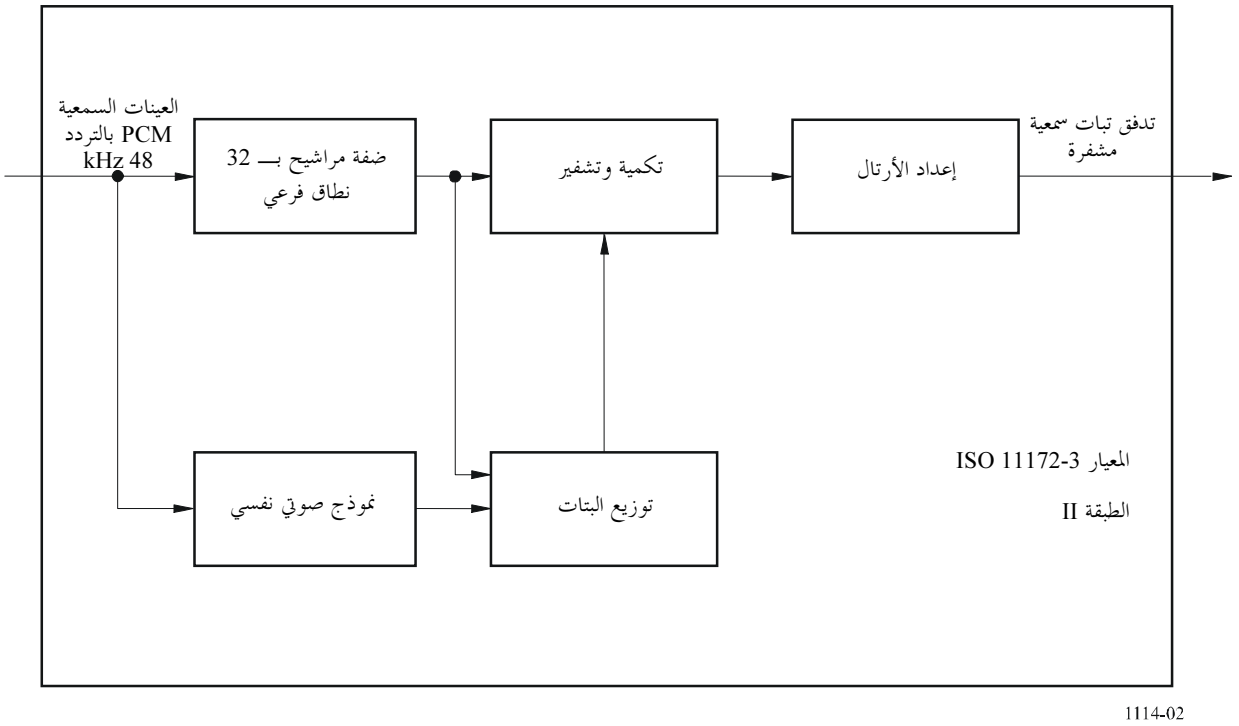
ويقبل النظام A بعدد من الإشارات السمعية PCM عند معدل اعتيان يبلغ 48 kHz ومعطيات مصاحبة للبرنامج. ويتوقف عدد المصادر السمعية الممكنة على معدل البتات والمظهر الجانبي للحماية من الأخطاء. ويجوز تشغيل المشفر السمعي عند 32 أو 48 أو 56 أو 64 أو 80 أو 96 أو 112 أو 128 أو 160 أو 192 kbit/s لكل قناة غير مجسمة. وفيما يتعلق بأسلوب القناة المجسمة أو الثنائية، يكون معدل البتات الخص بالمشفر هو ضعف معدل الأسلوب غير المجسم.

ويمكن للإذاعات استعمال اختيارات معدل البتات المختلفة حسب النوعية الملازمة المطلوبة و/أو عدد البرامج الصوتية التي ينبغي توفيرها. فعلى سبيل المثال، إن استعمال معدلات بتات أعلى من معدل 128 kbit/s أو مساوٍ له من أجل البرامج غير المجسمة، وأعلى من معدل 256 kbit/s أو مساوٍ له من أجل البرامج المجسمة ليوفر نوعية عالية جداً وحسب، بل هامش معالجة كاف لعمليات لاحقة متعددة للتشفير/فك التشفير، بما في ذلك لمعالجة السمعية اللاحقة. ولأغراض الإذاعة عالية النوعية، يفضل استعمال معدل بتات يساوي 128 kbit/s للبرامج غير المجسمة أو 256 kbit/s للبرامج المجسمة، مما يسمح بالحصول على نوعية سمعية شفافة. وحتى استعمال معدل البتات الذي يساوي 192 kbit/s لكل برنامج مجسم يفي في العادة بمتطلبات الاتحاد EBU فيما يتعلق بالأنظمة السمعية الرقمية مع تخفيض معدل البتات. يعطي معدل بتات يساوي 96 kbit/s للبرامج المجسمة نوعية سمعية جيدة، أما عند معدل يساوي 48 kbit/s، تكون النوعية كنوعية الإذاعة AM تقريباً. وفيما يخص البرامج التي تشمل الإشارات الصوتية فقط، قد يكون معدل بتات بمقدار 32 kbit/s كافياً إذا كان تعدد إرسال النظام مصاحباً لأكبر عدد من الخدمات.

ويقدم الشكل 2 المخطط الإجمالي للوحدات الوظيفية للمشفر السمعي. وفي تنطبق العينات السمعية PCM للدخل على المشفر السمعي. ويستطيع المشفر معالجة قناتي الإشارة المجسمة، على الرغم من أنه من المحتمل أن يستلم إشارة غير مجسمة. يقسم ضفة المراشيح متعددة الأطوار السمعية الرقمية إلى 32 إشارة نطاق فرعي ويولد تمثيلاً مرشحاً باعتيان فرعي للإشارة السمعية للدخل. ويطلق على العينات المرشحة عينات النطاق الفرعي. وتخضع التكمية والتشفير إلى نموذج إدراكي لأذن الإنسان يدمج في المشفر. وقد يختلف هذا التحكم حسب نمط المشفر، يمكن مثلاً استعمال تقدير لعتبة حجب أذن الإنسان للحصول على معطيات التحكم في المكمم. وتجمع العينات المتتالية لكل إشارة بنطاق فرعي إلى فدرات، ثم يتم في كل قدرة تحديد الاتساع الأقصى لكل قدرة بنطاق فرعي والإشارة إليه بعامل القياس. ويولد المكمم والمشفر مجموعة من كلمات التشفير انطلاقاً من عينات نطاق فرعي. ويجري تطبيق هذه العمليات أثناء الأرتال السمعية ISO التي سيتم وصفها في طبقة الشبكة.

الشـــكل 2

المخطط الوظيفي للمشفر السمعي في النظام الأساسي

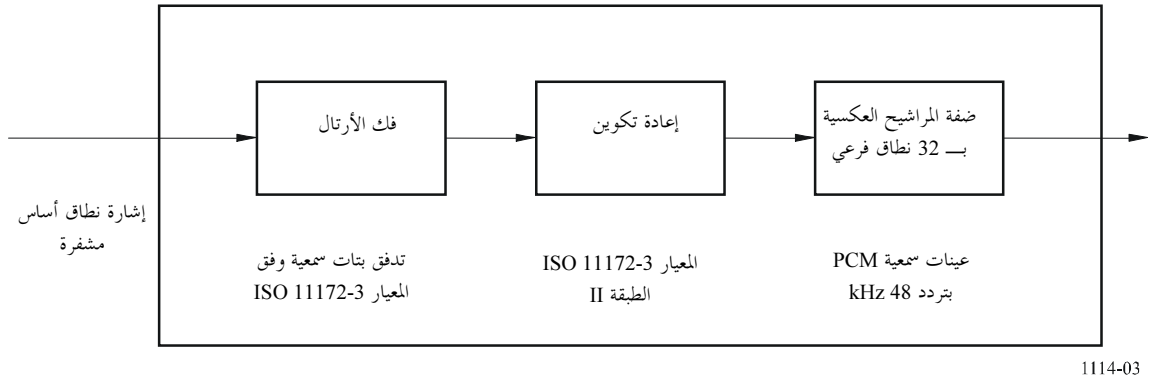


2.4 فك التشفير السمعي

إن فك التشفير في المستقبل الذي يقوم على تقنية بسيطة لمعالجة الإشارة سهل واقتصادي، ويتطلب فقط عمليات إزالة تعدد الإرسال والتمديد والترشيح العكسي. ويقدم الشكل 3 المخطط الإجمالي للوحدات الوظيفية لمفكك الشفرة.

الشـــكل 3

المخطط الوظيفي لمفكك الشفرة السمعي في النظام الأساسي



يتم إدخال الرتل السمعي ISO في مفكك الشفرة السمعي ISO/MPEG للطبقة II التي يقوم بإزالة ترزيم معطيات الرتل لإعادة تكوين العناصر المختلفة للمعلومات. وتعيد وحدة إعادة التكوين إنشاء عينات للنطاق الفرعي بعد تكيتها ضفة المراشيح العكسية عينات النطاق الفرعي من أجل إنتاج إشارات PCM سمعية منتظمة بمعدل اعتيان قدره kHz 48.

3.4 تقديم سمعي

يمكن تقديم الإشارات السمعية بشكل مجسم أو غير مجسم، ويمكن تجميع القنوات السمعية أيضاً لاسترجاع الصوت المحيطي. ويمكن وصل البرامج فيما بينها لتوفير البرنامج نفسه بلغات متعددة بشكل متآون. ومن أجل إرضاء مستمعين يتطلبون أداء عالي الجودة في بيئة تعاني من الضوضاء، تستطيع الإذاعة إرسال إشارة اختيارية للتحكم في المدى الدينامي (DRC) يمكن استعمالها في جو ضوضاء لضغط المدى الدينامي للإشارة السمعية التي أعاد المستقبل إنتاجها. وتجدر الإشارة إلى أن هذه التقنية مفيدة للمستمعين معتلّي السمع.

4.4 تقديم معلومات الخدمة

يمكن توفير العناصر التالية الخاصة بمعلومات الخدمة (SI) لعرضها على المستقبل، وذلك فيما يتعلق بكل برنامج أرسله النظام:

- وسم البرنامج الأساسي (أي اسم البرنامج)،
- الوقت والتاريخ،
- الإشارة إلى البرامج المائلة أو المشابهة (مثلاً بلغة أخرى) المرسلة في عنصر آخر أو مرسلة بشكل متآون باستعمال الخدمة AM أو FM،
- تمديد وسم الخدمة إلى الخدمات المصاحبة للبرنامج،
- معلومات بشأن البرنامج (مثلاً، اسم الفنانين، غير ذلك)،
- اللغة،
- نوع البرنامج (مثلاً، الأخبار، الرياضة، الموسيقى، إلخ)،
- معرف هوية المرسل،
- قناة رسالة الحركة (TMC، باستعمال مركب صوتي مدمج في المستقبل).

ويمكن أيضاً إدراج المعطيات المتصلة بشبكة المرسلات للاستعمالات الداخلية لهيئات الإذاعة.

5 دورة الطبقة

تخص هذه الطبقة انتقاء المعلومات المذاعة والنفاذ إليها.

1.5 انتقاء البرنامج

لكي يتمكن المستقبل من النفاذ شبه المباشر إلى بعض الخدمات أو إلى جميعها، ترسل قناة المعلومات السريعة (FIC) معلومات متصلة بالمحتوى الحالي والمستقبلي لتعدد الإرسالات معروفة بمعلومات تشكيل تعدد الإرسال (MCI) وهي معطيات تقرأ أتوماتياً. ومعطيات القناة FIC غير مشذرة زمنياً، بحيث لا تخضع المعلومات (MCI) إلى التأخر الملازم لعملية التشذير الزمني والمنطبق على خدمات المعطيات العامة والسمعية. ومع ذلك، تكرر هذه المعطيات بتواتر كبير لأغراض الدقة. وعندما توشك تشكيلة تعدد الإرسال أن تتغير، ترسل مسبقاً المعلومات الجديدة مع توقيت التغيير في المعلومات MCI.

ويمكن لمستعمل المستقبل أن يختار البرامج على أساس المعلومات النصية المرسلة في معلومات الخدمة (SI)، باستعمال اسم خدمة البرنامج، وهوية نمط البرنامج أو اللغة. وبالتالي، يقوم المستقبل بتنفيذ أوامر المستمع باستعمال العناصر المقابلة للمعلومات MCI.

وإذا تيسرت موارد بديلة لخدمة برنامج معين وأصبحت خدمة رقمية ما غير قابلة للاستعمال، يمكن استعمال معطيات التوصيل الموجودة في معلومات SI (أي "البرنامج المشار إليه") لإيجاد بديل (الانتقال إلى خدمة FM مثلاً) والتبديل إليه. ولكن في هذه الحالة، يعود المستقبل إلى الخدمة الأصلية حالما أمكن الاستقبال.

2.5 النفاذ المشروط

يتوقع استعمال هذا النظام للتزامن والتحكم في النفاذ المشروط.

يمكن تطبيق النفاذ المشروط بمعزل عن جميع مكونات الخدمة (المرسلة في قناة MSC أو FIC)، وعلى الخدمات أو على تعدد الإرسال بكامله.

6 طبقة النقل

تخص هذه الطبقة تعرف هوية مجموعة من المعطيات في شكل خدمات البرنامج، وتعدد إرسال المعطيات من أجل تلك الخدمات إرفاق عناصر المعطيات التي طبق عليها تعدد الإرسال.

1.6 خدمات البرنامج

تتضمن خدمة البرنامج بصفة عامة مكونات الخدمة السمعية وخدمات سمعية و/أو مكونات خدمات المعطيات الإضافية بشكل اختيارين يؤمنها موفر الخدمة. وقد تكرس السعة الكلية لتعدد الإرسال إلى مزود واحد للخدمة (مثالً، إذاعة خمس او ست خدمات لبرامج سمعية عالية النوعية)، أو يمكن توزيعها بين عدة مزودين للخدمة (مثلاً إذاعة مشتركة لعشرين خدمة برامج متوسطة النوعية).

2.6 تعدد الإرسال الرئيسي للخدمات

كما جاء في الفقرة 1، إن المعطيات التي تمثل كلا من البرامج المذاعة (معطيات سمعية مع معطيات مساعدة أو حتى معطيات عامة) محمية من الأخطاء عن طريق التشفير التلافيفي (انظر الفقرة 2.9) والتشذير الزمني. ويرفع التشذير الزمني من دقة إرسال المعطيات في بيئة متغيرة (مثلاً، الاستقبال على متن مركبة متحركة) ويفرض تأخراً في الإرسال يمكن توقعه. وبعد ذلك، تدرج المعطيات المشذرة والمشفرة في معدد إرسال الخدمة الرئيسية حيث يتم تجميع الخدمة في تتابع داخل رتل تعدد الإرسال كل 24 ms. يتميز خرج قطار البتات المجمع من معدد الإرسال المعروف بقناة الخدمة الرئيسية (MSC) بسعة إجمالية قدرها 2,3 Mbit/s. وحسب معدل الشفرة المختار (الذي قد يختلف من مكونة خدمة على أخرى)، يتراوح معدل البتات الصافي بين 0,8 و1,7 Mbit/s على عرض نطاق يبلغ 1,5 MHz. إن معدد إرسال الخدمة الرئيسي هي النقطة التي تجمع فيها المعطيات المتزامنة الصادرة عن جميع خدمات البرنامج التي تستعمل تعدد الإرسال.

ويمكن إرسال معطيات عامة في القناة MSC كتدفق غير مبنين أو منظم في شكل تعدد إرسال الرزم حيث يتم تركيب عدة موارد. إن المعدل الذي قد يكون عبارة عن مضاعف ما بمقدار 8 kbit/s متزامن مع تعدد إرسال النظام شريطة أن تكون السعة الكلية لتعدد الإرسال كافية ومع مراعاة طلب الخدمات السمعية.

والقناة FIC غير مدمجة في القناة MSC ولا تخضع لتشذير زمني.

3.6 معطيات مساعدة

هناك ثلاثة مجالات حيث يمكن نقل المعطيات المساعدة في تعدد إرسال النظام:

- القناة FIC، حيث تكون السعة محدودة حسب كمية المعطيات MCI الأساسية المدرجة؛
- هناك حكم خاص لنقل كمية متوسطة من المعطيات PAD داخل كل قناة سمعية؛
- تعالج جميع المعطيات المساعدة المتبقية كخدمة منفصلة داخل MSC. ويشار إلى وجود هذه المعلومات في المعلومات MCI.

4.6 تصاحب المعطيات

تقدم المعلومات MCI التي تنقل في القناة FIC وصفاً دقيقاً للمحتوى الحالي والمستقبلي للقناة MSC. ويجب أيضاً نقل العناصر الأساسية لمعلومات الخدمة والتي تتعلق بمحتوى القناة MSC (أي من أجل انتقاء البرنامج) في القناة FIC. وينبغي إرسال النصوص الأكثر طولاً مثل قائمة البرامج اليومية، بشكل منفصل كخدمة المعطيات العامة. وهكذا، تشمل المعلومات MCI وSI مساهمات من جميع البرامج التي تبث.

تتضمن المعطيات PAD أساساً المنقولة داخل القناة السمعية، المعلومات المرتبطة بشكل وثيق بالبرامج السمعية وبالتالي لا يمكن إرسالها في قناة معطيات مختلفة حيث يكون وقت الانتشار مختلفاً.

7 طبقة الشبكة

تخص هذه الطبقة تعرف هوية زمر المعطيات كبرامج.

1.7 أرتال سمعية ISO

تنفذ العمليات في مشفر المورد السمعي أثناء الأرتال السمعية ISO لمدة 24 ms. ويجري توزيع البتات التي تختلف من رتل لآخر وعوامل القياس وتعدد إرسالها مع عينات النطاق الفرعي في كل رتل سمعي. وتجمع وحدة تجميع الرتل (انظر الشكل 2) قطار البتات الفعلي من معطيات الخرج للمكمم ووحدة التشفير، وتضيف معلومات أخرى، كمعلومات رأسية وكلمة الشفرة CRC لكشف الأخطاء، والمعطيات PAD، التي تنقل مع الإشارة السمعية المشفرة. وتحتوي كل قناة سمعية على قناة PAD تتميز بسعة متغيرة (عند 2 kbit/s على الأقل بصفة عامة)، يمكن استعمالها لنقل المعلومات المرتبطة ارتباطاً وثيقاً بالبرنامج الصوتي. والأمثلة النموذجية هي الأعمال الغنائية، دلالة الكلام/الموسيقى ومعلومات DRC.

يشمل الرتل السمعي الناتج عن البرنامج الواحد، معطيات تمثل مدة قدرها 24 ms من المعلومات المجسمة (أو غير المجسمة) زائداً المعطيات المصاحبة للبرنامج؛ ويقابل هذا الرتل نسق الطبقة II للمعيار ISO 11172-3، بحيث يمكن اعتباره كرتل ISO. ويسمح ذلك باستعمال مفكك تشفير سمعي ISO/MPEG للطبقة II في المستقبل.

8 طبقة وصلة المعطيات

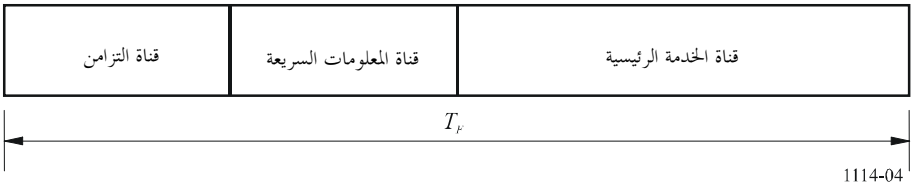
توفر هذه الطبقة الوسائل التي تسمح بتزامن المستقبل.

1.8 رتل الإرسال

تسهيلاً لزامن المستقبل، تنظم الإشارة المرسلة في بنية رتل (انظر الشكل 4) تتضمن تتابعاً ثابتاً للرموز. ويبدأ كل رتل إرسال برمز سفر لضمان تزامن تقريبي (في حالة عدم إرسال إشارة RF)، يليه رمز مرجعي ثابت لضمان تزامن دقيق، ووظائف التحكم الأتوماتي في الكسب (AGC) وفي التردد (AFC) ومرجع الطور في المستقبل؛ وتشكل هذه الرموز قناة التزامن، والرموز التالية محجوزة للقناة FIC، وتوفر الرموز المتبقية لقناة MSC. وتساوي مدة الرتل الكلية T_F 96 ms أو 48 ms أو 24 ms حسب أسلوب الإرسال، كما جاء في الجدول 4.

الشـــكل 4

بنية رتل تعدد الإرسال



الجـــدول 4

معلمات الإرسال الخاصة بالنظام A

المعلمات	الأسلوب I	الأسلوب II	الأسلوب III	الأسلوب IV
مدة رتل الإرسال، T_F	ms 96	ms 24	ms 24	ms 48
مدة الرمز المعدوم، T_{NULL}	ms 1,297	µs 324	µs 168	µs 648
مدة الرموز OFDM، T_s	ms 1,246	µs 312	µs 156	µs 623
عكس المباعدة بين الموجات الحاملة، T_u	ms 1	µs 250	µs 125	µs 500
مدة فاصل الحراسة، Δ $(T_s = T_u + \Delta)$	µs 246	µs 62	µs 31	µs 123
عدد الموجات الحاملة المرسلة، K	1 536	384	192	768

يعين لكل خدمة سمعية داخل القناة MSC فجوة زمنية في الرتل.

9 الطبقة المادية

تتعلق هذه الطبقة بوسائل الإرسال الراديوي (أي طريقة التشكيل والحماية من الأخطاء).

1.9 تشتت الطاقة

لضمان تشتت ملائم للطاقة داخل الإشارة المرسلة، يتم تخليط كل مورد يغذي تعدد الإرسال.

2.9 تشفير تلافيفي

ينطبق التشفير التلافيفي على كل مورد من موارد المعطيات التي تغذي تعدد الإرسال للحصول على استقبال موثوق. وتتمثل عملية التشفير في إضافة الإطناب عمداً إلى رشقات معطيات المصدر (الطول المفروض قدره 7). ويتم الحصول بذلك على رشقات معطيات "إجمالية".

في حالة إشارة سمعية، تحظى بعض البتات المشفرة عند المصدر إلى حماية أكثر من البتات الأخرى، حسب نموذج محدد بشكل مسبق يعرف بالمظهر الجانبي للحماية الكاملة من الأخطاء (UEP). يتراوح معدل الشفرة المتوسط المعرف كالعلاقة بين عدد البتات المشفرة عند المصدر وعدد البتات بعد التشفير التلافيفي بين 1/3 (أعلى مستوى للحماية) و3/4 (أدنى مستوى للحماية). ويمكن تطبيق مختلف المعدلات المتوسطة للشفرة على موارد سمعية مختلفة، حسب مستوى الحماية المطلوب ومعدل بتات المعطيات المشفرة عند المصدر. فعلى سبيل المثال، قد يكون مستوى الحماية للخدمات السمعية التي تنقلها الشبكات الكبلية أدنى من مستوى الحماية في الخدمات المرسلة عبر قنوات التردد الراديوي.

يتم تشفير خدمات المعطيات العامة بالتشفير التلافيفي عن طريق انتقاء معدلات منتظمة. وتشفر المعطيات في القناة FIC عند معدل ثابت بنسبة تبلغ 1/3.

3.9 تشذير زمني

يطبق تشذير زمني بعمق يبلغ 16 رتلاً على المعطيات بعد التشفير التلافيفي لتقديم المزيد من المساعدة لمستقبل متنقل.

4.9 تشذير ترددي

عند وجود الانتشار بمسارات متعددة، تعزز بعض الموجات الحاملة بواسطة إشارات بناءة بينما تعاني بعض الموجات الحاملة الأخرى من التداخل الهدام (خبو انتقائي للترددات). ولذا يقوم النظام بتشذير ترددي عن طريق إعادة ترتيب قطاع البتات الرقمي بين الموجات الحاملة، بحيث لا تتأثر العينات المتتالية من نفس المورد بالخبو الانتقائي. وعندما يكون المستقبل مستقراً، يعد التنوع في المجال الترددي الوسيلة الرئيسية لضمان استقبال جيد.

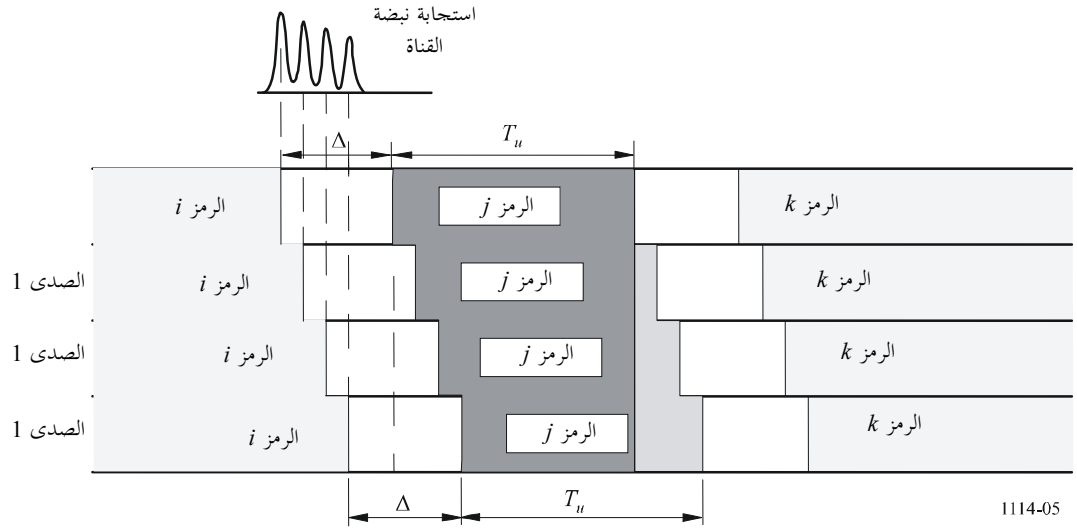
5.9 التشكيل عن طريق استعمال 4-DPSK OFDM

يستعمل النظام A التشكيل DQPSK OFDM (تعدد الإرسال المتعامد بتقسيم التردد). ويفي هذا النمط من التشكيل بالمتطلبات المتشددة للإذاعة الرقمية بمعدل بتات مرتفع مكرس للمستقبلات المتنقلة والمحمولة والثابتة، وخاصة في وجود الانتشار بمسارات متعددة.

ويتمثل المبدأ الأساسي في تقسيم المعلومات التي يتعين نشرها على عدد كبير من قطارات البتات ذات المعدل المنخفض، والتي تستعمل فيما بعد لتشكيل موجات حاملة فردية. وتصبح مدة الرموز المقابلة أطول من تمديد وقت الانتشار في قناة الإرسال. لا يسبب صدى تقل مدته عنه فاصل الحراسة أي تداخل بين الرموز في المستقبل، بل إنه بالعكس يساهم في القدرة المستلمة بشكل إيجابي (انظر الشكل 5). ويعرف العدد الكبير K للموجات الفرعية الحاملة جماعياً بمجموعة.

الشـــكل 5

مساهمة بناءة للأصداء



وعند وجود الانتشار بمسارات متعددة، تعزز بعض الموجات الحاملة بواسطة إشارات بناءة بينما تعاني بعض الموجات الحاملة الأخرى من التداخل الهدام (خبو انتقائي للترددات). ولذا يقوم النظام بإدخال إعادة توزيع عناصر قطار البتات الرقمي في الوقت والتردد، بحيث تتأثر عينات المصدر المتتالية بخبو منفصل. وعندما يكون المستقبل مستقراً، يعد التنوع في المجال الترددي الوسيلة الرئيسية لضمان استقبال جيد، لا يساهم تنوع الوقت الذي يوفره التشذير الزمني بأي تحسين لمستقبل مستقر. يعد الانتشار بمسارات معددة بالنسبة على النظام شكلاً من التنوع الفضائي؛ ويعتبر أنه يقدم مزايا مهمة، الشيء الذي يتعارض بشدة مع الأنظمة التقليدية FM أو الأنظمة الرقمية ضيقة النطاق حيث يمكن للانتشار بمسارات متعددة أن يعوق استقبال أي خدمة.

في أي نظام يمكنه أن يستفيد من الانتشار بمسارات متعددة، كلما كان عرض نطاق قناة الإرسال أوسع كلما كان النظام موثوقاً منه أكثر. تم اختيار عرض نطاق شامل قدره 1,5 MHz للاستفادة من المزايا التي تقدمها التقنية واسعة النطاق، وللسماح أيضاً بمرونة التخطيط. يبين الجدول 3 أيضاً عدد الموجات الحاملة OFDM المتضمنة في عرض النطاق هذا لكل أسلوب إرسال.

يقدم استعمال تعدد الإرسال OFDM مزية أخرى تتمثل في تحقيق فعالية في استعمال الطيف والقدرة مع الشبكات وحيدة التردد التي تغطي منطقة واسعة، ومع الشبكات الكثيفة في المناطق الحضرية. ويمكن تشغيل المرسلات التي ترسل نفس البرامج عند نفس التردد، مما يؤدي كذلك إلى تخفيض شامل في قدرات التشغيل المطلوبة. ويمكن تخفيض مسافات إعادة استعمال الترددات بين مناطق مختلفة للخدمة بشكل كبير.

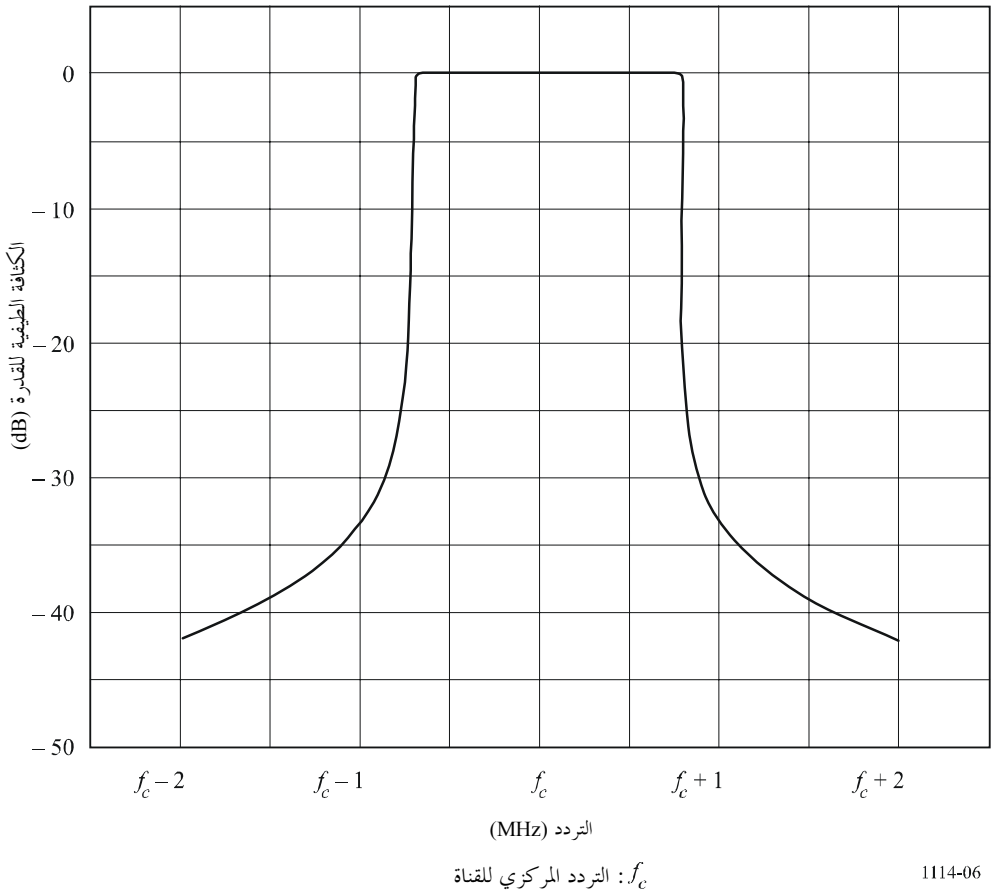
ونظراً لأن الصدى يعزز الإشارة المستقبلة، يمكن لجميع أنماط المستقبلات (المحمولة والمحلية والمركبة على متن مركبة) استعمال هوائيات بسيطة غير اتجاهية.

6.9 طيف إشارة إرسال النظام الرقمي A

يقدم الشكل 6 مثالاً للطيف النظري للنظام الرقمي A فيما يتعلق بأسلوب الإرسال II.

الشـــكل 6

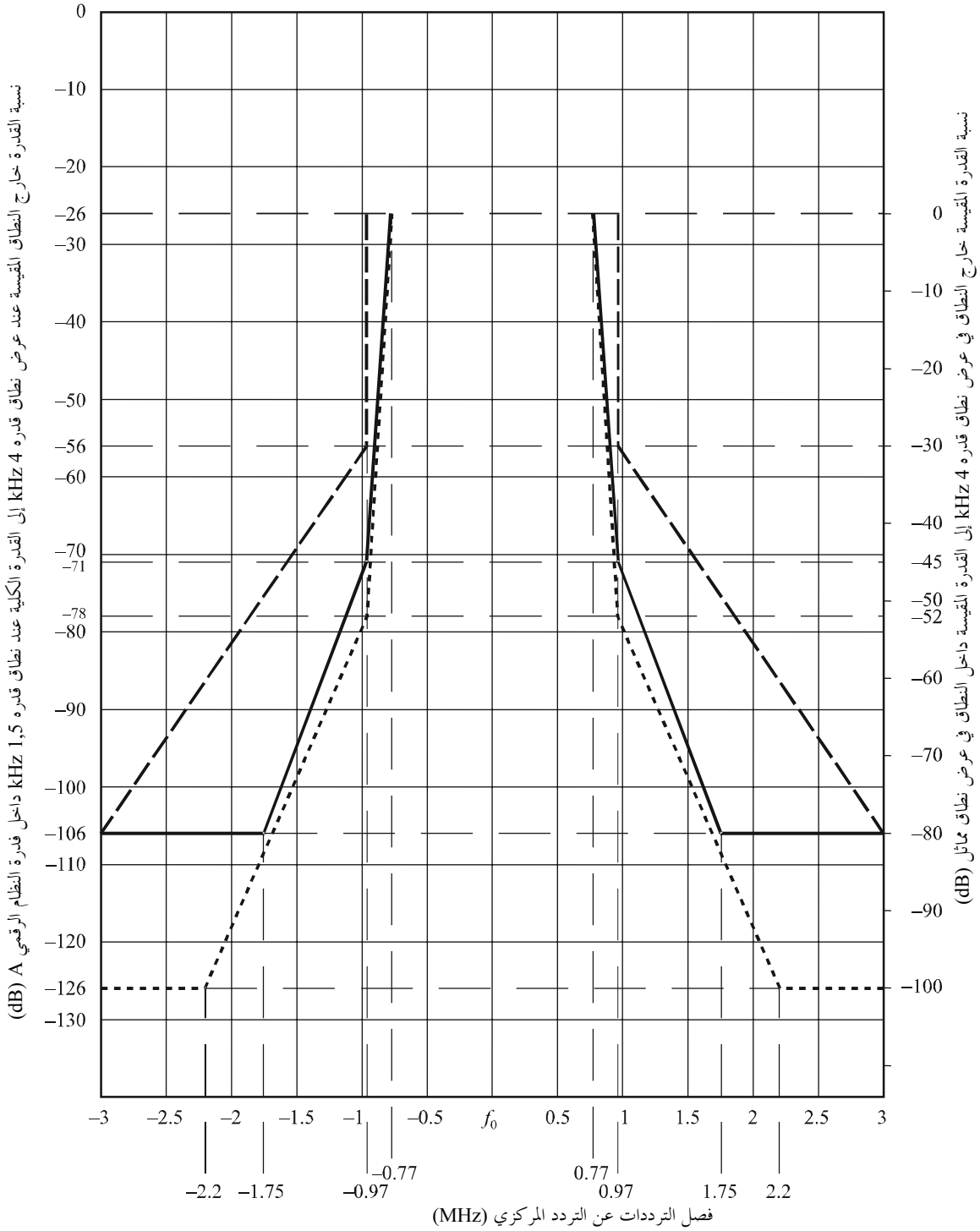
طيف إشارة الإرسال النظري للنظام الرقمي A في أسلوب الإرسال II



ينبغي أن يقع طيف الإشارة المشعة خارج النطاق في أي نطاق يساوي 4 kHz ضمن حدود أحد الأقنعة المعرفة في الشكل 7.

الشـــكل 7

أقنعة الطيف خارج لنطاق في إشارة الإرسال للنظام الرقمي A



قناع الطيف لمرسلات النظام A بالموجات VHF العاملة في حالات حرجة أو في نطاق قدره GHz 1,5

قناع الطيف لمرسلات بالموجات VHF العاملة في الحالات الحرجة

قناع الطيف لمرسلات النظام A بالموجات VHF العاملة في بعض المناطق التي تستعمل فدرة التردد 12D.

وينبغي تطبيق قناع الخط المتواصل على المرسلات بالموجات VHF في المناطق الحرجة من أجل التداخل في القناة المجاورة. وينبغي تطبيق قناع الخط المتقطع على مرسلات الموجات VHF العاملة في ظروف أخرى أو في نطاق عرضة GHz 1,5 أما قناع الخط المنقط فيستخدم في المرسلات الموجات VHF العاملة في بعض المناطق التي تستعمل التردد 12D.

يمكن الحد من مستوى الإشارة على الترددات خارج نطاق التردد العادي MHz 1,536 بتطبيق الترشيح المناسب.

الجـــدول 5

جدول الطيف خارج النطاق لإشارة إرسال النظام A

	التردد النسبي لمركز القناة MHz 1,54 (MHz)	السوية النسبية (dB)
قناع طيف مرسلات النظام A بالموجات VHF العاملة في حالات عادة أو في نطاق عرضة GHz 1,5	± 0,97	–26
	± 0,97	–56
	± 3,0	–106
قناع طيف مرسلات النظام A بالموجات VHF العاملة في حالات حرجة	± 0,77	–26
	± 0,97	–71
	± 1,75	–106
	± 3,0	–106
قناع طيف مرسلات النظام A بالموجات VHF العاملة في مناطق تستعمل فدرة التردد 12D	± 0,77	–26
	± 0,97	–78
	± 2,2	–126
	± 3,0	–126

10 خصائص أداء التردد الراديوي في النظام الرقمي A

أجريت اختبارات لتقييم التردد RF في النظام الرقمي A باستعمال الأسلوب I عند MHz 226 والأسلوب II عند MHz 1 480 من أجل ظروف مختلفة تمثل الاستقبال المتنقل والثابت. وتم قياس معدلات خطأ البتات (BER) بدلالة نسبة الإشارة إلى الضوضاء (*S/N*) في قناة الإرسال على قناة المعطيات باستعمال الشروط التالية:

$$D = 64 \text{ kbit/s}، \quad R = 0,5$$

$$D = 24 \text{ kbit/s}، \quad R = 0,375$$

حيث:

D: معدل معطيات المصدر

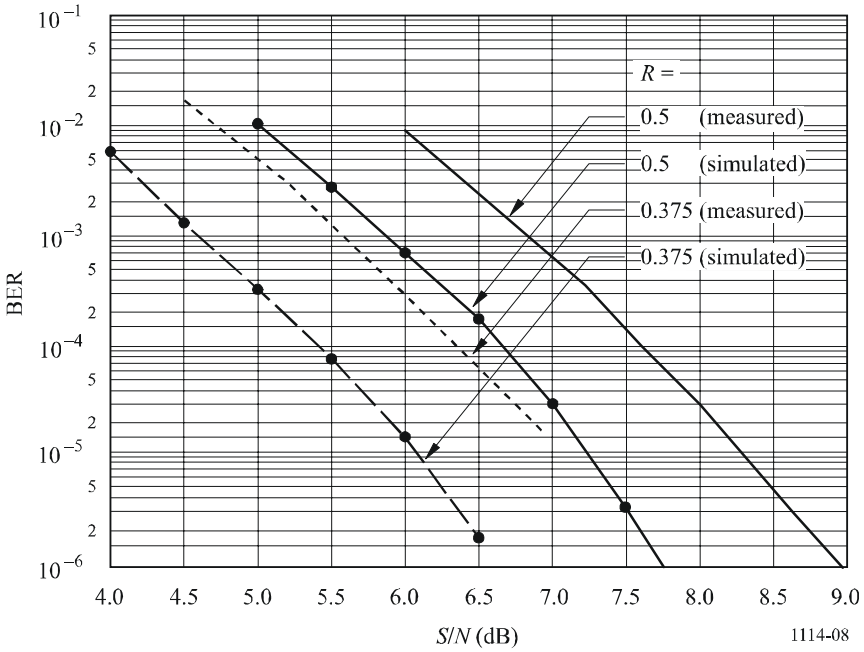
R: معدل متوسط للتشفير

1.10 المعدل BER بدلالة *S/N* (بمقدار MHz 1,5) في قناة غوسية

أضيف ضوضاء بيضاء غوسية إلى الإشارة لضبط العلاقة *S/N* عند دخل المستقبِل. ويوضح الشكلان 8 و9 النتائج التي تم التوصل إليها. فعلى سبيل المثال، بالنسبة إلى $R = 0,5$، يمكن مقارنة النتائج المقيسة في الشكل 8 بالنتائج التي تم الحصول عليها عن طريق المحاكاة المعلوماتية لإظهار الأداء الملازم للنظام. ويلاحظ أنه تم الحصول على هامش للتنفيذ يقل عن dB 1,0 عند معدل الخطأ في البتات (BER) قدره 10^{-4}.

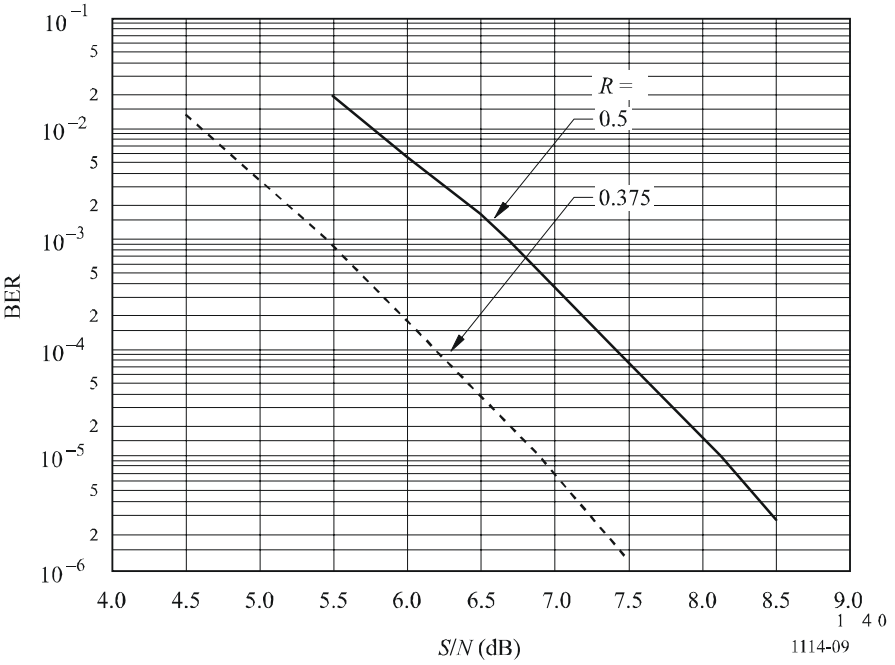
الشـــكل 8

معدل الخطأ في البتات بدلالة نسبة الإشارة إلى الضوضاء (*S/N*) فيما يتعلق بالنظام الرقمي A (أسلوب الإرسال I) – قناة غوسية



الشـــكل 9

معدل الخطأ في البتات بدلالة نسبة الإشارة إلى الضوضاء (*S/N*) في النظام الرقمي A (أسلوب الإرسال II أو III): قناة غوسية



2.10 معدل BER بدلالة *S/N* (بنسبة تبلغ 1,5 MHz) في قناة رايلي محاكاة في بيئة ريفية

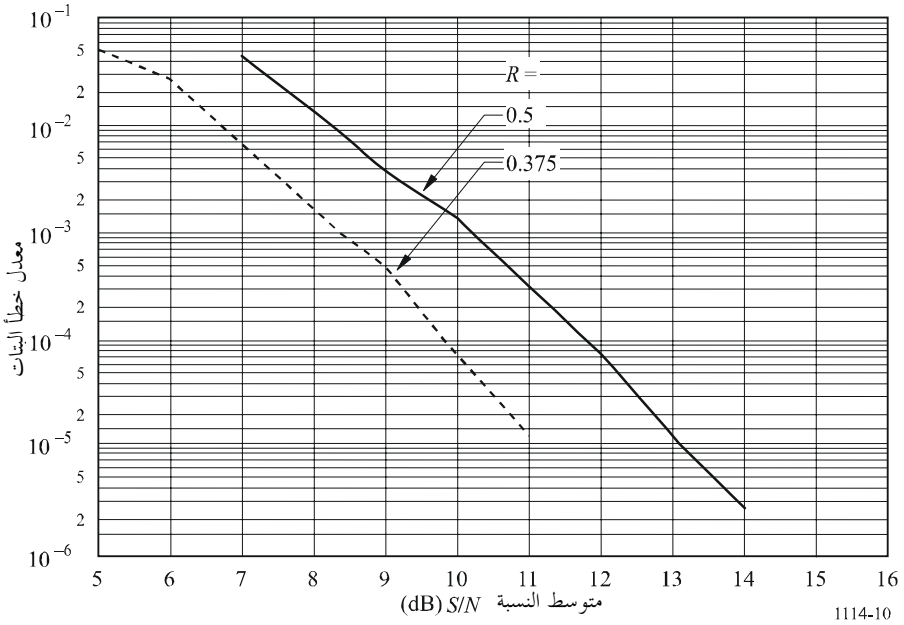
أجريت قياسات المعدل BER بدلالة *S/N* على قنوات المعطيات بواسطة محاكي قناة الخبو. وتقابل حالات المحاكاة الخاصة بقناة رايلي الشكل 5 في الوثيقة Cost 207 (منطقة ريفية نموذجية 0-0,05 µs) وتبلغ سرعة تنقل المستقبل 15 h/km.

النتائج موضحة في الشكلين 10 و11.

الشـــكل 10

معدل الخطأ في البتات بدلالة نسبة الإشارة إلى الضوضاء (*S/N*)
في النظام الرقمي A (أسلوب الإرسال I، 1,226 MHz)

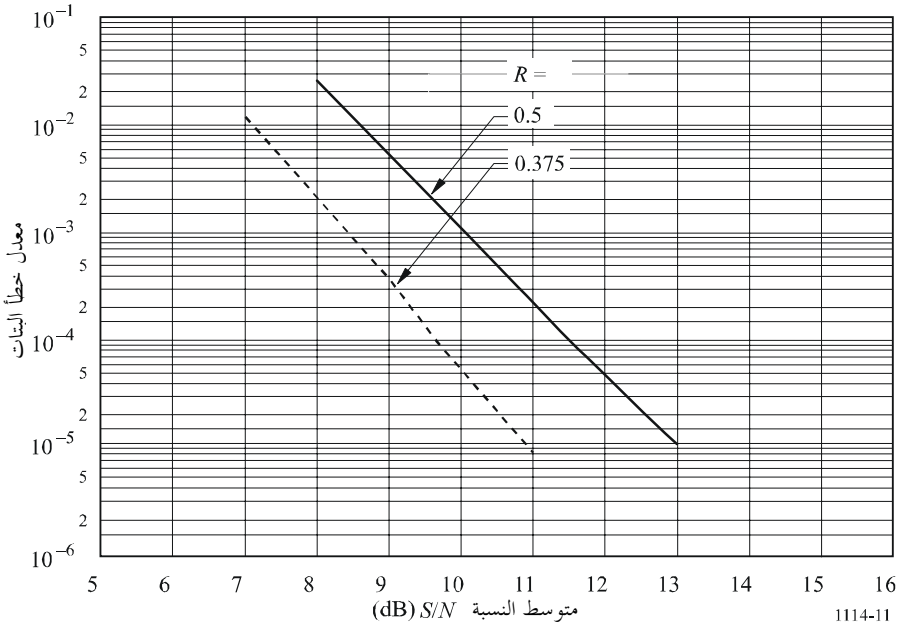
محاكاة قناة رايلي (البيئة الحضرية، السرعة 15 h/km)



الشـــكل 11

معدل الخطأ في البتات بدلالة نسبة الإشارة إلى الضوضاء
في النظام الرقمي A (أسلوب الإرسال II، 1 480 MHz)

محاكاة قناة رايلي (البيئة الحضرية، السرعة 15 h/km)



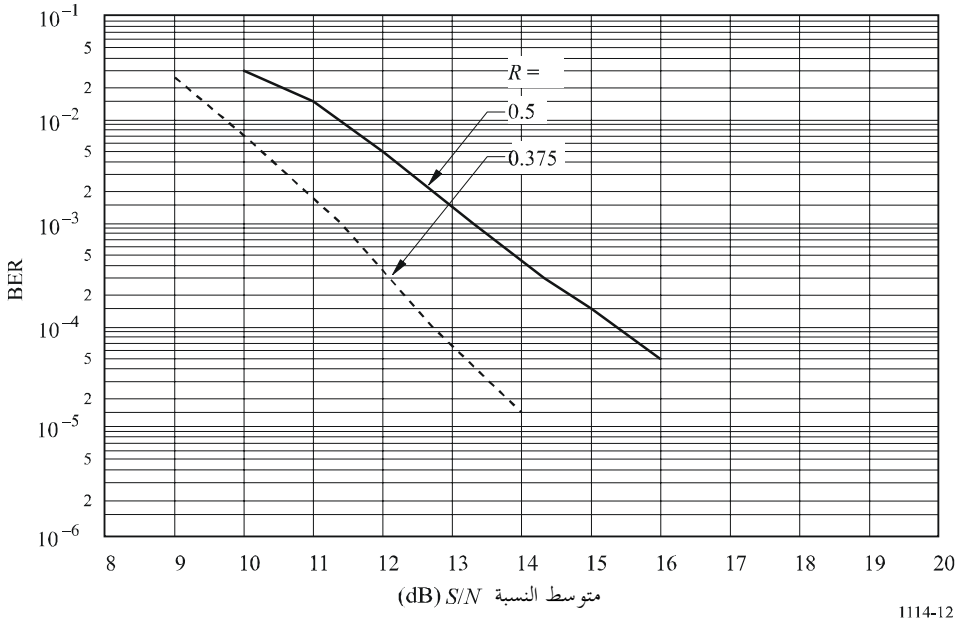
3.10 المعدل BER بدلالة النسبة *S/N* (قدره 1,5 MHz) في قناة رايلي محاكاة في بيئة ريفية

أجريت قياسات المعدل BER بدلالة النسبة *S/N* على قنوات المعطيات بواسطة محاكي قناة الخبو. تقابل حالات المحاكاة الخاصة بقناة رايلي الشكل 4 في الوثيقة Cost 207 (منطقة ريفية غير جبلية، 0-5 µs) وتبلغ سرعة تنقل المستقبل 130 km/h. والنتائج موضحة في الشكلين 12 و13.

الشـــكل 12

معدل خطأ البتات (BER) مقابل نسبة الإشارة إلى الضوضاء (*S/N*)
في النظام A (أسلوب الإرسال I، التردد 226 MHz)

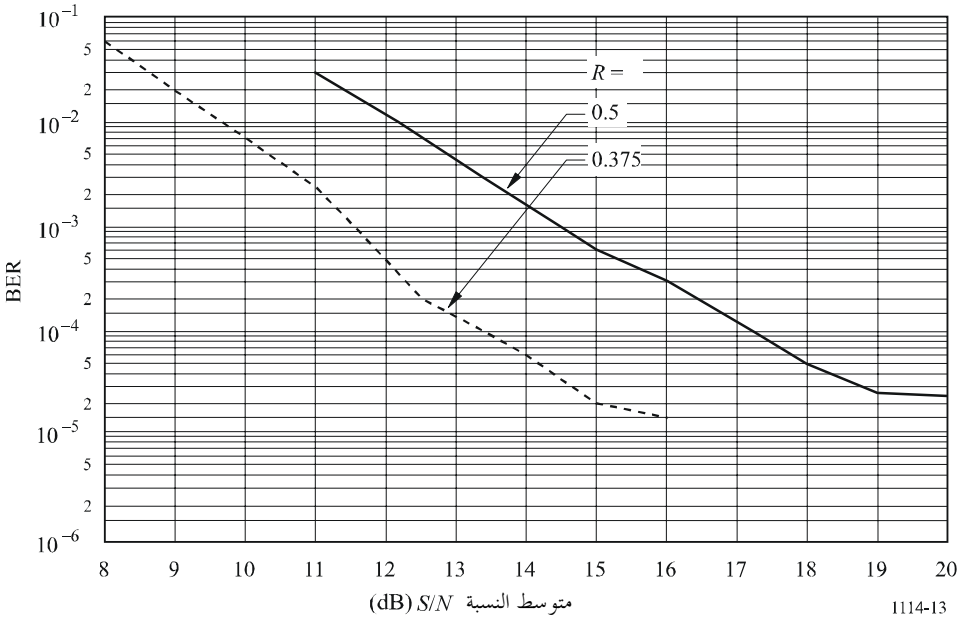
محاكاة قناة رايلي (البيئة الريفية، السرعة 130 km/h)



الشـــكل 13

معدل خطأ البتات (BER) مقابل نسبة الإشارة إلى الضوضاء (*S/N*)
في النظام A (أسلوب الإرسال II، التردد 1 480 MHz)

محاكاة قناة رايلي (البيئة الريفية، السرعة 130 h/km)



4.10 نوعية صوتية بدلالة النسبة *S/N*

أجري عدد من التقييمات الشخصية بهدف تقييم النوعية الصوتية بدلالة نسبة الإشارة إلى الضوضاء. وشمل مسار الإرسال تجهيزات لوضع النسبة *S/N* في قناة غوسية، واستعمل محاكي قناة الخبو في قناة رايلي. وتم استعمال "نموذجين" مختلفين للمحاكاة في حالة قناة رايلي يطابقان النموذجين الموصوفين في الفقريتين 2.10 و3.10.

في كل حالة من حالات اختبار الاستماع التي أجريت في خطوات لوضع متوسط النسبة S/N، تم تخفيض 0,5 dB، وبالتالي لوضع الشرطين التاليين:

- عتبة الانحطاط، أي النقطة التي تصبح عندها تأثيرات الأخطاء عندها ملحوظة. وهي تعرف بالنقطة التي يحدث عندها 3 أو 4 أخطاء ذات صلة بالأحداث وممكن سماعها في فترة زمنية مدتها 30 ثانية تقريباً.
- نقطة العطب، وهي النقطة التي يتوقف عندها المستمع عن الاستماع للبرنامج لأنه يصبح غير مفهوم أو لأنه لم يعد يوفر المتعة التي يسعى إليها المستمع. وقد تم تعريف هذه النقطة بالوقت الذي تحدث فيه الأخطاء بدون انقطاع تقريباً، وحيث يتوقف البرنامج مرتين أو ثلاث مرات في فترة زمنية مدتها 30 ثانية تقريباً.

تم تسجيل قيمتين للنسبة *S/N* لكل اختبار، تدلان على الاتفاق الذي توصل إليه فريق مهندسي الصوت. وتقابل النتائج المعروضة فيما يلي القيم المتوسطة الناتجة عن عدة اختبارات أجريت باستعمال تتابعات مختلفة للبرامج.

الجـــدول 6

النوعية الصوتية بدلالة نسبة الإشارة إلى الضوضاء في النظام الرقمي A
(أسلوب الإرسال I): قناة غوسية

تشفير المصدر		معدل متوسط لتشفير القناة	عتبة الانحطاط *S/N* (dB)	نقطة العطب *S/N* (dB)
معدل البتات (kbit/s)	الأسلوب			
256	مجسم	0,6	7,6	5,5
224	مجسم	0,6	8,3	5,9
224	مجسم	0,5	7,0	4,8
224	مجسم مشترك	0,5	6,8	4,5
192	مجسم مشترك	0,5	7,2	4,7
64	غير مجسم	0,5	6,8	4,5

الجـــدول 7

النوعية الصوتية بدلالة نسبة الإشارة إلى الضوضاء في النظام الرقمي A (أسلوب الإرسال II أو III): قناة غوسية

تشفير المصدر		معدل متوسط لتشفير القناة	عتبة الانخطاط *S/N* (dB)	نقطة العطب *S/N* (dB)
معدل البتات (kbit/s)	الأسلوب			
256	مجسم	0,6	7,7	5,7
224	مجسم	0,6	8,2	5,8
224	مجسم	0,5	6,7	4,9
224	مجسم مشترك	0,5	6,6	4,6
192	مجسم مشترك	0,5	7,2	4,6
64	غير مجسم	0,5	6,9	4,5

الجـــدول 8

النوعية الصوتية بدلالة نسبة الإشارة إلى الضوضاء في النظام الرقمي A (224 kbit/s مجسم، نسبة التشفير 0,5): قناة رايلي محاكاة

الأسلوب	التردد (MHz)	أسلوب القناة	السرعة (h/km)	عتبة الانخطاط *S/N* (dB)	نقطة العطب *S/N* (dB)
I	226	حضرية	15	16,0	9,0
II	1 500	حضرية	15	13,0	7,0
I	226	ريفية	130	17,6	10,0
II	1 500	ريفية	130	18,0	10,0

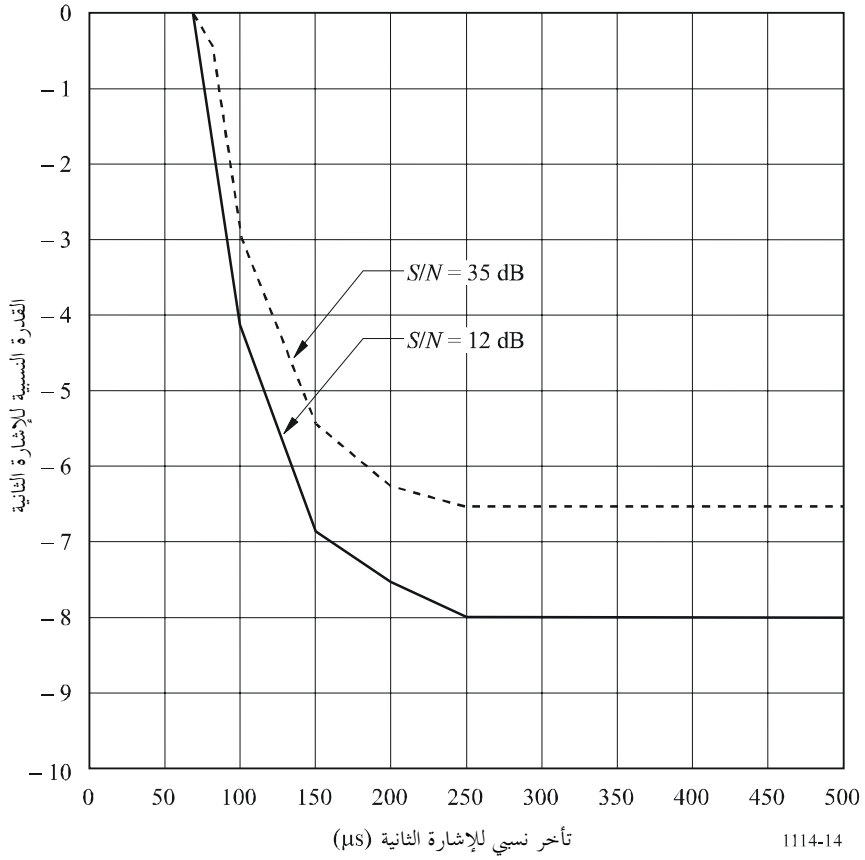
5.10 مقدرة التشغيل في شبكات وحيدة التردد

تمت معالجة إشارة النظام الرقمي A (أسلوب الإرسال II) بواسطة محاكي القناة لتوليد نسختين من الإشارة، تمثل إحداهما الإشارة المستلمة عبر مسار إرسال مرجعي بدون تأخير وبقدرة ثابتة، وتمثل الأخرى إشارة مع تأخير ناتج عن مرسل ثانٍ في شبكة وحيدة التردد (أو صدى آخر بوقت انتشار مهم). وكانت إزاحة دوبلر المنطبقة على الإشارة الثانية متلائمة مع حدود مقدرات النظام A. وقد أجريت سلسلتين من القياسات لضبط النسبة *S/N* للإشارة المستقبَلة الكلية على 12 dB و35 dB. وقد تم قياس القدرة النسبية للإشارة الثانية مع تأخير عن طريق تغيير التأخير عبر قناة معطيات بمعدل BER يساوي 1×10^{-4} ومعدل 64 kbit/s ونسبة تشفير تبلغ 0,5. النتائج موضحة في الشكل 14.

ويساوي اتساع الفاصل الحارس 64 µs في أسلوب الإرسال II، وهكذا تبين النتائج أن ما دامت الإشارة الثانية موجودة في فاصل الحراسة، لن يكون هناك أي انخطاط.

الشـــكل 14

مثال مقدرة التشغيل في شبكة وحيدة التردد فيما يتعلق بالنظام الرقمي A (أسلوب الإرسال II)



الملحق 3

النظام الرقمي F

1 مقدمة

صمم النظام الرقمي F (النظام F)، المعروف أيضاً بالنظام ISDB-T_{SB}، ليؤمن صوت عالِ الجودة وإذاعة معطيات باعتمادية كبيرة حتى في حالة الاستقبال المتنقل. كما صمم النظام F لتوفير المرونة وإمكانية التوسع ويتوافق إلى حد بعيد مع إذاعة الوسائط المتعددة التي تستخدم شبكات الأرض ويتطابق مع متطلبات النظام التي تنص عليها التوصية ITU-R BS.774.

والنظام F نظام متين يستخدم التشكيل OFDM والتشذير الثنائي للزمن والتردد والشفرات المتسلسلة لتصحيح الخطأ. ويسمى التشكيل OFDM الذي يستعمله النظام F إرسال متقطع النطاق OFDM -(BST). وهناك نقاط مشتركة بين النظام F والنظام ISDB-T الخاص بالإذاعة الرقمية التلفزيونية للأرض في الطبقة المادية. ويبلغ عرض نطاق فدرة التشكيل OFDM وتسمى قطعة OFDM حوالي 500 kHz. ويتألف النظام F من ثلاث قطع OFDM وبالتالي يبلغ عرض نطاق النظام 500 kHz تقريباً أو 1,5 MHz.

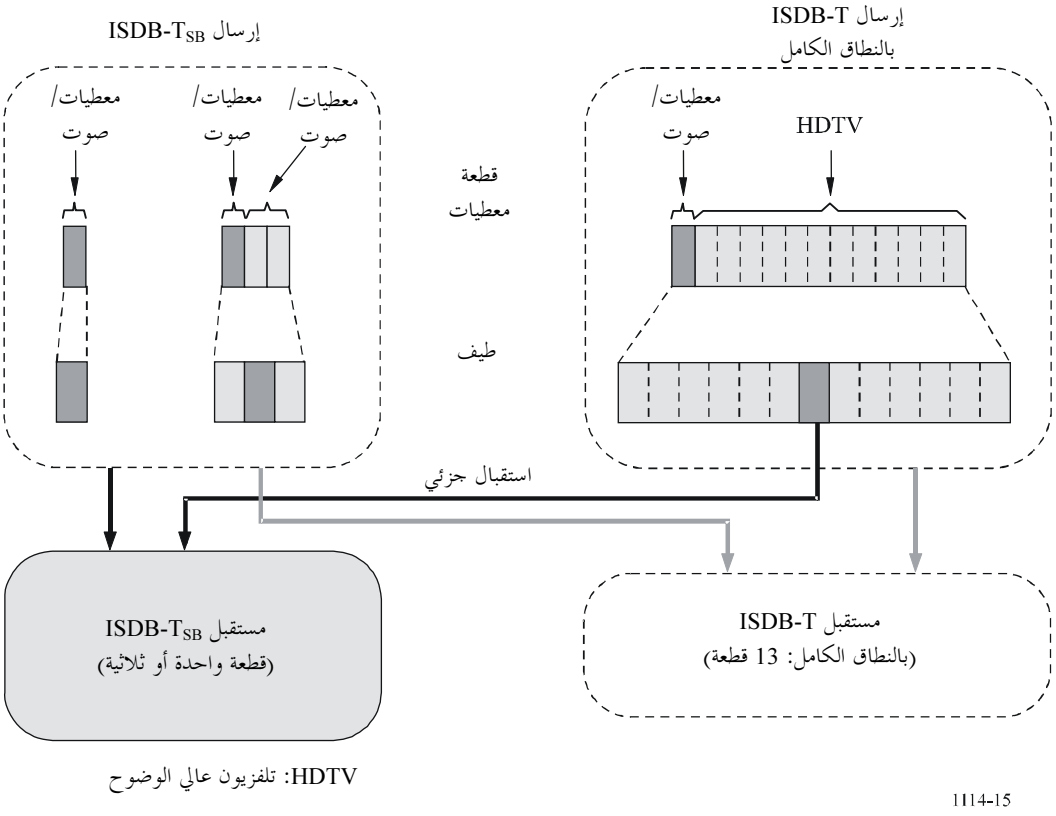
ومعلمات الإرسال في النظام F واسعة التنوع مثل خطة تشكيل الموجة الحاملة ومعدلات تشفير شفرة تصحيح الخطأ الداخلية وطول مدة التشذير وتخصص بعض الموجات الحاملة للتحكم في الحمالات التي تنقل معلومات عن معلمات الإرسال، وتسمى هذه الموجات الحاملة المخصصة للتحكم بالموجات الحاملة (TMCC).

والنظام F قادر على استخدام طرائق تشفير سمعي عالي الانضغاط مثل طريقة الطبقة II للأسلوب MPEG-2 والطريقة AC-3 والطريقة AAC للأسلوب MPEG-2. كما أنه يستخدم الأنظمة MPEG-2. ولدية أيضاً نقاط مشتركة وقابلية للتشغيل مع أنظمة عديدة أخرى تستخدم الأنظمة MPEG-2 مثل الأنظمة ISDB-S وISDB-T وDVB-S وDVB-T.

ويبين الشكل 15 مفهوم الإرسال $ISDB\text{-}T_{SB}$ (بالنطاق الجانبي) وISDB-T بالنطاق الكامل والاستقبال الموازي.

الشـــكل 15

مفهوم الإرسال $ISDB\text{-}T_{SB}$ وISDB-T بالنطاق الكامل والاستقبال الموازي



2 خصائص النظام F

1.2 متانة النظام F

يستخدم النظام F التشكيل OFDM والتشذير الثنائي للزمن والتردد والشفرات المتسلسلة لتصحيح الخطأ. والتشكيل OFDM طريقة تشكيل بموجات حاملة متعددة لا تتأثر بتعدد المسارات، وتضيف خصوصاً فاصل حراسة إلى مجال الزمن. وتشغل المعلومات المرسلة مجالي التردد والزمن من خلال التشذير ويتم تصحيحها في مفكك التشفير فيتربي (Viterbi) وريدسولومون (RS). وبناء على ذلك يتم الحصول على إشارة عالية الجودة في المستقبل حتى في الظروف الصعبة للانتشار متعدد المسارات سواء كان ثابتاً أو متنقلاً.

2.2 التنوع الكبير في أساليب الإرسال

يعتمد النظام F التشكيل BST-OFDM، ويتكون من إحدى القطع الثلاث OFDM وهو إرسال بقطعة واحدة وقطعة ثلاثية. ويتحدد عرض نطاق قطعة OFDM في إحدى الطرائق الثلاث تبعاً لحجم القناة المرجعية 6 أو 7 أو 8 GHz. وعرض النطاق هو جزء من أربعة عشر جزءاً من عرض نطاق القناة المرجعية (6 أو 7 أو 8 MHz) أي 429 kHz (6/14 MHz) أو 500 kHz (7/14 MHz) أو 571 kHz (8/14 MHz). وينبغي انتقاء عرض نطاق القطعة OFDM وفقاً لحالة التردد في كل بلد.

وعرض نطاق القطعة الواحدة هو 500 kHz تقريباً، ولذلك يكون عرض نطاق الإرسال بقطعة واحدة والإرسال بثلاث قطع 500 kHz و1,5 MHz تقريباً.

والنظام F له ثلاثة أساليب إرسال أخرى تتيح استعمال صدى واسع من ترددات الإرسال، وأربعة أطوال لفواصل الحراسة من أجل تعيين المسافة بين مرسلات الشبكات وحيدة التردد (SFN). وقد تحددت أساليب الإرسال هذه من أجل معالجة التحديد الدوبلري وتمديد وقت الانتشار في الاستقبال المتنقل بوجود الصدى في المسارات المتعددة.

3.2 المرونة

يمتثل النظام F لتعدد الإرسال، امتثالاً كاملاً لمعمارية الأنظمة MPEG-2 ولذا يمكن إرسال محتويات رقمية متنوعة مثل الصوت والنص والضوء الثابتة والمعطيات بالتآون.

وعلاوة على ذلك، تستطيع الهيئات الإذاعية وفقاً لأغراضها أن تختار طريقة تشكيل الموجة الحاملة ومعدل تشفير تصحيح الأخطاء وطول تشذير الوقت وغيرها في النظام. فهناك أربعة أنواع من طرق تشكيل الموجة الحاملة هي: DQPSK وQPSK و16-QAM و64-QAM، وخمسة أنواع من معدلات التشفير هي 1/2 و2/3 و3/4 و5/6 و7/8، وخمسة أطوال لتشذير الوقت من 0 إلى 1 ثانية تقريباً. وترسل الموجة الحاملة TMCC المعلومات إلى المستقبل الذي يدل على نوعية طريقة التشكيل ومعدل التشفير المستخدمين في النظام.

4.2 النقاط المشتركة وقابلية التشغيل البيني

يستخدم النظام F التشكيل BST-OFDM والأنظمة MPEG-2. ولذا لديه نقاط مشتركة مع النظام ISDB-T للإذاعة التلفزيونية الرقمية للأرض (DTTB) في الطبقة المادية، وكذلك مع أنظمة مثل الأنظمة ISDB-T وISDB-S وDVB-T وDVB-S التي تستخدم الأنظمة MPEG-2 في طبقة النقل.

5.2 فعالية الإرسال وتشفير المصدر

يستخدم النظام F طريقة التشكيل عالية الفعالية في استعمال الطيف للتشكيل OFDM. كما يسمح لشبكات الإذاعة بإعادة استعمال التردد بأن تتوسع باستعمال مرسلات إضافية تعمل جميعها في نفس التردد المشع.

وإضافة إلى ذلك، تستطيع قنوات هيئات الإذاعة المستقلة أن ترسل سوية دون نطاقات حراسة من نفس المرسل طالما لم يتغير التردد وتزامن البتات بين القنوات.

والنظام F قادر على استخدام التحكم MPEG-2 ACC. ويمكن تحقيق نوعية تقارب نوعية القرص المتراص باعتماد معدل تبات قدره 144 kbit/s في الاستوديو.

6.2 استقلالية هيئات الإذاعة

النظام F نظام بالنطاق الضيق لإرسال برنامج صوتي واحد على الأقل. وبالتالي يمكن لهيئات الإذاعة أن يكون لها قناة تردد خاصة بها تمكنها من انتقاء معلمات إرسالها بشكل مستقل.

7.2 الاستهلاك الضئيل للطاقة

بالإمكان جعل جميع الأجهزة تقريباً صغيرة وخفيفة الوزن من خلال تطوير الدارات المدمجة على نطاق واسع (LSI). ومن أهم الجهود المبذولة لتقليص حجم البطاريات هو ضرورة خفض استهلاك الجهاز للطاقة. وكلما تباطأت ميقاتية النظام كلما تضاءل استهلاك الطاقة. وبالتالي يمكن للنظام بالنطاق الضيق والمعدل المنخفض مثل إرسال بقطعة واحدة أن يتيح للمستقبل إمكانية أن يكون محمولاً وخفيفاً.

8.2 الإرسال التراتبي والاستقبال الجزئي

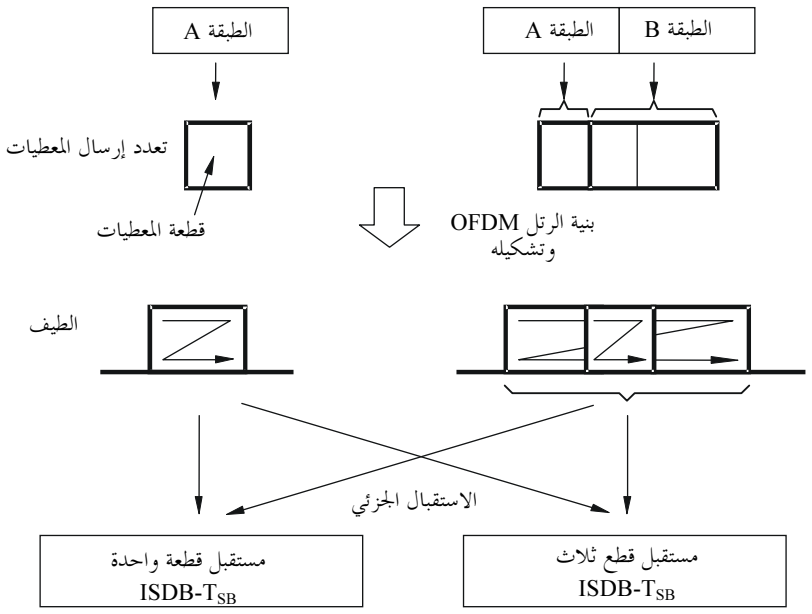
يجوز في الإرسال بالقطع الثلاث إنجاز إرسال الطبقة الواحدة والإرسال التراتبي، وثمة طبقتان A وB في الإرسال التراتبي. ويمكن تغيير معلمات إرسال خطة تشكيل الموجات الحاملة ومعدلات تشفير الشفرة الداخلية وطول تشذير الزمن في الطبقات المختلفة.

ويمكن استقبال القطعة المركزية للإرسال التراتبي في مستقبل القطعة الواحدة. ويستطيع مستقبل القطعة الواحدة بفضل البنية المشتركة OFDM أن يستقبل جزئياً قطعة مركزية للإشارة ISDB-T بالنطاق الكامل كلما أرسل برنامج مستقل في قطعة مركزية.

ويبين الشكل 16 مثالاً للإرسال التراتبي والاستقبال الجزئي.

الشـــكل 16

مثال لمخطط إرسال تراتبي واستقبال جزئي



1114-16

3 معلمات الإرسال

يمكن تعيين ترتيب قنوات بالتردد 6 MHz أو 7 MHz أو 8 MHz في النظام F. ويعَّرف عرض نطاق القطعة بأنه جزء من أربعة عشرة جزء من عرض نطاق القناة أي 249 kHz (6/14 MHz) أو 500 kHz (7/14 MHz) أو 571 kHz (8/14 MHz) لكن ينبغي انتقاء عرض نطاق القطعة تبعاً لحالة التردد في كل بلد.

وترد معلمات الإرسال للنظام ISDB-T_{SB} في الجدول 9.

الجـــدول 9

معلمات الإرسال في النظام ISDB-T_{SB}

الأسلوب		الأسلوب 1	الأسلوب 2	الأسلوب 3
عدد القطع الإجمالي[1] ($n_c + n_d = N_s$)		1، 3		
ترتيب القنوات المرجعي (BWf) (MHz)		6، 7، 8		
عرض نطاق القطعة (BWs) (kHz)		$BWf \times 1\,000/14$		
عرض النطاق المستعمل (BWu) (kHz)		$BWs \times N_s + C_s$		
عدد القطع للتشكيل التفاضلي		n_d		
عدد القطع للتشكيل المنسجم		n_c		
تباعد الموجات الحاملة (C_s) (kHz)		$BWs/108$	$BWs/216$	$BWs/432$
عدد الموجات الحاملة	المجموع	$108 \times N_s$ 1	$216 \times N_s$ 1	$432 \times N_s$ 1
	المعطيات	$96 \times N_s$	$192 \times N_s$	$384 \times N_s$
	[2]SP	$9 \times n_c$	$18 \times n_c$	$36 \times n_c$
	[2]CP	$n_d + 1$	$n_d + 1$	$n_d + 1$
	[3]TMCC	$n_c + 5 \times n_d$	$2 \times n_c + 10 \times n_d$	$4 \times n_c + 20 \times n_d$
	[4]AC1	$2 \times N_s$	$4 + N_s$	$8 \times N_s$
	[4]AC2	$4 \times n_d$	$9 \times n_d$	$19 \times n_d$
تشكيل الموجة الحاملة		DQPSK، QPSK، 16-QAM، 64-QAM		
عدد الرموز في الرتل الواحد		204		
مدة الرمز النافع (T_u) (µs)		$1\,000/C_s$		
مدة فاصل الحراسة (T_g)		1/4 أو 1/8 أو 1/16 أو 1/32 من T_u		
مدة الرمز الإجمالية (T_s)		T_u T_g		
مدة الرتل (T_f)		$T_s \times 204$		
عينات المتحولة FFT (F_s)		256 ($N_s = 1$) 512 ($N_s = 3$)	512 ($N_s = 1$) 1024 ($N_s = 3$)	1024 ($N_s = 1$) 2048 ($N_s = 3$)
ميقاتية عينة المتحولة FFT (F_{sc}) (MHz)		$F_{sc} = F_s/T_u$		
شفرة داخلية		شفرة تلافيفية (معدل الشفرة = 1/2، 2/3، 3/4، 5/6، 7/8) الشفرة الأم = 1/2)		
شفرة خارجية		شفرة RS (204,188)		
معلمة تشذير الزمن (I)		0، 4، 8، 16، 32	0، 2، 4، 8، 16	0، 1، 2، 4، 8
طول تشذير الزمن		$I \times 95 \times T_s$		

FFT: متحولة فوريه (Fourier) السريعة

[1] يستخدم النظام F الإرسال بالقطعة الواحدة أو بالقطع الثلاث في الخدمات الصوتية بينما يجوز استعمال أي عدد من القطع في الخدمات الأخرى كالخدمات التفزيونية مثلا. (مقارنة بالنظام C الوارد في التوصية ITU-R BT.1306)

[2] تستخدم الموجات SP (الموجات الدليلة المتقطعة) وCP (الموجات الدليلة المتصلة) في تزامن الترددات وتقدير القنوات. ويشمل عدد الموجات CP على عددها في جميع القطع وموجة CP واحدة للمسافة العليا لجمل عرض النطاق.

[3] يتضمن التحكم TMCC معلومات عن معلمات الإرسال.

[4] تتضمن القناة AC (القناة المساعدة) معلومات مساعدة عن تشغيل الشبكة.

4 تشفير المصدر

تطابق بنية تعدد إرسال النظام F تماماً معمارية الأنظمة MPEG-2، وبالتالي يمكن إرسال رزم تدفق نقل MPEG-2 (TSP) التي تحتوي على إشارات سمعية رقمية مضغوطة. كما يمكن للنظام F أن يستخدم طرائق الانضغاط السمعي الرقمي مثل طريقة الطبقة II السمعية للنظام MPEG-2 المحددة في المعيار ISO/IEC 13818-3 والطريقة AC-3 (معيار الانضغاط السمعي الرقمي المحدد في الوثيقة ATSC A/52) والطريقة MPEG-2 AAC المحددة في المعيار ISO/IEC 13818-7.

5 تعدد الإرسال

تعدد الإرسال في النظام F متطابق مع النظام ISO/IEC 13818-1 MPEG-2 TS. وعلاوة على ذلك يتحدد أرتال تعدد الإرسال وواصفات التحكم TMCC للإرسال التراتبي بالقطعة الواحدة.

وفيما يتعلق بالتشغيل البيني الأقصى بين عدد من أنظمة الإذاعة الرقمية مثل النظام ISDB-S موضوع التوصية ITU-R BO.1408 وISDB-T موضوع التوصية ITU-R BT.1306 (النظام C) ونظام خدمة الإذاعة الساتلية (صوت) العاملة في النطاق GHz 2,6 والواردة في التوصية ITU-R BO.1130 (النظام E). فإن هذه الأنظمة قادرة على تبادل تدفقات معطيات الإذاعة مع الأنظمة الإذاعية الأخرى من خلال هذا السطح البيني.

1.5 رتل تعدد الإرسال

يحدد النظام $ISDB\text{-}T_{SB}$ بهدف تحقيق إرسال تراتبي يستخدم النظام BST-OFDM رتلاً متعدد الإرسال لتدفقات النقل ضمن نطاق تطبيق الأنظمة MPEG-2. وتدفق النقل في رتل تعدد الإرسال هو تدفق مستمر لرزم تدفقات نقل ريدسولومون (RS-TSP) من 204 أثمونات مكونة من رزم TSP قدرها 188 أثمونات و16 أثمونات من المعطيات المعدومة أو التعادلية RS.

ويتم تكييف مدة الرتل متعدد الإرسال مع الرتل OFDM من خلال عدّ الرزم RS-TSP التي تستخدم ميقاتية تبلغ سرعتها ضعف سرعة ميقاتية اعتيان المتحولة FFT العكسية (IFFT) في حالة الإرسال وحيد القطعة. أما في حالة الإرسال ثلاثي القطع فتتكيف مدة الرتل متعدد الإرسال مع مدة الرتل OFDM من خلال عدّ الرزم RS-TSP التي تستخدم ميقاتية أسرع من ميقاتية اعتيان المتحولة IFFT بأربعة أضعاف.

6 تشفير القناة

يصف هذا القسم فدرة تشفير القناة التي تستقبل الرزم المرتبة في الأرتال متعددة الإرسال وتنقل فدر القناة المشفرة إلى فدرة التشكيل OFDM.

1.6 المخطط الإجمالي الوظيفي لتشفير القناة

يبين الشكل 17 مخطط الإجمالي الوظيفي لتشفير القناة في النظام $ISDB\text{-}T_{SB}$.

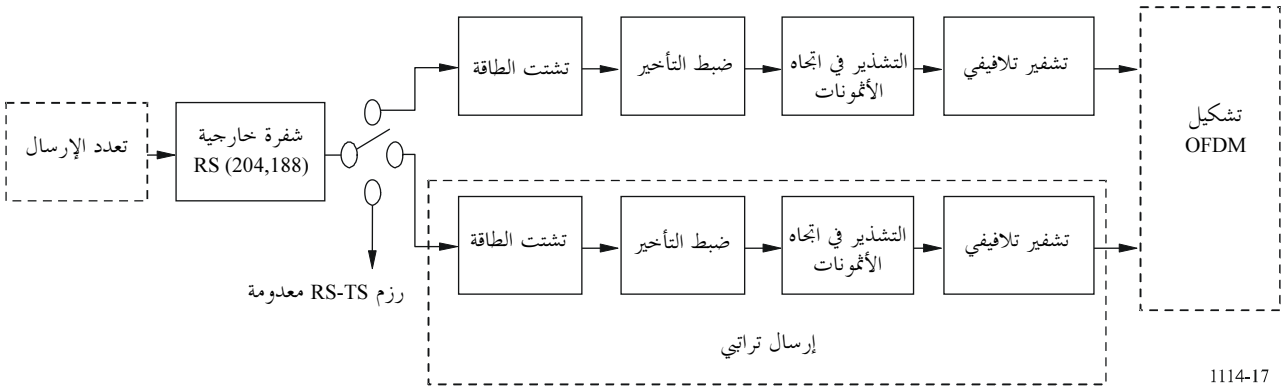
وتتوافق مدة الرتل المتعدد مع الرتل OFDM من خلال عدّ أثمونات الرتل متعدد الإرسال باستخدام ميقاتية أسرع من معدل اعتيان المتحولة IFFT كما ورد في الفقرة السابقة.

ويعتبر أثمون رأسية الرتل متعدد الإرسال (ويعادل أثمون تزامن الرزم TSP) في السطح البيني الواقع بين فدرة الإرسال المتعدد وفدرة التشفير الخارجي، بمثابة أثمون رأسية الرتل OFDM. وتعتبر البتة الأكثر دلالة لأثمون الرأسية. في وصف البتات، بتة تزامن الرتل OFDM.

وفيما يتعلق بإرسال الطبقات ثلاثي القطع يقسم التدفق RS-TSP إلى طبقتين حسب معلومات التحكم في الإرسال. ويمكن تحديد معدل تشفير تصحيح الخطأ الداخلي ونظام تشكيل الموجة الحاملة وطول التشذير الزمني كل على حدة.

الشـــكل 17

مخطط تشفير القناة



2.6 التشفير الخارجي

تطبق الشفرة القصيرة RS (204، 188) على كل من الرزم MPEG-2 TSP من أجل توليد رزمة TSP محمية من الأخطاء هي RS-TSP. والشفرة RS (208، 188) قادرة على تصحيح عدد من الأعمدة الخاطئة العشوائية يصل إلى ثمانية في كلمة من 204 أعمدة.

ومتعدد الحدود التوليدي لمجال هو: $p(x) = 1 + x^2 + x^3 + x^4 + x^8$

ومتعدد الحدود التوليدي للشفرة هو: $g(x) = (x - \lambda^0)(x - \lambda^1)(x - \lambda^2)(x - \lambda^3) \ldots (x - \lambda^{15})$

حيث $\lambda = 02_h$

ومن الجدير بالذكر أن الرزم TSP المعدومة الآتية من معدد الإرسال مشفرة أيضاً في رزم RS (204، 188).

وتظهر الرزم MPEG-2 TSP وRS-TSP (الرزم TSP المحمية من أخطاء الشفرة RS) في الشكل 18. وتعرف الرزم TSP المحمية من الأخطاء RS أيضاً باسم الرزم TSP للإرسال.

الشـــكل 18

الرزم MPEG-2 TSP وRS-TSP (رزم TSP للإرسال)

معطيات نقل متعددة الإرسال MPEG-2 187 أعمدة	أعمدة 1 للتزامن

أ) MPEG-2 TSP

16 أعمدة تعادلية	معطيات نقل متعددة الإرسال MPEG-2 187 أعمدة	أعمدة 1 للتزامن

ب) الرزم RS-TSP (رزم TSP للإرسال) رزم TSP المحمية من الأخطاء RS (204، 188)

1114-18

3.6 تشتت الطاقة

حرصاً على ضمان انتقالات اثنينية ملائمة يعمل إلى جعل المعطيات الواردة من الفالق عشوائية باستعمال تتابع بتات شبه عشوائي (PRBS).

ويكون متعدد الحدود الخاص بتوليد التتابع (PRBS) كالتالي:

$$g(x) = 1 + {}^{14}x + {}^{15}x$$

4.6 ضبط التأخير

يختلف التأخير الناتج عن عملية تشذير الأثمونات من تدفق إلى آخر في الطبقات المتخلفة تبعاً لخصائص التدفق (مثل التشكيل وتشفير القناة) ومن أجل التعويض عن فرق الأخير بما فيه إزالة التشذير في المستقبل، يتم ضبط التأخير قبل تشذير الأثمونات في جهة الإرسال.

5.6 تشذير الأثمونات (التشذير بين الشفرات)

يطبق تشذير الأثمونات التلافيفي بالطول I = 12 على الرزم العشوائية والمحمية من الخطأ والمكونة من 204 أثموناً. وقد يتألف التشذير من I = 12 فرعاً موصلة دورياً بتدفق أثمونات داخلة من خلال بدَّالة الدخل. ويكون كل فرع في سجل j يخالف من نمط الخدمة حسب ترتيب الوصول (FIFO) مع الطول $j \times 17$ أثمون. وتضم خلايا النمط (FIFO) أثموناً واحداً ويكون تبديل الدخول والخروج متزامناً.

وإزالة التشذير مماثلة مبدئياً للتشذير بفارق أن أدلة الفروع محجوزة. ويبلغ التأخير الكلي الناتج عن التشذير وإزالة التشذير 17 × 11 × 12 أثموناً (يعادل 11 رزمة TSP).

6.6 تشفير داخلي (شفرات تلافيفية)

يسمح النظام F بمدى من الشفرات التلافيفية المتقطعة القائمة على شفرة تلافيفية أولية بمعدل 1/2 مع 64 حالة. ومعدلات تشفير الشفرات هي 1/2 و2/3 و3/4 و5/6 و7/8. مما يتيح انتقاء الخواص الأكثر ملاءمة لتصحيح الخطأ في خدمة معينة أو معدل المعطيات في خدمات الإرسال ISDB-T_{SB} ومنها الخدمات المتنقلة. ومتعددان الحدود المولدان للشفرة الأولية هما $G_1 = 171_{oct}$ أثموناً للخرج X و$G_2 = 133_{oct}$ أثموناً للخرج Y.

7 التشكيل

تظهر تشكيلة فدرة التشكيل في الشكلين 19 و20. وبعد تشذير البتات تتم جدولة معطيات كل طبقة في المجال المركب.

1.7 ضبط التأخير في تشذير البتات

يسفر تشذير البتات عن تأخير 120 وحدة معطيات مركبة ($I+jQ$) كما سيرد في الفقرة التالية. ويضبط التأخير الكلي في المرسل والمستقبل بمقدار يساوي رمزي تشكيل OFDM وذلك بإضافة التأخير المناسب.

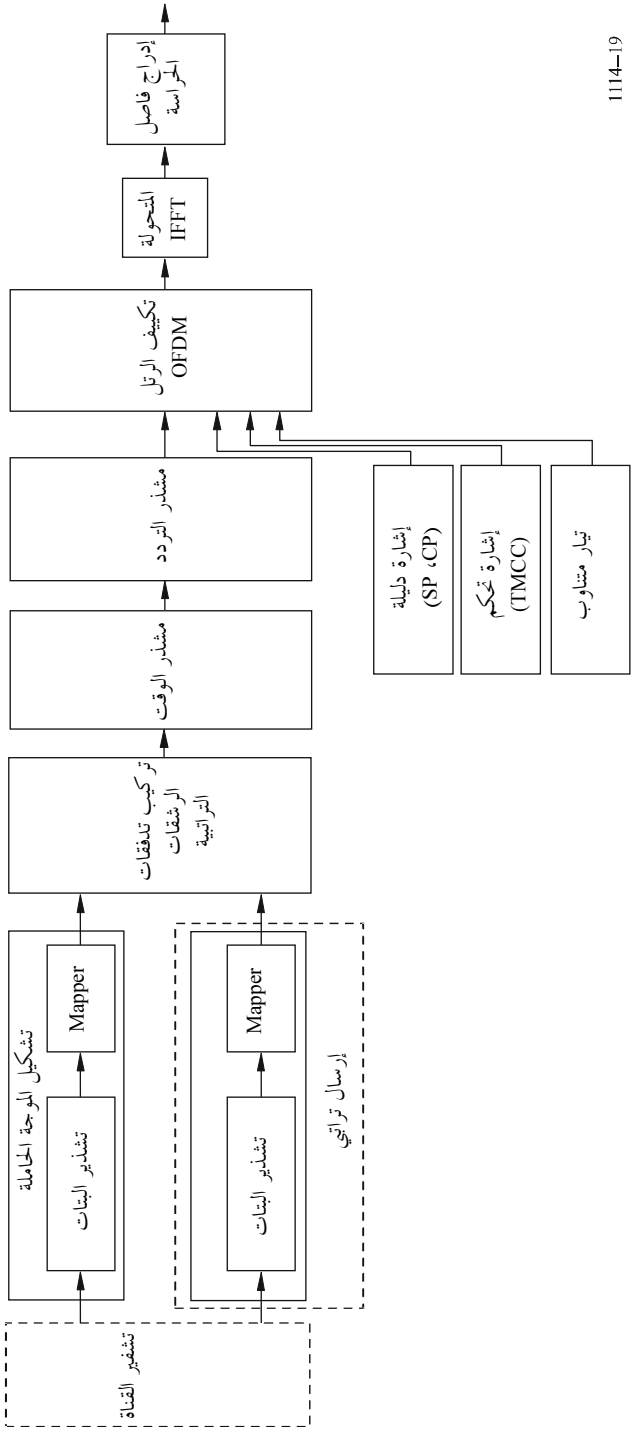
2.7 تشذير وجدولة البتات

يمكن لأغراض هذا النظام انتقاء أحد أنظمة تشكيل الموجة الحاملة بين الأنظمة DQPSK وQPSK و16-QAM و64-QAM. ويتحول تتابع البتات التسلسلي عند خرج الشفرة الداخلية إلى تتابع متواز بتتين لكي تخضع لجدول التشكيل DQPSK بتخالف $\pi/4$ أو جدولة التشكيل QPSK التي تعطي عدد n من بتات معطيات المحور I والمحور Q. وقد يتوقف العدد n على التطبيق، ففي حالة التشكيل 16-QAM يتحول التتابع إلى تتابع متواز بأربع بتات. وفي حالة التشكيل 64-QAM يتحول إلى تتابع متواز بست بتات. وبعد التحول من التسلسلي إلى المتوازي يتم تشذير البتات عن طريق إدراج تأخير قدره 120 بتة كحد أقصى.

3.7 قطعة المعطيات

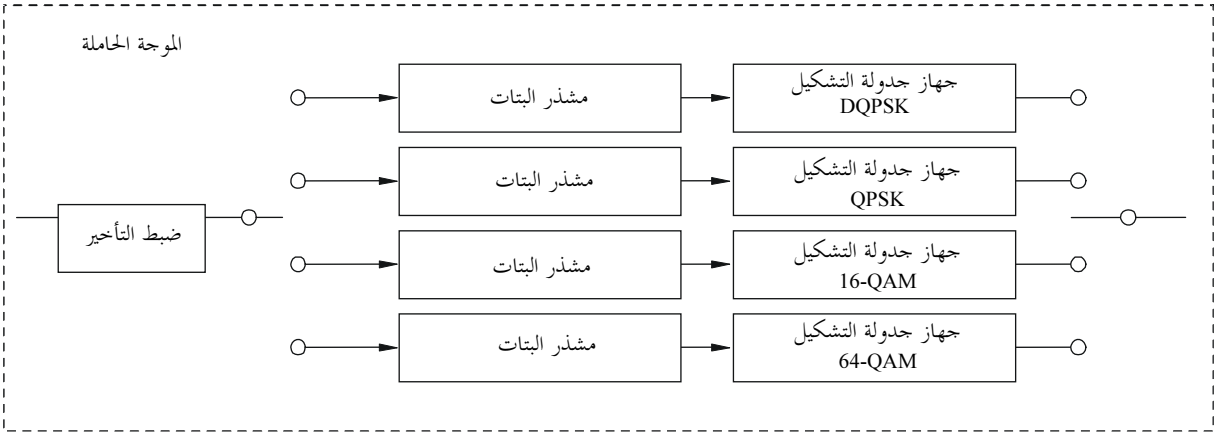
تتحدد قطعة المعطيات بأنها جدول عناوين للمعطيات المركبة التي تنفيذ عليها عمليات تحويل المعدل وتشذير الوقت وتشذير التردد. وتقابل قطعة المعطيات جزء معطيات القطعة OFDM.

الشـــكل 19
مخطط إجمالي للتشكيل



الشـــكل 20

تشكيل الموجة الحاملة



1114-20

4.7 تركيب تدفقات معطيات الطبقات

تدرج المعطيات المركبة لكل قناة بعد تشفيرها لأغراض القناة وجدولتها في قطع المعطيات المعينة مسبقاً عند كل رمز.

وتقرأ المعطيات المخزنة في جميع قطع المعطيات دورياً مع ميقاتة اعتيان المتحولة IFFT؛ ثم يتم تحول المعدل وتركيب تدفقات معطيات الطبقات.

5.7 تشذير الوقت

يتم تشذير وقت الرموز بعد عملية التركيب. ويتراوح طول تشذير الوقت بين 0 و1 ثانية تقريباً ويكون محدداً لكل طبقة.

6.7 تشذير التردد

يكمن تشذير التردد في تشذير التردد بين القطع ودوران الموجات الحاملة داخل القطع وعشوائية الموجات الحاملة داخل القطع. ويؤخذ تشذير التردد بين القطع من بين القطع ذات نظام التشكيل الواحد. ولا يمكن إجراء تشذير التردد بين القطع إلا في الإرسال ثلاثي القطع. وبعد دوران الموجة الحاملة تتم عشوائية الموجات الحاملة حسب جدول العشوائية.

7.7 بنية رتل القطعة OFDM

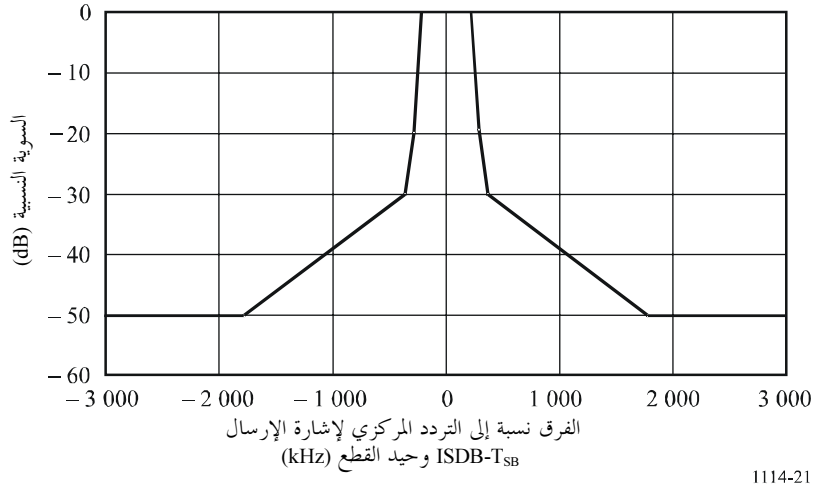
تنتظم قطع المعطيات داخل رتل قطعة OFDM بعد كل 204 رمزاً بإضافة إشارات دليلة مثل CP وSP وTMCC وAC. ويتحدد تشكيل الإشارة CP عند كل رمز OFDM. وتدرج الإشارة SP بعد كل 12 موجة حاملة وبعد كل 4 رموز OFDM في حالة طريقة التشكيل المتسقة. وتحتوي الموجة الحاملة TMCC على معلمات إرسال مثل تشكيل الموجة الحاملة ومعدل التشفير وتشذير الوقت لأغراض التحكم في المستقبل. وتضم الموجة الحاملة AC المعلومات المساعدة.

8 قناع الطيف

ينبغي أن تتقيد الإشارة المشعة للإرسال وحيد القطع في نظام القطع MHz 6/14 بالقناع المحدد في الشكل 21 والجدول 10. ويمكن خفض سوية الإشارة في الترددات خارج عرض النطاق kHz 429 (MHz 6/14) من خلال الترشيح المناسب.

الشـــكل 21

قناع الطيف لإشارة الإرسال $ISDB\text{-}T_{SB}$ وحيد القطع
(عرض نطاق القطعة = 6/14 MHz)



الجـــدول 10

القيم الحدية لقناع الطيف الخاص بالإرسال وحيد القطع
(عرض نطاق القطعة = 6/14 MHz)

السوية النسبية (dB)	**فرق التردد نسبةً إلى التردد المركزي للإشارة المرسلة (kHz)**
0	220±
20–	290±
30–	360±
50–	1 790±

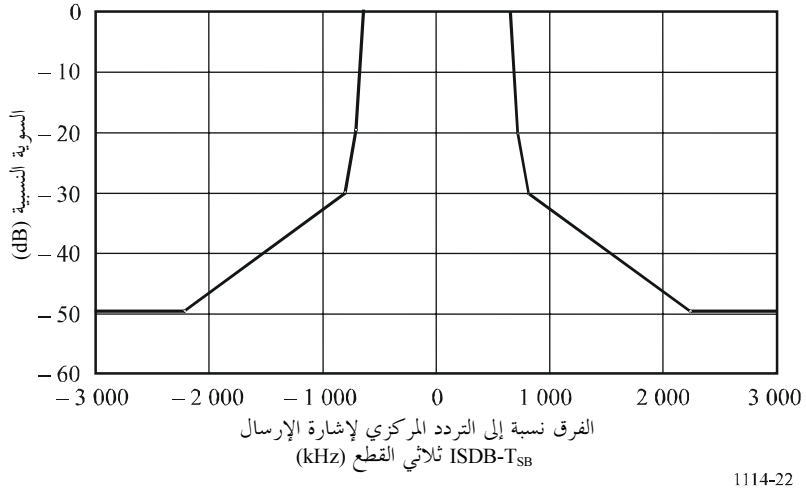
الملاحظة 1 – يقاس طيف الإشارة المشعة بواسطة محل الطيف. وينبغي ضبط عرض نطاق استبانة محلل الطيف على القيمة 10 kHz أو 3 kHz. وفيما يتعلق بعرض النطاق الفيديوي فهو بين 300 Hz و30 kHz ويستحسن تحديد متوسط فيديوي ويضبط انحراف التردد على القيمة الدنيا المطلوبة لقياس قناع طيف الإرسال.

ويحدد الشكل 22 والجدول 11 قناع الطيف للإرسال ثلاثي القطع في نظام قطع التردد 6/14 MHz.

الملاحظة 1 – ينبغي تعديل قناع الطيف في نظامي قطع التردد 7/14 MHz و8/14 MHz وفقاً لشكل الطيف في النظام.

الشـــكل 22

قناع الطيف لإشارة الإرسال $ISDB\text{-}T_{SB}$ ثلاثي القطع
(عرض نطاق القطعة = 6/14 MHz)



الجـــدول 11

القيم الحدية لقناع الطيف الخاص بالإرسال ثلاثي القطع
(عرض نطاق القطعة = 6/14 MHz)

السوية النسبية (dB)	الفرق نسبةً إلى التردد المركزي للإشارة الصوتية الرقمية للأرض (kHz)
0	650±
20–	720±
30–	790±
50–	2 220±

9 خصائص أداء التردد الراديوي

أجريت اختبارات تقييم التردد الراديوي على نظام الإرسال $ISDB\text{-}T_{SB}$ في شروط إرسال مختلفة. وفيما يلي نتائج الاختبارات.

أجريت تجارب إرسال مجدية من أجل استنتاج أداء معدل أخطاء البتات (BER) مقابل الضوضاء العشوائية والخبو الناجم عن تعدد المسارات. وقد تمت قياسات المعدل (BER) مقابل نسبة لموجة الحاملة إلى الضوضاء (*C/N*) في قناة الإرسال في الشروط التالية (الجدول 12).

1.9 المعدل BER مقابل النسبة (*C/N*) في قناة غوسية

أضيفت ضوضاء غوسية بيضاء لكي تصبح النسبة (*C/N*) عند دخل المستقبل. وتظهر النتائج في الأشكال 23 و24 و25. ويمكن مقارنة هذه الأشكال مع الأشكال الناتجة عن محاكاة حاسوبية بهدف بيان الأداء الحقيقي للنظام. ويمكن ملاحظة أن خسارة هامش تنفيذ تقل عن 1 dB نتجت عن معدل (BER) قدره 2×10^{-4} قبل فك التشفير ريدسولومون (RS).

الجـــدول 12

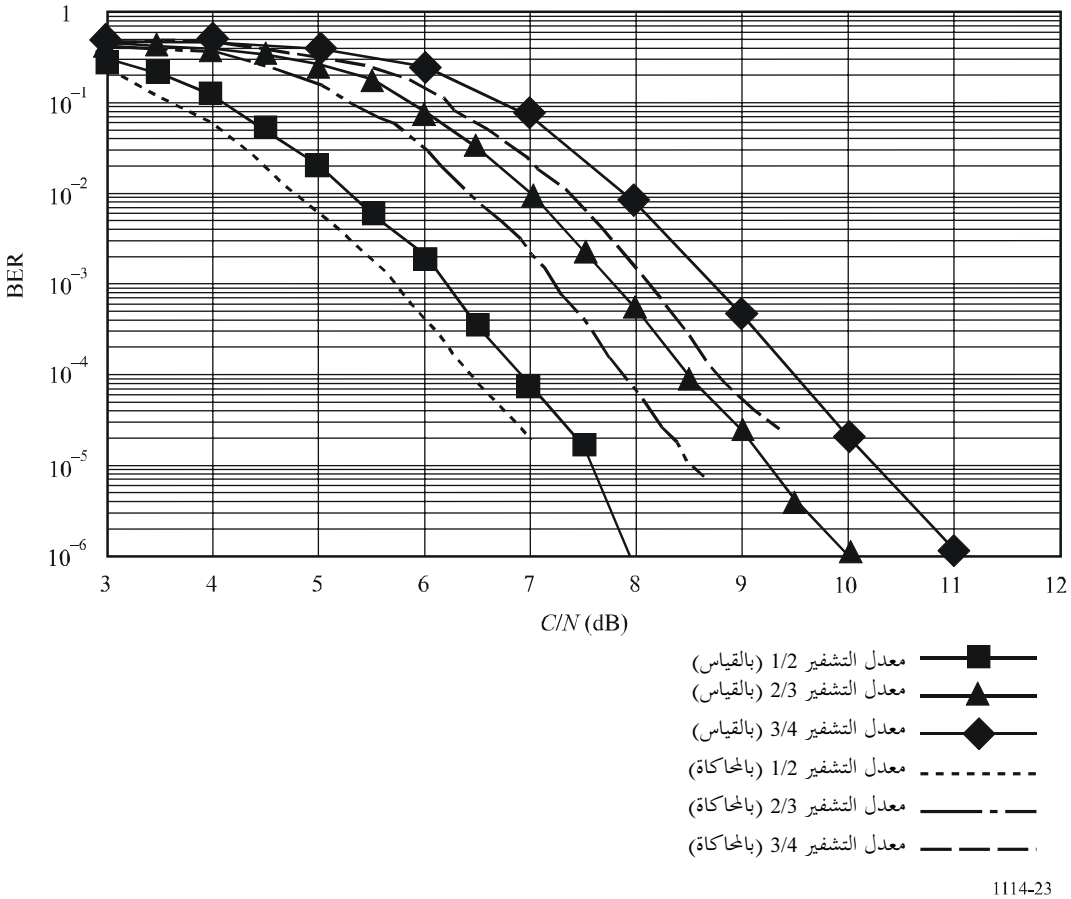
معلمات الإرسال الخاصة بالاختبارات

عدد القطع	1 (عرض النطاق: 429 kHz)
أسلوب الإرسال	3 (مدة الرمز المفيد: 1.008 ms)
عدد الموجات الحاملة	433
أنواع تشكيل الموجات الحاملة	DQPSK و16-QAM و64-QAM
فاصل الحراسة	63 µs (نسبة فاصل الحراسة: 1/16)
معدلات تشفير الشفرة الداخلية	1/2 و2/3 و3/4 و7/8
تشذير الوقت	0 و407 ms

الشـــكل 23

معدل أخطاء البتات (BER) قبل فك التشفير (RS) مقابل النسبة *C/N*

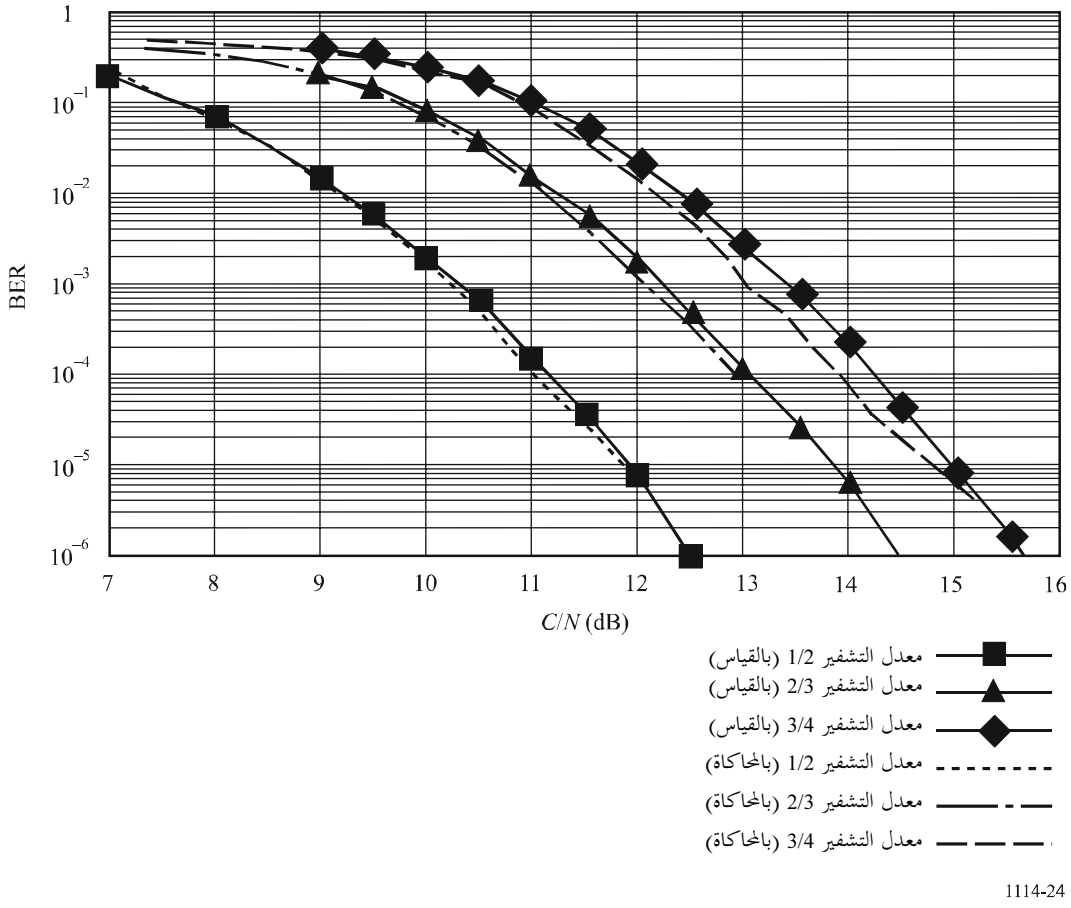
(أسلوب الإرسال: 3، تشكيل الموجة الحاملة : DQPSK،
تشذير الوقت: 407 ms): قناة غوسية



الشـــكل 24

المعدل (BER) مقابل النسبة *C/N* قبل فك تشفير شفرة ريدسولومون

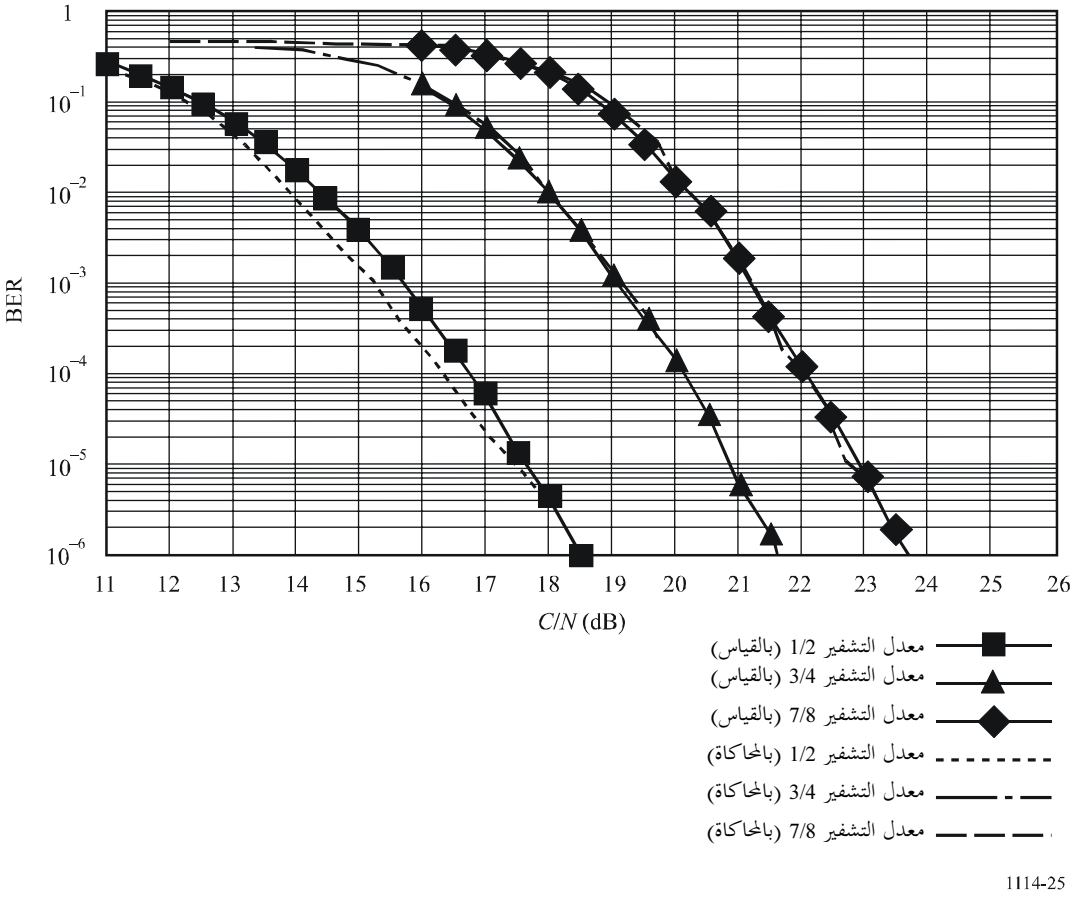
(أسلوب الإرسال 3، تشكيل الموجة الحاملة: 16-QAM،
تشذير الوقت: 407 ms): قناة غوسية



الشـــكل 25

معدل BER مقابل النسبة *C/N* قبل فك تشفير شفرة ريدسولومون

(أسلوب الإرسال 3، تشكيل الموجة الحاملة: 64-QAM،
تشذير الوقت: 407 ms): قناة غوسية



1114-25

2.9 المعدل BER مقابل النسبة *C/N* في قناة متعددة المسارات

أجريت القياسات للمعدل (BER) مقابل النسبة *C/N* باستخدام محاكي قناة متعددة المسارات. وقد حددت نسبة سوية الإشارة المرغوبة إلى الإشارة غير المرغوبة أو نسبة سوية الإشارة المسببة للتداخل *D/U*، في الإشارة الرئيسية والإشارة المتأخرة بـــ 3 و10 dB. وحددت مدة تأخير الإشارة المتأخرة نسبةً إلى الإشارة الرئيسية بـــ 15 µs ويبين الشكل 26 النتائج.

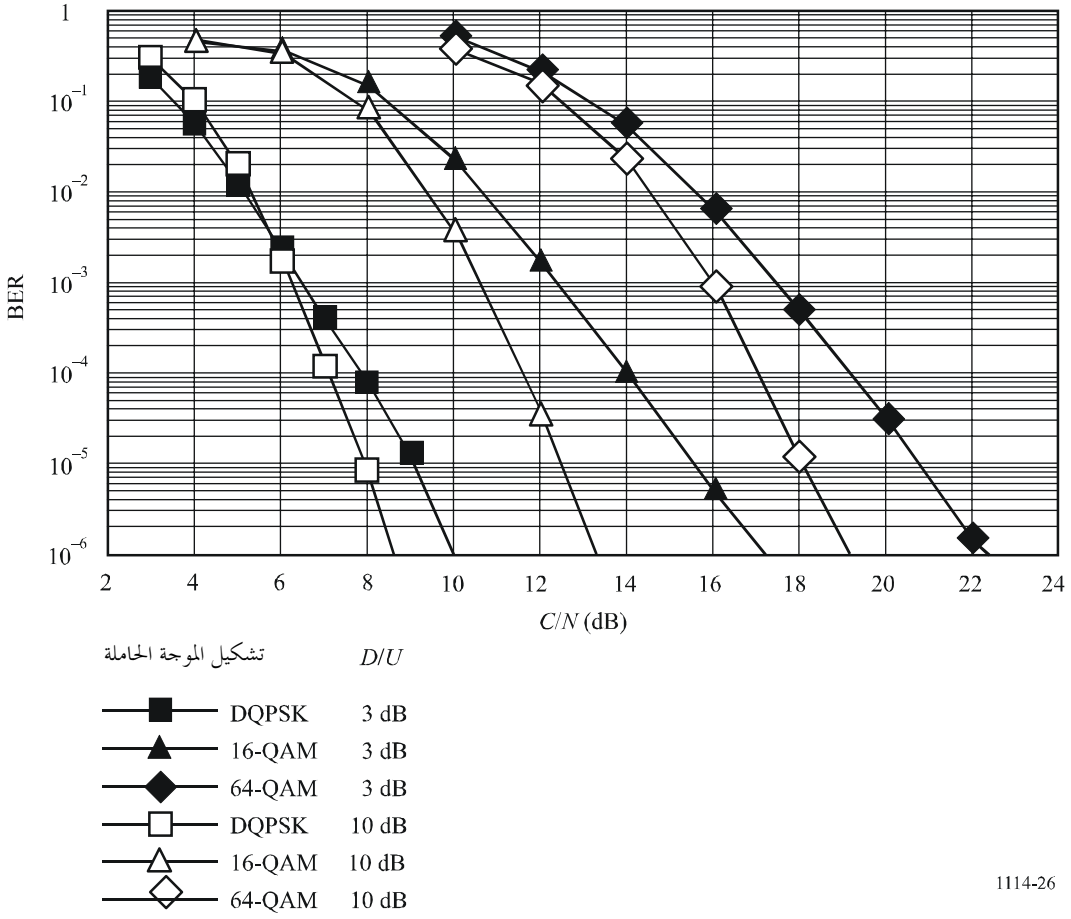
3.9 المعدل BER مقابل النسبة *C/N* في قناة رايلي

أجريت قياسات المعدل (BER) مقابل النسبة *C/N* باستخدام محاكي قناة تعاني من الخبو. وتحددت القناة بمسارين رايلي مع خبو والنسبة *D/U* في المسارين بالقيمة 0 dB. وتحدد زمن الإشارة المتأخرة بالقيمة 15 µs. وترددات دوبلر القصوى للإشارة بـــ 5 و20 Hz. ويبين الشكل 27 النتائج.

الشـــكل 26

معدل (BER) مقابل النسبة *C/N* قبل فك تشفير شفرة ريدسولومون

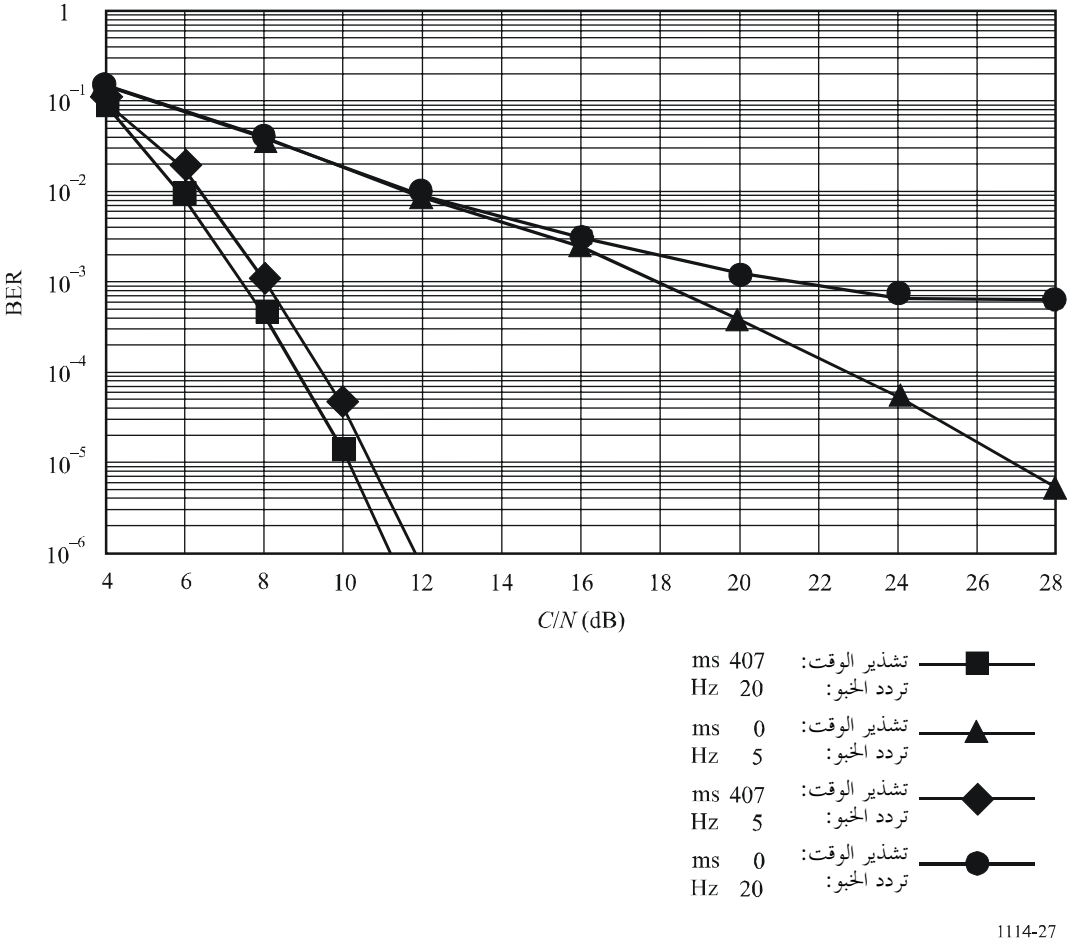
(أسلوب الإرسال 3، معدل التشفير: 1/2، تشذير الوقت: 407 ms): قناة متعددة المسارات



الشـــكل 27

معدل BER مقابل النسبة *C/N* قبل فك تشفير شفرة ريدسولومون

(أسلوب الإرسال: 3، تشكيل الموجة الحاملة: DQPSK، معدل التشفير: 1/2) قناة رايلي بمسارين



الملحق 4

النظام الرقمي C

1 لمحة عامة عن النظام

يستخدم النظام الرقمي C التكنولوجيا IBOC من أجل تسهيل نشر الإذاعة الصوتية الرقمية (DSB). وتتيح هذه الإذاعة للهيئات الإذاعية إمكانية تحسين خدمتها التماثلية إذ تقدم نوعية سمعية أكثر دقة وتعزز قوة الإشارة السمعية وتوسع مجال الخدمات المساعدة. وتسمح التكنولوجيا IBOC لهيئات الإذاعة أن تدخل هذه التحسينات دون الحاجة إلى تخصيصات طيف جديدة للإشارة الرقمية وذلك من خلال الإبقاء على المحطات الراهنة لتذيع نفس البرامج تماثلياً ورقمياً. مما يتيح وسائل استعمال فعَّال للطيف يجعل الانتقال من البيئة التماثلية الراهنة إلى بيئة رقمية قادمة انتقالاً رشيداً.

2 الطبقات IBOC

مواصفات الأداء الدقيقة للتكنولوجيا IBOC منظمة استناداً إلى النموذج ذي الطبقات للتوصيل البيني للأنظمة المفتوحة الذي حددته منظمة التقييس الدولية (ISO OSI). ولكل طبقة توصيل OSI في النظام الإذاعي طبقة مقابلة في نظام الاستقبال تدعى الطبقة النظيرة. وتعمل وظيفة هذه الطبقات على نحو تعطي فيه النتيجة النهائية للطبقات الدنيا اتصالاً افتراضياً بين طبقة معينة ونظيرتها في الجهة المقابلة.

1.2 الطبقة الهجينة 1

تموِّل الطبقة 1 (L1) في النظام الرقمي C المعلومات وأوامر النظام التي تصدر عن الطبقة 2 (L2) إلى موجات IBOC من أجل إرسالها في نطاق الموجات المترية (VHF). وتنقل هذه المعلومات والأوامر في أرتال نقل منفصلة في قنوات منطقية متعددة عبر نقاط نفاذ خدمة الطبقة L1 (SAP). وتسمى أرتال النقل هذه أيضاً وحدات معطيات الخدمة L2 (SDUs) ووحدات التحكم في الخدمة على التوالي.

وتختلف الوحدات L2 SDUs بالحجم والنسق باختلاف أسلوب الخدمة. وتحدد أسلوب الخدمة، وهو عنصر رئيسي في نظام التحكم خصائص إرسال كل قناة منطقية. وبعد تقدير متطلبات التطبيقات المرشحة تنتقي طبقات البروتوكول العليا أساليب الخدمة الأكثر ملاءمة للقنوات المنطقية. ويعكس تعدد القنوات المنطقية مرونة النظام الداخلية، مما يعطيه إمكانية إتاحة أصناف مختلفة من المعطيات والإشارات السمعية الرقمية.

كما وتستقبل الطبقة L1 أوامر النظام على شكل وحدات (SCUs) تصدر عن الطبقة L2. وتتم معالجة هذه الأوامر في المعالج الخاص بالنظام.

أما الفقرات التالية فتضم:

- لمحة عن أنماط الموجات والطيف؛
- لمحة عن أوامر النظام بما فيها أساليب الخدمة المتوافر؛
- لمحة عن القنوات المنطقية؛
- وصف عالي الدقة لكل مكونة من المكونات الوظيفية والتي تشكل الطبقة L1 من السطح البيني الراديوي FM.

2.2 أنماط الموجات والطيف

يتيح التصميم مرونة في إدخال نظام إذاعي رقمي من خلال توفيره لثلاثة أنماط جديدة من الموجات هي الهجينة والهجينة الموسعة والرقمية. ويبقى النمطان الهجين والهجين الموسع على الإشارة FM التماثلية بينما يستغني النمط الرقمي عنها.وتعمل الأنماط الثلاثة جميعها باستعمال طيف أقل بكثير من قناع الطيف المخصص للبث، والذي تحدده عادة اللجنة الفيدرالية للاتصالات (FCC).

وتتشكل الإشارة الرقمية باستخدام تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM) والنظام OFDM هو نظام تشكيل متواز يشكل فيه تدفق المعطيات عدداً كبيراً من الموجات الحاملة الفرعية المتعامدة التي ترسل في نفس الوقت وهو نظام مرن يتيح بسرعة تقابل القنوات المنطقة التابعة لمجموعات مختلفة من الموجات الحاملة الفرعية.

وتحدد معلمات توقيت الرموز في الجدول 13.

1.2.2 الموجة الهجينة

ترسل الإشارة الرقمية في نطاقات جانبية رئيسية أولية (PM) كل من جهتي إشارة FM التماثلية في موجة هجينة. وتقل سوية قدرة كل نطاق جانبي بـــ 23 dB تقريباً عن القدرة الكلية للإشارة FM التماثلية. وقد تكون الإشارة التماثلية صوتاً مجسماً أو غير مجسم وقد تضم قنوات اتصالات ثانوية مرخصة (SCA).

الجـــدول 13

معلمات التوقيت في الرموز

اسم المعلمة	الرمز	الموحدات	القيمة الصحيحة	القيمة المحسوبة (4 أرقام معنوية)
المباعدة بين الموجات الحاملة الفرعية OFDM	Δf	Hz	1 488 375/4 096	363,4
عرض السابقة الدورية	α	None	7/128	$5{,}469 \times 10^{-2}$
مدة الرمز OFDM	T_s	s	$= (1 \alpha) / \Delta f$ $(135/128) \cdot (4\,096/1\,488\,375)$	$2{,}902 \times 10^{-3}$
معدل الرمز OFDM	R_s	Hz	$1/T_s =$	344,5
مدة رتل L1	T_f	s	$65\,536/44\,100 = 512 \cdot T_s$	1,486
معدل رتل L1	R_f	Hz	$1/T_f =$	$6{,}729 \times 10^{-1}$
مدة فدرة L1	T_b	s	$32 \cdot T_s =$	$9{,}288 \times 10^{-2}$
معدل فدرة L1	R_b	Hz	$1/T_b =$	10,77
مدة زوج فدرة L1	T_p	s	$64 \cdot T_s =$	$1{,}858 \times 10^{-1}$
معدل زوج فدرة L1	R_p	Hz	$1/T_p =$	5,383
أرتال التأخير الناجمة عن التنوع	N_{dd}	None	عدد أرتال التأخير الناجم عن التعدد في الطبقة L1	3

2.2.2 الموجة الهجينة الموسعة

يمكن توسيع عرض نطاق النطاقات الجانبية الهجينة في نمط الموجات الهجينة الموسعة باتجاه الإشارة FM التماثلية من أجل زيادة القدرة الرقمية. ويسمى هذا الطيف الإضافي المخصص للحافة الداخلية لكل نطاق جانبي رئيسي أولي النطاق الجانبي الأولي الموسع (PX).

3.2.2 الموجة الرقمية بالكامل

يحقق النظام أعظم التحسينات لدى استعمال نمط الموجات الرقمية بالكامل الذي يلغي الإشارة التماثلية ويوسع عرض نطاق النطاقات الجانبية الأولية إلى أبعد حد كما هو الحال في الموجة الهجينة الموسعة. وإضافة إلى ذلك، يتيح هذا النمط للنطاقات الجانبية الثانوية الرقمية ذات القدرة المنخفضة أن ترسل في الطيف الذي تركته الإشارة FM التماثلية.

3.2 قناة التحكم في النظام

تنقل قناة التحكم في النظام (SCCH) الأوامر ومعلومات الحالة. وتُرسل أساليب الخدمة الأولية والثانوية، وكذلك التحكم في التأخير والتنوع من الطبقة L2 إلى الطبقة L1 بينما ترسل معلومات التزامن من الطبقة L1 إلى الطبقة L2.

وتُملي أساليب الخدمة جميع التشكيلات المسموحة للقنوات المنطقية. ويوجد ما مجموعه أحد عشر أسلوب خدمة.

4.2 القنوات المنطقية

القناة المنطقية هي مسير إشارة ينقل الوحدات L2 SDV في إرسال النقل إلى الطبقة L1 في النظام الرقمي C عشر قنوات منطقية للبروتوكولات الطبقة العليا. ولا تستخدم جميع القنوات المنطقية في كل أسلوب من أساليب الخدمة.

1.4.2 القنوات المنطقية الأولية

ثمة أربع قنوات منطقية أولية تستخدم في نمطي الموجات الهجينة والرقمية بالكامل. وتسمى P1 وP2 وP3 وخدمة معطيات IBOC أولية (PIDS). ويبين الجدول 14 معدل المعلومات النظري الذي توفره كل قناة منطقية أولية تبعاً لأسلوب الخدمة الأولية.

الجـــدول 14

معدل المعلومات النظري للقنوات المنطقية الأولية

أسلوب الخدمة	معدل المعلومات النظري (kbit/s)				نمط الموجة
	P1	P2	P3	PIDS	
MP1	25	74	0	1	هجينة
MP2	25	74	12	1	هجينة موسعة
MP3	25	74	25	1	هجينة موسعة
MP4	25	74	50	1	هجينة موسعة
MP5	25	74	25	1	هجينة موسعة رقمية بالكامل
MP6	50	49	0	1	هجينة موسعة رقمية بالكامل
MP7	25	98	25	1	هجينة موسعة رقمية بالكامل

2.4.2 القنوات المنطقية الثانوية

ثمة ست قنوات منطقية ثانوية لا تستخدم إلا في نمط الموجات الرقمية بالكامل. وتسمى S1 وS2 وS3 وS4 وS5 وخدمة معطيات IBOC ثانوية (SIDS). ويبين الجدول 15 معدل المعلومات النظري الذي توفره كل قناة منطقية ثانوية تبعاً لأسلوب الخدمة الثانوية.

الجـــدول 15

معدل المعلومات النظري التقريبي للقنوات المنطقية الثانوية

أسلوب الخدمة	معدل المعلومات التقريبي (kbit/s)						نمط الموجة
	S1	S2	S3	S4	S5	SIDS	
MS1	0	0	0	98	6	1	رقمية بالكامل
MS2	25	74	25	0	6	1	رقمية بالكامل
MS3	50	49	0	0	6	1	رقمية بالكامل
MS4	25	98	25	0	6	1	رقمية بالكامل

3.4.2 وظائف القنوات المنطقية

تصمم القنوات المنطقية P1 حتى P3 من أجل تسيير المعطيات والإشارات السمعية. ويمكن استخدام القنوات الثانوية من S1 على S5 في نقل المعطيات أو إشارات الصوت المحيط. أما القناتان المنطقيتان PIDS وSIDS فمصممتان لنقل معلومات خدمة المعطيات IBOC (IDS).

ويوصف أداء كل قناة منطقية كاملاً من خلال ثلاث معلمات تمس الخصائص هي: النقل والانتظار والقوة. ومكونات معلمات الخصائص هذه هي تشفير القناة والتقابل الطيفي وعمق التشذير والتأخير الناجم عن التنوع. ويظهر أسلوب الخدمة هذه المكون بشكل فريد في كل قناة منطقية نشيطة مما يسمح بتعيين معلمات الخصائص المناسبة.

علاوة على ذلك، يحدد أسلوب الخدمة تراصف الأرتال وتزامنها في أرتال النقل في كل قناة منطقية نشيطة.

5.2 المكونات الوظيفية

تضم هذه الفقرة وصفاً عالي الدقة لكل فدرة وظيفية في الطبقة L1 وتدفق الإشارات المصاحب لها. ويقدم الشكل 28 مخططاً إجمالياً وظيفياً لمعالجة الطبقة L1. وتمر المعطيات والإشارات السمعية من طبقات التوصيل OSI العليا إلى الطبقة المادية، المودم، عبر نقاط النفاذ L1 SAPs.

1.5.2 نقاط النفاذ إلى الخدمة (SAP)

تعرف النقاط SAP السطح البيني بين الطبقتين L2 وL1 في مجموعة بروتوكولات النظام. ولكل قناة منطقية وقناة تحكم SCCH نقاط نفاذها الخاصة بها. وتدخل كل قناة إلى الطبقة L1 في أرتال نقل منفصلة بحجم خاص بها وبمعدل يحدده أسلوب الخدمة. وتسمى أرتال النقل في الطبقة L2 بالوحدات L2 SCUs وL2 SCUs.

2.5.2 التخليط

تكمن هذه الوظيفة في تخليط المعطيات الرقمية عشوائياً في كل قناة رقمية من أجل إخفاء وتخفيف اختلاف مدد الإشارات عند إزالة تشكيل الموجات في مزيل تشكيل تقليدي للإشارات FM التماثلية.

3.5.2 تشفير القناة

يستخدم النظام الرقمي شفرات فيتربي التلافيفية بمعدل تشفير فعلي قدره 2/5. ويضيف هذا التشفير التلافيفي بعض الإطناب إلى المعطيات الرقمية في كل قناة منطقية من أجل تحسين اعتماديتها في حال وجود خلل في القناة. ويتناسب حجم متجهات القناة المنطقية تناسباً عكسياً مع معدل التشفير. ويظهر أسلوب الخدمة أنماط تقنيات التشفير. كما يفرض التأخير الناجم عن التنوع على القنوات المنطقية المنتقاة. وتحتفظ متجهات القناة المنطقية عند خرج مشفر القناة بهويتها.

4.5.2 التشذير

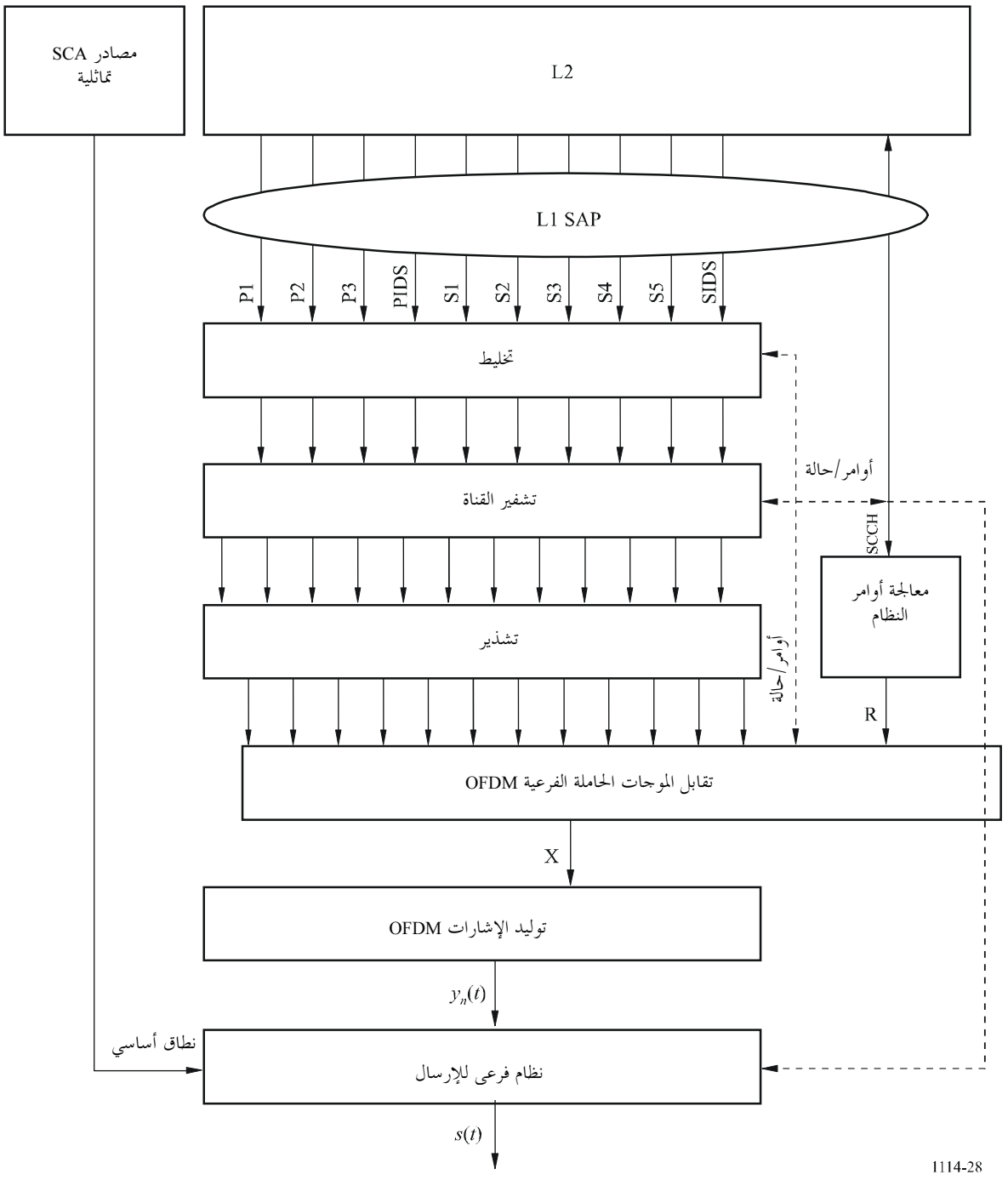
يستخدم تشذير الوقت وتشذير التردد بهدف تخفيف آثار أخطاء الرشقات. ويتم تكييف تقنيات التشذير مع بيئة خبو الموجات المترية ويُظهرها أسلوب الخدمة. وتشذر كل قناة منطقية على حدة. أما عمق المشذر فيتحدد استناداً إلى استعمال القناة. فعمق المشذر في القناتين السمعيتين الأوليتين (P1 وP2) يساوي رتلاً واحداً L1. وفي هذه العملية تفقد القنوات المنطقية هويتها. وخرج المشذر منظم في نسق مصفوفات تتألف كل مصفوفة من قناة منطقية واحدة أو أكثر وترفق بجزء خاص من الطيف المرسَل. ويبلغ التأخير الإجمالي الناجم عن التنوع بما فيه التشذير ثلاثة أرتال L1 (3 × 1,486 s).

5.5.2 معالجة أوامر النظام

تكمن هذه الوظيفة في توليد مصفوفة من تتابعات معطيات التحكم في النظام تضم الأوامر والحالة (كأسلوب الخدمة) من أجل إذاعتها عبر الموجات الحاملة الفرعية المرجعية.

الشـــكل 28

مخطط إجمالي وظيفي للطبقة L1 في السطح البيني الراديوي FM



6.5.2 تقابل الموجات الحاملة الفرعية OFDM

تكمن هذه الوظيفة في تخصيص مصفوفات التشذير ومصفوفة أوامر النظام للموجات الحاملة الفرعية OFDM. ويعالج الصف الواحد لكل مصفوفة مشذرٍ نشيط في كل فترة يرمز إليها بـــ *Ts* من أجل إنتاج قيمة خرج واحد **X**، يمثل مجال تردد الإشارة. ويتم تكييف التقابلٍ خصوصاً لأغراض بيئة التداخل غير المنتظم وهو وظيفة من وظائف أسلوب الخدمة.

7.5.2 توليد إشارة OFDM

تكمن هذه الوظيفة في توليد الجزء الرقمي من إشارة مجال الوقت. وتتحول المتجهات الداخلة إلى نبضة مشكلة بنطاق أساسي في المجال الزمني $y_n(t)$، تحدد رمز تشكيل OFDM واحداً.

8.5.2 نظام فرعي للإرسال

تكمن هذه الوظيفة في إعطاء نسق موجة النطاق الأساسي لإرسالها في القناة العاملة بالموجات المترية. وتضم الوظائف الفرعية الرئيسية تسلسل الرموز والتحويل إلى ترددات أعلى. وفضلاً عن ذلك تقوم هذه الوظيفة عند إرسال الموجات الهجينة بتشكيل المصدر وجمعه مع الإشارة الرقمية من أجل تكوين إشارة هجينة $s(t)$ جاهزة الإرسال.

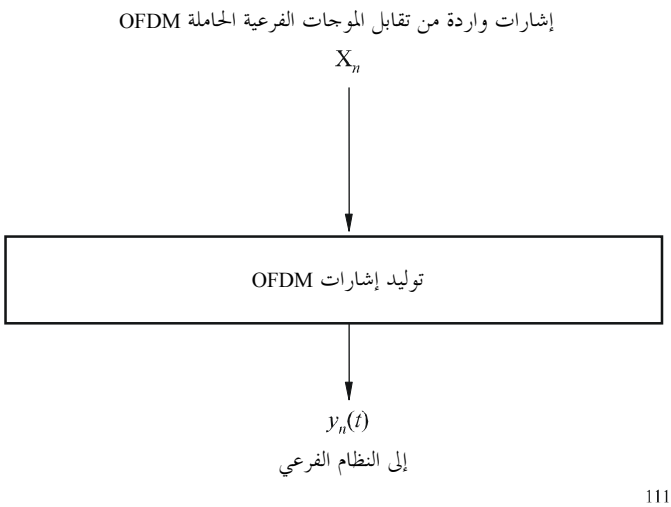
3 الوصف الوظيفي

1.3 مقدمة

يستقبل توليد الإشارات OFDM رموز تشكيل OFDM مركبة في مجال التردد من تقابل الموجات الحاملة الفرعية OFDM وينتج عند الخرج نبضات في مجال الوقت تمثل الجزء الرقمي من إشارة النظام الرقمي C. ويبين الشكل 29 مخططاً إجمالياً لمفاهيم توليد الإشارة OFDM.

الشـــكل 29

مخطط إجمالي لمفاهيم توليد الإشارات OFDM



والإشارات الداخلة إلى توليد الإشارات OFDM متجهات $\mathbf{X}_n$ مركبة طولها L وتمثل قيم المجموعة المركبة لكل موجة حاملة فرعية OFDM في الرمز OFDM ذي الترتيب n. وخرج توليد الإشارات OFDM هو نمط موجة مركبة في مجال الوقت بنطاق أساسي، $y_n(t)$ تمثل الجزء الرقمي من إشارة النظام C الرقمي للرمز OFDM ذي الترتيب n.

2.3 النظام الفرعي للإرسال

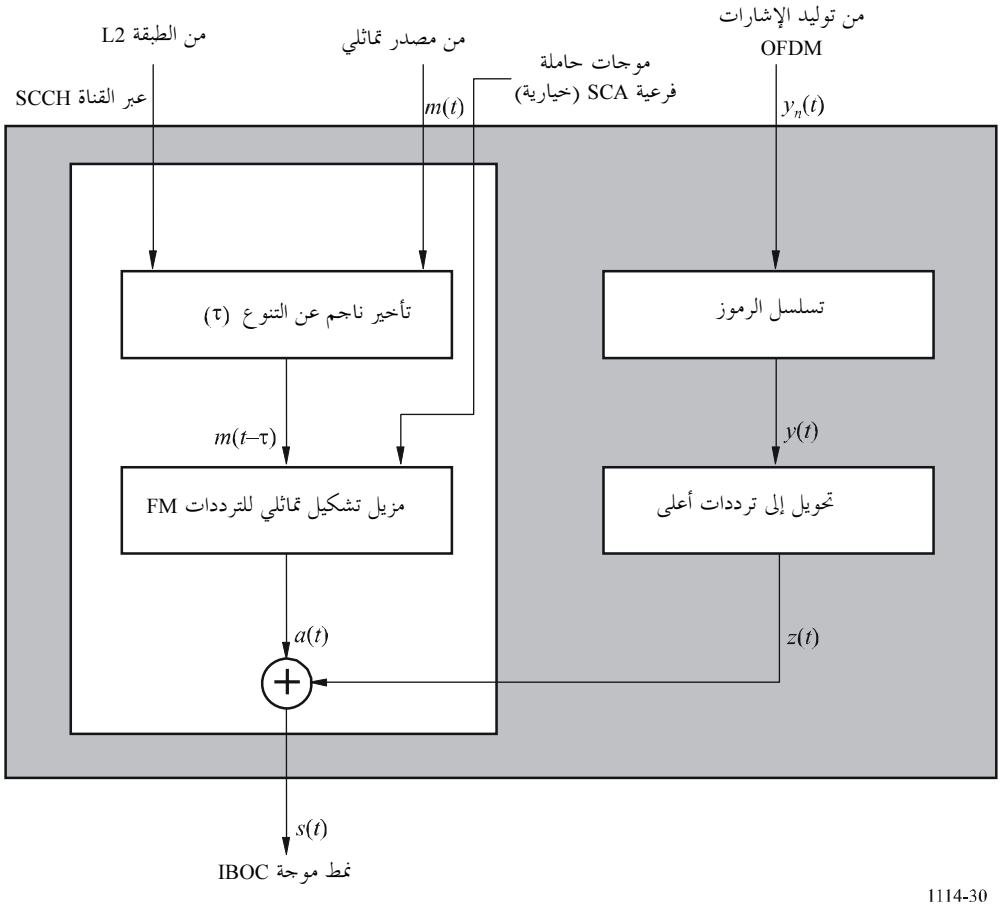
1.2.3 مقدمة

يحدد النظام الفرعي للإرسال نسق نمط الموجة IBOC في النطاق الأساسي من أجل الإرسال عبر القناة بالموجات المترية (VHF). وتضم الوظائف تسلسل الرموز والتمويل إلى الترددات الأعلى. وإضافة إلى ذلك، تؤجل هذه الوظيفة وتشكّل الإشارة التماثلية في النطاق الأساسي قبل ضمها إلى الموجة الرقمية وذلك عند إرسال موجات هجينة أو هجينة موسعة.

ودخل هذه الوحدة هو نمط موجة OFDM مركبة في المجال الزمني بالنطاق الأساسي $y_n(t)$ تصدر عن وظيفة توليد الإشارة OFDM. وتدخل إشارات تماثلية بالنطاق الأساسي $m(t)$ أيضاً واردةً من مصدر تماثلي مع إشارات SCA خيارية وذلك عند إرسال موجات هجينة أو هجينة موسعة. كما يرد أيضاً أوامر تماثلية خاصة بالتأخير الناجم عن التنوع (DD) من الطبقة L2 عبر قناة التحكم. أو خرج هذه الوحدة فهو نمط الموجات IBOC.

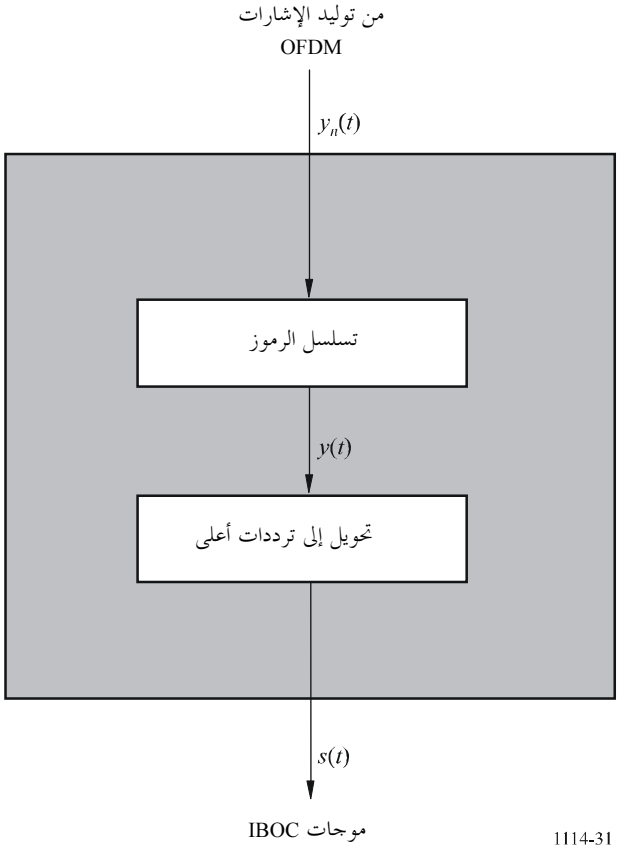
الشـــكل 30

مخطط إجمالي وظيفي للنظام الفرعي لإرسال الموجات الهجينة/الهجينة الموسعة



الشـــكل 31

مخطط إجمالي وظيفي للنظام الفرعي للإرسال الرقمي بالكامل



2.2.3 التأخير الناجم عن التنوع

عند إذاعة الموجات الهجينة والهجينة الموسعة تنضم الإشارة $z(t)$ إلى إشارة التردد FM التماثلية $a(t)$. وأول مرحلة في توليد الإشارة $a(t)$ هي تطبيق التأخير الناجم عن التنوع (DD) على إشارة النطاق الأساسي التماثلية $m(t)$. وتستخدم بتة الأمر التماثلي (DD) الوارد من الطبقة L2 عبر القناة SCCH في طبقات البروتوكول العليا من أجل تفعيل الأمر DD أو إخماده؛ فإذا كانت قيمة 0 فهو خامد، وإذا كانت 1 فهو نشيط. وعندما يكون الأمر DD نشيطاً يمكن استعمال تأخير τ قابل للتعديل في إشارة النطاق الأساسي التماثلية $m(t)$. ويتم ضبط التأخير بحيث يتم عند خرج المضمام التماثلي/الرقمي تأخير الإشارة $a(t)$ عن الإشارة $z(t)$ بفترة قدرها T_{dd}. وتنقل الإشارات التماثلية والرقمية في النظام الرقمي C نفس البرنامج في الإشارات السمعية التماثلية المتأخرة عن الإشارات السمعية الرقمية المقابلة لها بفترة T_{dd} عند خرج المضمام التماثلي/الرقمي. ويمكن تسوية التأخير من أجل مراعاة مدد التأخير الناجمة عن المعالجة في السلسلات التماثلية والرقمية.

3.2.3 مشكل الترددات التماثلي

فيما يتعلق بالموجات الهجينة والهجينة الموسعة تكون إشارة النطاق الأساسي التماثلية $m(t\text{-}\tau)$ ذات التأخير الملائم مشكّلة التردد من أجل إنتاج موجة تردد راديوية تماثلية مماثلة للإشارات التماثلية القائمة.

4.2.3 المضمام التماثلي/الرقمي

تنضم إشارة التردد الراديوية المشكلة تماثلياً عند الإذاعة بالموجات الهجينة والهجينة الموسعة إلى الإشارة الراديوية IBOC المشكلة رقمياً من أجل إنتاج إشارة النظام الرقمي C. $s(t)$ ويتمركز الجزءان التماثلي والرقمي من الموجة على نفس تردد الموجة الحاملة. وتسوَّى سويات كل نطاق جانبي رقمي في طيف الخرج بالشكل المناسب من خلال وظيفة التقابل بين الموجات الحاملة الفرعية OFDM.

3.3 استعمال المكررات في القناة

يساعد استعمال التشكيل OFDM في النظام الرقمي C المكررات الرقمية في القناة أو الشبكة وحيدة التردد على توفير التغطية المرغوبة للمناطق حيث تكون الخسارات في الإشارة الناجمة عن التضاريس و/أو الحجب شديدة. ويمكن تطبيق هذا الاستخدام خاصة حيث تحد الجبال أو عوائق تضاريس أخرى في مناطق خدمة المحطة من جودة الأداء التماثلي أو الرقمي.

ويعمل النظام الرقمي C بفواصل حراسة فعالة بين الرموز OFDM تبلغ 150 µs[2] تقريباً. ومن أجل تفادي تداخل شديد بين الرموز ينبغي الحد من التغطية الفعالة في اتجاه نظام الإرسال الأولي إلى 22 km وينبغي خصوصاً أن تبلغ نسبة الإشارة الآتية من المرسل الأولي إلى إشارة جهاز التقوية 10 dB كحد أدنى في المواقع التي تبعد أكثر من 22 km عن المكرر في اتجاه الهوائي الأولي. ويمكن تحسين الأداء والمسافات بين أجهزة التقوية في القنوات باستعمال هوائيات اتجاهية من أجل حماية المحطة الرئيسية.

4.3 تزامن النظام العالمي لتحديد الموقع (GPS)

ضماناً للتزامن دقيق التوقيت من أجل الحيازة السريعة للمحطة وتزامن أجهزة التقوية يجري إحكام كل محطة بالنظام GPS. ويتم ذلك عادة من خلال التزامن مع إشارة متزامنة في الوقت والتردد مع النظام GPS[3]. أما محطات الإرسال دن إحكام النظام GPS فلن تكون قادرة على توفير توليف سريع في المستقبل في حالة الشبكة وحيدة التردد (SFN) إذ أنها لا تستطيع أن تتزامن مع محطات أخرى[4].

4 سويات النطاق الجانبي الرقمي

يقدم الجدول 16 قياس الاتساع لكل موجة حاملة فرعية OFDM داخل كل نطاق جانبي رقمي يتعلق بالموجات الهجينة والهجينة الموسعة والرقمية بالكامل. وتتحدد قيم أنماط الموجات الهجينة نسبةً إلى القدرة الكلية للموجة FM التماثلية غير المشكلة (تساوي 1 افتراضياً). وتتحدد قيم الموجات الرقمية بالكامل نسبةً إلى القدرة الكلية للموجة FM التماثلية غير المشكِّلة (تساوي 1 افتراضياً) التي يمكن إرسالها في أسلوبي الموجات الهجينة والهجينة الموسعة.

---

[2] تعادل مسافة انتشار قدرها 45 km.

[3] تسمى المحطات المحكمة بالنظام GPS السوية I: مرافق إرسال محكم بالنظام GPS.

[4] السوية II: مرافق إرسال دون إحكام النظام GPS.

الجـــدول 16

قياس الموجات الحاملة الفرعية OFDM

نمط الموجة	الأسلوب	النطاقات الجانبية	رمز عامل قياس الاتساع	عامل[1] قياس الاتساع (نسبة إلى القدرة الكلية لموجات التردد التماثلية)	عامل[2] قياس الاتساع (نسبة إلى القدرة الكلية لموجات التردد التماثلية) (dB)
هجينة	MP1	أولي	a_0	$5{,}123 \times 10^{-3}$	41,39–
هجينة موسعة	MP2-MP7	أولي	a_0	$5{,}123 \times 10^{-3}$	41,39–
رقمية بالكامل	MP5-MP7	أولي	a_2	$1{,}67 \times 10^{-2}$	31,39–
	MS1-MS4	ثانوي	a_4	$5{,}123 \times 10^{-3}$	41,39–
		ثانوي	a_5	$3{,}627 \times 10^{-3}$	44,39–
		ثانوي	a_6	$2{,}567 \times 10^{-3}$	47,39–
		ثانوي	a_7	$1{,}181 \times 10^{-3}$	50,39–

(1) عامل قياس الاتساع لكل مدى موجات حاملة فرعية IBOC

(2) عام قياس الاتساع مقدراً بالديسبل ومقاساً في عرض نطاق قدره 1 kHz.

تم انتقاء قيم الموجات الهجينة والهجينة الموسعة بحيث يكون متوسط القدرة الكلية في النطاق الجانبي الرقمي الأولي (الأعلى أو الأدنى) أقل بمقدار 23 dB عن القدرة الكلية للموجة الحاملة FM التماثلية غير المشكَّلة.

وتم انتقاء قيم الموجات الرقمية بالكامل بحيث يكون متوسط القدرة الكلية في النطاق الجانبي الرقمي الأولي (الأعلى أو الأدنى) أعلى بمقدار 10 dB على الأقل من القدرة الكلية في النطاقات الجانبية الرقمية الأولية للموجات الهجينة. وتم أيضاً انتقاء القيم بحيث يقل متوسط القدرة الكلية في النطاقات الجانبية الرقمية الثانوية (الأعلى والأدنى) بمقدار 20 dB على الأقل عن القدرة الكلية في النطاقات الجانبية الرقمية الأولية للموجات الرقمية بالكامل.

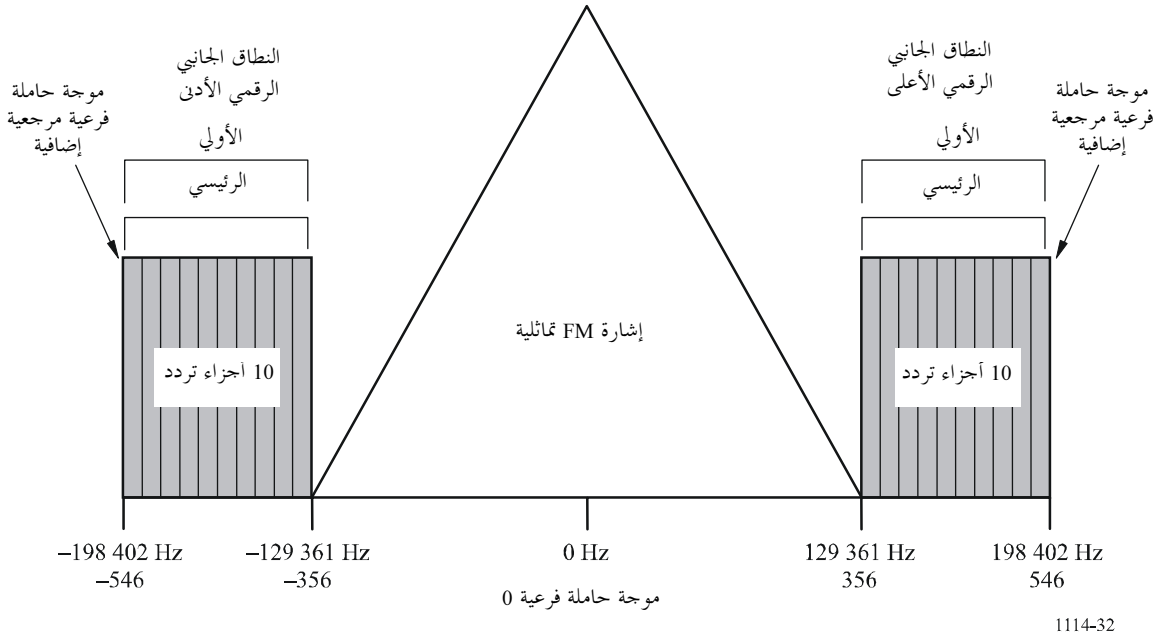
5 الطيف في أسلوب الموجات الهجينة

ترسل الإشارة الرقمية في النطاقات الجانبية الرئيسية الأولية في اتجاهي إشارة التردد التماثلية. ويتكون كل نطاق جانبي رئيسي أولي من عشرة أجزاء تردد مخصص للموجات الحاملة الفرعية من 356 إلى 545 أو من –356 إلى –545 (انظر الشكل 32 والجدول 17). والموجتان الحاملتان الفرعيتان 546 و–546 المشمولتان أيضاً بالنطاقات الجانبية الرئيسية الأولية هما موجتان حاملتان فرعيتان مرجعيتان إضافيتان. يقاس اتساع الموجة الحاملة الفرعية في النطاقات الجانبية الرئيسية الأولية بانتظام باستخدام عامل قياس الاتساع.

الشـــكل 32

طيف الموجة الهجينة – أسلوب الخدمة MP1

(سوية الموجات الحاملة الرقمية مضبوطة بحيث تكون القدرة الكلية لهذه الموجات
الحاملة أقل بمقدار 20 dB من القدرة الاسمية للموجة الحاملة التماثلية FM)



الجـــدول 17

الطيف في نمط الموجات الهجينة – أسلوب الخدمة MP1

النطاق الجانبي	عدد أجزاء التردد	ترتيب أجزاء التردد	مدى الموجات الحاملة الفرعية	ترددات الموجات الحاملة الفرعية (نسبة إلى مركز القناة) (Hz)	عامل قياس الاتساع	تباعد الترددات (Hz)	ملاحظات
الرئيسي الأولي والأعلى	10	A	356 to 546	129 361 إلى 198 402	a_0	69 041	يضم الموجة الحاملة الفرعية المرجعية الإضافية 546
الرئيسي الأولي والأدنى	10	B	–356 to –546	129 361– إلى 198 402–	a_0	69 041	يضم الموجة الحاملة الفرعية المرجعية الإضافية 546–

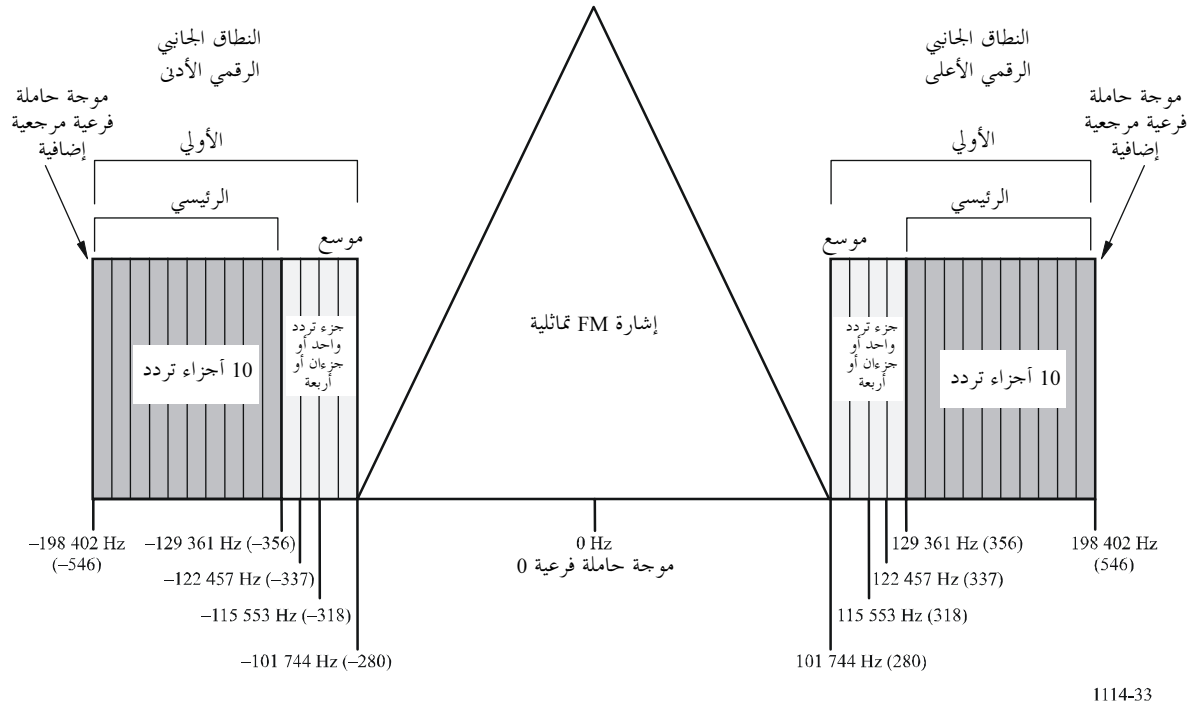
6 الطيف في أسلوب الموجات الهجينة الموسعة

تستحدث الموجة الهجينة الموسعة بإضافة نطاقات جانبية أولية موسعة على النطاقات الجانبية الرئيسية الأولية الموجودة في الموجة الهجينة. ويمكن إضافة جزء تردد واحد أو اثنين أو أربعة تبعاً لأسلوب الخدمة إلى الحافة الداخلية لكل نطاق جانبي رئيسي أولي. ويتألف كل نطاق جانبي أولي رئيسي من عشرة أجزاء تردد وموجة حاملة فرعية مرجعية إضافية تضم الموجات الفرعية من 356 على 546 أو من –356 إلى –546. وتضم النطاقات الجانبية الأولية الموسعة العليا الموجات الحاملة الفرعية من 337 على 355 (جزء تردد واحد) أو318 إلى 355 (جزءان من التردد) أو 280 إلى 355 (أربعة أجزاء تردد). وتضم النطاقات الجانبية الأولية الموسعة الدنيا الموجات الحاملة الفرعية من –337 إلى –355 (جزء ترد واحد) أو من –318 إلى –355 (جزءان من التردد) أو من –280 إلى –355 (أربعة أجزاء تردد). وتقاس الموجات الحاملة الفرعية في النطاقات الجانبية الأولية الموسعة بانتظام باستعمال نفس عامل قياس الاتساع a_0 المستخدم في النطاقات الجانبية الأولية الرئيسية (الشكل 33 والجدول 18).

الشـــكل 33

طيف الموجة الهجينة الموسعة – أساليب الخدمة من MP2 إلى MP4

(سوية الموجات الحاملة الرقمية مضبوطة بحيث تكون القدرة الكلية لهذه الموجات الحاملة أقل بمقدار 20 dB من القدرة الاسمية للموجة الحاملة التماثلية FM)



الجـــدول 18

طيف الموجة الهجينة الموسعة – أساليب الخدمة في MP1 إلى MP2

النطاق الجانبي	عدد أجزاء التردد	ترتيب أجزاء التردد	مدى الموجات الحاملة الفرعية	ترددات الموجات الحاملة الفرعية (نسبةً إلى مركز القناة) (Hz)	عامل قياس الاتساع	تباعد الترددات (Hz)	ملاحظات
الرئيسي الأولي والأعلى	10	A	356 إلى 546	129 361 إلى 198 402	a_0	69 041	يضم الموجة الحاملة الفرعية المرجعية الإضافية 546
الرئيسي الأولي والأدنى	10	B	–356 إلى –546	–129 361 إلى –198 402	a_0	69 041	يضم الموجة الحاملة الفرعية المرجعية الإضافية –546
الموسع الأولي الأعلى (أجزاء تردد)	1	A	337 إلى 355	122 457 إلى 128 997	a_0	6 540	لا يوجد
الموسع الأولي الأدنى (أجزاء تردد)	1	B	–337 إلى –355	–122 457 إلى –128 997	a_0	6 540	لا يوجد
الموسع الأولي الأعلى (2 جزء تردد)	2	A	318 إلى 355	115 553 إلى 128 997	a_0	13 444	لا يوجد
الموسع الأولي الأدنى (2 جزء تردد)	2	B	–318 إلى –355	–115 553 إلى –128 997	a_0	13 444	لا يوجد
الموسع الأولي الأعلى (4 جزء تردد)	4	A	280 إلى 355	101 744 إلى 128 997	a_0	27 253	لا يوجد
الموسع الأولي الأدنى (4 جزء تردد)	4	B	–280 إلى –355	–101 744 إلى –128 997	a_0	27 253	لا يوجد

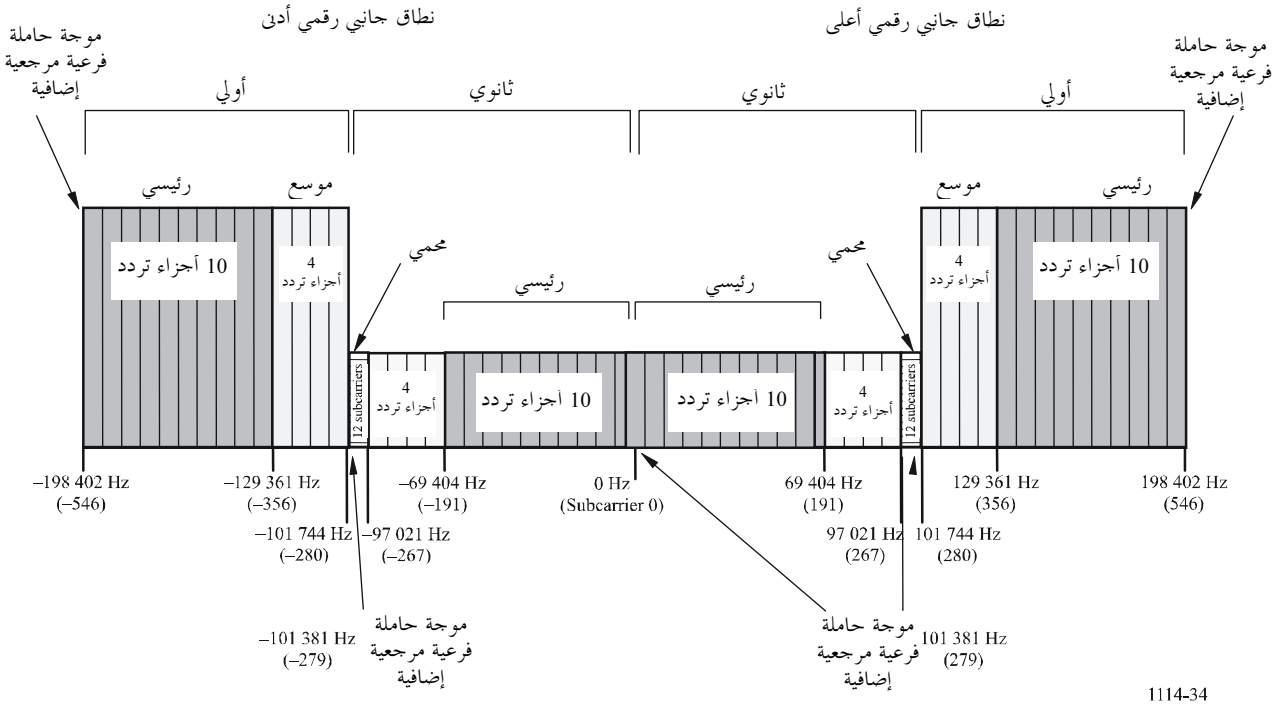
7 طيف الموجات الرقمية بالكامل

تتكون الموجة الرقمية بالكامل بإلغاء الإشارة التماثلية وتوسيع عرض النطاق كاملاً للنطاقات الجانبية الرقمية الأولية وإضافة نطاقات جانبية ثانوية منخفضة القدرة إلى الطيف الذي أخلته الإشارة التماثلية. ويظهر طيف الموجة الرقمية بالكامل في الشكل 34.

الشـــكل 34

طيف الموجة الرقمية بالكامل – أساليب الخدمة من MP5 إلى MP7 ومن MS1 إلى MS4

(تضبط سوية الموجات الحاملة الفرعية الرقمية بحيث تبقى القدرة الكلية لهذه الموجات الحاملة أقل بمقدار 10 dB من القدرة الاسمية للموجة الحاملة التماثلية التي تحل محلها)



وإضافة إلى أجزاء التردد الرئيسي العشرة يوجد أربعة أجزاء تردد موسع كاملاً في كل نطاق جانبي أولي للموجة الرقمية بالكامل. ولكل نطاق جانبي ثانوي أيضاً عشرة أجزاء ترددات رئيسية (SM) وأربعة موسعة. لكن بخلاف النطاقات الجانبية الأولية فإن أجزاء الترددات الرئيسية الثانوية تتقابل بالقرب من مركز القناة مع أجزاء ترددات موسعة بعيدة عن المركز.

ويدعم كل نطاق جانبي ثانوي أيضاً منطقة ثانوية محمية (SP) صغيرة تتألف من 12 موجة حاملة فرعية OFDM والموجتين الفرعيتين المرجعيتين 279 و–279. وتدعى النطاقات الجانبية "محمية" لأنها موزعة في منطقة الطيف الأقل تأثيراً بالتداخل التماثلي أو الرقمي. وتوضع موجة حاملة فرعية مرجعية إضافية في مركز القناة (0). أما ترتيب أجزاء الترددات في المنطقة الثانوية المحمية فلا يطبق نظراً لعدم احتواء هذه المنطقة على أجزاء ترددات.

ويمتد كل نطاق جانبي رئيسي ثانوي فوق الموجات الحاملة الفرعية من 1 إلى 190 أو من –1 إلى –190. ويضم النطاق الجانبي الموسع الثانوي الأعلى الموجات الحاملة الفرعية من 191 إلى 266 والنطاق الجانبي الأولي الثانوي الأعلى الموجات من 267 إلى 278 إضافة إلى الموجة الحاملة الفرعية المرجعية 279. ويضم النطاق الجانبي الموسع الثانوي الأدنى الموجات الحاملة الفرعية من –191 إلى –266 والنطاق الجانبي الأدنى الثانوي الأدنى الموجات من –267 إلى –278 إضافة إلى الموجة الحاملة الفرعية المرجعية

الإضافية –279. أما امتداد الترددات الكلي لكامل طيف الموجات الرقمية بالكامل فيبلغ 803 396 Hz. وتقاس الموجات الفرعية الحاملة داخل النطاقين الجانبين الرئيسين الأولي والموسع الأولي باستعمال عامل قياس الاتساع a_2. وتقاس الموجات الحاملة الفرعية داخل النطاقات الجانبية الرئيسي الثانوي والموسع الثانوي والأولي الثانوي بانتظام باستعمال عامل قياس اتساع مزود بأربع سويات منفصلة a_4-a_7.

الجـــدول 19

طيف الموجة الرقمية بالكامل – أساليب الخدمة من MP5 إلى MP7 ومن MS1 إلى MS4

النطاق الجانبي	عدد أجزاء الترديد	ترتيب أجزاء الترديد	مدى الموجات الحاملة الفرعية	ترددات الموجات الحاملة الفرعية (نسبة إلى مركز القناة) (Hz)	عامل قياس الاتساع	تباعد الترددات (Hz)	ملاحظات
الرئيسي الأولي والأعلى	10	A	356 إلى 546	129 361 إلى 198 402	a_2	69 041	يضم الموجة الحاملة الفرعية المرجعية الإضافية 546
الرئيسي الأولي والأدنى	10	B	–356 إلى –546	–129 361 إلى –198 402	a_2	69 041	يضم الموجة الحاملة الفرعية المرجعية الإضافية –546
الموسع الأولي الأعلى (أجزاء ترديد)	4	A	280 إلى 355	101 744 إلى 128 997	a_2	27 253	لا يوجد
الموسع الأولي الأدنى (أجزاء ترديد)	4	B	–280 إلى –355	–101 744 إلى –128 997	a_2	27 253	لا يوجد
Upper SM	10	B	0 إلى 190	0 to 69 041	a_2	69 041	يضم الموجة الحاملة الفرعية المرجعية الإضافية (0)
Lower SM	10	A	–1 إلى –190	–363 إلى –69 041	a_2	68 678	لا يوجد
الموسع الثانوي الأعلى	4	B	191 إلى 266	69 404 إلى 96 657	a_7-a_4	27 253	لا يوجد
الموسع الثانوي الأدنى	4	A	–191 إلى –266	–69 404 إلى –96 657	a_7-a_4	27 253	لا يوجد
الأولي الثانوي الأعلى	لا يوجد	لا يوجد	267 إلى 279	97 021 إلى 101 381	a_7-a_4	4 360	يضم الموجة الحاملة الفرعية المرجعية الإضافية 279
الأولي الثانوي الأدنى	لا يوجد	لا يوجد	–267 إلى –279	–97 021 إلى –101 381	a_7-a_4	4 360	يضم الموجة الحاملة الفرعية المرجعية الإضافية 279

8 تقييدات الإرسال

1.8 حدود الإرسال في التشغيل IBOC

تعمل الموجات الهجينة والرقمية كلياً بسويات أقل بكثير من حدود قناع إرسالات التردد FM. وفي الجدول 20 مثال لقناع في إدارة في الولايات المتحدة الأمريكية Code of Federal Regulations (CFR) العنوان 47 الفقرة 317.73.

الجـــدول 20

حدود الإرسال تبعاً لتخالف تردد الموجة الحاملة في القنوات FM في الولايات المتحدة الأمريكية

التخالف نسبةً لتردد الموجة الحاملة (kHz)	الكثافة الطيفية للقدرة نسبة إلى الموجة الحاملة FM التماثلية غير المشكلة [1] (dBc/kHz)
120 إلى 240	25–
240 إلى 600	35–
أكبر من 600	80– أو $43 - 10 \log_{10} x$ – إن كانت أقل قيمةً، حيث هي القدرة (W) وتعني القدرة الكلية للموجة الحاملة الخارجية من المرسل وغير المشكّلة.

[1] أجريت القياسات من خلال حساب متوسط الكثافة الطيفية للقدرة في عرض نطاق قدره 1 kHz في قطعة مدتها الزمنية 10 ثوانٍ.

ويظهر الشكلان 35 و36 سوية الضوضاء الواردة من جميع المصادر مقدرة بالوحدات dB نسبة إلى الكثافة الطيفية للقدرة الاسمية في النطاقات الجانبية الرقمية المقاسة في عرض نطاق قدره 1 kHz. ويدخل قياس الضوضاء هذا في جميع المصادر بما فيها:

- ضوضاء الطور في المثير IBOC
- منتجات التشكيل البيني في المرسل. وقد ضبطت السويات في الجداول 20 و21 و22 و23 على نحو تظهر فيه السوية أقل من قناع الإرسال 0 dBc.

الجـــدول 21

قدرة الموجة الحاملة الاسمية IBOC [1]

أسلوب الموجات الهجينة	أسلوب الموجات الرقمية بالكامل	
	موجات حاملة في البرنامج الرئيسي	موجات حاملة في الخدمة المساعدة الثانوية
41,39–	31,39–	50.39–

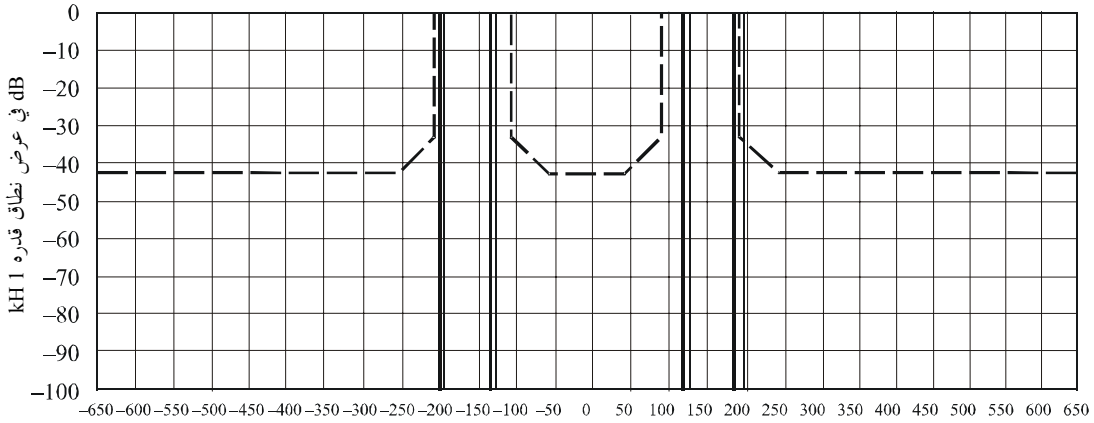
[1] الكثافة الطيفية للقدرة الاسمية في عرض نطاق قدره 1 kHz نسبة إلى القناع المرجعي dBC.

1.1.8 حدود الإرسال في التشغيل بأسلوب الموجة الهجينة

إن الضوضاء الواردة من جميع المصادر بما فيها ضوضاء طور المثير IBOC ومنتجات التشكيل البيني وما عدا الترددات الملغاة من الموجة الحاملة بين 100 و200 kHz يجب أن تتقيد بالحدود المبينة في الشكل 35 والجدول 22. وتتلخص المتطلبات على النحو التالي حيث يعبر عن القيمة المقدرة بالديسبل نسبةً إلى الكثافة الطيفية للقدرة الاسمية في عرض نطاق قدره 1 kHz للنطاقات الجانبية الرقمية.

الشـــكل 35

حدود الإرسال في أسلوب الموجة الهجينة IBOC*



ضوضاء الكبر عالي القدرة بأسلوب الموجات الهجينة مقاسة دون وجود موجة حاملة تماثلية

كثافة القدرة الطيفية الاسمية لموجة حاملة هجينة

* القيمة 0 dB نسبة إلى الكثافة الطيفية الاسمية للقدرة في عرض نطاق قدره 1 kHz للنطاقات الجانبية الرقمية.

1114-35

الجـــدول 22

حدود الإرسال في أسلوب الموجات الهجينة

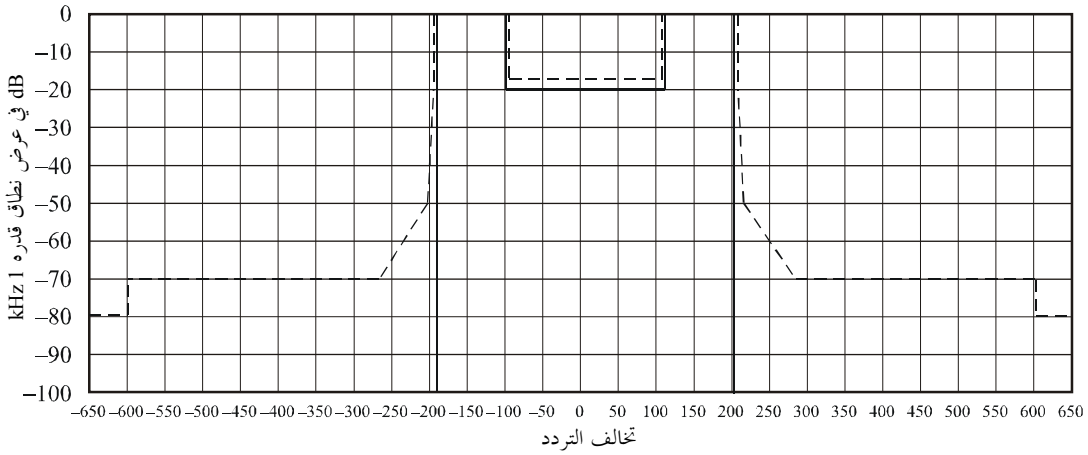
التردد F التخالف نسبة إلى الموجة الحاملة (kHz)	**السوية (dB/kHz)**
50-0	dB 83,39–
95-50	{–83.39 + (|frequency (kHz)| – 50 kHz) · 0.2} dB
100-95	{–61.39 + (|frequency (kHz)| – 100 kHz) · 2.6} dB
205-200	{–61.39 – (|frequency (kHz)| – 200 kHz) · 2.6} dB
250-205	{–74.39 – (|frequency (kHz)| – 205 kHz) · 0.2} dB
250<	dB 83,39–

2.1.8 حدود إرسال التشغيل بأسلوب الموجات الرقمية بالكامل

يجب على الضوضاء الناجمة عن كل المصادر بما فيها ضوضاء الطور للمثير IBOC ومنتجات التشكيل البيني والمتعلقة بالترددات البعيدة عن الموجة الحاملة بأكثر من 200 kHz أن تتقيد بالحدود الواردة في الشكل 36 والجدول 23.

الشـــكل 36

حدود إرسال الموجة الرقمية بالكامل*



_ _ _ _ _ _ الضوضاء HPA الرقمية بالكامل

_____ كثافة طيفية للقدرة الاسمية للموجة الرقمية بالكامل

* 0 dB نسبة إلى كثافة طيف القدرة الاسمية في عرض نطاق قدره 1 kHz في النطاقات الجانبية الرقمية.

1114-36

وفيما يلي مجمل المتطلبات حيث تحسب القيمة dB نسبة إلى كثافة طيف القدرة الاسمية في عرض نطاق قدره 1 kHz بالنطاقات الجانبية الرقمية.

الجـــدول 23

حدود إرسال الموجات الرقمية بالكامل

التردد *F* التخالف نسبة إلى الموجة الحاملة (kHz)	**سوية (dB/kHz)**
207,5-200	{–51.39 – (|frequency (kHz)| – 200 kHz) · 1.733} dB
250-207,5	{–64.39 – (|frequency (kHz)| – 207.5 kHz) · 0.2118} dB
300-250	{–73.39 – (|frequency (kHz)| – 250 kHz) · 0.56} dB
600-300	dB 101,39–
600<	dB 111,39–

9 مجمل نتائج الاختبارات

يرد أدناه ملخص الاختبارات التي أجريت للنظام الرقمي C في المختبر. وتسمى أنواع الخبو المستخدمة (UF) (سريع في بيئة حضرية) و(RF) (سريع في بيئة ريفية) و(TO) (سريع مع تضاريس معيقة) وقد طبقت كل منها على حدة على الإشارة المرغوبة وعلى كل إشارة مسببة للتداخل وتقدر سوية التداخل بالوحدات dB_{des} التي تعرَّف بأنها قيمة dB نسبة إلى القدرة الكلية للإشارة الهجينة المرغوبة. ويعد الجدول 24 لكل اختبار معدل أخطاء فدرة سيناريو من التداخل عند وقوع الخطأ والنسبة C_d/N_0 (dB/Hz) وشكل الخبو وسوية التداخل والمعدل المقيس للأخطاء في الفدرة.

الجـــدول 24

تحسين نتائج الاختبار FMالهجين IBOC

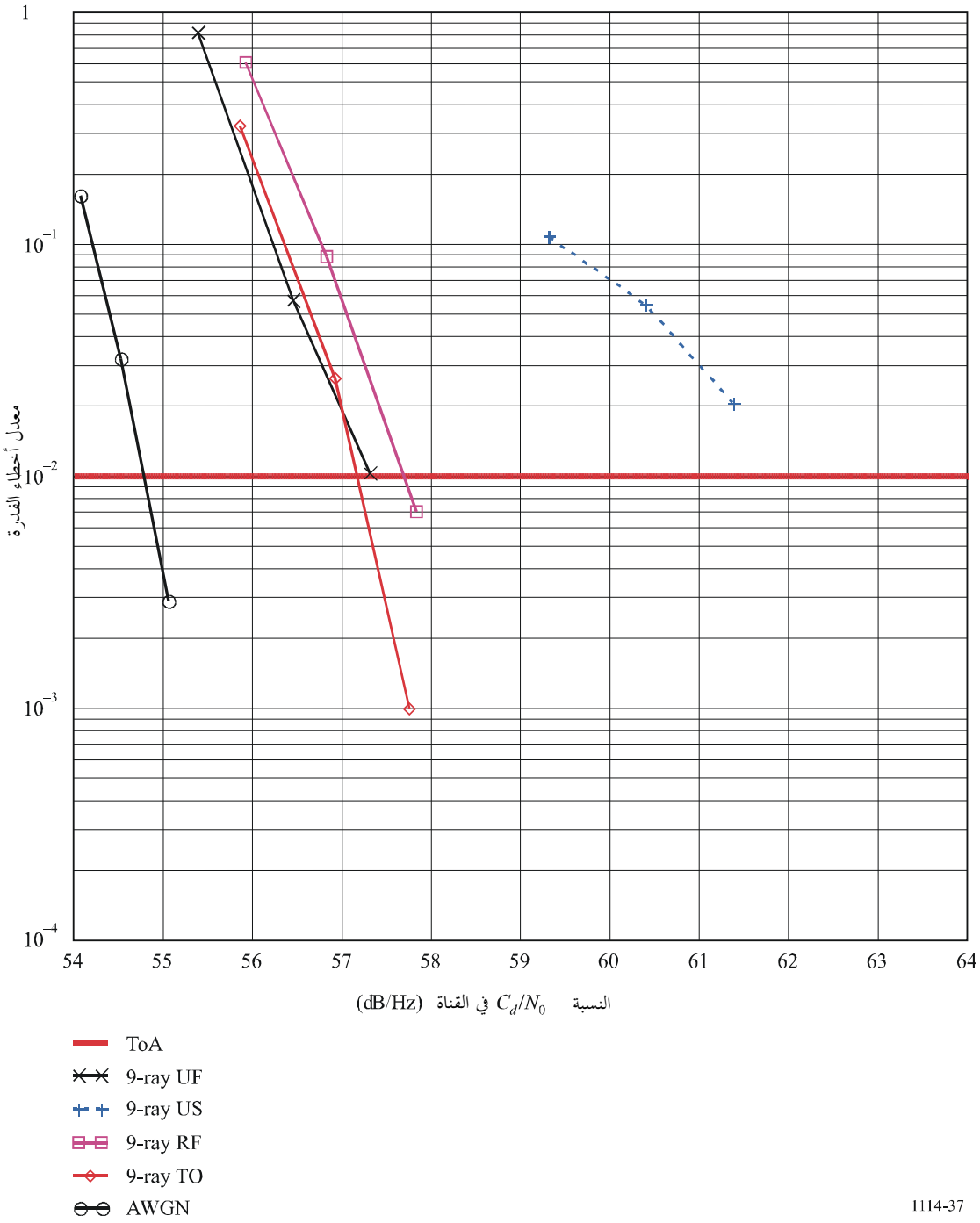
الاختبارات	معلمات الدخل					قياسات		
	C_d/N_0 (dB/Hz)	الخبو	القناة المشتركة (dB_{des})	أول قناة مجاورة (dB_{des})	ثاني قناة مجاورة	الأداء الرقمي	تقييم شخصي للإشارات التماثلية عند العتبة السمعية الرقمية ToA	
						معدل الأخطاء في الفدرة	السجل	الانحطاط السمعي حسب التقدير الشخصي
ضوضاء غوسية دون خبو/دون تداخل	54,1					0,16	audio1.wav	مسموع
	54,5					0,032		
	55,1					0,0029		
خبو قدره 9-ray	55,4	UF				0,8	audio2.wav	مسموع
	56,4					0,056		
	57,3					0,012		
	59,3	US				0,106	audio3.wav	مسموع
	60,4					0,054		
	61,4					0,0202		
	55,9	RF				0,6	audio4.wav	مسموع
	56,8					0,087		
	57,8					0,007		
	55,9	TO				0,317	audio5.wav	مسموع
	56,9					0,026		
	57,8					0,001		
تداخل تسببه أول قناة مجاورة	61,5	UF		–6,0		0,075	audio6.wav	مسموع
	62,4					0,045		
	63,4					0,00842		
	59,4	UF		–18,0		0,077	audio7.wav	مسموع
	60,3					0,012		
	61,3					0,006		
	58,2	UF		–24,0		0,0735	audio8.wav	مسموع
	59,2					0,0109		
	60,1					0,005		
	57,2	UF		–30,0		0,0287	audio9.wav	مسموع
	58,2					0,0082		
تداخل تسببه ثاني قناة مجاورة	57,9	UF			20,0	0,1	audio10.wav	مسموع
	58,9					0,018		
	60,5					0,00085		
تداخل تسببه القناة المشتركة	60,2	UF	–10,0			0,013	audio11.wav	الحد الذي يبين أبعد العطل
	61,3					0,0097		
	65,3					0,00014		
	58,4	UF	–20,0			0,013	audio12.wav	مسموع
	59,3					0,0011		
	60,4					0,00035		

1.9 الأداء مع الضوضاء الغوسية

يقيس هذا الاختبار الحد الأعلى لأداء النظام والإشارات السمعية التماثلية المسجلة عند العتبة الرقمية للسمع (ToA) في وجود ضوضاء غوسية ودون خبو رايلي أو أي تداخل. يظهر الأداء في المنحنيات البيانية لمعدل خطأ الفدرة المبين في الشكل 37 وفي الجدول 24. ويشير الجدول 24 إلى أنه النوعية السمعية للإشارات التماثلية تعاني من الانحطاط قبل العتبة ToA الرقمية مباشرة.

الشـــكل 37

نتائج معدل أخطاء الفدرة في النظام الهجين في أنماط مختلفة للخبو في 9 مسارات وضوضاء غوسية بيضاء إضافية (AWGN)

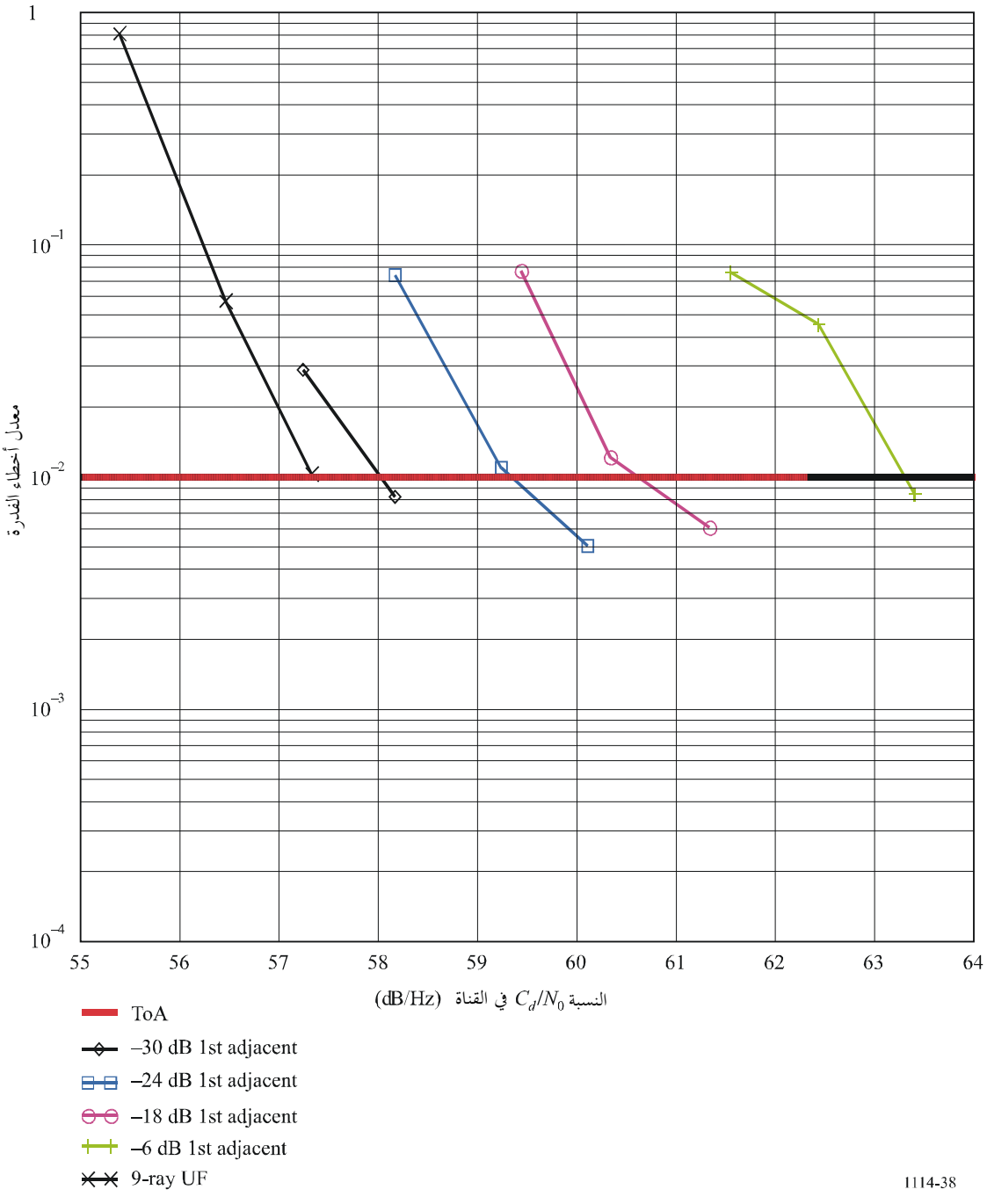


2.9 الأداء مع خبو رايلي

يقيس هذا الاختبار أداء النظام والإشارات السمعية المسجلة عند العتبة ToA الرقمية مع ضوضاء غوسية وأنماط مختلفة من خبو رايلي. ويظهر الأداء في المنحنيات البيانية لمعدل أخطاء الفدرة في الشكل 38 والجدول 24. وتشير النتائج إلى عدم التأثير بشكل الخبو باستثناء حالة الخبو البطيء الحضري الذي نُنتج حالات خبو في الإشارة بالغة الطول. وينتج نوع الخبو البطيء الحضري انقطاعات شديدة الإزعاج في الإرسالات التماثلية القائمة.

الشـــكل 38

نتائج معدل أخطاء الفدرة في النظام الهجين مع خبو سريع في بيئة حضرية وفي 9 مسارات ومع مصدر مسبب للتداخل في القناة المجاورة الأولى ذات الخبو المنفصل



1.2.9 الخبو السريع في بيئة حضرية (UF)

يعطي الجدول 24 التقييم الشخصي للإشارات السمعية التماثلية الذي يدل على أن النوعية السمعية التماثلية انحطت قبل العتبة ToA الرقمية مباشرة.

2.2.9 الخبو البطيء في بيئة حضرية (US)

يعطي الجدول 24 التقييم الشخصي للإشارات السمعية التماثلية الذي يدل على أن النوعية السمعية التماثلية انحطت قبل العتبة ToA الرقمية مباشرةً.

3.2.9 الخبو السريع في بيئة ريفية (RF)

يعطي الجدول 24 التقييم الشخصي للإشارات السمعية التماثلية الذي يدل على أن النوعية السمعية التماثلية انحطت قبل العتبة ToA الرقمية مباشرةً.

4.2.9 الخبو السريع مع تضاريس معيقة (TO)

يعطي الجدول 24 التقييم الشخصي للإشارات السمعية التماثلية الذي يدل على أن النوعية السمعية التماثلية انحطت قبل العتبة ToA الرقمية مباشرةً.

3.9 أداء النظام في وجود تداخل مع خبو منفصل

يقيس هذا الاختبار أداء النظام والإشارة السمعية التماثلية المسجلة في ضوضاء غوسية وخبو رايلي وبوجود مصادر تداخل مسببة للخبو المنفصل IBOC في القناة المجاورة الأولى والقناة المجاورة الثانية والقناة المشتركة. وقد مرَّ كل مصدر تداخل عبر نفس نمط قناة خبو رايلي مثله مثل الإشارة المطلوبة؛ لكن جميع الإشارات خضعت لخبو منفصل وبالتالي بقيت مستقلة بعضها عن بعض.

1.3.9 تداخل وحيد المصدر في القناة المجاورة الأولى

تتم في الولايات المتحدة الأمريكية حماية المحطات الصنف B المتباعدة بشكل ملائم حتى الكفاف 54 dBu من مصادر تداخل هجينة من القناة المجاورة تتعدى 48 dBu في 50% من المواقع أثناء 10% من الوقت. ونتيجة لذلك أجريت الاختبارات بوجود مصادر تداخل هجينة في القناة المجاورة بقدرات مختلفة تصل على سوية تقل عن سوية الإشارة المطلوبة بـــ 6 dB. وتظهر نتائج معدل أخطاء الفدرة في الشكل 38 والجدول 24. وكما هو متوقع ينحط الأداء كلما ازدادت سوية التداخل في المدى من $-30\ dB_{des}$ إلى $-6\ dB_{des}$. غير أن خوارزمية إلغاء التداخل في القناة المجاورة الأولى والمستخدمة في المستقبل تضمن نوعية أداء أفضل للنظام حتى بوجود تداخل عالي السوية في القناة المجاورة الأولى في بيئة حضرية للخبو السريع. ويقدم الجدول 24 التقدير الشخصي للإشارات السمعية التماثلية الذي يدل على أن النوعية السمعية للإشارات التماثلية تنحط قبل العتبة ToA الرقمية تماماً في جميع سويات القنوات المجاور الأولى.

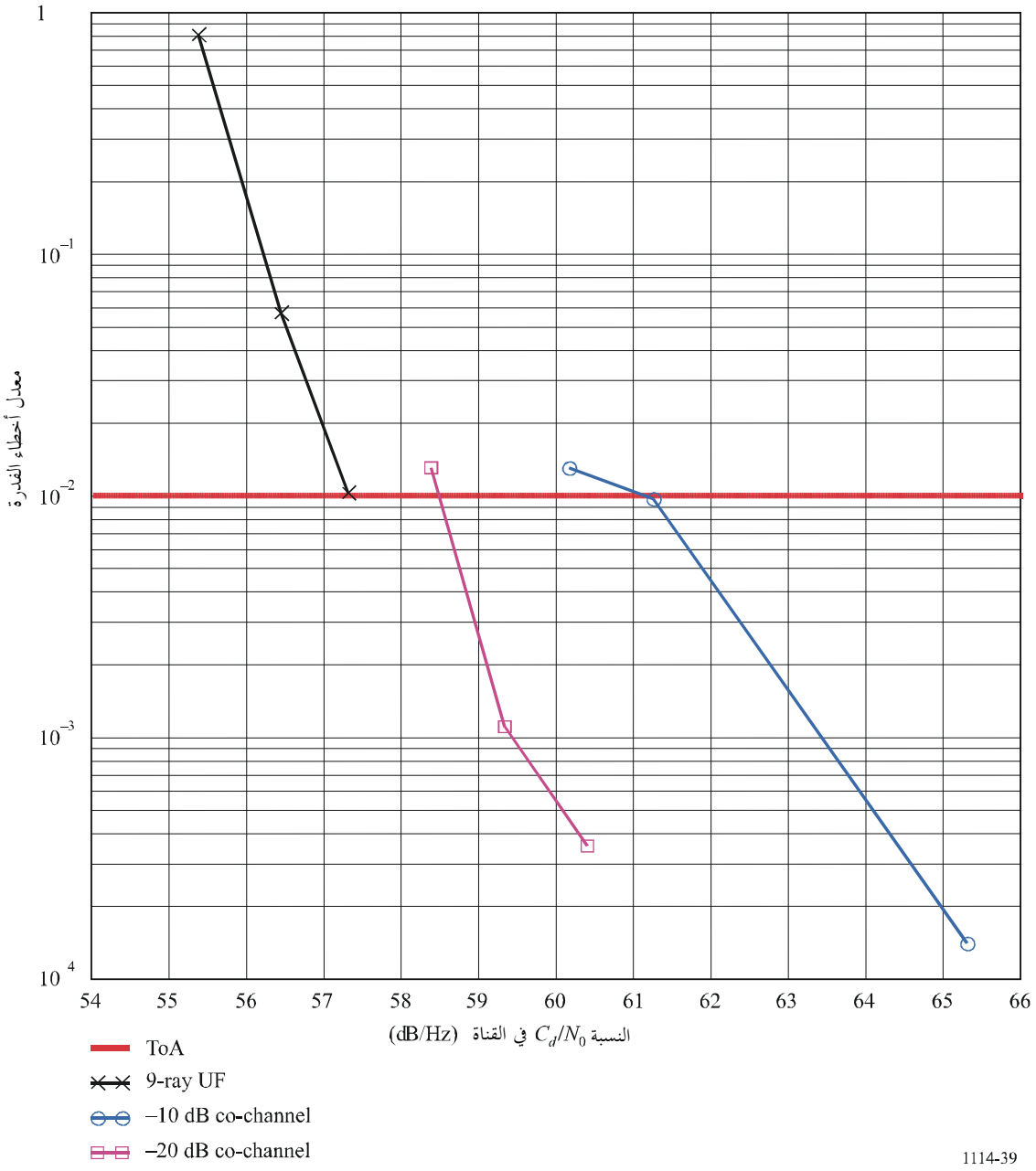
2.3.9 تداخل وحيد المصدر في القناة المشتركة

تتم في الولايات المتحدة الأمريكية حماية محطات الصنف B المتباعدة بشكل ملائم حتى كفاف قدره 54 dB من التداخل الذي تسببه القناة المشتركة والذي يتجاوز 34 dBu في 50% من المواقع أثناء 10% من الوقت. ويعني ذلك أن النسبة (*D/U*) (الإشارة المطلوبة/الإشارة غير المطلوبة) تتجاوز 20 dB خلال 90% من الوقت عند الكفاف 54 dBu. واستناداً إلى هذه المعلومات يمكن تسجيل عدد من الملاحظات بخصوص طبيعة تداخل ضئيل على أداء الإشارة الرقمية المطلوبة لأن قدرتها تقل عادة بمقدار 20 dB على الأقل عن النطاقات الجانبية الرقمية عند الكفاف المحمي التماثلي 54 dBu. وقد ثبت ذلك في الاختبارات المخبرية. واستخدام تداخل قناة مشتركة هجين بمقدار $-20\ dB_{des}$ مع إشارة هجينة مطلوبة في بيئة خبو سريع حضري وتظهر نتائج معدل أخطاء الفدرة في الشكل 38 والجدول 24. ويدل الشكل 39 على أن إضافة تداخل قناة مشتركة هجين بمقدار $-20\ dB_{des}$ يسبب انحطاطاً في الأداء لا يتجاوز 1 dB. كما يبين الشكل 38 أن تزايد الانحطاط ينحصر عند أقل

من 3 dB حتى إذا ازدادت سوية تداخل القناة المجاورة إلى $-10\ dB_{des}$. ويقدم الجدول 24 التقدير الشخصي للإشارات السمعية التماثلية الذي يدل على النوعية السمعية للإشارة التماثلية انحطت قبل العتبة ToA الرقمية تماماً بوجود تداخل قناة مشتركة بمقدار $-20\ dB_{des}$. أما عند استخدام التداخل في القناة المشتركة بمقدار $-10\ dB_{des}$ فإن النوعية السمعية للإشارات التماثلية ينحط إلى درجة الانقطاع حتى قبل أن تصل الإشارة السمعية الرقمية إلى العتبة ToA.

الشـــكل 39

نتائج معدل أخطاء القدرة في النظام الهجين مع تداخل تسببه 10 قنوات وخبو منفصل

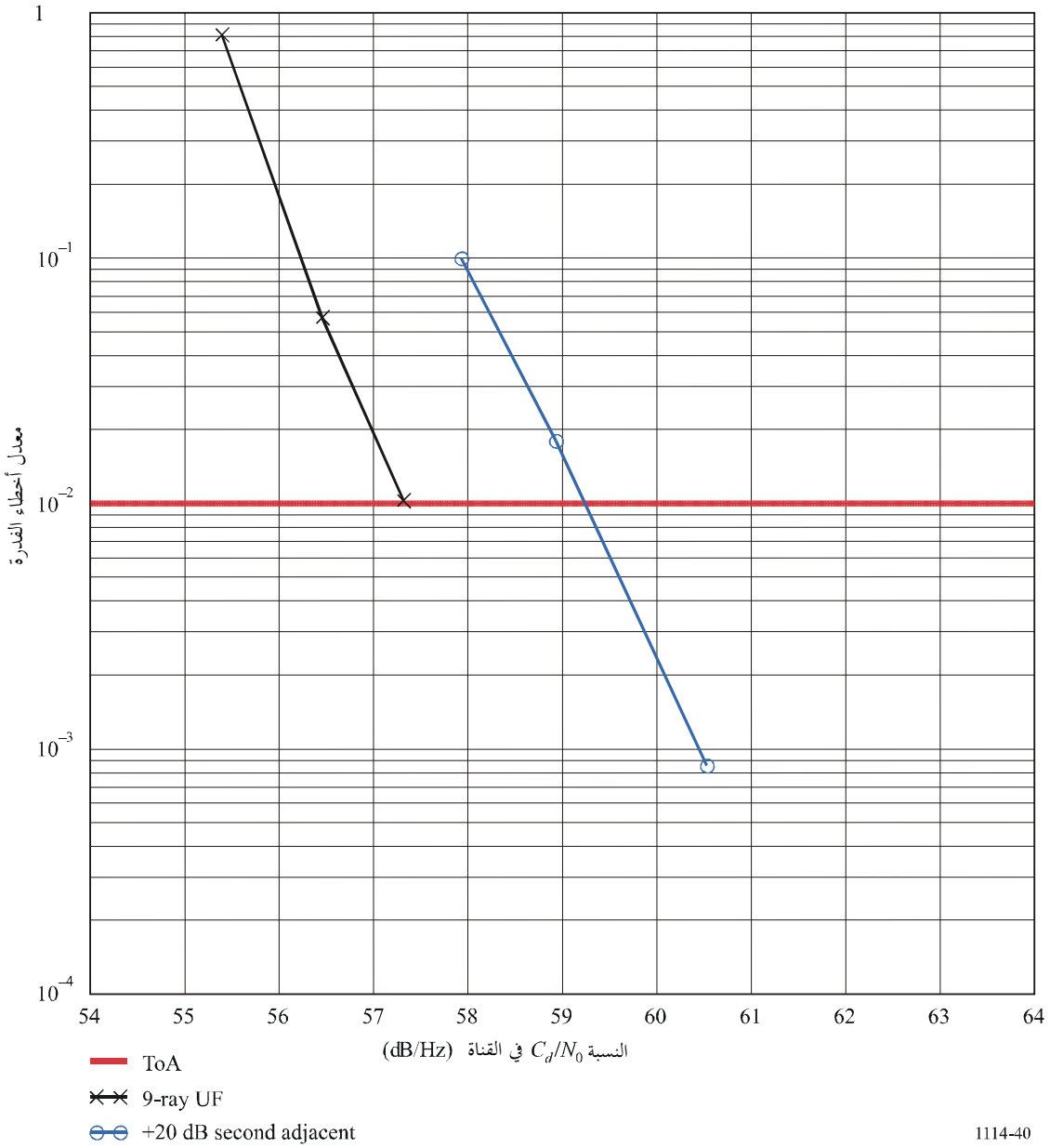


3.3.9 تداخل وحيد تسببه القناة المجاورة الثانية

قد يكون للتداخل IBOC الهجين الذي تسببه القناة المجاورة الثانية أثر طفيف على أداء الإشارة الرقمية إذ أن الفصوص الجانبية للتداخل قد تنغلق لتعطي نطاقات جانبية رقمية مطلوبة. وقد تم تحديد مقدار هذا الأثر في اختبارات مخبرية. وقد استعمل تداخل وحيد هجين قدره +20 dB تسببه القناة المجاورة الثانية للإشارة الهجينة المطلوبة في بيئة حضرية سريعة الخبو. وتظهر نتائج معدل أخطاء الفدرة في الشكل 40 والجدول 24. ويدل الشكل 40 على أن تداخلاً هجيناً بمقدار +20 dB تسببه القناة المجاورة الثانية يسفر عن انحطاط في الأداء يقدر بـــ 2 dB تقريباً. ويقدم الجدول 24 تقييماً شخصياً للإشارات السمعية التماثلية يدل على أن نوعية الإشارة السمعية التماثلية تنحط قبل العتبة ToA الرقمية تماماً.

الشـــكل 40

نتائج معدل أخطاء الفدرة في النظام الهجين بوجود تداخل تسببه القناة المجاورة الثانية وخبو منفصل



4.9 الاستنتاجات

تدل التسجيلات على أن الإشارات السمعية التماثلية المقابلة تظهر انحطاطاً سمعياً في جميع البيئات المختبرة عند النقطة التي تبدأ فيها الإشارة الرقمية بالانحطاط. مما يفترض أن الإشارة السمعية التماثلية تنحط عند سويات الإشارة حيث لم يظهر بعد انحطاط الإشارة السمعية الرقمية، أي أن أداء الإشارة الرقمية عند نقطة العتبة ToA الرقمية يتقدم على أداء الإشارة التماثلية القائمة. وعندما يبدأ ظهور الانحطاط في الإشارة الرقمية يتغير المستقبل IBOC أتوماتياً إلى الإشارة التماثلية. وهكذا يكون أداء النظام الرقمي C أفضل من أداء الخدمة FM التماثلية الراهنة.