

# L'identification des produits d'intermodulation

par T. TURNER (\*)  
adapté par A. MARION (\*\*)

*Un des problèmes les plus ingrats rencontrés dans les tests de systèmes micro-ondes est l'identification des produits d'intermodulation (ou IMP) qui résultent de l'application de deux (ou plus) signaux simultanément dans un appareil au fonctionnement non-linéaire.*

*Toutefois, avec les analyseurs de spectre micro-ondes à grande dynamique, ce problème a été considérablement allégé.*

## Généralités

L'identification des produits d'intermodulation peut être rapidement faite par la reconnaissance de la fréquence des IMP ou par la vérification des variations d'amplitude quand le signal fondamental est modifié.

Il est important, cependant, que les signaux mesurés aient une meilleure stabilité que la bande de fréquence FI de l'analyseur. La dynamique des analyseurs est aussi critique puisque nous devons identifier des signaux faibles en présence de larges signaux.

Si ces facteurs sont respectés, l'identification des produits d'intermodulation gênants peut être faite rapidement et précisément. La plupart des composants et systèmes électroniques peuvent être caractérisés par la valeur de leur performance en présence de signaux d'amplitude faible ou forte.

La performance pour un signal de faible niveau donne une idée de la sensibilité de base du système et est habituellement mesurée en facteur de bruit ou température de bruit. Ceci détermine le point à partir duquel un signal donné devient identifiable ou utilisable et par conséquent la limite inférieure de fonctionnement du système.

La limite supérieure de fonctionnement, définissant la performance pour

un signal d'amplitude forte, est habituellement le point auquel le fonctionnement linéaire prend fin. Quand un appareil opère au-delà des limites de linéarité, des distorsions du signal donné ou des signaux supplémentaires sont créés, provoquant une confusion. Une méthode pour déterminer le point de fonctionnement non-linéaire est d'observer et mesurer le niveau des signaux non-désirés appelés « Produits d'Intermodulation ».

## Produits du troisième ordre

Pour l'analyse des produits d'intermodulation, il est nécessaire de voir le signal et son environnement entier et d'examiner en détail tous les signaux d'amplitude forte pour déterminer les causes possibles des IMP.

Un mélangeur à entrée simple et un oscillateur local à fréquence fixe fournissent un exemple de génération de produits d'intermodulation. La réponse vraie et la réponse image sont le résultat du mélange des deux signaux fondamentaux et sont habituellement facilement reconnaissables; mais, comme le mélangeur est par nature non-linéaire, des signaux harmoniques sont produits par le signal de l'oscillateur local et le signal d'entrée qui, à leur tour, peuvent se mélanger pour engendrer des produits additionnels.

Un choix approprié de la fréquence de l'oscillateur local et de la moyenne fréquence permet habituellement de filtrer le signal désiré mais cela devient plus

difficile quand deux signaux ou plus sont appliqués à l'entrée du mélangeur avec un oscillateur local à fréquence fixe.

Si les deux signaux, à l'entrée sont d'amplitude suffisante, ils se mélangent, engendrant des produits supplémentaires ayant l'apparence de vrais signaux.

La figure 1 illustre un cas où les deux signaux importants sont les signaux « vrais » et les deux plus petits des produits d'intermodulation du troisième ordre. Un trait distinctif de ces produits d'intermodulation est que leur éloignement en fréquence des signaux importants est toujours égal à la différence de fréquence des signaux importants.

Il est facile de comprendre cela quand on sait que les signaux faibles sont le résultat du mélange de la seconde harmonique de l'un des signaux importants avec la fréquence fondamentale de l'autre.

Ceci serait mis en évidence si les signaux étaient, par exemple, à 100 et 101 MHz: le signal faible à la fréquence inférieure serait leur résultat du

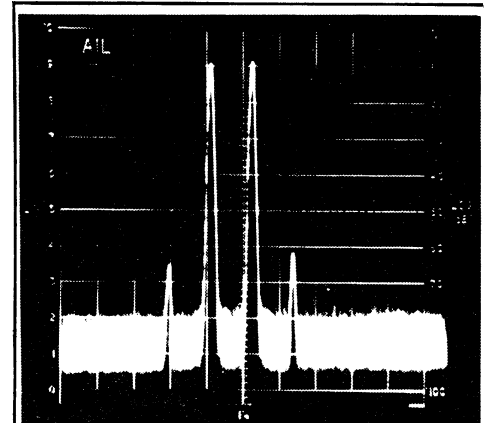


Fig. 1: Intermodulation du 3<sup>e</sup> ordre: résultat du mélange du second harmonique d'un des signaux avec le fondamental de l'autre.

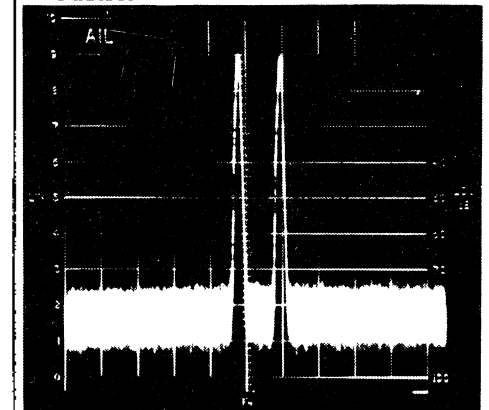


Fig. 4: De plus, réduire le niveau du signal principal pour identifier un produit d'intermodulation peut causer la disparition de tous les produits donnant l'impression d'un spectre sans parasites.

(\*) EATON/AILTECH  
(\*\*) EATON/AILTECH France

mélange de la seconde harmonique à 200 MHz avec le signal à 101 MHz engendrant un signal à 99 MHz. Ces produits d'intermodulation sont appelés de troisième ordre parce qu'ils résultent du mélange de F1 avec la seconde harmonique de F2 et vice-versa.

Les produits d'ordre impair sont rarement aussi gênants que les produits d'ordre pair car ils sont au double des fréquences d'entrée et à la différence entre elles, ce qui signifie qu'ils peuvent être facilement discriminés en utilisant de simples filtres.

Le tableau ci-après précise les produits d'intermodulation importants qui seraient générés pour des signaux d'entrée à 100 et 101 MHz. Les produits d'intérêt particulier sont représentés en gras.

		F 1 = 101 MHz				
		1	2	3	4	5
F 2 = 100 MHz	m					
	n					
	1	1 201	<b>102</b> 302	203 403	304 504	405 605
	2	<b>99</b> 301	2 402	<b>103</b> 503	204 604	305 705
	3	199 401	<b>98</b> 502	3 603	<b>104</b> 704	205 805
	4	299 501	198 602	<b>99</b> 703		
5	399 601					

Produits d'intermodulation numéro d'ordre =  $n + m$

d'amplitude. Pour obtenir confirmation de ce qu'un signal est un produit d'intermodulation, l'amplitude des signaux générateurs serait augmentée de 10 dB, par exemple: l'amplitude des produits d'intermodulation du 3<sup>e</sup> ordre augmentera de 30 dB ou de trois fois la valeur de l'accroissement du signal principal.

Cela est dû au fait que le taux d'accroissement de l'harmonique deux est

deux fois plus important que celui du signal fondamental: le produit du 3<sup>e</sup> ordre étant créé par le mélange d'un signal fondamental avec l'harmonique 2 d'un autre signal, le taux d'accroissement est de trois.

Si le niveau du signal générateur est encore augmenté, d'autres produits d'intermodulation apparaissent, comme sur la figure 2. La troisième paire de signaux représente des produits du 5<sup>e</sup> ordre (combinaison de l'harmonique deux d'un signal et de l'harmonique trois d'un autre) et le processus continue jusqu'à ce que l'appareil — mélangeur ou autre — soit totalement saturé avec des IMP d'ordre plus élevé.

Il est nécessaire de confirmer la relation d'amplitude entre les produits d'intermodulation puisqu'il est possible que des signaux proches des signaux d'entrée soient une simple modulation de l'un ou des deux. Cette analyse est quelquefois compliquée par une limitation du niveau des signaux générateurs, et il est alors nécessaire de déterminer l'amplitude de ces signaux et de noter que les produits d'intermodulation du 3<sup>e</sup> ordre diminuent d'une valeur triple.

Cette technique peut parfois demander une opération supplémentaire: en effet, comme montré figures 3 et 4, une diminution de niveau des signaux d'entrée peut provoquer la disparition des produits d'intermodulation.

Quand cela se produit, il convient de diminuer la largeur de balayage et de cadrer le produit comme le montre la figure 5.

Cela fait sortir le produit plus nettement du bruit par suite du choix d'une largeur de bande F1 plus étroite (les figures 5 et 6 montrent une expansion dans un rapport 10 d'un produit d'intermodulation du 3<sup>e</sup> ordre de la fréquence haute présentée en figure 3. Cette expansion fait apparaître une amélioration de la présentation signal/bruit de

### Identifier par l'amplitude

Les produits d'intermodulation n'ont pas seulement un rapport de fréquence avec les signaux qui les provoquent mais également un rapport

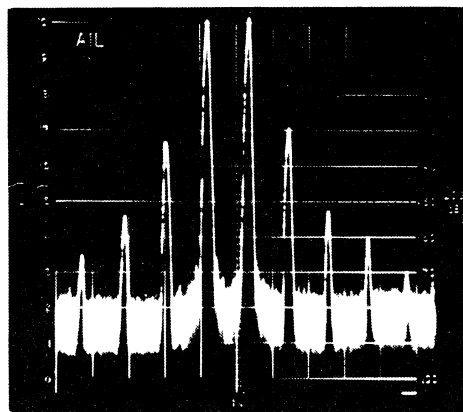


Fig. 2: L'intermodulation d'ordre élevé se produit avec l'augmentation du niveau du signal. Les produits d'intermodulation du 3<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup> et 7<sup>e</sup> ordre apparaissent sur cet exemple.

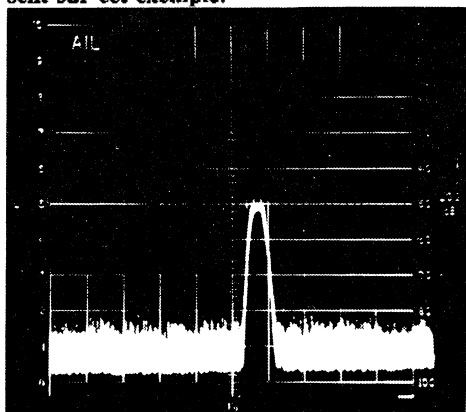


Fig. 5: Elargir la largeur de balayage augmente le rapport signal bruit de 30 dB, ainsi, l'IMP reste au-dessus du niveau du bruit.

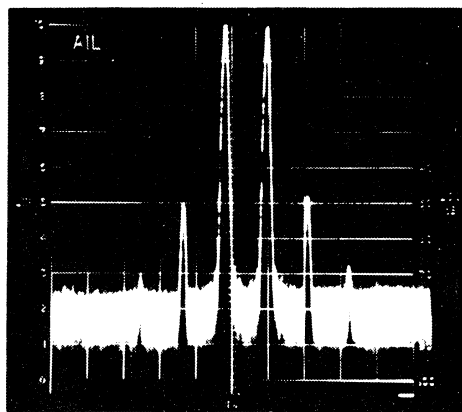


Fig. 3: La diminution de l'amplitude du signal peut occasionner la disparition des produits du 3<sup>e</sup> ordre au-dessus du niveau de bruit comme les produits du 5<sup>e</sup> ordre sont en train de faire.

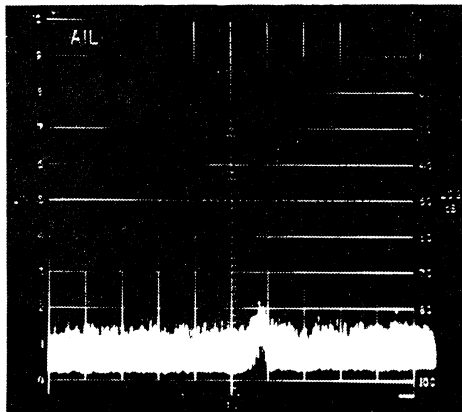


Fig. 6: Quand la gamme dynamique est suffisante, une diminution de 10 dB sur le signal principal peut révéler la présence d'IMP.

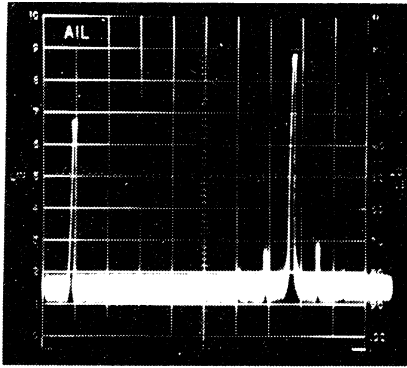


Fig. 7: Les IMP du second ordre ne sont généralement pas gênants, à moins que des signaux fondamentaux soient très espacés. Dans ce cas, un signal de 30 MHz et un signal de 227 MHz causent deux IMP à 197 MHz et 257 MHz.

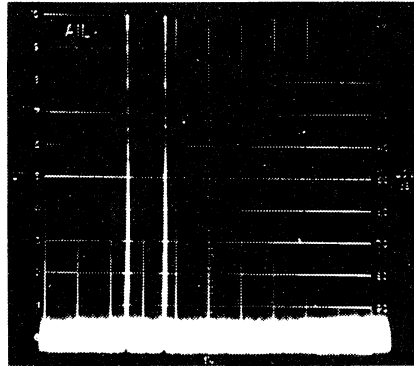


Fig. 8: Quand deux signaux fondamentaux sont séparés de plus de 50 MHz (bande passante du présélecteur), le présélecteur accordable à YIG incorporé dans les analyseurs modernes peut pratiquement éliminer les produits d'intermodulation indésirables.

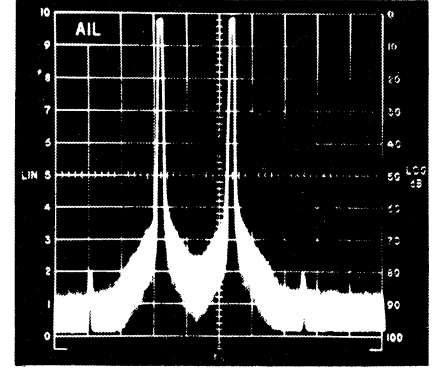


Fig. 9: Signaux compris dans la bande du présélecteur peuvent être résolus s'il y a de très raides facteurs de forme des filtres F1 de l'analyseur.

plus de 30 dB pour ce produit. Ainsi donc quand une dynamique de présentation le permet, une diminution de 10 dB des signaux générateurs révèle la présence des produits d'intermodulation réels (figure 6).

La technique, indiquée ci-dessus, d'expansion de la présentation en fréquence et d'utilisation d'une bande passante plus étroite rend importante la stabilité des signaux à mesurer. Pour obtenir un bon fonctionnement d'un analyseur de spectre, il faut que les signaux à mesurer aient une stabilité meilleure que les largeurs de bande F1 utilisées.

Dans l'exemple précédent, le filtre F1 10 kHz est utilisé pour les figures 5 et 6, et dans ce cas, il était nécessaire que les signaux aient une stabilité meilleure que 10 kHz: faute de quoi, la réponse en amplitude pourrait être inexacte et la mesure erronée.

Il est important de noter ceci parce que nombre de générateurs de signaux et d'oscillateurs vobulés ont des stabilités supérieures à 10 kHz et ceci limiterait la capacité de mesure de produits d'intermodulation de tout système.

### Comment spécifier les produits d'intermodulation (IMP)

On décrit habituellement les produits d'intermodulation en spécifiant la différence relative entre les deux types de signaux pour une puissance donnée à l'entrée.

Puisque les produits d'intermodulation du 3<sup>e</sup> ordre varient trois fois plus vite que les signaux principaux à l'entrée, ce rapport varie deux fois plus vite on obtient:

- 60 dB pour deux signaux à l'entrée de — 20 dB
- 80 dB pour deux signaux à l'entrée de — 30 dBm
- 100 dB pour deux signaux à l'entrée de — 40 dBm.

Parce que les produits du 5<sup>e</sup> ordre varient cinq fois plus rapidement que les signaux à l'entrée, et ceux du 7<sup>e</sup> ordre sept fois plus vite, il est difficile de déterminer exactement leur amplitude relative mais leur espacement régulier par rapport aux signaux permet de les découvrir.

Ci-dessus nous avons traité seulement des produits d'intermodulation d'ordre impair, mais ce sont ceux-là généralement, qui posent des problèmes dans le cas de signaux générateurs proches les uns des autres.

Les produits d'ordre pair deviennent un problème quand les signaux fondamentaux sont fortement espacés l'un de l'autre comme montré en figure 7 (échelle de fréquence de 30 MHz/cm).

Dans ce cas, les signaux à 30 et 227 MHz occasionnent des IMP produits aux environs du signal de fréquence la plus élevée par la fréquence du signal le plus bas (à 197 MHz et 257 MHz respectivement).

Ce sont des produits de second ordre, et ils varient du double de la variation du signal fondamental.

Quand les niveaux des signaux fondamentaux sont augmentés, les produits d'intermodulation du 3<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup> ordre ou d'ordre plus élevé apparaissent près du signal de fréquence la plus élevée.

Une autre méthode de définition de performance d'un système est celle du

point d'interception, que l'on considère communément comme le point théorique où les produits d'intermodulation du 3<sup>e</sup> ordre ont une amplitude égale à celle des signaux d'entrée.

Dans l'exemple précédent, le point d'interception est à + 10 dBm: et peut être vérifié en notant qu'il faudrait augmenter l'amplitude des signaux à l'entrée de 30 dB de — 20 dBm à + 10 dBm.

Ainsi donc les produits d'intermodulation du 3<sup>e</sup> ordre augmenteraient de 90 dB, de leur position de 60 dB inférieur pour devenir égaux aux signaux à l'entrée.

Cette description devient un peu plus compliquée quand les signaux fondamentaux peuvent être soit à l'entrée ou la sortie d'un même appareil.

Si un amplificateur a un gain de 20 dB, son point d'interception peut être + 10 dBm par rapport à un signal d'entrée ou de 30 dBm si l'on se réfère au signal de sortie. Chacune des caractéristiques est correcte, mais la situation du signal doit être mentionnée.

### Interférences TV et FM

La génération de produits d'intermodulation peut se produire dans une variété de situations. Ainsi on a pu constater qu'un émetteur opérant à 401 MHz interférait avec un autre système à 408 MHz et donnait lieu à un signal relatif puissant à 7 MHz. Après investigation, on a constaté que ce signal résultait du mélange entre la porteuse «son» de la TV, canal 5, à 81 MHz, et une station radio FM à 88 MHz.

## Hyperfréquences —

Ce type de problème indique la nécessité d'avoir des équipements de test disponibles qui détectent et identifient des signaux faibles en présence de larges signaux.

Quand des signaux à très haut niveau sont présents, il est possible pour l'IMP d'être généré dans des appareils non-actifs. Ce genre d'action peut se produire dans de larges tables métalliques ou même dans les poutres médiocrement soudées de la charpente métallique d'un bâtiment.

### Possibilités de mesure

Dans les années précédentes, une instrumentation excellente est devenue disponible pour mesurer les produits d'intermodulation.

Ces nouveaux instruments sont le résultat de l'utilisation de présélecteur, de mélangeurs haut-niveau et de bonne étude de système. L'exemple de la figure 8 montre deux signaux espacés de plus de la bande passante du présélecteur; ce qui offre une dynamique de mesure de 100 dB.

Quand les deux principaux signaux sont compris dans la bande passante du présélecteur 80 dBc de dynamique sont possibles. La figure 9 montre des résultats pour 2 signaux de  $-25$  dBm espacés de 200 kHz sur l'analyseur *Ailtech 757*.

Le modèle HP 8569 est spécifié à  $-70$  dBc pour une puissance totale de 2 signaux à  $-30$  dBm et le modèle *Tektronix 494* est donné pour  $-70$  dBc, pour  $-40$  dBm.



# AUTOMATIQUE

## Enertec

fréquencemètre 2720

### 1,2 GHz

***la mesure automatique  
au meilleur prix***

ENERTEC

Schlumberger