RECOMMANDATION UIT-R SF.675-3*

CALCUL DE LA DENSITÉ MAXIMALE DE PUISSANCE (MOYENNE DANS UNE BANDE DE 4 kHz) D'UNE ONDE PORTEUSE À MODULATION ANGULAIRE

(1990-1992-1993-1994)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

a) que les administrations sont invitées à préparer les renseignements énumérés dans l'Appendice S4 du Règlement des radiocommunications (RR) aux fins de coordination et de notification;

b) que la densité maximale de puissance par Hz à l'entrée de l'antenne (moyenne dans la bande de 4 kHz la plus défavorisée) est l'un des renseignements énumérés dans l'Appendice S4 du RR;

c) qu'il est nécessaire de disposer de méthodes généralisées pour calculer la densité maximale de puissance d'une onde porteuse à modulation angulaire,

recommande

1. que les méthodes décrites dans l'Annexe 1 soient appliquées au calcul de la densité maximale de puissance (moyenne dans une bande de 4 kHz) d'une onde porteuse à modulation angulaire;

2. que, pour déterminer la densité spectrale maximale de puissance, les administrations utilisent, en accord avec les autres administrations concernées, la méthode de calcul la plus précise dont elles disposent.

ANNEXE 1

Calcul de la densité maximale de puissance (moyenne dans une bande de 4 kHz) d'une onde porteuse à modulation angulaire

On trouvera ci-dessous la description de la méthode de calcul du niveau de puissance dans la bande de 4 kHz la plus défavorisée (W/4 kHz). On obtient la densité de puissance par Hz demandée dans le RR en divisant cette valeur par 4 000.

1. Porteuse modulée en fréquence (MF)

1.1 Porteuse MF modulée par un signal de téléphonie multivoie

La densité spectrale maximale de puissance, lorsque la bande de base est à pleine charge, est déterminée par la porteuse résiduelle ou par les crêtes du spectre continu, selon la nature de la modulation.

La puissance de la porteuse résiduelle est donnée par l'expression:

$$P_t \cdot e^{-\psi 0} \quad \text{W} \tag{1}$$

où:

$$\psi_0 = \frac{m^2}{\varepsilon} \left[C_0 + C_2 \cdot \varepsilon + \frac{C_4}{3} (\varepsilon + \varepsilon^2 + \varepsilon^3) \right] \tag{2}$$

* Les Commissions d'études 4 et 9 des radiocommunications ont apporté des modifications rédactionnelles à cette Recommandation en 2000 conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 44.

Dans l'expression (2), m est l'indice de modulation multivoie quadratique moyen et C_0, C_2 et C_4 sont les coefficients caractérisant la préaccentuation utilisée qui est donnée par l'expression générale suivante:

$$p(f/f_h) = C_0 + C_2(f/f_h)^2 + C_4(f/f_h)^4 \quad (3)$$

Dans cette expression, f est la fréquence spécifique en bande de base prise en compte. Cette fréquence doit être exprimée dans la même unité que f_h. Pour $\varepsilon \le f/f_h \le 1$, une bonne approximation de la caractéristique de préaccentuation de l'UIT (Recommandation UIT-R F.275) est donnée par l'expression:

$$p(f/f_h) = 0{,}4 + 1{,}35(f/f_h)^2 + 0{,}75(f/f_h)^4 \quad (4)$$

Par conséquent, pour un système avec préaccentuation de l'UIT, on a:

$$\psi_0 \approx \frac{m^2}{\varepsilon}\,(0{,}4 + 1{,}6\,\varepsilon + 0{,}25\,\varepsilon^2 + 0{,}25\,\varepsilon^3) \quad (5)$$

où $m = f_\Delta / f_h$.

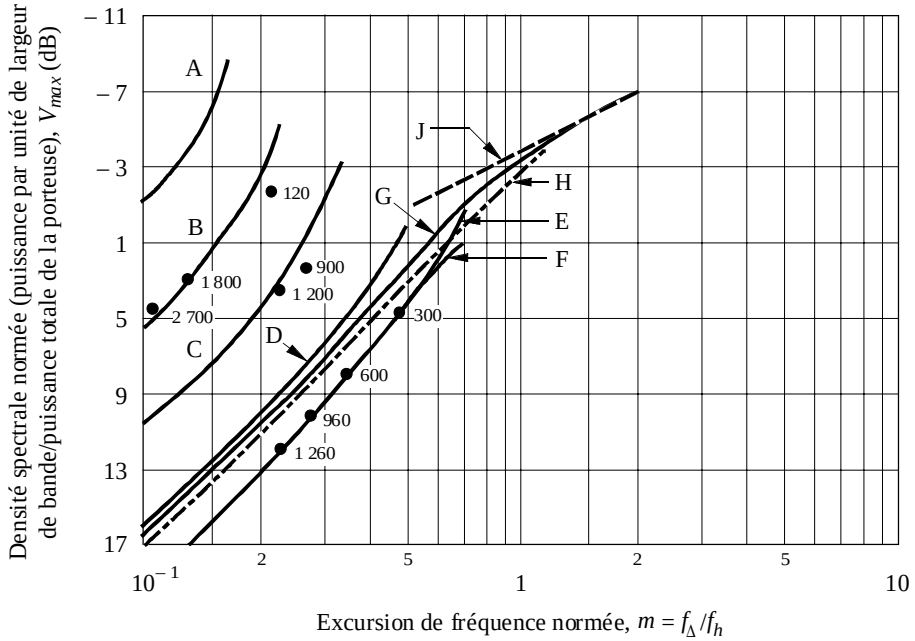
Note 1 – Les administrations sont invitées à fournir des renseignements sur la forme du spectre et la valeur des coefficients utilisés dans les équations (2) et (3), aux fins de coordination détaillée.

On peut obtenir, à partir des Fig. 1 et 2, la valeur approchée de la densité spectrale maximale de puissance dans la partie continue du spectre.

FIGURE 1

Densité spectrale maximale d'un signal (partie continue du spectre) modulé en fréquence par un bruit gaussien

(Préaccentuation conforme à la Recommandation UIT-R F.275)



Courbes A: $\psi_0 = 0{,}1$
B: $\psi_0 = 0{,}2$
C: $\psi_0 = 0{,}4$
D: $\psi_0 = 1{,}0$
E: $\psi_0 = 2{,}0$
F: $\psi_0 = 4{,}0$
G: $\psi_0 = \infty$
H: approximation d'une faible excursion
J: approximation d'une forte excursion

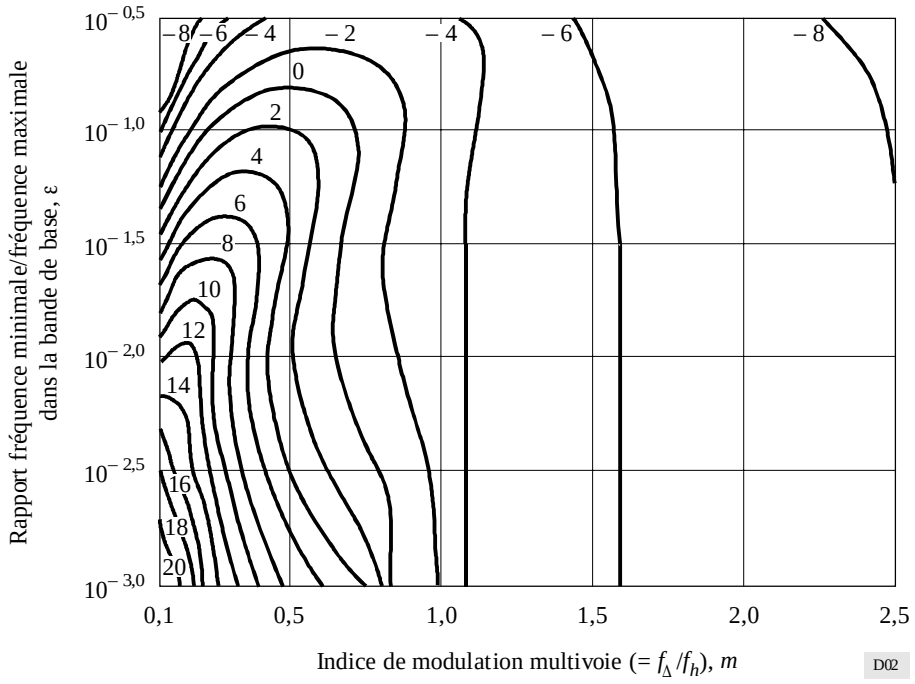
● Valeurs pour les réseaux de faisceaux hertziens normalisés (comme indiqué) correspondant aux limites de bandes de base suivantes:
120 voies 60-552 kHz
960 voies 60-4 028 kHz
1 260 voies 60-5 636 kHz

D01

FIGURE 2

Courbes d'égale densité spectrale maximale (V_{max}) du signal MF-MRF

(préaccentuation conforme à la Recommandation UIT-R F.275)



Dans les équations et sur les figures, les symboles ont les significations suivantes:

P_t: puissance totale de la porteuse (W)

f_Δ: excursion multivoie, valeur quadratique moyenne (Hz)

$$f_\Delta \begin{cases} f_d \times 10^{(-15+10\log N_c)/20} & \text{pour} \quad N_c \geq 240 \\ f_d \times 10^{(-1+4\log N_c)/20} & \text{pour} \quad 240 > N_c \geq 60 \\ f_d \times 10^{(2{,}6+2\log N_c)/20} & \text{pour} \quad 60 > N_c \geq 12 \end{cases}$$

$$\text{ou} \begin{cases} f_d \times 10^{(-15+10\log N_c)/20} & \text{pour} \quad N_c \geq 240 \\ f_d \times 10^{(-1+4\log N_c)/20} & \text{pour} \quad 12 \leq N_c < 240 \end{cases}$$

f_d: excursion quadratique moyenne du signal d'essai (Hz)

N_c: nombre de voies

f_h: fréquence la plus élevée de la bande de base (Hz)

f_1: fréquence la plus basse de la bande de base (Hz)

m: indice de modulation multivoie (= f_Δ / f_h)

ε = f_1 / f_h

V_{max} = $W_{max} f_h / P_t$

W_{max}: puissance spectrale maximale par unité de largeur de bande (W/Hz).

Dans le cas de porteuses où $1 < N \leq 12$, la puissance maximale dans une bande de 4 kHz est donnée approximativement par:

$$P_t \cos^2 \frac{m_b}{1{,}5} \qquad \text{W/4 kHz} \qquad \text{pour } m_b < 1 \tag{6}$$

dans laquelle:

P_t: puissance totale de la porteuse (W)

m_b: indice de modulation de crête (rad) dû à une tonalité d'essai à 0 dBm dans la voie la plus élevée de la bande de base.

1.2 Porteuse MF modulée par un signal de téléphonie multivoie et un signal de dispersion d'énergie de forme d'onde triangulaire et d'amplitude fixe

Les systèmes de dispersion d'énergie à onde triangulaire sont normalement conçus de façon que la densité maximale de puissance spectrale dans une bande de 4 kHz centrée sur la fréquence de la porteuse soit maintenue, à 3 dB près, à la valeur qu'elle a en charge complète.

La densité spectrale de puissance centrée sur la fréquence porteuse est donnée par la formule:

$$\frac{P_t}{\Delta F} \times 4\,000 \qquad \text{W/4 kHz} \tag{7}$$

dans laquelle:

P_t: puissance totale de la porteuse (W)

ΔF: excursion de fréquence crête-à-crête due au signal de dispersion d'énergie (Hz).

Note 1 – L'équation (7) suppose l'utilisation d'une onde de dispersion triangulaire parfaitement linéaire.

1.3 Porteuse MF modulée par un signal vidéo de télévision

– Dans le cas où un signal de dispersion d'énergie de forme d'onde triangulaire est superposé au signal vidéo, la densité maximale de puissance dans une bande de 4 kHz dans le cas le plus défavorable est donnée par la formule:

$$\frac{P_t}{\Delta F} \times 4\,000 \qquad \text{W/4 kHz} \tag{8}$$

où:

P_t: puissance totale de la porteuse (W)

ΔF: excursion de fréquence crête-à-crête, due au signal de dispersion d'énergie (Hz).

Note 1 – L'équation (8) suppose l'utilisation d'une onde de dispersion triangulaire parfaitement linéaire. Pour les émissions vidéo courante de télévision à modulation de fréquence, l'erreur qui découle de cette hypothèse est négligeable.

– Dans le cas où il n'y a pas de modulation ni vidéo ni par signal de dispersion d'énergie, la densité maximale de puissance dans une bande de 4 kHz dans le cas le plus défavorable est donnée par:

$$P_t \qquad \text{W/4 kHz}$$

2. Porteuse modulée en phase (MP) par un signal de téléphonie multivoie

Lorsque la fréquence supérieure de la bande de base d'un signal de téléphonie multivoie est beaucoup plus grande que la fréquence inférieure de la bande de base, la densité maximale de puissance d'une porteuse modulée en phase (MP) par ce signal se trouve sur la fréquence centrale de la porteuse et est donnée par la formule suivante:

– pour $\beta\sigma_a \geq 2$: $$\frac{P_t}{(\beta\sigma_a)\, f_h} \sqrt{\frac{3}{2\pi}} \times 4\,000 \qquad \text{W/4 kHz} \tag{9}$$

– pour $\beta\sigma_a < 2$, la densité maximale de puissance dans une bande de 4 kHz est la somme des deux termes suivants:

  – spectre continu: $P_t \times S(0) \times 4\,000$ W/4 kHz (10)

    $S(0)$ peut être tiré de la Fig. 3, qui donne les valeurs du rapport de la puissance totale de la porteuse à la densité de puissance dans une bande de largeur f_h (Hz)

  – porteuse résiduelle: $P_t \exp\{-(\beta\sigma_a)^2\}$ W (11)

    où:

P_t: puissance totale de la porteuse (W)

$\beta\sigma_a$: excursion de phase multivoie (rad)

β: valeur efficace de l'excursion de phase de la tonalité d'essai (rad)

σ_a: facteur de charge du signal de téléphonie multivoie

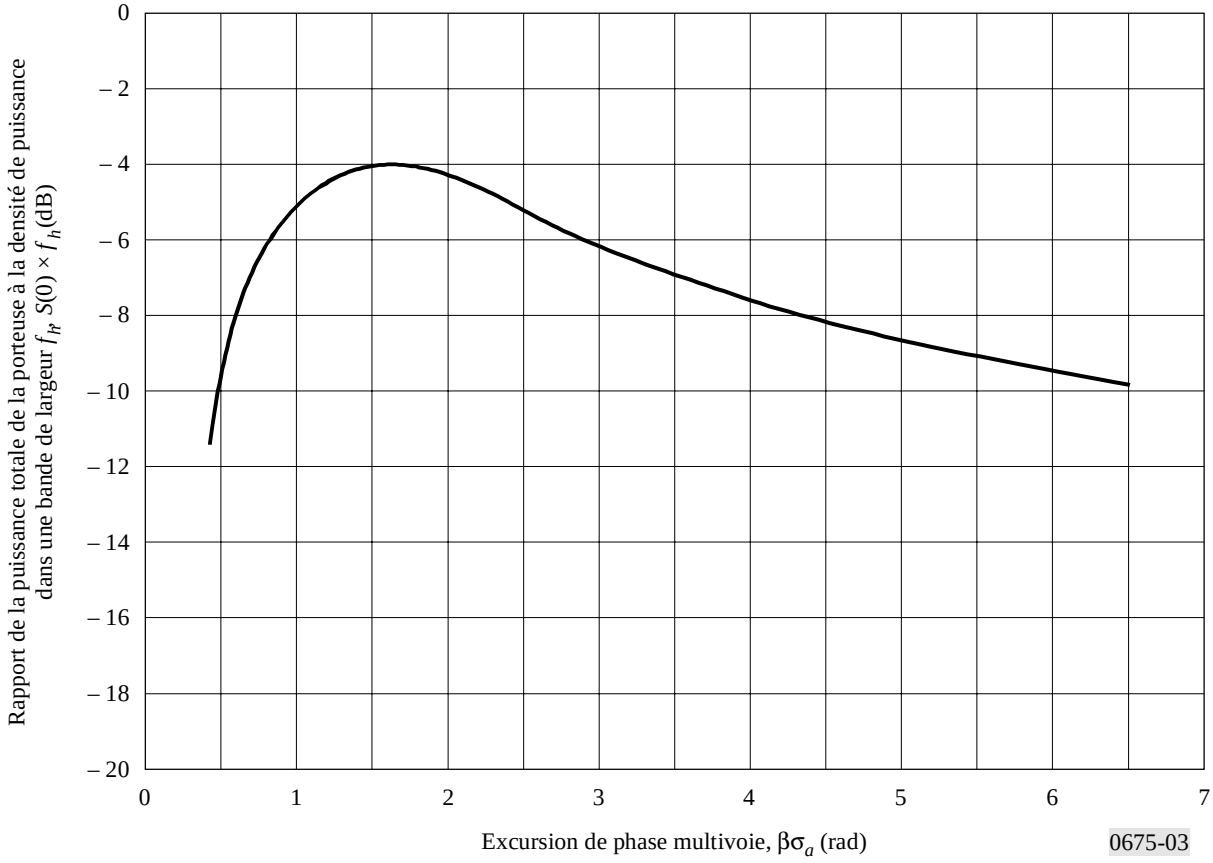
$$\sigma_a = \begin{cases} 10^{(-15+10\log N)/20} & \text{pour } N \geq 240 \\ 10^{(-1+4\log N)/20} & \text{pour } N < 240 \end{cases}$$

N: nombre de voies

f_h: fréquence la plus élevée de la bande de base (Hz).

FIGURE 3

Densité de puissance à la fréquence centrale du spectre de puissance continu d'une porteuse modulée en phase (MP) dans une bande de largeur f_h



3. Porteuse modulée par déplacement de phase (MDP)

La densité maximale de puissance dans une bande de 4 kHz d'une porteuse MDP modulée par un signal numérique de dispersion d'énergie d'une séquence de pseudo-bruit (PN) est donnée par (voir la Note 1):

$$P_t \times (4\,000 / B) \qquad \text{W/4 kHz} \tag{12}$$

lorsque la durée du cycle de répétition de la séquence PN est supérieure à 250 μs; et par:

$$P_t \cdot \frac{L + 1}{L^2} \left\{ \left(\frac{4\,000}{1 / L\,t} \right) + 1 \right\} \qquad \text{W/4 kHz} \tag{13}$$

lorsque la durée du cycle de répétition de la séquence PN est inférieure ou égale à 250 μs,

où:

P_t: puissance totale de la porteuse (W)

B: rapidité de transmission des symboles (symboles/s)

L: longueur de la séquence PN (symboles)

t: durée d'un symbole (s)

$$\left(\frac{4\,000}{1 / L\,t} \right) = \text{partie entière de } \frac{4\,000}{1 / L\,t}$$

Les expressions ci-dessus s'appliquent au cas d'une séquence de modulation d'une porteuse MDP et seraient applicables aux cas où une séquence PN de «brassage des signaux» est continuellement ajoutée au signal des messages MDP. De fortes erreurs pourraient résulter de l'application de ces expressions à des systèmes, tels que le système AMRT, dans lesquels les portions du signal qui contiennent le préambule, les bits de parité ajoutés, etc., ne sont pas soumises au brassage. En outre, dans les systèmes à plusieurs états de phase, l'uniformité spectrale qui est censée résulter de la dispersion d'énergie PN peut être annihilée par l'opération courante de codage différentiel.

Il convient de noter que la méthode précédente ne donne aucune directive quant aux hypothèses qu'il convient de faire afin de traiter le cas des systèmes MDP sans dispersion d'énergie, dans les conditions où les séquences d'éléments binaires peuvent se répéter de façon telle que la puissance soit concentrée sur un nombre relativement petit de raies spectrales.

Pour les autres faisceaux hertziens indiqués sur la Fig. 1, les densités spectrales maximales de puissance sont valables pour l'une quelconque des limites de bande de base spécifiées dans la Recommandation UIT-R F.380, leurs valeurs β étant relativement constantes et correspondant à celles qui sont utilisées sur la Fig. 1.

Note 1 – Les équations (12) et (13) peuvent être utilisées pour calculer la densité maximale de puissance par 40 kHz d'une porteuse MDP modulée par un signal numérique de dispersion d'énergie d'une séquence PN, en remplaçant simplement le chiffre 4 000 par 40 000. Les équations (12) et (13) s'appliquent alors respectivement à une séquence PN supérieure à 25 μs et à une séquence PN égale ou inférieure à 25 μs. Si la rapidité de transmission des symboles B est inférieure à 40 000, la densité maximale de puissance par 40 kHz est la puissance totale de la porteuse MDP.