الاتحـاد الدولـي للاتصـالات
قطاع الاتصالات الراديوية

منشورات ITU
التوصيات

التوصية ITU-R SM.853-2

(2024/09)

السلسلة SM: إدارة الطيف

عرض النطاق اللازم

تمهيد

يضطلع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد لمدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها.

ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهرتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في القرار ITU-R 1. وترد الاستمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني https://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en حيث يمكن أيضاً الاطلاع على المبادئ التوجيهية الخاصة بتطبيق سياسة البراءات المشتركة وعلى قاعدة بيانات قطاع الاتصالات الراديوية التي تتضمن معلومات عن البراءات.

سلاسل توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

(يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني https://www.itu.int/pub/R-REC/ar)

السلسلة	العنوان
BO	البث الساتلي
BR	التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية
BS	الخدمة الإذاعية (الصوتية)
BT	الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)
F	الخدمة الثابتة
M	الخدمة المتنقلة وخدمة التحديد الراديوي للموقع وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة
P	انتشار الموجات الراديوية
RA	علم الفلك الراديوي
RS	أنظمة الاستشعار عن بُعد
S	الخدمة الثابتة الساتلية
SA	التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية
SF	تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة
SM	**إدارة الطيف**
SNG	التجميع الساتلي للأخبار
TF	إرسالات الترددات المعيارية وإشارات التوقيت
V	المفردات والمواضيع ذات الصلة

ملاحظة: *تمت الموافقة على النسخة الإنكليزية لهذه التوصية الصادرة عن قطاع الاتصالات الراديوية بموجب الإجراء الموضح في القرار ITU-R 1.*

النشر الإلكتروني
جنيف، 2025

© ITU 2025
جميع حقوق النشر محفوظة. لا يمكن استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي شكل كان ولا بأي وسيلة إلا بإذن خطي من الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU).

التوصية ITU-R SM.853-2

عرض النطاق اللازم

(2024-1997-1992)

نطاق التطبيق

تقدم هذه التوصية صيغ حساب عرض النطاق اللازم.

مصطلحات أساسية

عرض النطاق اللازم، تشكيل التردد، تشكيل رقمي، انحراف القناة، صيغ حساب عرض النطاق

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن مفهوم "عرض النطاق اللازم" المحدد في الرقم **152.1** من لوائح الراديو يفيد في تحديد الخواص الطيفية لبث معين، أو صنف من أصناف البث، بأبسط الطرق الممكنة؛

ب) أنه فيما يتعلق بكفاءة استخدام طيف التردد الراديوي (RF)، يجب معرفة عروض النطاق اللازمة لأصناف البث إفرادياً، وأنه في بعض الحالات لا يمكن تطبيق الصيغ الواردة في التوصية ITU-R SM.1138 والتقرير ITU-R SM.2048 كمرجع، وأنه يجب تقييم عرض النطاق اللازم لأصناف بث معينة مقابل معيار إرسال معين ومقابل الجودة المطلوبة؛

ج) أن التغييرات في التكنولوجيا أدت إلى إضافات وتغييرات في التشكيلات المستخدمة في الاتصالات الراديوية؛

د) أن المعلمات العددية المستخدمة في صيغ عرض النطاق اللازم قد تتغير بمرور الوقت بسبب التغيرات في خصائص الإشارة (مثل متوسط مستوى المتكلم)،

توصي

بضرورة استكمال صيغ عرض النطاق اللازم (الواردة في التوصية ITU-R SM.1138) بالصيغ الواردة أدناه.

1 تعدد الإرسال بتقسيم التردد متعدد القنوات (FDM-FM) – بث بتشكيل التردد

لمراعاة التغيرات في متوسط مستوى المتكلم، والتي قد تحدث بمرور الوقت، تكون صيغة عرض النطاق اللازم B_n لبث FDM متعدد القنوات كالتالي:

$$B_n = 2M + 2\left[d \times 3.76 \times \text{antilog}\left(\frac{X + Y \log N_c}{20}\right)\right] K$$

حيث:

M: تردد التشكيل الأقصى (Hz)

d: الانحراف لكل قناة

N_c: عدد الدارات في تحميل الرسائل متعددة الإرسال

K: وحدة

X =	2–	إلى	2,6+	من أجل	$60 > N_c \geq 12$	ومن أجل Y = 2
X =	5,6–	إلى	1,0–	من أجل	$240 > N_c \geq 60$	ومن أجل Y = 4
X =	19,6–	إلى	15,0–	من أجل	$240 \leq N_c$	ومن أجل Y = 10.

المصطلح الوارد بين قوسين هو انحراف الذروة، D. ويمثل البسط ($X + Y \log N_c$) للكسر متوسط قدرة الإشارة المركبة الواصلة إلى دخل مُشكِّل المرسِل.

ويرد أساس هذه الصيغة في الملحق 1 بالفقرة 1. وعلى وجه الخصوص، يبين الملحق 1 كيفية تحديد القيمة المناسبة للمتغير.

2 بث نبضي غير مشكل

يرد في الجدول 1 عرض النطاق اللازم نبضات غير مشكلة ذات شكل نبضة شبه منحرفة أو مستطيلة.

الجدول 1

بث نبضي غير مشكل

وصف البث	عرض النطاق اللازم		تسمية البث
	الصيغة	عينة من الحساب	
بث نبضي غير مشكل	الحالة 1: $B_n = \frac{1.79}{\sqrt{t \cdot t_r}}$ Hz عند نقاط 20 dB تحت ذروة قيمة غلاف طيف نبضة شبه منحرفة	$t = 3 \times 10^{-6}$ s $t_r = 0.06675 \times 10^{-6}$ s عرض النطاق: 4×10^6 Hz	4M00P0N
	الحالة 2: $B_n = 1.27 \sqrt{\frac{\frac{1}{t_r} + \frac{1}{t_f}}{t}}$ عند نقاط 20 dB تحت ذروة قيمة غلاف طيف نبضة شبه منحرفة غير متناظرة	$t = 3 \times 10^{-6}$ s $t_r = 0.06675 \times 10^{-6}$ s $t_f = 0.167 \times 10^{-6}$ s عرض النطاق: 3.36×10^6 Hz	3M36P0N
	الحالة 3: $B_n = \frac{6.36}{t}$ Hz عند نقاط 20 dB تحت ذروة قيمة غلاف طيف نبضة مستطيلة (مثالية)	$t = 1.41 \times 10^{-6}$ s $B_n = 4.5 \times 10^6$ Hz	4M50P0N

يتضمن الملحق 2 الطريقة المستخدمة لتحديد عرض النطاق اللازم للنبضات غير المشكلة.

3 تشكيل رقمي

يرد في الجدول 2 عرض النطاق اللازم وقيم K النموذجية للعديد من التشكيلات الرقمية.

ويتضمن الملحق 3 الطرائق المستخدمة لتحديد عروض النطاق اللازمة للتشكيل الرقمي.

الجدول 2

تشكيل رقمي

التشكيل والشروط	صيغة عرض النطاق اللازم	مثال على قيمة K	النسبة المئوية لاحتواء القدرة الكسرية في عرض النطاق[1]
2-PSK (غير مرشح) $S = 2$ (محسوب)	$B_n = \frac{2K R}{\log_2 S}$	10,28 2,0	99 95
2-PSK (مرشح، $BER = 1 \times 10^{-3}$) $S = 2$ (محسوب)	$B_n = \frac{2K R}{\log_2 S}$	[2]1,0 [3]0,75	100 100
MSK (غير مرشح) $S = 2$ (محسوب) $D = 0.25\ R$	$B_n = 2\frac{R}{\log_2 S} + DK$	0.36 3,52	99 99,9
تشكيل MSK بترشيح غوصي (GMSK) تشكيل مسبق 3 dB عرض نطاق المرشاح الغوسي = R 0.25 $S = 2$ (محسوب) $D = 0.25\ R$	$B_n = 2\frac{R}{\log_2 S} + DK$	0,28– 0,18	99 99,9
FM رقمي (تشكيل FSK بانضغاط مستمر) نبضات مستطيلة $S = 2$ (محسوب) $D = 0.25\ R$	$B_n = 2\frac{R}{\log_2 S} + DK$	0,89	99
m-QAM موجة صغرية رقمية $S = 2^n$ $(n \geq 2)$ تناقص = 0 إلى 1 50% مقسمة Tx/Rx مرشحة على النحو الأمثل (محسوبة) [4]، [5]	$B_n = \frac{2K R}{\log_2 S}$	انظر الشكل 1	انظر الشكل 1

ملاحظات على الجدول 2:

BER: معدل الخطأ في البتات (Bit error ratio)

FSK: تشكيل بزحزحة التردد (Frequency Shift Key)

MSK: إبراق بزحزحة دنيا (minimum shifting key)

PSK: إبراق بزحزحة الطور (Phase shift keying)

QAM: تشكيل اتساع تربيعي (Quadrature amplitude modulation)

[1] تتوقع التوصية ITU-R F.1191 أنه بالنسبة للأنظمة المشكلة رقمياً في الخدمة الثابتة، ينبغي تحديد عرض النطاق اللازم لاحتواء نسبة مئوية من القدرة الكسرية تساوي 99%.

[2] في هذه الحالة $E_b/N_0 = 7.5$ dB.

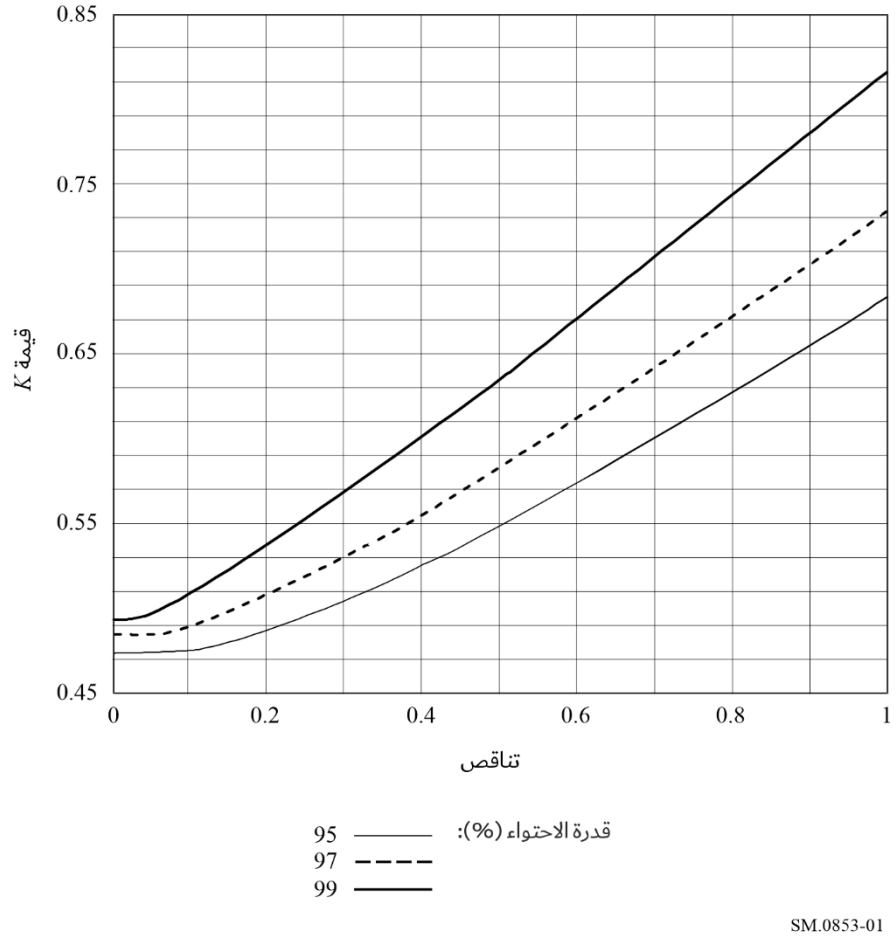
[3] في هذه الحالة $E_b/N_0 = 9.3$ dB.

[4] يمكن للترشيح العملي أن يحدث فرقاً طفيفاً في القيمة K مقابل علاقة الاحتواء المحسوبة

[5] تتزامن أنساق 4-QAM و8-QAM مع أنساق 4-PSK و8-PSK المرشحة.

الشكل 1

قيمة *K* مقابل تناقص معلمات أنساق التشكيل *m*-QAM: عامل احتواء القدرة



الملحق 1

حسابات عرض النطاق اللازم FDM-FM

1 البث متعدد القنوات بتشكيل التردد وبتقسيم التردد (FM-FDM)

تتضمن التوصية ITU-R SM.1138 – تحديد عروض النطاق اللازمة بما في ذلك أمثلة عن كيفية حسابها وأمثلة مصاحبة عن تسمية البث، في الملحق 1، الجدول B-III، العوامل الضرورية للاستعمال في حساب انحراف تردد الذروة للبث FDM-FM متعدد القنوات. ويعدّ انحراف تردد الذروة عاملاً حاسماً في قاعدة كارسون، $2DK + 2M = B_n$، المستخدمة لحساب عرض النطاق اللازم لأغراض تخصيص طيف التردد. ويُستنسخ الجدول B-III بوصفه الجدول 3.

وتمثل العوامل 2,6 و–1 و–15 قيم القدرة المتوسطة (dBm0 (انظر الملاحظة 1)) التي تم الحصول عليها في دارة معمارية للشبكة الهاتفية العمومية التبديلية التجارية. وتستند القيم، في الواقع، إلى قياسات "حجم المتكلم" التي أجريت في عام 1960 والتي تم الاتفاق

عليها اللجنة الاستشارية الدولية للراديو (CCIR) السابقة ثم لاحقاً في المؤتمر الإداري العالمي للراديو (جنيف، 1979) حسب الاقتضاء، لأغراض حساب عرض النطاق اللازم.

الملاحظة 1 – تشير "dBm0" إلى القدرة (dB) نسبة إلى 1 mW المشار إليها كنقطة سوية الإرسال النسبية الصفرية.

الجدول 3

البث متعدد القنوات بتشكيل التردد وبتقسيم التردد (FM-FDM)

عامل الضرب الواجب استعماله لحساب *D*، انحراف تردد الذروة، في البث متعدد القنوات بتشكيل التردد وبتقسيم التردد (FM-FDM)	
بالنسبة للأنظمة FM-FDM يكون عرض النطاق اللازم كالتالي: $B_n = 2M + 2DK$ تُحسب قيمة D، أو انحراف تردد الذروة في المعادلات من أجل B_n بضرب القيمة الفعالة لانحراف كل موجة في "عامل الضرب" الوارد أدناه. في حالة وجود موجة استمرار دليلة بتردد f_p فوق أقصى تردد للتشكيل M، تتخذ الصيغة العامة الشكل التالي: $B_n = 2fp + 2DK$ إذا كان دليل تشكيل الموجة الحاملة الرئيسية الناتج عن الموجة الدليلة يقل عن 0,25 وكانت القيمة الفعالة لانحراف تردد الموجة الحاملة الرئيسية الناتجة عن الموجة الدليلة أقل من 70% من القيمة الفعلية لانحراف كل قناة أو مساوية لها، تتخذ المعادلة العامة شكل المعادلة التي تعطي أكبر قيمة من بين المعادلتين التاليتين: $B_n = 2f_p$ or $B_n = 2M + 2DK$ أيهما أكبر.	
عدد القنوات الهاتفية، N_c	Multiplying factor[1]
	(Peak factor) × antilog $\left[\frac{\text{Value in dB above modulation reference level}}{20}\right]$
عامل الضرب الواجب استعماله لحساب *D*، انحراف تردد الذروة، في البث متعدد القنوات بتشكيل التردد وبتقسيم التردد (FM-FDM)	
$3 < N_c < 12$	$4.47 \times \text{antilog}\left[\frac{\text{Value in dB specified by the equipment manufacturer or station licensee, subject to administration approval}}{20}\right]$
$12 \le N_c < 60$	$3.76 \times \text{antilog}\left[\frac{2.6 + 2\log N_c}{20}\right]$
$60 \le N_c < 240$	$3.76 \times \text{antilog}\left[\frac{-1 + 4\log N_c}{20}\right]$
$N_c \ge 240$	$3.76 \times \text{antilog}\left[\frac{-15 + 10\log N_c}{20}\right]$

[1] في هذا الجدول يقابل عاملا الضرب 3,76 و4,47 عوامل ذروة ذوي 11,5 و13,0 dB، على التوالي.

في عامي 1975 و1976، أجري مزيد من القياسات لقدرة إشارة الكلام في نفس الدارات والشبكات، باستخدام منهجية مماثلة، وذلك للسماح بإجراء مقارنة مباشرة للنتائج مع العمل السابق. وكانت القياسات اللاحقة قيد الدراسة، سواء في دوائر الصناعة أو الحكومات، منذ ذلك الوقت، مما أدى في النهاية إلى تعديلات على التطبيقات المنزلية النموذجية في شبكات الهاتف العمومية التبديلية.

ولتلخيص الدراسة التي أجريت في الفترة 1975-1976، والتي تضمنت أسباب حدوث اختلافات عن الدراسة السابقة، تَبيّن أن التغييرات الجوهرية قد تراكمت بمرور الوقت مما أدى إلى انخفاض متوسط في متوسط مستوى قدرة المتكلم الفعلي بحوالي 4,6 dB. وأدت هذه التغييرات إلى زيادة اتساق الخدمة في الشبكات العمومية التبديلية من منظور حجم الكلام. وتشمل هذه التغييرات نسبة الأنظمة التي تعمل بالبطاريات بين المدن وتحسينات في خطة الخسارة، وأجهزة الهاتف المطوَّرة، وزيادة التوصيل المباشر. وأصبحت

المراقمة المباشرة لمسافات طويلة ممارسة شائعة مع استخدام تقنيات جديدة لتصميم العرى وخطوط الاتصالات الرئيسية. وعلاوةً على ذلك، سهّلت التكنولوجيا المتقدمة لحيازة البيانات الرقمية قياس قدرة إشارة الكلام في الفترة 1975-1976 بدقة أكبر مما كان ممكناً في عام 1960 عندما استخدمت مقاييس وحدة الحجم لهذا الاستقصاء. وانخفض الانحراف المعياري لجميع القياسات بين استقصاءات 1960 و1975-1976 بمتوسط قدره حوالي الثلث، من 7 إلى 4,6 وحدة حجم. واستُخدمت خطة اعتيان إحصائية متعددة المراحل لقياسات قدرة المتكلم على أكثر من 10 000 مكالمة، صادرة من حوالي 500 2 عروة. وكان متوسط قدرة إشارة المحادثة (القيمة المتوسطة على امتداد فترة المراقبة بأكملها)، ومقياس جديد لمستوى الكلام المعروف باسم مستوى الذروة المكافئ (EPL) هما القياسان المستخدمان لتوصيف إشارات المتكلم. وسُجل التيار المستمر للعروة وصنف الخدمة ونوع التبديل ومقصد المكالمة كجزء من الدراسة التي أجريت في الفترة 1975-1976.

الملاحظة 2 – وحدة الحجم هي إحدى طرق قياس مستوى الصوت باستخدام مؤشر مستوى القدرة المعاير بالديسيبل (dB) لجهد موجة جيبية ثابت، مع مرجع 1 mW على 600 Ω. واستجابة المؤشر ليست مرجحة بالتردد. وقراءات وحدة الحجم هي متوسطات تم الحصول عليها من مجموعة معينة من الخصائص الباليستية (الميكانيكية) لجهاز القياس.

وأشارت دراسة لاحقة إلى أنه مع أنظمة الشبكة العمومية التبديلية (1975 و1976)، كان هناك اعتماد ضئيل لقدرة إشارة الكلام على مقصد المكالمة أو الفئة الأصلية للخدمة (سكنية، تجارية، محلية، لمسافات طويلة ومجتمعةً). وتُفسر الاختلافات الصغيرة في معظمها بحسب خصائص العروة. وهناك اختلاف ضئيل، إن وجد، في قدرة إشارة الكلام التي تعزوها استنتاجات الدراسة إلى عوامل نفسية مثل مسافة المكالمة أو إدراك الحجم المستلم. ويشير متوسط القيم المقيسة إلى أن شبكة الاتصالات التبديلية في الفترة 1975-1976 كانت شفافة أساساً للعملاء بمعنى أن قدرة إشارة المتكلم لا تتوقف على مسافة المكالمة، أو فئة المكالمة (محلية أو بعيدة المسافة)، أو أي عوامل أخرى خارج ظروف العروة المحلية. وباختصار، يُعتقد أن القياسات اللاحقة "لمستوى المتكلم" عبر الهاتف تشير إلى نفس مستويات الكلام العادية للسكان عند عدم استخدام الهاتف. ويستنتج أنه من المتوقع حدوث تغيير طفيف أو عدم حدوث أي تغيير آخر في مستوى المتكلم التمثيلي في المستقبل على الشبكة الهاتفية العمومية التبديلية حيث أُخذت القياسات. وبالتالي، ينبغي أن تؤخذ هذه الحقيقة في الاعتبار عند فحص صيغ عرض النطاق اللازم لأنظمة FDM-FM عندما يشكل الكلام الهاتفي جزءاً هاماً من إجمالي الدارة FDM-FM.

في الصيغة B_n المبينة في الجدول 3، فإن العوامل الثلاثة 2,6 و–1 و–15 هي مكونات عامل الضرب المستخدم لتحديد D، أو انحراف تردد الذروة. وتتمثل النتائج العملية لانخفاض "قدرة المتكلم" على الدارة الهاتفية التي تغذي دارة راديوية FDM-FM في تقليل انحراف الذروة. وهناك ثلاث معلمات مستقلة تحدد انحراف الذروة لإشارة FM، وكلها مقيدة بتصميم النظام بحيث تحد من القيمة القصوى لكل منها بحيث لا تتجاوز D قيمة محددة مسبقاً (في أنظمة FDM-FM). وهذه المتغيرات هي:

– القيمة r.m.s. لانحراف كل قناة،

– متوسط القدرة في قناة الرسالة،

– إجمالي عدد القنوات في تحميل الرسالة متعددة الإرسال.

وإذا أمكن خفض متوسط قدرة إشارات الكلام، كما هو مبين في الدراسة التي أجريت في الفترة 1975-1976، فيمكن التوصل إلى حل وسط مع المعلمتين الأخريين. ويمكن تحقيق ذلك من خلال ما يلي:

– زيادة عدد القنوات في نفس عرض نطاق التردد،

– زيادة كفاءة استخدام الطيف عن طريق تقليل عرض النطاق لنفس العدد من القنوات،

– مزيج من الطريقتين.

فعلى سبيل المثال، في الأنظمة التي تستخدم قنوات رسائل بنوعية صوتية عند 4 kHz، يمكن أن تتباين نسبة حركة البيانات إلى الحركة الصوتية. ويمكن للمستعمل أن يختار البقاء ضمن عرض نطاق تردد محدد ثم اختيار متوسط مستوى قدرة قناة الرسالة، لتحقيق حل وسط بين زيادة عدد قنوات الرسالة وانحراف تردد كل منها. وبالنسبة لنسبة معينة من حركة البيانات إلى الحركة الصوتية، قد يعتبر المستعمل أن زيادة كبيرة جداً في عدد قنوات الرسائل عند 4 kHz من شأنها أن تقلل من الانحراف لكل قناة إلى النقطة التي تتدهور

فيها جودة الإشارة. ومع ذلك، يمكن اختيار مستوى متوسط لقدرة قناة الرسالة يبقى ضمن عرض نطاق التردد الراديوي المحدد والذي يمكن أن يسمح ببعض الزيادة في عدد قنوات الرسائل مع السماح في الوقت نفسه بزيادة نسبية في انحرافات تردد القناة الفردية. وبهذه الطريقة، بدلاً من استخدام كل الطيف المتاح لزيادة عدد قنوات الرسائل إلى أقصى حد، سيكون من الممكن الحصول على زيادة في قيمة انحراف كل قناة، مما يتيح تحسيناً في نسبة الإشارة إلى الضوضاء وانخفاضاً محتملاً في معدل خطأ البتات لحركة البيانات.

ولذلك يمكن تصميم نظام موجات صغرية بحيث يتم اختيار معلمة لمتوسط مستوى قدرة الرسالة بين المستوى المستعمل في المعادلات الحالية ومستوى أقل بمقدار 4,6 dB. وهناك أسباب وجيهة لتغيير (أي زيادة) المعلمات الأخرى المتاحة في النظام عند انخفاض متوسط مستوى قدرة الرسالة (قدرة المتكلم). غير أن قرار إجراء التغيير مناسب لشركات التشغيل (أو الحكومات) المعنية، مع مراعاة مزايا ومساوئ المفاضلات الممكنة.

والنقطة المهمة هنا هي التعرف على متوسط مستوى "قدرة المتكلم" المتغير. ولمراعاة الانخفاض في متوسط "قدرة المتكلم" بمقدار 4,6 dB في الدارات الهاتفية الصوتية، يستعاض عادة عن القيم 2,6 و–1 و–15 بالمتغير X الذي يمكن أن يتراوح بعد ذلك بين الحدود المكونة من القيم الحالية، والقيم المقابلة التي تقل بمقدار 4,6 dB، تبعاً للعدد الإجمالي للدارات في نظام FDM-FM، وتكوين النظام نفسه.

وبالتالي، فإن عرض النطاق اللازم، B_n هو:

$$B_n = 2M + 2\left[d \times 3.76 \times \text{antilog}\left(\frac{X + Y \log N_c}{20}\right)\right] K$$

حيث:

M: تردد التشكيل الأقصى (Hz)

d: الانحراف لكل قناة

N_c: عدد الدارات في تحميل الرسائل متعددة الإرسال

K: وحدة

$X = -2$ إلى $+2,6$ من أجل $60 > N_c \geq 12$ ومن أجل $Y = 2$

$X = -5,6$ إلى $-1,0$ من أجل $240 > N_c \geq 60$ ومن أجل $Y = 4$

$X = -19,6$ إلى $-15,0$ من أجل $240 \leq N_c$ ومن أجل $Y = 10$.

والمصطلح الوارد بين قوسين هو انحراف الذروة، D. ويمثل البسط $(X + Y \log N_c)$ للكسر متوسط قدرة الإشارة المركبة الواصلة إلى دخل مُشكِّل المرسِل. وتتوافق القيمة 3,76، كما هو مذكور في الجدول 3، مع عامل ذروة يبلغ 11,5 dB

ولتحديد قيمة X بشكل صحيح في الصيغة من أجل B_n، من المفيد تلخيص الشروط المطبقة التي تُستخدم بموجبها في نظام FM-FDM. وقد يكون الاختيار النهائي ضمن المدى 4,6 dB تجريبياً. ويتضح من تفاصيل الدراسة المجمعة أن متوسط "مستويات قدرة المتكلم" البالغ –2 و–5,6 و–19,6 dBm0 ينبغي أن يحل محل الأرقام المقابلة من أجل $N_c \geq 12$ في صيغة B_n بنظام FDM-FM يُستخدم لتوفير توصيلات رئيسية للدارات الهاتفية العامة التجارية الحديثة حيث تستخدم معظم قنوات FDM-FM للكلام.

وفي أنظمة FM الأصغر أو الخاصة أو الأقدم، ولا سيما تلك حيث $N_c > 12$ أو تلك التي تحتوي على بيانات (غير صوتية) في معظم القنوات، تنطبق القيم الأصلية اسمياً، كما هو موضح في الجدول 3. وتعمل دارات البيانات النموذجية متعددة القنوات بمستويات قدرة تتراوح بين –13 و–15 dBm0. ولذلك، سيُحدد حد التحميل المركب باستخدام القيمة $X = -13$ إلى –15 للأنظمة ذات النسبة المئوية الكبيرة من دارات البيانات من أجل $N \leq 240$. وتشوير القنوات الفردية، على عكس تشوير القنوات المشتركة، هو مؤشر على أن مستوى –15 dBm0 قابل للتطبيق (الأنظمة ذات $N_c \leq 240$).

والاختيار على مدى 4,6 dB لمستوى قدرة الإشارة هو، كما ذكر أعلاه، اختيار يعتمد إلى حد كبير على الخبرة. ولا علاقة للنطاق RF باختيار معلمات "قدرة المتكلم". وقد لوحظ أنه، كمثال على التطبيق العملي للمعلمات الأحدث، يمكن تشغيل ما يصل إلى 800 1 قناة هاتفية بنفس عرض نطاق الترددات الراديوية لأنظمة الموجات الصغرية للأرض في الخدمة الثابتة من نقطة إلى نقطة المخصصة حالياً لما يصل إلى 500 1 دارة فقط، مما يمثل تطوراً كبيراً من حيث تحسين كفاءة استخدام الطيف.

الملحق 2

حسابات عرض النطاق اللازم للنبضة غير المشكّلة

يُحدد عرض النطاق اللازم في الحالات الشائعة للنبضات غير المشكلة المستطيلة أو شبه المنحرفة. والقيمة 20 dB تحت ذروة الغلاف النظري لطيف النبضات هي المعايير المستخدمة لتحديد عرض النطاق اللازم للنبضات غير المشكلة. وتُحدد قيم غلاف طيف النبضة للنبضات غير المشكلة باستخدام تقنيات حسابية بسيطة.

ويورد الجدول 1 عروض النطاق اللازمة المحسوبة للنبضات غير المشكلة. في الحالة 1 (نبضة شبه منحرفة) يكون عرض النبضة، t، هو الوقت بين نقاط الاتساع 50% وt_r (زمن الصعود) هو الوقت بين نقطتي الاتساع 10% و90%. ويساوي زمن الهبوط، t_f، زمن الصعود tr. وفي الحالة 2، لا يساوي زمن الصعود tr بالضرورة زمن الهبوط t_f. وزمن الهبوط هو الوقت بين نقطتي الاتساع 90% و10%. وفي الحالة 3 (نبضة مستطيلة)، t هو عرض النبضة.

الملحق 3

حسابات عرض النطاق اللازم للتشكيل الرقمي

تتضمن صيغ عروض النطاقات اللازمة لتشكيلات البيانات الرقمية (التوصية ITU-R SM.1138) العامل K الذي يراعي المفاضلات التي تتم عند تصميم النظام. وتتضمن قرارات المفاضلة عادة القدرة وعرض النطاق وأداء النظام (معدل الخطأ في البتات). فعلى سبيل المثال، عند استخدام مستويات عالية من التشكيل، يفضل، في حالة الأنظمة الرقمية في خط البصر، معاوضة القدرة بعرض النطاق. ويمكن للتشكيلات الرقمية ذات المستوى الأعلى، مثل 16-QAM و64-QAM و256-QAM، لكمية معينة من الأطياف أن تنقل بتات/ثانية أكثر من المستويات الدنيا للتشكيل، ولكنها تتطلب قدرة أكبر (أي موجة حاملة إلى ضوضاء أعلى). وعلى العكس من ذلك، ففي الأنظمة الساتلية التي تكون فيها القدرة على متن المركبة محدودة، يفضل استخدام طيف أوسع وطاقة أقل، وتستخدم مستويات منخفضة من التشكيل. وغالباً ما تتطلب الإشارات الرقمية ترشيحاً كبيراً لتحقيق متطلبات حماية القناة المجاورة.

ويمكن أن يحدث ترشيح الإشارات الرقمية كترشيح للتشكيل المسبق لإشارة مرسل النطاق الأساسي أو في نقطة أخرى أو أكثر داخل المرسل أو المستقبل. والتعويض عن إضافة هذا الترشيح هو زيادة نظام C/N. وتعتمد القيم العددية للعامل K على مقدار وشكل خاصية انتقائية المرشاح. وتُصمم خصائص المرشاح على أساس كل حالة على حدة. وبالتالي، ليس من العملي أو المفيد تضمين صيغ عرض النطاق اللازم قيماً عددية مفردة من أجل K.

ويبين الجدول 2 بعض الأمثلة على قيم K لعدة تشكيلات رقمية. وتقابل قيم K هي إما قيم الأطياف المحسوبة أو قيم الأطياف المقيسة. ويتضمن الجدول 2 صيغ عرض النطاق اللازم المستعملة، وقيمة K ومعلمات أخرى مثل القدرة ونسبة E_b/N_0 ومعدل الخطأ في البتات. وصيغة عرض النطاق اللازم (B_n) لنظام FM الرقمي مأخوذة من التوصية ITU-R SM.1138. ويشير R إلى معدل البتات، وS هو عدد حالات التشوير، وD هو انحراف التردد. وتستند صيغة عرض النطاق اللازم للتشكيل PSK إلى مبدأ مفاده أن عرض النطاق هذا يجب أن يكون مضاعفاً لمعدل الرموز.

وتعدّ تشكيلات MSK وGMSK وFM الرقمية أمثلة على فئة من التشكيلات ذات الاتساع الثابت والطور المستمر. ويمكن النظر إلى إشارات الطور المستمر هذه على أنها تستخدم تشكيل الطور والتردد في وقت واحد. ويمكن استخدام أي من صيغ عرض النطاق اللازم (التردد أو الطور) لهذه الفئة من التشكيل. وبما أن الإشارات تصنف بمؤشر تشكيل ($2D/R$)، فقد استخدمت صيغة FSK لعرض النطاق اللازم لهذه الإشارات في الجدول 2. وأيضاً، بالنسبة للتشكيل QAM، تُستخدم صيغة عرض النطاق اللازم PSK. والأساس المنطقي هو أن إشارات m-QAM مكونة من مجموع إحصائي لإشارات $m/2$ 2-PSK ذات اتساعات إشارة مختلفة، ومعدل بتات ($R/\log_2 m$) وبنفس الترشيح.