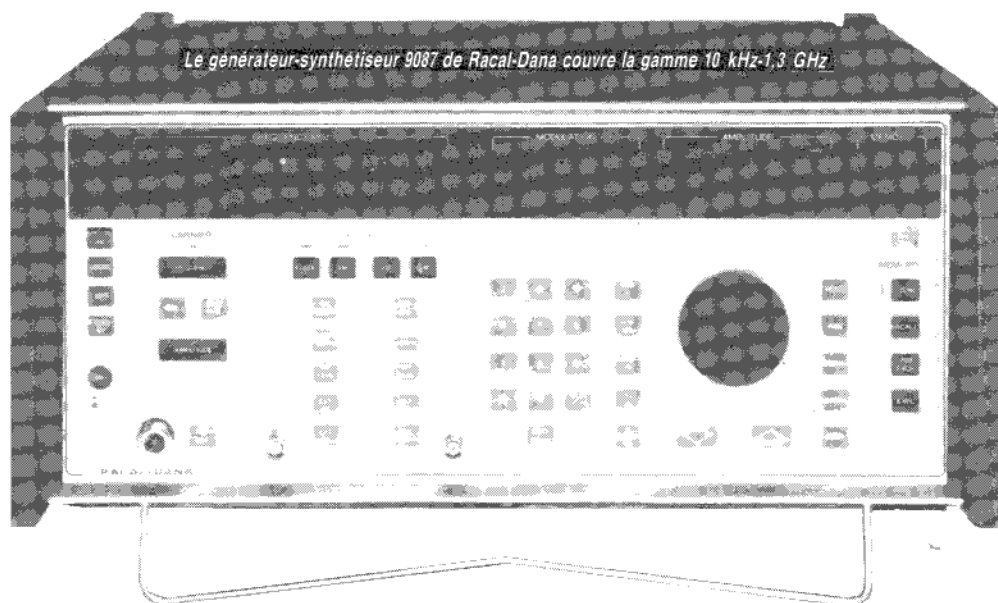


# RACAL-DANA

## Un synthétiseur 1,3 GHz à haute pureté spectrale

Le générateur-synthétiseur 9087 de Racal-Dana couvre la gamme 10 kHz-1,3 GHz



Associant la stabilité élevée d'un synthétiseur, à la pureté spectrale d'un générateur classique, le 9087 de Racal-Dana, qui couvre la gamme 10 kHz-1 300 MHz, se distingue encore par son très faible temps de commutation (inférieur à 400  $\mu$ s à 1 Hz de la porteuse). La façon dont sont obtenues ces performances fait l'objet du présent article, un tableau comparatif permettant de positionner le 9087 par rapport aux principaux matériels concurrents présents sur le marché.

Les besoins actuels pour le test des systèmes de communication à agilité de fréquence imposent une

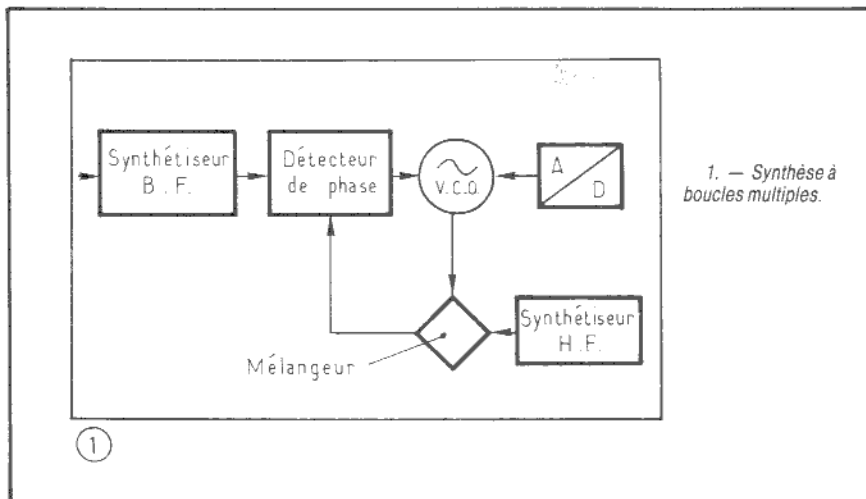
nouvelle dimension dans la technologie de la génération du signal. Ces besoins sont : haute pureté

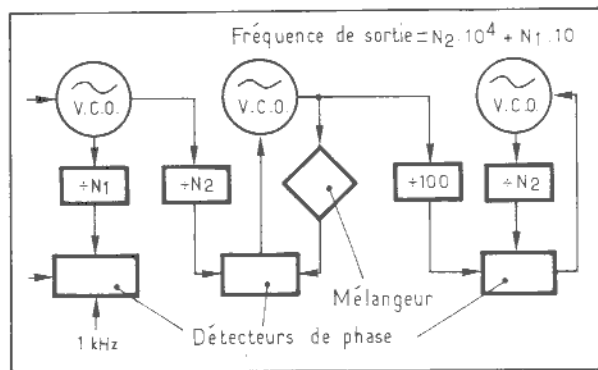
spectrale et faible bruit de phase ; large couverture de fréquence ; haute stabilité et grande précision ; programmation complète des fonctions avec haute vitesse de commutation pour le test automatique ; possibilités de modulation étendues ; grande dynamique et bonne précision du niveau de sortie ; rayonnement parasite négligeable.

### La solution Racal-Dana

La figure 1 présente le système classique à boucles multiples. Ce dernier possède de nombreux avantages sur un système de synthèse à simple boucle de phase, en particulier sur le temps de verrouillage et le niveau de bruit. Il permet de s'affranchir d'une référence à 1 Hz, d'ailleurs impossible à réaliser.

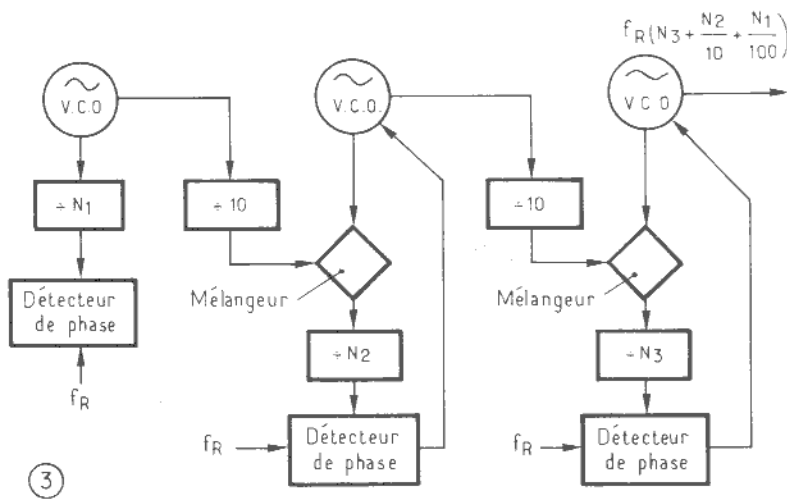
Dans le 9087 de Racal-Dana, un synthétiseur basse fréquence à gamme réduite de 10 à 15 MHz,





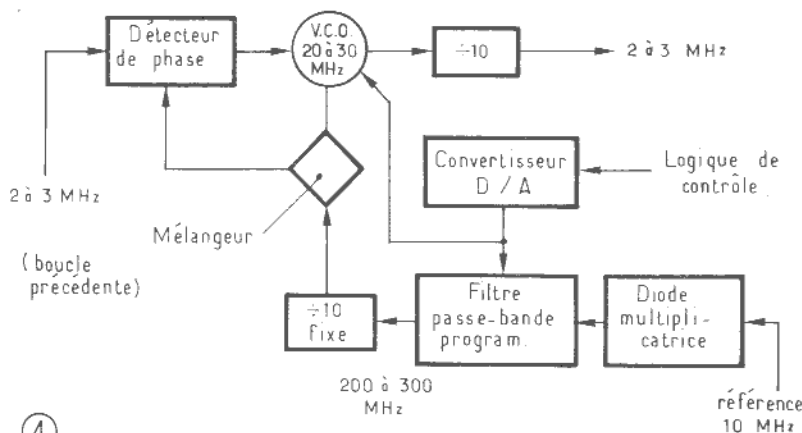
②

2. — Synthèse à boucle de transfert.



③

3. — Synthèse à décade.



④

4. — Synthèse basse fréquence : en utilisant un facteur de multiplication à partir de fréquences basses, le 9087 fournit un faible niveau de bruit.

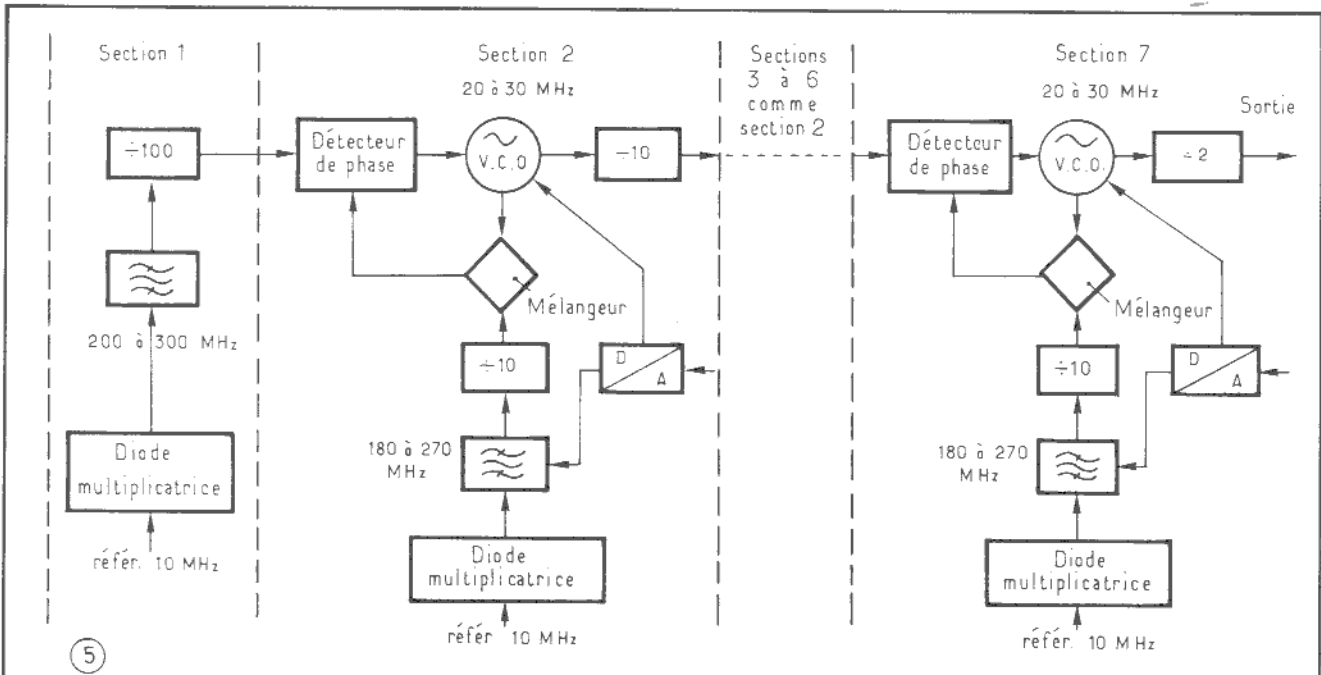
par bonds de 1 Hz, est combiné, grâce à un mélangeur, à un synthétiseur haute fréquence couvrant la gamme 400 MHz à 1 300 MHz, par bonds de 10 MHz; le produit est apte à fournir un signal couvrant une large gamme avec des incréments faibles. En utilisant la somme et la différence de ces deux synthétiseurs, on peut, grâce à une boucle combinée, limiter la fréquence du synthétiseur basse fréquence à 5 MHz. Un convertisseur numérique/analogique, contrôlé par microprocesseur, maintient la fréquence des VCO (oscillateurs commandés en tension) proche de leur valeur nominale.

Cette technique, associée à la grande bande passante des boucles, permet d'obtenir un temps de « bouclage » en phase extrêmement court; la limitation du système réside toujours dans le temps de réponse du synthétiseur basse fréquence. Le système breveté de boucle à transfert *Racal-Dana* (fig. 2) permet d'obtenir un bruit faible avec une relative simplicité.

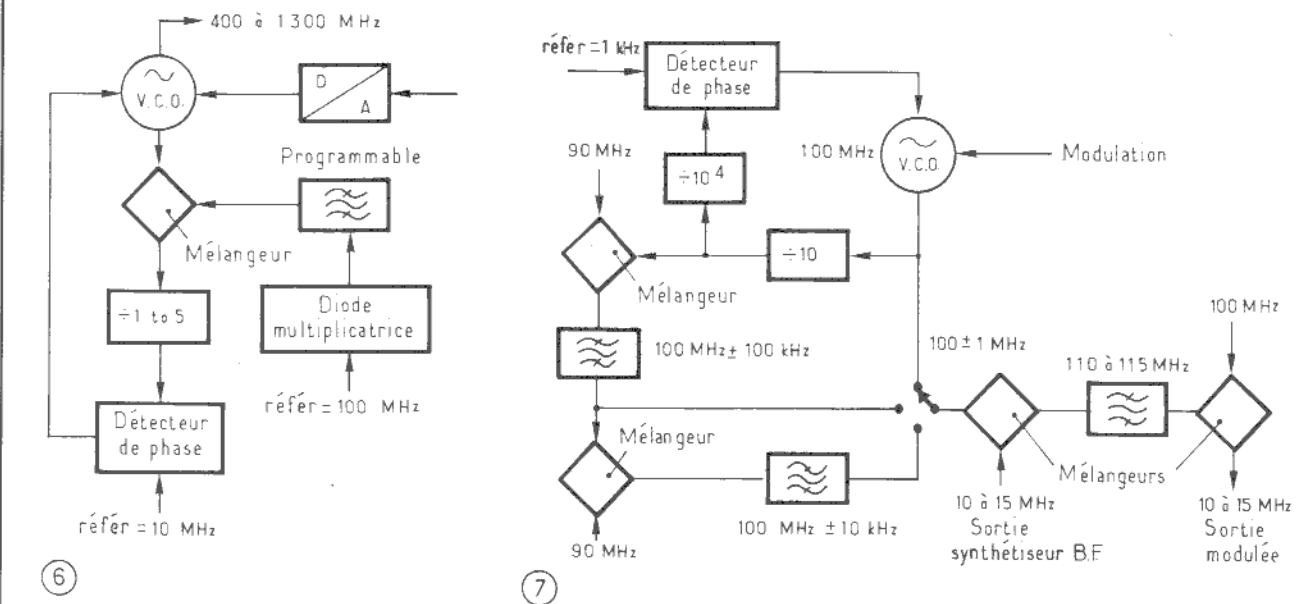
**Le synthétiseur basse fréquence du 9087.** — Un classique synthétiseur à décades (fig. 3) possède un temps de verrouillage assez court avec de meilleures performances de bruit, puisque les fréquences de référence sont élevées par rapport aux boucles autorisant de ce fait des bandes passantes élevées. Cependant, la logique rapide s'avère nécessaire pour obtenir des temps de verrouillage inférieurs à la milliseconde, ce qui entraîne une consommation élevée en puissance et des problèmes pour réaliser les circuits en technologie LSI.

La figure 4 propose une version modifiée du traditionnel système à décade, offrant un meilleur facteur de bruit avec un temps de réponse plus court; l'amélioration du bruit provient de la faible multiplication en fréquence du signal, alors que les larges bandes passantes possibles avec ce système autorisent un temps de verrouillage très court.

Une fréquence de référence à 10 MHz est envoyée sur un multiplicateur à diode qui génère un peigne d'harmoniques jusqu'à 300 MHz. Un filtre programmable sélectionne une de ces harmoniques dans la gamme 200 à 300 MHz, avec une réjection de



5. — Les boucles sont mises en cascade pour obtenir le pas de fréquence désiré. Le circuit diviseur par deux en sortie permet de réduire le facteur de multiplication du bruit de 6 dB.



6. — Synthèse haute fréquence : elle est similaire à la synthèse basse fréquence et utilise une source de référence à 100 MHz commandant une diode multiplicatrice et fournissant un peigne de fréquence.

7. — Le 9087 peut être modulé en fréquence à partir du continu. La liaison entre la sortie du synthétiseur basse fréquence et le détecteur de phase de la boucle de combinaison est le meilleur endroit pour introduire les signaux de modulation.

40 dB pour celles non désirées. La réjection des harmoniques adjacentes est améliorée d'encore 20 dB par une division par 10, qui ramène le facteur de multiplication final à un maximum de 2,7. Le signal de sortie est alors mélangé dans une boucle de phase avec un signal provenant d'une section précédente et variant de 2 à 3 MHz, et en cascade ainsi les

sections (fig. 5) on obtient en sortie l'incrément désiré. Un diviseur par deux, placé en sortie, réduit le bruit d'environ 6 dB.

Il est à noter que les produits parasites et le bruit résiduel des sections précédentes sont réduits par l'insertion d'un diviseur par dix entre chaque section. Afin de réduire le temps de verrouillage, le convertisseur D/A, sous contrôle

du microprocesseur, amène l'oscillateur VCO aux environs de la fréquence désirée. La boucle de phase d'une largeur de 100 kHz réalise le verrouillage définitif dans un temps inférieur à la milliseconde.

Pour obtenir des signaux parasites à - 90 dBc en sortie, il faut - 84 dBc en sortie de la section 7, - 64 dBc pour la section 6 et

# Le 9087 de Racal-Dana face à ses concurrents\*

(doc. Racal-Dana)

Firme	Adret	Ailtech	Boonton (M.B. Elec- tronique)	Fluke (M.B. Elec- tronique)	Hewlett Packard	Hewlett Packard	Marconi	Marconi	Rohde & Schwarz	Rohde & Schwarz	Racal-Dana
Référence de l'appareil	7100D	380	1020	6071A	8662A	8656A	2017	2019	SMPC	SMS	9087
Fréquence entretenue (CW) :											
Gamme	100 kHz à 1,3 GHz	1 MHz à 2 GHz	150 kHz à 1,08 GHz	200 kHz à 1,04 GHz	10 kHz à 1,28 GHz	100 kHz à 990 MHz	10 kHz à 1,024 GHz	80 kHz à 1,04 GHz	50 kHz à 1,36 GHz	400 kHz à 1,04 GHz	10 kHz à 1,3 GHz
Résolution	1 Hz	1 Hz	50 à 400 Hz	1 à 2 Hz	0,1 à 0,2 Hz	100 à 250 Hz	10 à 100 Hz	10 Hz	0,1 Hz	100 Hz	1 Hz
Précision	0,01 ppm/24 h	0,001 ppm/24 h	< ± 0,01 ppm/24 h	< ± 0,01 ppm (option)	< ± 0,0005 ppm/24 h	< ± 0,001 ppm/24 h (option)	< 0,2 ppm	< 0,01 ppm	< 1.10 <sup>-9</sup> /24 h	0,1 ppm (option)	3.10 <sup>-9</sup> /24 h
Temps de commutation (à moins de 100 Hz)	100 ms	20 μs	110 ms	< 85 ms	< 12 ms	< 2s	7s		18 ms	40 ms	400 μs
Pureté spectrale :											
Harmoniques	< -30 dBc	< -20 dBc	< -30 dBc	< -30 dBc	< -30 dBc	< -30 dBc	< -27 dBc	< -30 dBc	< -30 dBc	< -30 dBc	< -35 dBc
Non-harmoniques	< -75 dBc	< -100 dBc	< -60 dBc	< -84 dBc	< -84 dBc	< -60 dBc	Aucune	< -60 dBc	-90 dBc	< -60 dBc	-90 dBc
Bruit de phase (plancher)	< -145 dBc/Hz	< -131 dBc/Hz	< -140 dBc/Hz	< -144 dBc/Hz	< -150 dBc/Hz	< -125 dBc/Hz	-144 dBc/Hz	-142 dBc/Hz	-145 dBc/Hz	-145 dBc/Hz	-150 dBc/Hz
Niveau de sortie : Gamme (résolution)	-140 à +20 dBm (0,1 dB)	-150 à +13 dBm (0,5 dB)	-147 à +19 dBm (0,1 dB)	-140 à +19 dBm (0,1 dB)	-140 à +13 dBm (0,1 dB)	-127 à +13 dBm (0,1 dB)	-131 à +19 dBm (3 1/2 digits)	-127 à +13 dBm (0,1 dB)	-143 à +13 dBm (0,1 dB)	-137 à +13 dBm (0,1 dB)	-140 à +19 dBm (0,1 dB)

\* D'autres critères doivent évidemment être pris en compte suivant l'utilisation qui sera faite de l'appareil : en particulier, les possibilités de modulation en amplitude, fréquence, phase... et, bien sûr, le prix.

seulement - 44 dBc en section 5. De ce fait, les sections 1 à 5 purent être conçues à partir du minimum de prix de revient, les composants les plus chers étant placés dans les derniers étages.

**Le synthétiseur haute fréquence du 9087.** — La figure 6 représente les blocs fonctionnels du synthétiseur H.F. On retrouve ici les mêmes techniques sauf que la référence est à 100 MHz, générant un peigne entre 100 et 1 300 MHz. L'harmonique désirée est filtrée puis mélangée à une boucle de phase dont le rapport de division est de 1 à 5. La référence de cette boucle est à 10 MHz. En utilisant la somme et la différence du mélange, on obtient un signal de sortie compris entre 400 et 1 300 MHz par incrément de 10 MHz.

Autre avantage, on limite de cette façon le facteur de multiplication à l'intérieur de la boucle de phase à l'ordre 5, là où le bruit issu de la logique de commande risquerait de dégrader le facteur de bruit du synthétiseur.

Cette technique permet de grandes amplitudes de fréquence de l'oscillateur et une grande bande passante de la boucle de

phase, donc des temps de verrouillage courts. Les performances en bruit d'un synthétiseur utilisant ce principe dépendent de la pureté des références 100 MHz et 10 MHz. Des références à faible bruit sont obtenues en utilisant un VCXO (oscillateur cristal contrôlé en tension) à haut niveau de sortie et à fréquence 100 MHz, le 10 MHz étant obtenu par un diviseur à décade. La stabilité à long terme s'obtient en asservissant le VCXO 100 MHz à un standard de précision 5 MHz par une boucle de phase étroite.

**Le mélange des deux synthétiseurs.** — La liaison entre la sortie du synthétiseur BF et le détecteur de phase apparaît comme étant le meilleur endroit pour insérer la modulation en fréquence. Une bande passante de boucle de 700 kHz suffit pour suivre des FM large à fréquence BF élevée. La figure 7 montre comment la modulation est générée puis ajoutée à la sortie du synthétiseur BF. Le signal de ce dernier est mélangé avec un signal de 100 MHz modulé. Le signal différence est supprimé par un filtre 110 à 115 MHz, ne laissant passer que la somme. Cette dernière est de

nouveau mélangée avec la référence à 100 MHz, un filtre passe-bas ne conservant alors que le signal d'origine modulé 10 MHz à 15 MHz.

Le VCXO à 100 MHz est verrouillé par une boucle étroite sur un signal de référence 1 kHz. Une boucle d'asservissement en fréquence (non représentée) module l'oscillateur afin d'obtenir de forts indices de modulation avec une faible distorsion. Pour des indices plus faibles, le signal FM 100 MHz est divisé par 10 et remélangé avec un signal pur à 90 MHz. Ce système est répété une nouvelle fois pour les indices de modulation très faibles. En ouvrant la boucle de verrouillage en fréquence, on autorise la modulation couplée en continu, généralement inexistante sur les générateurs synthétisés.

Le système décrit présente de nombreux avantages dans un générateur de haute qualité. L'opération de division et de mélange réduit le bruit à faible niveau de modulation, garantissant un rapport signal/bruit élevé. De même, le glissement en fréquence lors du fonctionnement en couplage continu est minimisé. La modulation de phase est simulée par une

pré-accélération sur le signal audio.

Une division par quatre du signal de sortie permet de descendre jusqu'à 100 MHz, mais si l'on continue dans cette voie, bien que diminuant à chaque division le bruit résiduel, on se heurte au nombre de filtres pour éliminer les harmoniques. L'approche *Racal-Dana*, pour descendre la gamme du générateur à 10 kHz, a été de générer un signal 500 MHz par multiplication de la référence 100 MHz, qui est alors mélangé avec la sortie du synthétiseur principal opérant dans la gamme comprise entre 500,01 MHz et 600 MHz. On obtient alors la gamme 10 kHz/100 MHz après passage dans un filtre passe-bas.

Le bruit de phase en bande latérale unique à la sortie d'un mélangeur est la somme des bruits des deux signaux incidents. Dans notre conception, les deux signaux sont issus de la même référence, dès lors leur bruit est largement cohérent. N'étant pas modifié, grâce à la grande bande passante des boucles de phase, ces bruits cohérents s'annulent dans le mé-

langeur. On obtient ainsi les performances en bruit résiduel d'un système à chaîne de diviseurs, avec la simplicité d'un mélangeur.

Un modulateur en impulsions, situé après la sortie des diviseurs, mais avant les changements de fréquence infracycles, procure une modulation en impulsions dans toute la gamme du générateur alors que le modulateur n'est appelé à fonctionner qu'entre 100 MHz et 1 300 MHz. De la même façon, un modulateur linéaire situé au même endroit procure un réglage grossier du niveau de sortie. Un système de contrôle automatique de gain (CAG) avec détection d'enveloppe assure le contrôle fin de niveau, sans avoir recours à un dispositif à large dynamique.

Pour obtenir la précision requise du niveau de sortie sur une grande amplitude, et un niveau élevé disponible, un amplificateur à très faible distorsion s'avère indispensable. La faible distorsion permet d'être sûr que le détecteur de crête donne une représentation exacte du niveau de sortie. La dynamique restreinte du CAG

rend nécessaire l'adjonction d'un atténuateur à plots de précision pour descendre aussi bas que - 140 dBm (0,02  $\mu$ V). Cette méthode permet d'obtenir la précision requise sur toute la gamme sans avoir recours à un système de nivelage dynamique par logiciel, différent pour chaque instrument. De plus, de telles corrections seraient impossibles dans le cas de mesures en agilité de fréquence, application pour laquelle a justement été conçu le 9087.

Avec son 9087, *Racal-Dana* a introduit un générateur synthétisé alliant haute pureté spectrale, large gamme de fréquences couvertes, possibilités de modulation étendues et compatibilité GPIB (IEEE-488) haute vitesse pour les systèmes automatiques. Ceci a été rendu possible par une quantité d'innovations technologiques et une grande expérience dans le domaine des générateurs haute fréquence. Le tableau fournit les caractéristiques comparées du 9087 et de quelques-uns de ses concurrents.

**Jean-François BIJONNEAU**  
*Ingénieur Racal-Dana*

TIRÉ A PART DE LA REVUE  
**électronique  
industrielle**

automatique  
programmable

N° 52/1-05-1983

# **RACAL-DANA**

## la maîtrise du signal

18, avenue Dutartre  
78150 Le Chesnay  
Tél. : (3) 955.88.88  
Télex : 697 215F