

INSTRUMENTATION ÉLECTRONIQUE

L'instrumentation RF expliquée aux nuls

▼ Les techniciens et ingénieurs spécialisés dans le test des équipements électroniques doivent s'adapter en permanence aux évolutions de la technologie. Avec l'arrivée massive de fonctions radiofréquence (RF) dans les équipements électroniques, il leur faut à nouveau évoluer. Le changement est radical : la puissance est un paramètre souvent plus important que la tension, la mesure des impédances devient essentielle, les oscilloscopes cèdent le pas aux analyseurs de spectres et de réseaux scalaires et vectoriels. Nouveau venu sur ce marché, Keithley Instruments propose ici un rapide tour d'horizon des notions essentielles que doit appréhender tout néophyte dans l'univers des RF.

Les communications radio sont déjà omniprésentes et tout porte à croire que leur champ d'applications va fortement s'étendre dans les années qui viennent, rien ne semblant devoir arrêter leur développement. Parmi les applications actuelles connues de tous, on citera, pêle-mêle, les téléphones mobiles GSM, les assistants personnels (PDA), les ordinateurs portables avec liaisons Wi-Fi, les appareils audio Bluetooth, les étiquettes RFID, les capteurs Zigbee, les équipements professionnels RF. Dans l'univers professionnel, tout ingénieur d'un service de R&D, production ou maintenance a toutes les chances d'avoir besoin de s'intéresser aux signaux RF... sans pour autant être un spécialiste de la question. C'est plus particuliè-

rement vrai pour les ingénieurs chargés de développer des bancs de test, habitués à travailler dans des fréquences relativement basses (quelques MHz) et qui doivent désormais contrôler les fonctions "radio" des produits et équipements à tester. Il leur faut donc commencer par apprendre le jargon de base et savoir précisément quel est le sens des termes utilisés

dans les fiches de spécifications de produits.

La puissance plutôt que la tension

Pour mesurer l'intensité d'un signal RF, le paramètre le plus utilisé est la puissance. Cette puissance (dans le cas d'un signal qui se propage dans l'espace) décroît comme le carré de la distance et elle peut donc varier dans de très grandes proportions. Plus qu'à la puissance elle-même, on s'intéresse aux variations de puissance, que l'on exprime en décibels (dB).

L'utilisation des décibels pour mesurer des puissances permet de simplifier les calculs. C'est ainsi qu'il suffit d'additionner ou soustraire des décibels pour obtenir des gains ou des pertes. Un rapport entre deux puissances, par exemple entre une puissance de sortie et une puissance d'entrée (P_s et P_e), s'exprime en dB à l'aide de la formule :

$$\text{dB} = 10 \log (P_s/P_e)$$

On utilise souvent le dBm, qui exprime le rapport entre une puissance absolue par rapport à une puissance de référence de 1 mW.

On est également amené à définir le plancher de bruit théorique à la température ambiante. Ce plancher de bruit sert par exemple à caractériser un récepteur RF et il correspond au plus petit signal que ce récepteur est capable de détecter. Le plancher de bruit (NF, Noise Floor) est donné par l'expression :

$$\text{NF} = -174 \text{ dBm} + 10 \log (\text{BP}/1 \text{ Hz})$$

où BP est la bande passante.

Du fait des pertes de propagation dans l'air, des interférences dans l'atmosphère et des interférences avec d'autres signaux, le niveau du signal qui parvient au récepteur peut être très faible. Il n'est pas rare qu'un récepteur ait à détecter des puissances aussi faibles que 0,1 pW.

Un impératif : "adapter" les impédances

Dans toutes les applications électroniques, on cherche à transférer des signaux entre des équipements (entre une carte électronique à tester et un oscilloscope, par exemple). Aux basses fréquences, on cherche à transmettre des niveaux de tensions avec un minimum d'atténuation. Pour cela, l'idéal est que les équipements aient une impédance d'entrée très élevée et une impédance de sortie très basse.

Dans les applications RF, on s'intéresse plutôt à la puissance transmise. Ici, la principale difficulté est que la longueur des câbles a vite fait de dépasser le quart de la longueur d'onde du signal à transmettre. Le signal obéit donc aux lois de la propagation des ondes. Lorsqu'une onde rencontre une discontinuité sur son chemin de propagation, elle est en partie réfléchi par cette discontinuité et la puissance du signal n'est donc pas transmise dans son intégralité au récepteur. Toute différence d'impédance entre un équipement et une ligne de transmission provoque une discontinuité ; pour une bonne transmission du signal RF, il faut donc éviter les désadaptations d'impédance entre les équipements et les lignes de transmission.

Les transmissions de signaux RF se font en général par des câbles coaxiaux (lorsqu'il s'agit d'une transmission entre deux équipements) ou des circuits microstrip (lorsqu'il s'agit d'une transmission entre deux circuits RF présents sur une carte électronique). Ces "supports" de transmission ont une impédance caractéristique. La valeur de celle-ci dépend de la géométrie des conduc-

L'essentiel

- ▶ Le test des fonctions RF n'obéit pas aux mêmes lois que le test des fonctions analogiques et numériques
- ▶ La connectique est fondamentalement différente
- ▶ La puissance et la résistance sont des paramètres de mesure particulièrement importants ici
- ▶ Des instruments spécifiques au domaine RF doivent être utilisés



Les instruments RF sont beaucoup plus faciles à utiliser que par le passé. S'il peut y accéder plus aisément qu'autrefois, le non-expert doit cependant faire un effort d'adaptation car l'approche de l'analyse du signal est totalement différente.

teurs, du matériau utilisé et de l'isolant présentent entre ces conducteurs. Dans les applications RF, l'impédance caractéristique des câbles de transmission, de l'entrée et de la sortie des équipements est de 50 Ω ou 75 Ω . On utilise une impédance 50 Ω lorsqu'il s'agit d'optimiser le transfert de puissance à l'intérieur d'un système. On utilise une impédance 75 Ω lorsque l'on cherche un minimum d'atténuation dans le cas de transmissions par câbles. La plupart des systèmes de transmission RF sans fil sont conçus pour une transmission optimale de la puissance et présentent une impédance caractéristique de 50 Ω .

On l'a dit, si on veut transmettre des signaux entre des équipements ou des circuits n'ayant pas la même impédance caractéristique, il y a des réflexions. Les ondes circulent donc dans les deux directions sur le chemin de transmission (microstrip ou câble). Aux points où les ondes incidentes et réfléchies sont en phase, elles s'additionnent (la tension vaut alors V_{max}). Aux points où elles sont déphasées de 180° (opposition de phase), elles sont soustraites (la tension vaut alors V_{min}). Le rapport entre V_{max} et V_{min} est appelé TOS, ou taux d'ondes stationnaires (ou VSWR, voltage standing wave ratio). La valeur du TOS permet de savoir immédiatement si le connecteur ou le câble s'écarte de sa valeur caractéristique 50 Ω .

Des connecteurs et câbles spéciaux

Les transmissions de signaux sur des câbles équipés d'un connecteur BNC commencent à se dégrader dès que les fréquences attei-

gnent 500 MHz. Dans le monde des radiofréquences, les câbles sont en général équipés de connecteurs N et SMA. Les connecteurs N sont couramment utilisés sur les instruments de mesure et de test car ils sont robustes, peuvent transmettre des puissances élevées et fonctionnent correctement jusqu'à 18 GHz. Le connecteur SMA est beaucoup plus petit et a moins de capacités à transmettre de la puissance que le connecteur N, mais il peut être utilisé bien au-delà de 18 GHz. Tous les câbles RF sont des coaxiaux. Il en existe une grande diversité, aussi bien flexibles que rigides, tolérant plus ou moins les courbures. Les câbles RF doivent être manipulés avec beaucoup plus de soins que les câbles utilisés pour les basses fréquences. Une courbure excessive entraîne une dégradation importante des performances et peut endommager le câble.

Aux basses fréquences, une bonne connexion signifie que les conducteurs sont en contact l'un de l'autre. Aux fréquences RF, l'importance des désadaptations d'impédance est telle qu'il faut s'assurer de la qualité du contact entre les connecteurs, ce qui suppose d'appliquer un couple de serrage suffisant. Les constructeurs recommandent d'appliquer un couple de l'ordre de 10 N.m de façon à être assuré d'une bonne qualité de contact et de pertes d'insertion minimales.

Les connexions en parallèle ou l'acheminement du signal par plusieurs chemins sont possibles en RF, mais ce n'est pas aussi simple que pour les signaux basse fréquence. Il est en effet impératif de veiller que les impédances des différents éléments par lesquels

transite le signal soient parfaitement adaptées de façon à minimiser les discontinuités et les réflexions du signal.

Les commutateurs RF doivent être conçus et fabriqués avec une grande précision de façon à obtenir l'impédance de 50 Ω . Pour réaliser un circuit parallèle, il faut utiliser un séparateur ou un diviseur pour répartir le signal d'entrée sur deux ou plusieurs voies, chacune devant présenter une impédance de 50 Ω . Il est également possible de faire l'inverse, c'est-à-dire de rassembler (à l'aide d'un mélangeur) plusieurs signaux d'entrée sur une seule voie de sortie: là aussi, le respect de cette impédance de 50 Ω est un paramètre critique.

Ce sont là quelques exemples de composants spécialisés utilisés en RF. Si vous découvrez cet univers du test en RF, attendez-vous à un choc: le prix des composants RF est très nettement plus élevé que celui des composants traditionnels...

Quelques instruments incontournables

Tout comme l'instrumentation de test basse fréquence, le monde du test RF est vaste et diversifié, allant des générateurs de signaux et des appareils de mesure de puissance aux analyseurs de réseaux et de spectre.

Les wattmètres RF. En radiofréquences, la puissance est le paramètre le plus mesuré. C'est le rôle des puissance-mètres. Ces appareils comportent un détecteur large bande et donnent la valeur de la puissance absolue en watts, dBm et éventuellement en dB μ V. Sur la plupart des appareils, le détecteur est une diode ou un réseau de diodes Schottky RF et son rôle est de convertir un signal RF en un signal continu.

Plusieurs types d'instruments permettent de mesurer la puissance RF mais la meilleure précision est obtenue avec les appareils spécialisés dans la mesure de puissance. Les instruments de mesure haut de gamme utilisent un capteur de puissance externe et atteignent une précision de 0,1 dB, voire mieux. Les puissance-mètres peuvent mesurer des niveaux aussi bas que -70 dBm. Les capteurs utilisables sont très variés, selon que l'on veuille mesurer des puissances élevées, des puissances à des fréquences très élevées ou encore des puissances sur une bande passante étendue (dans le cas des mesures de pics de puissance).

Les puissance-mètres ont une ou deux entrées, avec un capteur indépendant sur chacune. Les instruments à deux entrées présentent l'intérêt de pouvoir mesurer la

Puissance en watts ou dBm

Dans l'univers de la RF, la puissance est souvent exprimée en dBm. Le dBm correspond à la valeur en dB d'une puissance "P" par rapport à une puissance de référence de 1 mW:

$$\text{dBm} = 10 \log P \text{ (en mW)}$$

Pour fixer les idées, nous avons indiqué ici les plages des émetteurs et des récepteurs des téléphones mobiles.

-140 dBm	0,01 fW	} Plage de sensibilité des récepteurs
-130 dBm	0,1 fW	
-100 dBm	100 fW	
-70 dBm	100 pW	
-60 dBm	1 nW	} Plage des émetteurs
-50 dBm	10 nW	
-40 dBm	100 nW	
-30 dBm	1 µW	
-20 dBm	10 µW	
-10 dBm	100 µW	
0 dBm	1 mW	
+10 dBm	10 mW	
+20 dBm	100 mW	
+30 dBm	1 W	
+40 dBm	10 W	
+50 dBm	100 W	

puissance d'entrée et la puissance de sortie d'un composant ou d'un système et de pouvoir ainsi calculer un gain ou une perte. Ces appareils à deux entrées peuvent également être utilisés pour réaliser des mesures relatives.

Certains instruments offrent des vitesses de mesure élevées de 200 à 1 500 lectures par seconde. Autre particularité, il existe des instruments capables de mesurer des pics de puissance de différents types de signaux, notamment les signaux modulés et les signaux impulsionnels. On signalera enfin que les puissancemètres existent en plusieurs facteurs de forme, notamment en version portable pour utilisation sur site. La principale limitation des puissancemètres se situe dans la limitation de l'amplitude de mesure. La bande passante est également souvent limitée. Autre limitation, ces appareils donnent une mesure globale et ne permettent pas de connaître la puissance correspondant aux différentes fréquences contenues dans le signal.

Les analyseurs de signaux et de spec-

tres RF. Les analyseurs de spectre et les analyseurs vectoriels effectuent des mesures dans le domaine des fréquences en utilisant des techniques de détection à bande étroite. Ils affichent un spectre, avec la puissance absolue ou relative en fonction de la fréquence. Ils peuvent également afficher un signal démodulé.

Les analyseurs de spectres et vectoriels ne prétendent pas avoir la précision des appareils spécialisés dans les mesures de puissance. Dans certains cas, leur précision peut tout de même descendre à $\pm 0,5$ dB. Par ailleurs, les techniques de détection à bande étroite utilisées dans les analyseurs RF permettent de mesurer des niveaux de puissance aussi faibles que -150 dBm.

Les analyseurs de spectres et vectoriels sont capables de mesurer des fréquences allant de quelques kilohertz à 40 GHz et au-delà. Plus la plage couverte est étendue, plus le prix de l'appareil est élevé. Les appareils les plus courants couvrent des gammes jusqu'à 3 GHz. C'est évidemment insuffisant pour analyser les signaux des nouveaux standards de communication dans la région des 5,8 GHz, qui nécessitent d'utiliser des analyseurs présentant des bandes passantes de 6 GHz, voire au-delà.

Les analyseurs vectoriels sont des analyseurs de spectre un peu particuliers, dotés de capacités de traitement du signal afin de restituer, en plus de l'amplitude, les composantes en phase et en quadrature de chaque fréquence contenue dans le signal. Les analyseurs vectoriels sont capables de démoduler les signaux modulés tels que ceux générés par les téléphones mobiles ou les équipements pour réseaux sans fil. Les résultats de l'analyse peuvent être présentés sous différentes formes (diagramme de constellation, distribution de la puissance en fonction des numéros des canaux, etc.) et faire des calculs de qualité de modulation tels que l'amplitude des erreurs vectorielles.

Les analyseurs de spectre traditionnels sont souvent qualifiés d'appareils à balayage car un oscillateur local balaye permet de balayer le spectre de fréquences avec un filtre à bande étroite et de mesurer ainsi la puissance correspondant à chaque fréquence présente dans le signal. Les analyseurs vectoriels procèdent également par balayage mais ils capturent des plages de fréquence plus étendues; de ce fait, ils restituent le spectre plus rapidement que les analyseurs de spectre.

Une caractéristique importante des analyseurs vectoriels est leur bande passante de mesure. Les nouveaux standards de com-



Dans le monde des radiofréquences, on s'intéresse beaucoup aux mesures de puissance. Celles-ci peuvent être réalisées à l'aide d'appareils de poche très simple à utiliser.

munication large bande tels que WLAN et WiMax travaillent avec des signaux de 20 MHz de bande passante. Pour capturer l'ensemble du signal, l'analyseur utilisé doit donc avoir une bande passante suffisamment étendue.

Un analyseur de spectre sert avant tout à vérifier qu'un émetteur génère le spectre de puissance désiré. On peut lui demander aussi de mesurer la présence éventuelle d'harmoniques ou de signaux transitoires qui sont responsables d'une distorsion du signal.

L'analyseur vectoriel s'impose lorsque l'on doit tester un émetteur ou un amplificateur qui transmet des signaux modulés numériquement. Ces équipements peuvent déformer le signal. Pour mesurer la distorsion produite sur le signal modulé, l'analyseur vectoriel est intéressant car il offre la possibilité de démoduler le signal. La procédure de démodulation est une opération complexe, qui demande beaucoup de calculs. Les analyseurs vectoriels avec fonction de démodulation permettent donc des gains de temps très appréciables lors du test des équipements.

Les générateurs RF. Tous les générateurs RF fournissent des signaux sinusoïdaux "continus". Certains modèles offrent des possibilités de modulation analogique des signaux RF. D'autres utilisent des modulateurs IQ pour créer des signaux modulés numériquement.

Les paramètres de spécification des générateurs RF sont nombreux. Les principaux sont les plages de fréquence et d'amplitude, la précision sur l'amplitude et, pour ceux qui délivrent des signaux modulés, la qualité de la modulation. Pour réduire les temps de test, la vitesse de réglage de la fréquence et le temps de stabilisation de l'amplitude constituent également des paramètres critiques.

Les générateurs de signaux vectoriels sont des générateurs à hautes performances qui incorporent en général des générateurs de formes d'ondes arbitraires pour créer numériquement les signaux. Un générateur de formes d'ondes arbitraires permet de créer n'importe quel type de signal modulé.

De nombreuses formes d'onde peuvent être générées en interne. Sur certains modèles, des formes d'onde peuvent être chargées dans l'instrument. Si les spécifications du test imposent de tester un matériel ou un système avec un signal modulé tel que celui qu'il sera appelé à traiter lorsqu'il sera en exploitation, on utilise en général un général vectoriel.

Les générateurs RF sont utilisés lorsque les

L'importance de la désadaptation d'impédance

Soit Z est l'impédance (d'entrée ou de sortie) d'un équipement et Z_0 l'impédance caractéristique de la ligne sur lequel il est connecté. Si ces deux impédances n'ont pas la même valeur, il

ya ce que l'on appelle une désadaptation d'impédance, qui se traduit par une perte au niveau du signal transmis et des interférences entre le signal transmis et le signal réfléchi.

Coefficient de réflexion	$\rho = \frac{V_{\text{refléchi}}}{V_{\text{incident}}} = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0}$
Taux d'Ondes Stationnaires	$\text{TOS} = \frac{V_{\text{max}}}{V_{\text{min}}} = \frac{V_{\text{incident}} + V_{\text{refléchi}}}{V_{\text{incident}} - V_{\text{refléchi}}} = \frac{1 + \rho}{1 - \rho}$
Amplitude du signal réfléchi, et donc non transmis	$\text{Perte} = 10 \log \frac{P_{\text{incident}}}{P_{\text{refléchi}}} = 20 \log \frac{1}{\rho} = 20 \log \frac{\text{TOS} + 1}{\text{TOS} - 1}$

ρ	TOS	Perte de signal	Puissance réfléchie	
0	1,0 : 1	∞ dB	0 %	Pas de réflexion ($Z = Z_0$)
0,047	1,10 : 1	26,4 dB	0,2 %	
0,099	1,22 : 1	20,1 dB	1 %	
0,224	1,58 : 1	13 dB	5 %	
1	∞	0 dB	100 %	Réflexion totale (ligne ouverte ou en court-circuit)

spécifications de test exigent de réaliser des tests de sensibilité, des tests de taux d'erreurs de bits (BER, Bit Error Rate), de la réjection sur des canaux adjacents, de la réjection et de la distorsion d'intermodulation. Le test d'intermodulation sur deux fréquences et le test de réjection sur des canaux adjacents nécessitent d'utiliser deux générateurs. Le test de sensibilité et le test BER peuvent par contre être réalisés avec un seul générateur.

Un équipement utilisé dans l'industrie de la téléphonie mobile doit être testé avec des signaux modulés du même type que ceux qu'utilisent les téléphones mobiles. Ainsi, un amplificateur de puissance sera testé avec un générateur de signaux vectoriel. Avant de choisir ce type d'instrument, il faut évaluer la vitesse à laquelle il est capable de commuter entre les différents signaux modulés ; c'est essentiel pour obtenir les temps de test les plus courts possible.

Les analyseurs de réseau. Les analyseurs de réseau constituent, avec les analyseurs de signaux et les analyseurs de spectre, le troisième type d'analyseur. Ces analyseurs associent un générateur RF interne et un détecteur large bande ou à bande étroite. Ils présentent les caractéristiques de l'équipement sous test dans un plan X-Y de

coordonnées rectangulaires, de coordonnées polaires ou d'un diagramme de Smith.

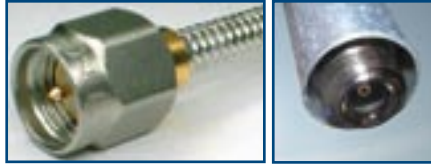
Pour l'essentiel, un analyseur de réseaux vectoriel mesure les paramètres S d'un équipement. Il donne des informations sur l'amplitude et la phase et détermine les pertes ou les gains de transmission, tout ceci sur une large bande de fréquences et avec une bonne précision. Il mesure également la perte due à la puissance réfléchie (à cause d'une désadaptation d'impédance), ainsi que les retards de groupe.

Les analyseurs de réseau sont surtout utilisés pour l'analyse des composants tels que les filtres et les amplificateurs. Les analyseurs de réseau travaillent avec des signaux RF "continus" non modulés et il est impératif qu'ils soient correctement calibrés. Les fournisseurs proposent d'ailleurs des kits permettant de vérifier que l'appareil est à l'intérieur des spécifications obtenues lors de l'étalonnage.

Incorporant à la fois un générateur et un analyseur, et travaillant de surcroît dans une plage de fréquence étendue, les analyseurs de réseau sont relativement onéreux.

Un exemple d'application : le test des amplis de puissance

Les amplificateurs de puissance constituent



Dans les hyperfréquences, la connectique joue un rôle important. Si elle n'est pas adaptée, il y a des pertes sur les signaux mesurés et les mesures sont faussées.

un bon exemple de test où il est nécessaire de faire appel aux quatre instruments majeurs utilisés lorsque l'on travaille dans les radiofréquences. Un générateur fournit le signal d'entrée tandis qu'un analyseur de spectre ou un puissance-mètre mesure la puissance de sortie. Si on a besoin de précision, pour par exemple mesurer la puissance maximum, la mesure de la puissance de sortie se fera de préférence avec un puissance-mètre.

Les concepteurs d'émetteurs RF attachent une grande importance à la valeur de l'impédance d'entrée de l'amplificateur de puissance. Si on veut éviter qu'une partie importante de la puissance envoyée à l'entrée de l'amplificateur ne soit perdue à cause de

réflexions, il faut veiller à l'adaptation de l'impédance d'entrée de l'amplificateur. Pour vérifier cette impédance, les constructeurs mesurent les pertes de réflexion.

Si on s'intéresse à la valeur scalaire de l'amplitude (et donc pas à la phase) de la puissance réfléchie, on se contentera de coupler un générateur RF et un analyseur de spectre ou un puissance-mètre (si on veut de la précision). La mise en œuvre est plus complexe que dans le cas de l'utilisation d'un analyseur de réseau car il faut prévoir quelques composants passifs supplémentaires.

Dans le monde réel, les amplificateurs sont souvent coupés à des charges (en général des antennes) dont l'impédance d'entrée n'est pas rigoureusement égale à 50 Ω. Lors du test en production de l'amplificateur, il faut pouvoir mesurer les effets de cette désadaptation d'impédance entre l'impédance d'entrée de la charge et l'impédance de sortie de l'amplificateur. Ceci est réalisé en connectant une charge résistive différente de 50 Ω. Si la charge raccordée sur l'amplificateur est de 50 Ω, le TOS est égal à 1 : 1. En pratique, on rencontre des situations où le TOS atteint 20 : 1, et une bonne partie de la puissance délivrée par l'amplificateur n'est donc pas appliquée à la charge. Afin de s'assurer que la charge reçoit une partie de la puissance émise par l'amplificateur, il est important de mesurer la puissance réfléchie.

Dans de nombreuses applications, il ne suffit pas de mesurer la puissance de sortie et il faut connaître la répartition de cette puissance dans le spectre de puissance. C'est le cas par exemple des émetteurs de radiodiffusion ou en téléphonie mobile : il ne faut qu'il y ait trop de puissance émise dans les canaux adjacents au canal d'émission de l'amplificateur de puissance. Il faut donc mesurer la distorsion harmonique et la distorsion d'intermodulation à l'aide d'un analyseur de spectres. Ici, la capacité de l'appareil à mesurer un signal bas niveau en présence

d'un signal de niveau élevé (d'une porteuse, par exemple) est un critère important à prendre en compte lors de la sélection de l'appareil. Prenons par exemple le cas d'un amplificateur de puissance dont le niveau de la puissance émise dans les canaux adjacents doit être à -60 dBc de la porteuse. Ceci signifie que l'analyseur de spectre utilisé doit avoir une dynamique supérieure d'au moins 6 dB au niveau minimum autorisé pour les harmoniques et les produits d'intermodulation.

La mesure de la puissance dans les canaux adjacents doit être réalisée avec un signal modulé, ce qui impose de s'intéresser aux performances du générateur RF dans les canaux adjacents. La puissance émise dans les canaux adjacents par le générateur RF doit être au moins de 6 dB inférieure à la puissance maximum que l'amplificateur est autorisé à émettre dans ces canaux adjacents.

Pour les mesures d'harmoniques, l'analyseur doit avoir une gamme de fréquence au moins trois fois plus étendue que la plage de fonctionnement de l'amplificateur de puissance. Il est ainsi possible de mesurer la troisième harmonique de la fréquence de fonctionnement de l'amplificateur. Le plancher de bruit de l'analyseur de spectre doit être au moins 6 dB inférieur au niveau de cette troisième harmonique, afin que le rapport signal sur bruit soit suffisamment élevé pour effectuer une mesure précise et reproductible. La mesure des harmoniques permet d'estimer la distorsion créée par l'amplificateur de puissance sous test ; une distorsion importante affecte ses performances en modulation.

La distorsion d'intermodulation détermine le niveau de distorsion généré par l'amplificateur de puissance lorsqu'un signal contenant plusieurs fréquences (ou un signal dont la fréquence varie) est appliqué à son entrée. Deux générateurs sont nécessaires pour générer les signaux de test. Un générateur à deux sorties ne constitue pas un bon choix car l'isolation entre les deux sorties est insuffisante pour ce genre d'application ; un tel générateur créerait sa propre distorsion d'intermodulation et fausserait la mesure de la distorsion d'intermodulation à la sortie de l'amplificateur.

Quant aux mesures de la qualité de la modulation, elles doivent être faites avec des analyseurs de réseaux vectoriels.

Robert Green
Keithley Instruments

Cet article est basé sur une publication faite dans Evaluation Engineering de novembre 2006.

Plancher de bruit (Noise Floor)

Bruit thermique = kTB

où k est la constante de Boltzmann, T est la température et B la bande passante.

Bruit thermique (en dBm), à la température ambiante, dans une résistante de 50 Ω :

$$NF^* = -174 \text{ dBm} + 10 \log \frac{\text{bande passante}}{1 \text{ Hz}}$$

* Le bruit thermique est souvent appelé "plancher de bruit", ou Noise Floor (NF)

Bande passante	NF
5 GHz	-77 dBm
1 GHz	-84 dBm
100 MHz	-94 dBm
10 MHz	-104 dBm
1 MHz	-114 dBm
100 kHz	-124 dBm
10 kHz	-134 dBm
1 kHz	-144 dBm
100 Hz	-154 dBm
1 Hz	-174 dBm