

RECOMMANDATION UIT-R SM.1134*

**CALCULS DES BROUILLAGES D'INTERMODULATION
DANS LE SERVICE MOBILE TERRESTRE**

(Question UIT-R 44/1)

(1995)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que, dans la plupart des cas types, les facteurs principaux qui sont à l'origine des brouillages dans le service mobile terrestre, sont:
- les produits d'intermodulation dans la bande qui sont générés par des signaux brouilleurs de niveau élevé;
 - les émissions non désirées d'un émetteur dont les étages d'entrée radiofréquence sont excités par les signaux provenant d'un autre émetteur;
 - les niveaux des signaux utile et brouilleur sont des variables aléatoires qui suivent une distribution log-normale;
- b) que les fréquences des signaux brouilleurs doivent être particulières pour que leurs produits d'intermodulation se trouvent dans la bande de fréquences utile d'un récepteur;
- c) que la probabilité d'apparition des brouillages d'intermodulation dus à plusieurs signaux brouilleurs de niveau élevé est très faible;
- d) qu'une méthode de calcul des brouillages d'intermodulation permettrait une utilisation efficace du spectre de fréquences dans le service mobile terrestre,

recommande

- 1** d'utiliser le modèle d'intermodulation du récepteur présenté en Annexe 1 pour les calculs des brouillages d'intermodulation du service mobile terrestre;
- 2** de se conformer pour les calculs de brouillages à la procédure ci-après, dont le détail est présenté en Annexe 1;
 - 2.1** détermination, à l'entrée du récepteur, de la valeur moyenne et la dispersion de la puissance d'un signal aléatoire utile;
 - 2.2** détermination, à l'entrée du récepteur, de la valeur moyenne et la dispersion de la puissance d'un signal aléatoire causant des brouillages d'intermodulation;
 - 2.3** détermination de la probabilité pour que les produits d'intermodulation générés dans le récepteur lui-même et ceux générés par intermodulation de l'émetteur soient présents pendant la réception;
- 3** de déterminer les zones affectées par les brouillages d'intermodulation et l'espacement géographique nécessaire entre émetteurs et récepteurs brouilleurs sur la base d'une valeur donnée de la probabilité de brouillage, comme décrit en Annexe 1.

* Cette Recommandation doit être portée à l'attention de la Commission d'études 8 des radiocommunications.

Modèles d'intermodulation

La présente Annexe décrit deux modèles d'intermodulation; le modèle d'intermodulation de récepteur et le modèle d'intermodulation d'émetteur. Elle comporte cinq paragraphes.

Le § 1 expose la formule générale pour le calcul des brouillages d'intermodulation dans le récepteur. Le § 2 décrit la procédure de mesure de l'intermodulation du récepteur. Le § 3 présente une procédure d'évaluation des brouillages d'intermodulation en réception au moyen de la formule générale. Le § 4 donne la formule de calcul des brouillages d'intermodulation de l'émetteur. Le § 5 décrit le calcul des probabilités de brouillage par intermodulation du récepteur et de l'émetteur.

1 Modèle d'analyse d'intermodulation du récepteur

La puissance de brouillage d'intermodulation du troisième ordre entre deux signaux est donnée par la formule suivante (Rapport 522-2 de l'ex-CCIR, Düsseldorf, 1990).

$$P_{ino} = 2(P_1 - \beta_1) + (P_2 - \beta_2) - K_{2,1} \quad (1)$$

où:

P_1 et P_2 : puissances des signaux brouilleurs de fréquences f_1 et f_2 , respectivement

P_{ino} : puissance du produit d'intermodulation du troisième ordre de fréquence f_0 ($f_0 = 2f_1 - f_2$)

$K_{2,1}$: coefficient d'intermodulation du troisième ordre, il peut être calculé à partir des mesures de l'intermodulation du troisième ordre ou obtenu à partir des spécifications des équipements

β_1 et β_2 : paramètres de sélectivité en fréquence RF aux écarts de fréquences Δf_1 et Δf_2 , respectivement, par rapport à la fréquence de fonctionnement f_0 .

Les valeurs de β_1 et β_2 peuvent être obtenues, par exemple, à partir de l'équation de calcul de l'affaiblissement d'un signal légèrement décalé par rapport à la fréquence d'accord.

$$\beta(\Delta f) = 60 \log \left[1 + \left(\frac{2 \Delta f}{B_{RF}} \right)^2 \right] \quad (2)$$

où B_{RF} est la largeur de bande RF du récepteur.

Il est utile de noter que pour une série particulière de mesures d'intermodulation du troisième ordre dans le cas de récepteurs analogiques de radiocommunication mobiles terrestres fonctionnant dans les bandes des ondes métriques et décimétriques inférieures, l'équation (1) devient [McMahon, 1974]:

$$P_{ino} = 2P_1 + P_2 + 10 - 60 \log(\sigma f) \quad (3)$$

où σf est l'écart moyen en fréquence (MHz) et est égal à:

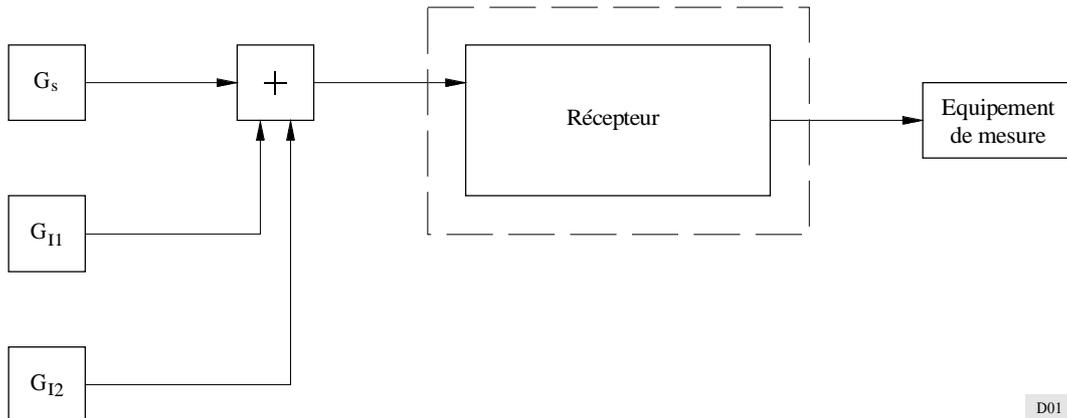
$$\frac{\Delta f_1 + \Delta f_2}{2}$$

2 Caractéristiques des brouillages d'intermodulation dans le récepteur

Sur la Fig. 1, G_s est le générateur de signaux du signal utile. G_{I1} et G_{I2} sont les générateurs de signaux des signaux brouilleurs qui sont à l'origine du produit d'intermodulation du récepteur. Ces signaux sont appliqués à l'entrée du récepteur.

FIGURE 1

Bloc-diagramme pour les mesures d'intermodulation du récepteur



DOI

Lors de la mesure de la caractéristique de l'intermodulation du récepteur, deux signaux brouilleurs de niveau égal produits par les générateurs \$G_{I1}\$ et \$G_{I2}\$ et un signal utile de niveau \$P_{sr}\$, produit par le générateur \$G_s\$ sont appliqués à l'entrée du récepteur. Le désaccord de fréquence du premier signal brouilleur est choisi égal à \$\Delta f_0\$, et celui du deuxième signal brouilleur à \$2\Delta f_0\$ environ. Le niveau des deux signaux brouilleurs à l'entrée du récepteur est augmenté jusqu'à ce que la qualité de la réception du signal utile ne passe pas en dessous d'une valeur spécifiée. On obtient alors la valeur de la sensibilité \$P_I(IM)\$ du récepteur à l'intermodulation. La qualité de la réception dépend indubitablement du rapport de protection dans le même canal A.

Noter que:

\$P_{sr}\$: sensibilité du récepteur radioélectrique (dBW)

\$P_I(IM)\$: sensibilité à l'intermodulation mesurée pour le récepteur (dBW).

d'où, selon l'équation (1):

$$P_{ino} = 3 P_I(IM) - 2\beta(\Delta f_0) - \beta(2\Delta f_0) - K_{2,1} \quad (4)$$

Cette valeur est reliée à \$P_{sr}\$ comme suit:

$$P_{sr} - A = P_{ino} \quad (5)$$

\$K_{2,1}\$ est donc:

$$K_{2,1} = 3 P_I(IM) - 2\beta(\Delta f_0) - \beta(2\Delta f_0) - P_{sr} + A \quad (6)$$

3 Méthode d'analyse de l'intermodulation dans le récepteur

Les brouillages causés par les produits d'intermodulation du troisième ordre dans le récepteur se produisent lorsque les deux conditions suivantes sont satisfaites:

$$-\frac{B_{FI}}{2} < 2\Delta f_1 - \Delta f_2 < \frac{B_{FI}}{2} \quad (7)$$

et

$$P_s - P_{ino} < A \quad (8)$$

où:

\$\Delta f_1, \Delta f_2\$: écart de fréquence des signaux brouilleurs par rapport à la fréquence d'accord

\$B_{FI}\$: largeur de bande FI du récepteur (dans la même unité que \$\Delta f_1\$ et \$\Delta f_2\$)

\$P_{ino}\$: puissance brouilleuse équivalente (dBm) sur la fréquence d'accord

\$P_s\$: puissance du signal utile (dBm)

\$A\$: rapport de protection dans le même canal (dB).

P_{ino} est donnée par l'équation (1). Compte tenu de l'équation (1), la condition (8) peut être formulée comme suit:

$$2P_1 + P_2 - P_s > R_0 \quad (9)$$

où:

$$R_0 = -A + 2\beta_1 + \beta_2 + K_{2,1} \quad (10)$$

4 Puissance des produits d'intermodulation de l'émetteur

La puissance P_i des produits d'intermodulation de l'émetteur présents à l'entrée du récepteur peut s'écrire comme suit:

$$P_i = P'_2 - \beta_{12} - \beta_{10} - K_{(2),1} - L_{10} \quad \text{dBW} \quad (11)$$

où:

- P'_2 : puissance de l'émetteur brouilleur (à la fréquence f_2) au niveau des bornes de sortie de l'émetteur brouillé (à la fréquence f_1), dans lequel les produits d'intermodulation apparaissent (dBW)
- β_{12}, β_{10} : affaiblissement apporté par les circuits de sortie et d'antenne de l'émetteur brouillé fonctionnant à la fréquence f_1 , au signal émis par l'émetteur brouilleur fonctionnant à la fréquence f_2 , et aux produits d'intermodulation à la fréquence f_0 , respectivement en dB
- $K_{(2),1}$: affaiblissement de conversion d'intermodulation dans l'émetteur (dB) qui est différent de l'affaiblissement $K_{2,1}$ dans l'équation (1)
- L_{10} : affaiblissement du produit d'intermodulation sur le trajet entre l'émetteur de fréquence f_1 et le récepteur (dB).

Les brouillages causés par l'intermodulation de l'émetteur se produisent lorsque:

$$P_s - P_i < A \quad (12)$$

où A est le rapport de protection dans le même canal.

5 Probabilité de brouillage

5.1 Probabilité de brouillage par intermodulation du récepteur

Les Recommandations UIT-R P.370, UIT-R P.1057 et UIT-R P.1146 mettent l'accent sur le fait que, en raison des évanouissements, les niveaux des signaux utile et brouilleur sont des variables aléatoires suivant une distribution log-normale. Ainsi, le terme de gauche de la condition (9), exprimé en dBW, représente la somme de variables normales aléatoires indépendantes et constitue une variable normale aléatoire. La moyenne \bar{R} et la dispersion σ_R^2 de la variable aléatoire $R = 2P_1 + P_2 - P_s$ sont égales, respectivement, à:

$$\begin{aligned} \bar{R} &= 2P_{1m} + P_{2m} - P_{sm} \\ \sigma_R^2 &= 4\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_s^2 \end{aligned}$$

où:

P_{1m}, P_{2m}, P_{sm} sont les moyennes et $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \sigma_s^2$ sont les dispersions des niveaux de puissance des signaux utile et brouilleur à l'entrée du récepteur (déterminées sur la base des données des Recommandations UIT-R P.370, UIT-R P.1057 et UIT-R P.1146).

5.2 Probabilité de brouillage par intermodulation d'émetteur

En tenant compte de l'équation (11), la condition (12) devient:

$$P'_2 - P_s - L_{10} > T_0 \quad (13)$$

où:

$$T_0 = \beta_{12} + \beta_{10} + K_{(2),1} - A$$

La moyenne \bar{T} et la dispersion σ_T^2 de la variable aléatoire:

$$T = P'_2 - P_s - L_{10}$$

sont égales, respectivement à:

$$\begin{aligned}\bar{T} &= P'_{2m} - P_{sm} - L_{10m} \\ \sigma_T^2 &= \sigma_2^2 + \sigma_s^2 + \sigma_1^2\end{aligned}$$

où:

P'_{2m}, P_{sm}, L_{10m} : moyennes

$\sigma_2^2, \sigma_s^2, \sigma_1^2$: dispersions des variables aléatoires P'_2, P_s et L_{10} .

5.3 Probabilité des produits d'intermodulation

La probabilité α que les produits d'intermodulation générés dans le récepteur lui-même et par intermodulation de l'émetteur (conditions (9) et (13) respectivement) apparaissent durant la réception est égale à:

$$\alpha = \int_x^\infty e^{-t^2/2} \frac{dt}{\sqrt{2\pi}} \quad (14)$$

$x = (R_0 - \bar{R}) / \sigma_R$: caractérisant la probabilité d'apparition de produits d'intermodulation dans les récepteurs (condition (9))

$x = (T_0 - \bar{T}) / \sigma_T$: caractérisant la probabilité de brouillage dû aux produits d'intermodulation apparaissant dans les émetteurs (condition (13)).

Par caractérisation des zones touchées par les brouillages d'intermodulation sur la base d'une valeur donnée α de la probabilité de brouillage, on détermine d'abord la valeur de x à partir de l'équation (14). Puis, pour une valeur connue de P_{sm} on peut déterminer les valeurs admises de P_{1m} et P_{2m} (ou P'_{2m} et L_{10m}) et les espacements géographiques nécessaires correspondants des émetteurs brouilleurs et des récepteurs pour lesquels la zone touchée par les brouillages dépend.

NOTE 1 – Des informations complémentaires peuvent être trouvées dans:

McMAHON, J.H. [novembre 1974] Interference and propagation formulas and tables used in the Federal Communications Commission Spectrum Management Task Force Land Mobile Frequency Assignment Model. *IEEE Trans. Vehic. Techn.*, Vol. VT-23, 4, 12-134.

BYKHOVSKY, M.A. et MERMELSTEIN, D.V. [1990] Analysis of receiver EMC with regard to blocking, intermodulation and crosstalk. *NIIR Proc.*, 4, 11-15.