

Générateur de signaux SMIQ + SMIQ-B14

Simulateur de fading et générateur de signaux dans un même appareil

La transmission d'un signal entre émetteur et récepteur, en particulier mobile, est beaucoup affectée par les propriétés du canal radio. Lors du développement et de l'agrément de récepteurs, on fait donc appel à des signaux de test traduisant les conditions réelles de réception rencontrées en service mobile, c'est-à-dire simulant le « fading » ou l'évanouissement. La génération de signaux de test conformes à la réalité exigeait jusqu'ici trois appareils : un générateur de signaux, un oscillateur local et un simulateur d'évanouissement. Avec le générateur de signaux SMIQ et son option simulateur de fading, un seul appareil est aujourd'hui suffisant.

Le générateur de signaux SMIQ (fig. 1) est une source universelle de signaux RF pour applications de recherche, développement et production dans le domaine des radiocommunications numériques [1]. L'option simulateur de fading le rend aujourd'hui encore plus intéressant.

Facteurs affectant la transmission d'un signal

La propagation entre un émetteur fixe et un récepteur mobile est soumise à des variations permanentes. Les propriétés du canal radio varient dans le temps et suivant la fréquence, ce qui conduit à un évanouissement sélectif en fonction du temps et de la fréquence. Le signal reçu est essentiellement affecté par quatre grands facteurs : la propagation par trajets multiples, la dispersion locale, le décalage Doppler et les fluctuations lentes du signal.

Propagation par trajets multiples

(« multipath fading ») : l'onde électromagnétique rayonnée par l'émetteur subit de multiples réflexions, diffractions et atténuations sur des obstacles (bâtiments, relief, végétation, nuages). Il en résulte au site de réception un signal constitué de multiples signaux élémentaires. Ces signaux empruntent des trajets différents et ont donc des amplitudes et temps de propagation différents. Ils présentent ainsi des déphasages pouvant conduire à une disparition totale du signal. Le canal radio se compose par conséquent de plusieurs

trajets M (jusqu'à 12 dans les modèles) se caractérisant par des parcours de longueurs très différentes. D'où des différences de temps de propagation significatives par rapport à la durée des symboles T_s des transmissions numériques ($\tau \geq T_s$, τ = différence de temps de propagation entre deux signaux élémentaires).

L'un des effets de la réception par trajets multiples, qui apparaît même dans le cas d'un récepteur immobile, est le **fading à bande étroite sélectif en fréquence**, conduisant à des évanouissements

Fig. 1 Le générateur de signaux SMIQ à option simulateur de fading SMIQ-B14 délivre des signaux conformes à la réalité pour le test de récepteurs de radiocommunication et radio-diffusion de pratiquement tous les systèmes actuels et futurs. Photo 42 890

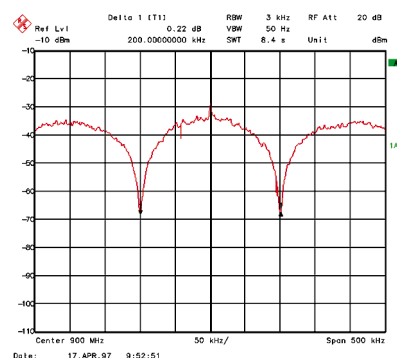


Fig. 2 Simulation de réception par trajets multiples : un modèle à deux trajets retardés de 5 μ s l'un par rapport à l'autre est réglé sur le SMIQ. Il en résulte des décrochements en fonction de la fréquence, espacés de 200 kHz.

profonds (« notches ») dans la bande passante du canal de transmission. Leur espacement est de $1/\tau$ (fig. 2).

Un autre effet de la réception par trajets multiples est l'étalement dans le temps du signal reçu, constitué de plusieurs signaux élémentaires arrivant avec plus ou moins de retard : c'est la **dispersion temporelle** (« delay spread »). Pour des différences de temps de propagation supérieures à la durée du symbole T_s , il peut alors arriver que la réception de composantes du signal faisant partie d'un symbole soit brouillée par les composantes de symboles antérieurs, d'où le terme d'interférences intersymboles. Dans le système GSM, on considère que les différences de temps de propagation peuvent atteindre quatre fois la durée des symboles (fig. 3).

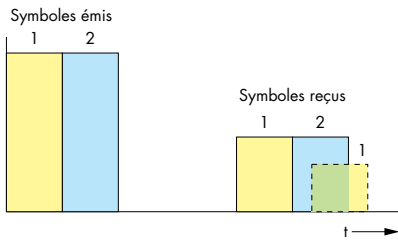


Fig. 3 En réception par trajets multiples, les différences de temps de propagation supérieures à la durée des symboles conduisent à des interférences intersymboles.

Dispersion locale (« local scattering ») : les multiples dispersions au voisinage immédiat du récepteur engendrent une multitude d'ondes élémentaires. Pour chaque trajet de propagation, le signal parvenant au récepteur se compose donc de toute une série de signaux dont les différences de temps de propagation sont faibles par rapport à la durée du symbole ($\tau \ll T_s$), mais significatives par rapport à la période de la porteuse. Lorsque le récepteur se déplace, les variations aléatoires de l'amplitude et de la phase des différents échos se traduisent alors par un **fading sélectif dans le temps**. Cet effet, également appelé évanouissement de courte durée (« fast fading »), entraîne des fluctuations aléatoires du signal, avec des décrochements espacés d'environ une longueur d'onde dans l'espace et – suivant la vitesse du récepteur – de quelques millisecondes dans le temps (fig. 4).

Décalage Doppler (« Doppler shift ») : le déplacement du récepteur fait apparaître des décalages de la fréquence reçue. Comme les échos provenant des

diverses directions arrivent avec des décalages Doppler différents, le signal reçu est étalé en fréquence, ce que l'on désigne aussi par dispersion de fréquence (« Doppler spread »). Le spectre Doppler est réparti dans les limites de $\pm f_{Dmax}$ autour de la fréquence d'émission.

Fluctuations lentes du signal (« long term fading » ou « slow fading ») : ce facteur englobe les variations lentes de l'intensité du champ, provoquées, par exemple, par les ombres en terrain vallonné. Dans cet évanouissement lent, les variations d'atténuation s'étendent sur des distances correspondant à un multiple de la longueur d'onde.

Simulateur de fading

Les systèmes de radiocommunications avec les mobiles sont conçus de manière à ne pas être trop brouillés par les imperfections du canal radio. Parmi les techniques développées contre les conséquences de la réception par trajets multiples, figurent le codage de protection contre les erreurs (FEC), les algorithmes de compensation des temps de propagation (« equalizing »), l'entrelacement du contenu des messages (« interleaving ») et les circuits d'adaptation de fréquence. Pour tester ces techniques de manière reproductible, on utilise des simulateurs de fading reproduisant fidèlement les conditions réelles rencontrées sur le canal radio [2]. Les scénarios à reproduire et modèles mathématiques et statistiques adoptés pour simuler l'évanouissement sporadique sont définis dans les

spécifications de mesure des normes de radiocommunications.

Les simulateurs de fading étaient jusqu'ici de coûteux appareils autonomes. Avec le **SMIQ et l'option SMIQ-B14**, Rohde & Schwarz propose pour la première fois un générateur de signaux intégrant dans le même appareil un simulateur de fading à part entière, c'est-à-dire capable de simuler intégralement les évanouissements prescrits dans les spécifications de test de diverses normes de radiocommunications, telles que GSM, IS 54/IS 136 et IS 95. Les propriétés du simulateur de fading du SMIQ lui permettent de simuler les canaux radio des systèmes de communications actuels et futurs, qu'il s'agisse de radiocommunications avec les mobiles, de radiodiffusion, de téléphonie à bord des avions ou de systèmes WLL ou WLAN.

L'option fading du SMIQ est proposée en deux configurations : pour la simulation de 6 trajets en cas d'utilisation d'une seule option ou pour 12 trajets avec une seconde option. A chacun des trajets peut être affecté indépendamment l'un des types de fading suivants : Rayleigh, ricien ou pur Doppler.

Le **fading pur Doppler** simule un trajet correspondant à une liaison directe entre émetteur et récepteur mobile. Le signal comprend une seule composante décalée de la fréquence Doppler.

Le **fading de Rayleigh** simule un champ radio du type de celui engendré par dispersion locale, c'est-à-dire avec

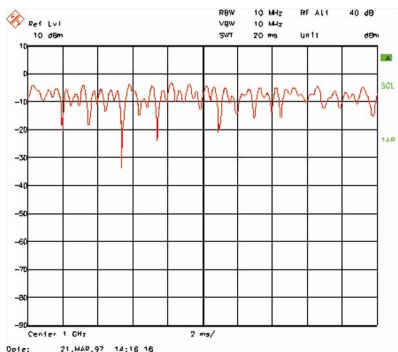


Fig. 4 Fluctuation typique du niveau reçu par fading sélectif dans le temps.

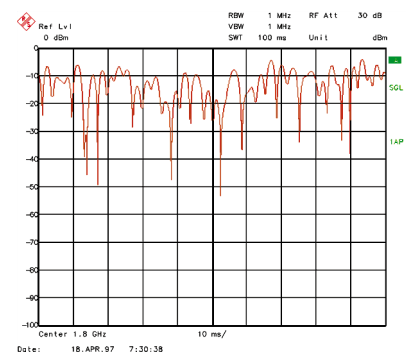
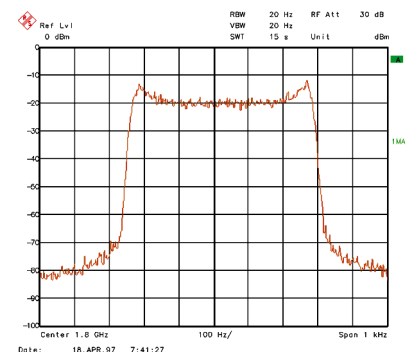


Fig. 5 Niveau de sortie du SMIQ (à gauche) ainsi que spectre (à droite) dans le cas d'une loi de Rayleigh. Le signal représenté correspond à un trajet activé avec une fréquence Doppler $f_{Dmax} = 250$ Hz.



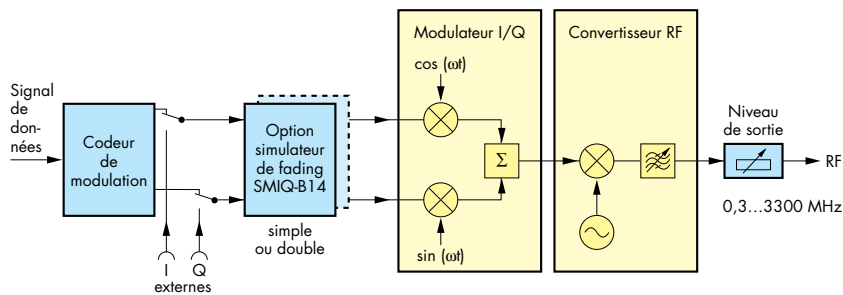


Fig. 6 Disposition du simulateur de fading dans la branche I/Q du générateur de signaux SMIQ, équipé d'une option pour 6 trajets et de deux options pour 12 trajets.

incidence de nombreuses ondes élémentaires d'amplitude variable équiréparties. L'amplitude de réception varie donc dans le temps. Les variations aléatoires du signal reçu apparaissant en conditions réelles sont fidèlement reproduites en faisant suivre une loi de Rayleigh à la densité de probabilité du module de l'amplitude reçue (c'est-à-dire à l'amplitude délivrée par le générateur de signaux). Dans le cas d'un signal radio non modulé, on obtient le spectre Doppler classique, typique du fading de Rayleigh (fig. 5).

La **fading ricien** simule un champ radio dans lequel, parallèlement à de multiples ondes élémentaires dispersées, le récepteur reçoit une onde directe de forte intensité. La densité de probabilité de l'amplitude reçue est décrite par une loi de Rice. Le spectre d'évanouissement d'un signal non modulé est la superposition du spectre Doppler classique et d'une raie discrète.

Outre les types de fading précités, il est par ailleurs possible d'imposer pour chacun des trajets l'atténuation, le retard, la fréquence Doppler ou la vitesse, la corrélation de deux trajets pour évanouissement sur deux canaux et les paramètres caractérisant l'évanouissement lent. Ce dernier, également désigné par « **log normal fading** », agit par multiplication sur l'atténuation de propagation. Les variations du signal sont ainsi modélisées par une variation temporelle lente à loi log-normale de la valeur moyenne de l'intensité du champ. La conjonction du « log normal fading » et du « Rayleigh fading » donne le **fading de Suzuki**.

Avec le SMIQ doté de l'option fading, l'utilisateur a, d'une part, pratiquement toute liberté de régler les conditions d'évanouissement et peut, d'autre part, accéder par quelques touches à des modèles de canaux préprogrammés, tels que GSM zone rurale, zone urbaine typique ou terrain vallonné.

Intégration de l'option fading

Le simulateur de fading SMIQ-B14 est inséré en bande de base I/Q dans le générateur SMIQ (fig. 6). Ses signaux d'entrée et de sortie sont les signaux I/Q analogiques. La simulation de fading est applicable en cas de modulation numérique interne (les signaux I/Q sont générés dans le codeur de modulation à partir de ses signaux de données d'entrée) et également avec signaux I/Q injectés de l'extérieur. Un ou deux modules peuvent être utilisés, suivant les besoins, pour simuler un évanouissement sur 6 ou 12 trajets.

La simulation du fading sur 2 canaux, utilisée, par exemple, pour étudier les propriétés de diversité de fréquence, est possible à l'aide de deux généra-

teurs SMIQ. L'un des deux générateurs est alors équipé de deux options de simulation de fading, le second n'exigeant aucune option. Six trajets peuvent être simulés par canal.

La supériorité de la combinaison générateur de signaux plus simulateur de fading par rapport aux solutions antérieures est évidente. Le générateur de signaux SMIQ à simulateur de fading intégré délivre des signaux à évanouissement réglable et à modulation quelconque dans une gamme de fréquence continue de 300 kHz à 3,3 GHz. Jusqu'ici, il fallait en général trois appareils : un générateur RF, un simulateur de fading et un générateur servant d'oscillateur local pour la transposition en fréquence. Indépendamment de l'économie et du gain de place qu'apporte la solution à un seul appareil SMIQ, celle-ci présente aussi des arguments techniques : large gamme de niveau (-137 à -5 dBm), grande précision du niveau et pureté spectrale en termes de non-harmoniques, une seule interface utilisateur et une seule interface de bus CEI pour l'ensemble générateur de signaux plus simulateur de fading.

Franz Lüttich

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Klier, J. : Générateur de signaux SMIQ – Modulations numériques de haute qualité jusqu'à 3,3 GHz. Actualités de Rohde & Schwarz (1997), N° 154, p. 4-6.
- [2] Zumkeller, M. ; Saalfrank, W. : Fadingkanal-Simulator FADICS. Rundfunktechnische Mitteilungen 35 (1991), N° 4, p. 153-158

Résumé des caractéristiques Simulateur de fading SMIQ-B14

Basse passante RF (3 dB)	14 MHz
Canaux	1 ou 2 (avec second SMIQ)
Trajets par canal	12 (1 canal), 6 (2 canaux)
Atténuation par trajet	0 ... 50 dB, résolution de 0,1 dB
Retard par trajet	0 ... 1600 µs, résolution de 50 ns
Décalage Doppler	0 ... 1600 Hz
Profils de fading	Rayleigh, ricien, pur Doppler, log normal
Modèles de canaux préprogrammés	GSM (GSM 05.05/GSM 11.10), IS 54, IS 136 (IS 55/IS 56), IS 95 (IS 97/IS 98)

Service lecteurs 155/03