

# 浅析矢量信号发生器的进展历程

李文意

北京无线电计量测试研究所

**摘要:** 根据矢量信号发生器的特点以及大致在市场上推出的先后顺序,分别从矢量信号发生器的载频范围、内置标准通信制式、调制带宽、矢量调制质量、内置衰落模拟器以及射频和基带通道等方面介绍了各个时期矢量信号发生器的特点,以及未来矢量信号发生器关注的特性,如多基带模块、多信道衰落模块等功能。

**关键词:** 矢量信号发生器; 矢量调制质量; 调制带宽; 衰落模拟器

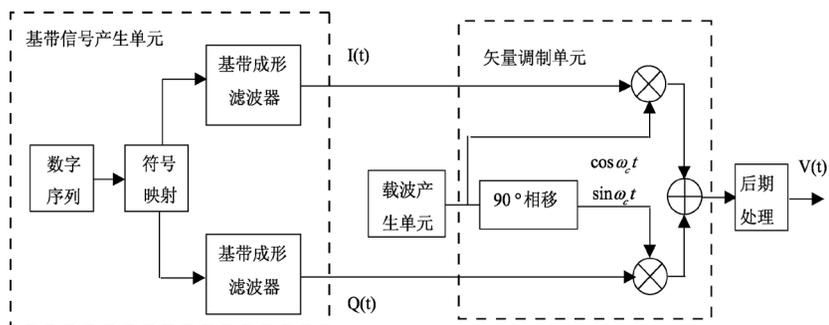
## 1 引言

矢量信号发生器又称矢量信号源、微波矢量信号源。近年来随着通信产业的迅速发展,所用频段和调制带宽不断增加,多载波和多标准通信制式共同使用,针对移动通信手机和基站设备的测量需求,矢量信号发生器应运而生,并快速发展起来。同时,随着国防领域的技术提升,新体制雷达以及高速跳频通信信号的模拟需求不断增加,传统微波信号源是无法实现复杂电磁环境多辐射源信号的产生需求,如果采用多台信号发生器通过功率合成器获得测量信号,显然既浪费资源,使用起来也不方便。随着各种应用的需求,矢量信号发生器在性能和功能等方面都得到了很大升级,如增加了射频通道、基带模块、衰落模拟模块等,使其在3G、4G基站验证测试以及国防、航空航天等科研领域都得到了广泛的应用。

## 2 矢量信号发生器结构及原理

矢量信号发生器通常由基带信号产生单元、载波产生单元、矢量调制单元等组成,原理框图如图1所示。基带信号单元主要是采用2个DAC经基带成型滤波器创建I和Q两路基带信号;载波产生单元是用来产生连续

载波信号;矢量调制单元首先将载波信号进行 $90^\circ$ 相移得到两路正交的载波信号,然后分别与两路基带信号进行调制,再相加得到矢量调制信号,常见的矢量调制方式有: BPSK、QPSK、PSK、QAM、FSK、MSK等,可用于GSM、NADC、CDMA等通信制式。



R&S、Keysight(原Agilent)、Anritsu、NI、IFR、Advantest几家著名仪器公司都供应性能不同的各种

频段的矢量信号发生器,例如R&S公司的SMXX系列、Keysight(原Agilent)的PSG系列和MXG系列、Anritsu公司

的MG8XXA、MG37XX系列、NI的PXI系列等，以下是矢量信号发生器的关键功能，分别进行阐述。

### 2.1 频率范围

各厂商根据自己的特长推出各自性能突出的产品，总体来讲矢量信号发生器的射频频率上限分为1 GHz、2 GHz、4 GHz、6 GHz、20 GHz、30 GHz和44 GHz等。Keysight(原Agilent)公司的8267D矢量信号发生器频率可达44 GHz,R&S公司的SMW200A也可以达到40 GHz的频率范围。

### 2.2 基带带宽

各种类型的矢量信号发生器都配备任意波形发生器作为数字调制源，任意波形发生器在原理上可仿真任何现实环境的复杂信号，但是受限于高速高比特的DAC，内置的基带带宽无法实现当前的超宽带信号产生需求，目前最高带宽的矢量信号源是SMW200A，内置基带提供160 MHz和16位分辨率。矢量信号源往往提供外调制功能，以解决内置基带带宽不够的问题，借助外基带产生器产生超宽带信号。SMW200A可以提供高达2 GHz的外调制带宽。

### 2.3 基带个数和通道个数

随着MIMO技术、阵列信号和抗干扰技术的研究，多基带多通道的矢量信号发射器应运而生，代表产品为SMW200A，可以实现2路RF通道和4路基带通道的同时输出。

### 2.4 信道衰落

衰落是无线通信中非常普遍的现象，对接收机的影响非常大，造成衰落的原因多种多样，而衰落现象会直接导致：接收信号失真、信号强度快速变化、出现随机调频、回波、引入误码等。在进行接收机性能测试时，必须在衰落的环境中进行测量才能获得对其性能进行全面的衡量。那么能够产生衰落信号，模拟真实无线传输环境也是对测试测量仪器的重要要求。

本文根据市场上常用矢量信号发生器的性能提升和变迁，将矢量信号发生器分为三代，分别介绍其在矢量调制信号产生方面的性能特点。

## 3 第一代矢量信号发生器概况

在20世纪七、八十年代第一代矢量信号发生器就已经有了相当的应用，其典型代表是SMIQ。此时的矢量信号发生器的特点主要包括以下6个方面。

1) 频率范围：载频频率上限通常分为1 GHz、2 GHz、3 GHz、4 GHz和6 GHz，最高的可以达到6.4 GHz，在相当长一段时间完全能满足第二代、第三代通信发展的需求。

2) 标准通信制式：这时矢量信号能涵盖各国TDMA和CDMA系统的通信标准，TDMA系统包括GSM、DECT、NADC、PDC、PHS等，CDMA系统有CDMA2000和

WCDMA。

3) 调制带宽：在矢量调制部分，最重要的参数就是IQ调制器的带宽，这个参数决定了数字调制信号的符号速率。第一代的矢量信号发生器内置的基带带宽可以达到30 MHz。

4) 个性设置调制参数：矢量信号发生器除了具有标准通信制式的矢量信号输出，还具有个性设置矢量调制主要参数功能，设置矢量调制参数主要包括调制方式、滤波器、符号速率等。其中，调制方式包含BPSK、QPSK、OQPSK、PI/4DQPSK、8PSK等，QAM调制包括16QAM、32QAM、64QAM、256QAM，此外还包括MSK、FSK和ASK等。滤波器则包括升余弦滤波器（或称奈奎斯特滤波器、RC滤波器）、根升余弦滤波器（或称根奈奎斯特滤波器、RRC滤波器）、高斯滤波器（GAUSS）等。

5) 信号产生通道：此时的矢量信号发生器的射频通道为单通道模式，而外调制IQ产生器的通道一般只有2个通道，即I通道和Q通道。

6) 矢量调制误差：矢量调制误差是衡量矢量信号产生质量的主要因素，直接标志矢量信号是否满足要求。第一代的矢量信号发生器的误差矢量幅度（EVM）一般在3%左右，相位误差为1°。

## 4 第二代矢量信号发生器

第二代矢量信号发生器除了具有第一代矢量信号发生器的各种性能外，相对于第一代矢量信号发生器在

载频、调制带宽、数字调制信号误差等方面都有了较大的改进,不仅能满足通信系统的需求,更能够满足用户的多种需求。第二代矢量信号发生器的代表为Keysight(原Agilent)的E4438C和E8267D。第二代矢量信号发生器的特点主要包括以下5个方面。

1) 频率范围:载波频率上限有了很大的提高,包括20 GHz、30 GHz、44 GHz,不但满足第二、第三代甚至第四代等各种通信标准的需要,同时也为其他行业如雷达、卫星通信等行业提供了可靠的矢量信号产生需求。

2) 标准通信制式:第二代矢量信号发生器在第一代矢量信号发生器的基础上新增了TD-SCDMA、IEEE802.11a/b/g/n、IEEE802.16、WLAN等新标准通信制式的通信,每种格式都可以由用户设置,获得最佳的波形因子和负载序列。

3) 调制带宽:第二代矢量信号发生器的内置基带信号调制带宽可以达到80 MHz,而外接基带信号输入带宽可以达到160 MHz,从而大大提高了调制信号的符号速率。

4) 实时模式:E4438C的实时模式(Real Time)建立模拟标准通信信号的时间很短,对于较长帧的信号,E4438C大约仅需要几秒钟。同时E4438C的矢量调制器具有100 MHz的高取样率和16位的ADC和DAC,使得无需使用多个波形重建滤波器,加快了信号的模拟产生。

5) 矢量调制信号误差:第二代矢量信号发生器在矢量调制信号质量误差方面有了较大的改进,对于标准通信制式EVM优于1.2%,相位误差为 $0.8^\circ$ 。

## 5 第三代矢量信号发生器

第三代矢量信号发生器在载波频率上限上没有太大的提高,与第二代基本持平,满足射频测试的需求。但是在多射频通道、调制带宽、操作便捷直观、场景模拟等方面有了很大的提高,其模块化设计还可以配装各种选件,更加适合各种3G、4G基站验证测试以及国防、航空航天科研、生产、调试等现场、实验室等场所的多种需求。下文列举了第三代矢量信号发生器的主要特点:

可选择第二条射频通道,2个内置基带模块和4个衰落模拟器模块,从而可实现单台仪器上,产生2个完整的矢量信号,并可轻松实现 $2 \times 2$ 、 $8 \times 2$  TD-LTE的MIMO场景信道模拟,或者LTE-Advanced载波聚合模式下的 $2 \times 2$  MIMO场景模拟。

支持外接射频信号发生器实现第3、4通道的矢量信号产生,满足对于WLAN测试需要的 $3 \times 3$  MIMO或者LTE-FDD中 $4 \times 4$  MIMO等应用。

支持所有重要的数字标准。尤其是LTE、LTE-Advanced、3GPP FDD/HSPA/HSPA+、GSM/EDGE/EDGE Evolution、TD-SCDMA、CDMA2000/1xEV-DO、WiMAX IEEE802.16和WLAN IEEE

802.11a/b/g/n/ac。模拟整个物理层,以及大多数标准的信道编码。这些数字通信标准选件均为仪器内置,所有操作和配置都在仪器界面上简单、快速地完成,无需外部电脑。这样可以简化调试,节省时间。

仪器还预置了各种通信标准的测试模式以及其衰落模拟场景。对于LTE和WCDMA等基站一致性测试,提供测试向导功能,用户只需几步配置,即可根据3GPP的规范自动配置好所有参数,大大简化了测试,也保证了参数的正确性。

内置衰落模拟器:内置衰落模拟器模块,能够同时模拟多达16条衰落通道,逼真模拟室内衰落场景,同时可以直接根据预定义的设置,选择所有主要标准要求的衰落场景。除了普通的有Rayleigh、Rice或纯Doppler衰落的多径场景外,还能够模拟在最新标准中规定的动态场景,诸如生-灭(birth-death),移动传播和高速列车场景。也可人工设置所有参数,这可方便实现用户特定的衰落配置。

调制带宽:内置基带信号调制带宽160 MHz,在此带宽内的带宽内调制频响可以达到 $\pm 0.05$  dB。外调制带宽可达2 GHz。

便捷直观的操作:方便、直观的操作界面,使用触摸屏,可以节省按键空间同时增大屏幕显示,框图式菜单结构,用户可以方便直观地配置信号,并通过视图观测生成信号的整个流程。

(下转第12页)