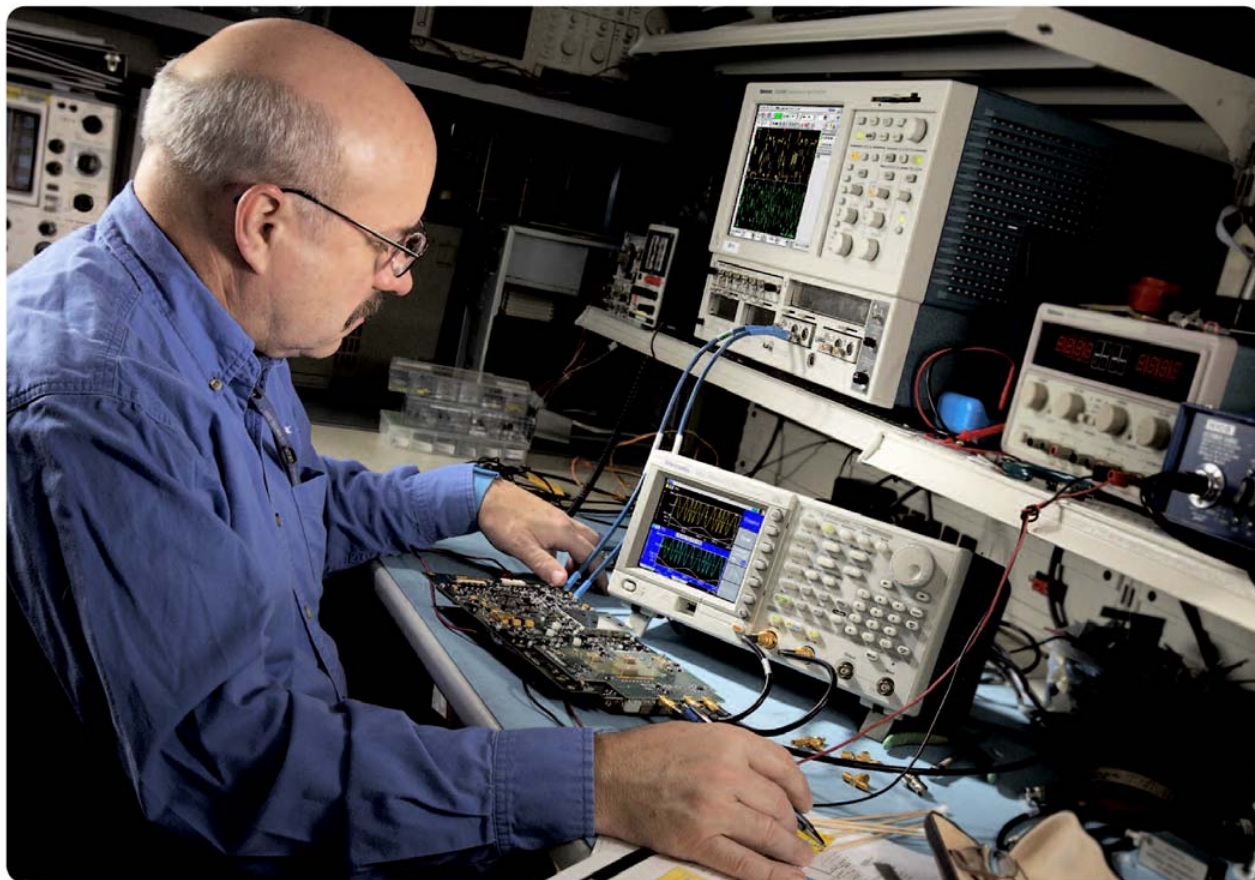


任意波形 / 函数发生器 在 RF 应用中提供通用激励源



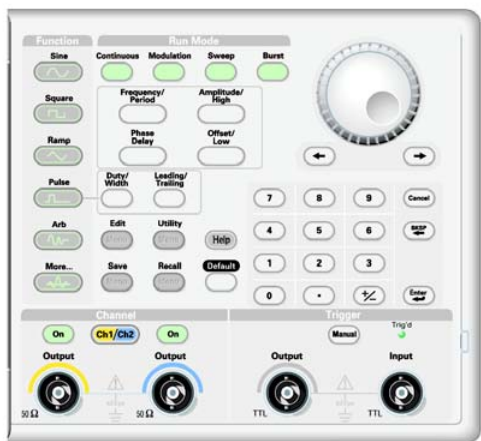
引言

根据设计规范测试RF元件和电路通常要求用仿真的输入信号代替没有的元器件,或分析设备在不同信号条件下的特点。多年以来,对CW频率高于100 MHz的CW信号和调制信号,RF发生器一直是首选的工具。最近,

在最新仪器技术的推动下,现代任意波形/函数发生器(AFG)的通用性、灵活性和频率范围都得到了明显改进,其在许多RF测试应用中的使用量正不断提高。

任意波形 / 函数发生器在 RF 应用中提供通用激励源

► 应用指南

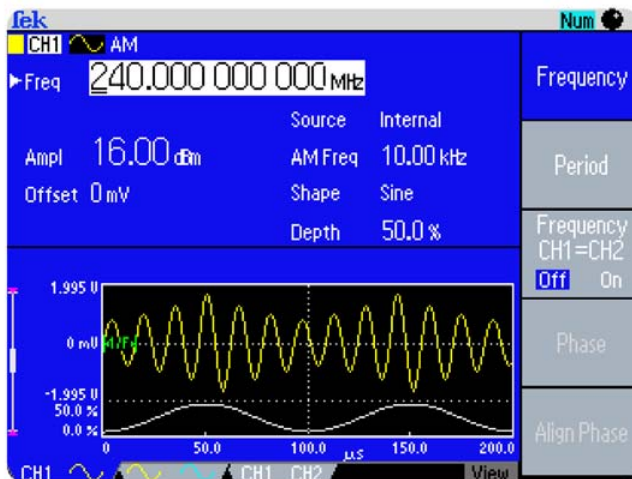


► 图 1. AFG3000 系列的前面板。

除 CW 信号和调制信号外, AFG 还能够生成扫频正弦波和信号突发脉冲。可以通过任意波形函数, 生成多种载波信号。双通道型号发生器甚至可以生成 I/Q 信号。本文描述了下述典型 RF 测试应用, 这些应用通常会把 AFG 作为首选的工具:

- 测量带通滤波器和 IF 放大器的带宽
- 测量互调失真
- 测量 IQ 调制器的正交误差和增益不平衡
- 仿真脉冲式雷达信号
- 测量脉冲式噪声系数

这些应用实例基于 AFG3000 系列 AFG3251 和 AFG3252 型号的任意波形 / 函数发生器。这些仪器可以生成高达 240 MHz 的 CW 信号及高达 120 MHz 的脉冲信号, 支持高达 16 dBm 的输出功率。可以通过内置调制发生器或调制频率高达 50 kHz 的外部来源, 在频率、幅度和相位中调制信号。



► 图 2. AFG3000 系列的显示画面。

在 RF 应用中使用任意波形 / 函数发生器的好处

AFG3000 系列在前面板上提供了 25 个专用按钮, 可以直接进入最常用的参数和函数, 缩短设置和评估时间。相比之下, 同类中许多其它仪器则需要通过几层的软菜单才能进入这些参数。

通过旋转旋钮或数字键盘, 可以在使用过程中调节所有波形参数。幅度可以用 Vpp、Vrms 或 dBm 显示。在调节定时参数的过程中, 输出信号会一直没有毛刺或跌落, 这在检定扫频设备时至关重要。

大型 5.6" 彩色 LCD 一目了然地显示所有相关仪器设置, 并以图形方式表示生成的波形。这使操作人员可以对仪器设置全面树立信心。例如, 在幅度调制模式下, 仪器不仅显示载波的频率设置和幅度设置, 而且还显示调制频率、深度和波形。

任意波形 / 函数发生器在 RF 应用中提供通用激励源

► 应用指南

型号	AFG3251 / AFG3252
通道数量	1 / 2
正弦波	1 μ Hz – 240 MHz
幅度	
\leq 200 MHz	50 mV _{p-p} – 5 V _{p-p} / -30 dBm – 18.0 dBm
>200 MHz	50 mV _{p-p} – 4 V _{p-p} / -30 dBm – 16.0 dBm
谐波失真(1 V _{p-p})	
10 Hz – 1 MHz	< - 60 dBc
1 MHz – 5 MHz	< - 50 dBc
5 MHz – 25 MHz	< - 37 dBc
>25 MHz	< - 30 dBc
THD (10 Hz – 20 kHz, 1 V _{p-p})	<0.2%
杂散信号(1 V _{p-p})	
10 Hz – 1 MHz	< - 50 dBc
1 MHz – 25 MHz	< - 47 dBc
>25 MHz	< - 47 dBc + 6 dBc/octave
相噪, 典型值	< - 110 dBc/Hz, 在 20 MHz, 10 kHz 偏置, 1 V _{p-p} 时
残余时钟噪声	- 57 dBm
调制	AM, FM, PM
调制源	内部 / 外部
内部调制频率	2 mHz – 50.00 kHz
频移键控	2 个键
来源	内部 / 外部
内部调制频率	2 mHz – 1.000 MHz
扫频	线性, 对数
突发	触发, 选通
内部触发速率	1.000 ms – 500.0 s
选通和触发源	内部, 外部, 远程接口
任意波形	1 mHz – 120 MHz
采样率	2 GS/s
波形存储器	2 – 128 K

► 表 1. AFG3251/52 的 RF 相关技术数据。

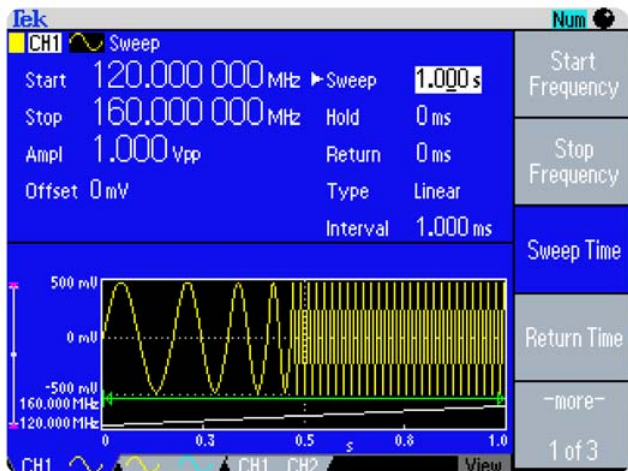
对要求一个以上输入信号的应用，如 RF 和 IF 信号或 I 和 Q 信号，可以使用双通道发生器，与使用两台单独的单通道发生器相比，这可以明显节约成本。由于 AFG3000 系列基于直接数字合成技术(DDS)，因此可以在两条通道中完全独立地选择信号形状和频率。也可

以在频率和 / 或幅度上把信号锁定在一起。在这种情况下，可以手动调节两条通道之间的相位关系，这非常适合测量设备中的通道间定时差异。

表 1 汇总了 AFG3251 和 AFG3252 的 RF 相关功能。

任意波形 / 函数发生器在 RF 应用中提供通用激励源

► 应用指南



► 图 3. AFG3000 系列在扫描模式下的显示画面。

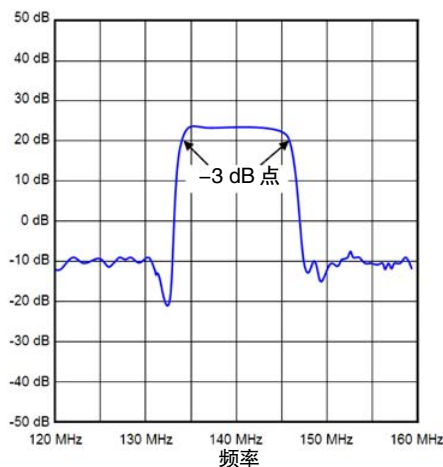
处理不同设计的工程师可以从 AFG 的通用性中受益。除正弦波形、脉冲波形和任意波形外，AFG3000 系列还擅长生成斜波及 7 种其它标准函数。

在 RF 应用中使用 AFG 时，必需考虑到 AFG 的相噪性能达不到某些专用 RF 发生器提供的水平，正是这一特点限制了 AFG 的使用，如在灵敏度测试中。

测量带通滤波器和 IF 放大器的带宽

每个新的 RF 放大器和滤波器设计都有带通特点，必须测量这些特点，保证产品满足设计目标。大多数放大器是为在与应用对应的频率范围上提供线性响应设计的。类似的，滤波器是为传送预定的频段及抑制所有其它频段设计的。

两种元器件的频率范围中的幅度响应会相对“平坦”。在这一个范围的任意一端，幅度响应会稳步下降。响应从峰到峰幅度下降 -3 dB 的点决定着带宽边界。



► 图 4. 140 MHz 放大器的响应。

在本应用实例中，我们将考察一个 140 MHz IF 放大器，测量输出幅度下降 -3 dB 的频率上限和下限，其等于峰到峰值的 70.71%。AFG 提供一个扫频正弦波，作为放大器的输入信号，频谱分析仪在峰值保持模式下追踪信号输出。

按 AFG 的扫描模式按钮，调出一个屏幕，其中会显示所有基本波形设置，包括波形本身的表示(参阅图3)。仔细看一下屏幕底部附近的波形结构，它汇总了与生成的信号有关的所有明显细节，包括幅度、频率端点、频率稳定提高的“斜坡”的跳变沿及扫描的总长度(时间)。

图 4 说明了频谱分析仪的测量曲线。在使用标记时，测量结果的频率范围为 133 MHz - 147 MHz。如果超出这个带宽，放大器响应会衰落到 -3 dB 点以下。

参数	设置
Run Mode	Continuous
Function	Arb
Arb Waveform Menu	User1
Frequency	500 kHz
Amplitude	0.5 V _{pp}

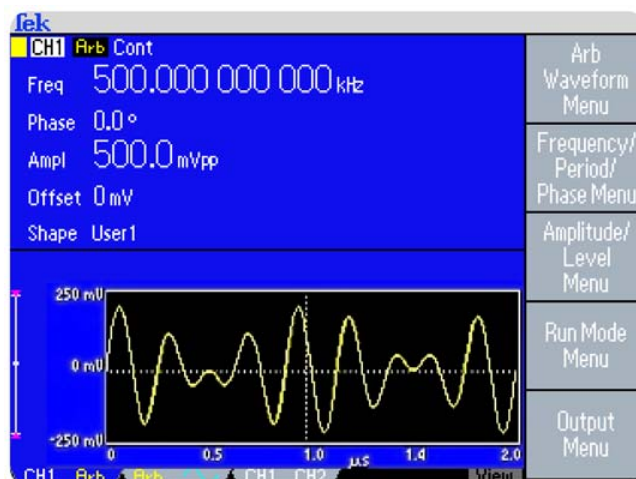
► 表 2. AFG3252 的 IMD 测量设置。

在本例中，AFG 的用户界面和结构优势在提高作业效率方面发挥着关键作用。扫描设置程序可以简便地定义所需的激励信号。显示画面一目了然地确认波形特点，同一屏幕上的数值参数则会提供与幅度、频率等有关的迅速准确的信息。

测量互调失真

当两个以上的音调在放大器、调制器或其它电子设备中交互时，它们会产生多个互调产物。这种效应称为互调失真(IMD)，是由设备的非线性度引起的。在RF通信中，这会带来问题，因为它拓宽了信号频谱，会干扰传输信号，降低无线收发机的动态范围。

为测量 RF 设备的 IMD，必需使用双音信号及频谱分析仪测得的输出响应仿真 IMD。可以使用 AFG3252 的通道 1 和通道 2 分别生成两个音调，然后在外部对这两个音调混频。不需使用外部混频器的更好的方法是作为任意波形创建双音，只使用 AFG 的一条通道生成双音。通



► 图 5. AFG3252 双音波形显示画面。

过 PC 软件包 ArbExpress® 的波形运算函数，可以方便地定义双音任意波形。在本例中，AFG3252 在 3.5 MHz 和 4.5 MHz 上生成双音，测试 IQ 调制器的 IMD。

在创建波形文件后，可以把它们保存在 USB 存储设备上，传送到任意波形 / 函数发生器。用户只需把存有波形文件的 USB 存储器插入 AFG3252 前面板上的 USB 端口，按 "Edit" 按钮，从屏幕菜单中选择 "Read from...", 然后选择 "USB", 从屏幕上的列表中为通道 1 选择文件。然后，从屏幕菜单中选择 "more", 然后选择 "Write to...", 把任意波形加载到仪器的存储器 User1 中。最后，使用表 2 所示的设置对 AFG3252 编程。

任意波形 / 函数发生器在 RF 应用中提供通用激励源

► 应用指南

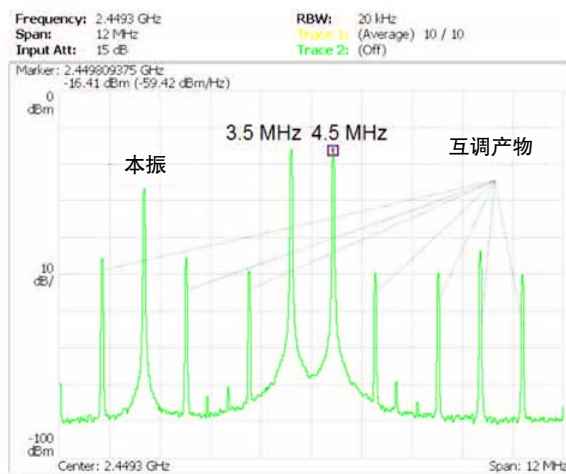
图 6 中的频谱分析仪屏幕截图显示了 IQ 调制器对双音激励的响应。3.5 MHz 和 4.5 MHz 双音位于本振频率右侧的屏幕中心。量化设备线性度的传统指标是输出侦听点(OIP)，可以从最强的预计音调的功率及相对于参考音调的功率抑制互调产物中演算得出。

在 IMD 测量中，需要考虑的重要一点是信号发生器由于输出阶段的非线性度生成自己的 IMD。在设备输出上测得的 IMD 是源 IMD 和设备 IMD 的矢量和。通过单独测量，可以确定源 IMD 只会给设备的二阶 IMD 引入 ± 0.02 dB 的测量误差，给三阶 IMD 引入 ± 0.13 dB 的测量误差。

(如需更多地了解 IMD 测量及使用 ArbExpress 创建双音，参阅应用指南 75W-20744-0 “检定 IQ 调制器离不开灵活的信号发生器激励”。)

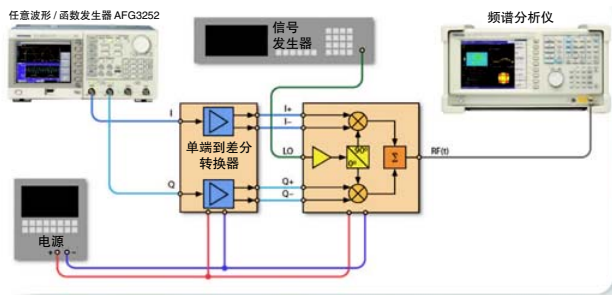
测量 IQ 调制器的正交误差和增益不平衡

IQ 调制器在现代通信中发挥着关键作用。设计人员关注 IQ 调制器同相部分和正交部分之间的幅度不平衡和相位误差，因为它们会导致载波馈通和不想要的边带泄漏。LQ 泄漏是由差分基带输入之间很小的 DC 偏置引起的，与正交误差无关。不想要的边带泄漏取决于幅度不平衡和正交误差。



► 图 6. 使用频谱分析仪测量互调失真。

为测量幅度不平衡和正交误差，我们可以利用这样一个事实，即通过调节 I 和 Q 通道之间的相位和幅度偏置，可以优化边带抑制。在只调节一个参数时，边带抑制会渐近地接近极限。因此，必须在多个步骤中连续调节增益和相位，直到不想要的边带泄漏达到最小。Q 通道调节的相反值反映了调制器固有的不匹配。



► 图 7. IQ 调制器检定的测量设置。

测量设置如图 7 所示。任意波形/函数发生器为 IQ 调制器提供信号输入。刚开始时，它配置成带宽测量(表 3)。

为确定差分基带输入的 DC 偏置，调节单端到差分转换器电路上的 DC 偏移，直到 IQ 调制器在本振频率上的输出功率达到最小。

为确定 IQ 调制器的增益和相位误差，在频谱分析仪上观察不想要的边带功率，同时使 AFG3252 通道 1 (I 信号)的幅度和相位保持不变，并反复调节通道 2(Q 信号)的幅度和相位，直到边带功率电平达到最小。内置 IQ 发生器的矢量信号发生器要求重新加载信号矢量才能进行参数调节，与此不同，AFG3252 允许通过前面板上的旋转旋钮直接调节相位和幅度，其支持 0.1 mV 的幅度分辨率和 0.01° 的相位分辨率。

Parameters	Setting
Channels 1 / 2 - Run Mode	Continuous
Channels 1 / 2 - Function	Sine
Frequency: Frequency CH1=CH2	0n
Amplitude: Level CH1=CH2	0n
Amplitude	0.5 V _{pp}
Frequency	1 MHz
Channel 2: Phase	90°

► Table 3. AFG3252 settings for IQ modulator characterization.

我们可以看出，通过把通道 2 中的幅度从 500 mV 降低到 461.8 mV，把相位从 90° 降低到 89.79°，可以抑制本例中使用的 IQ 调制器上的边带。相应的，IQ 幅度不平衡是 0.0764 或 0.35 dB，正交误差是 0.21°。

仿真脉冲雷达信号

开发雷达系统的工程师经常需要仿真雷达信号。为确定标靶物体的距离，脉冲雷达发出短的强有力的脉冲串，测量信号到达标靶及返回天线所需的时间。由于发射机天线是旋转的，因此标靶只会在短时间内遇到雷达脉冲。常见的要求是对天线与标靶视线对准的时间内仿真突发的脉冲。

任意波形 / 函数发生器在 RF 应用中提供通用激励源

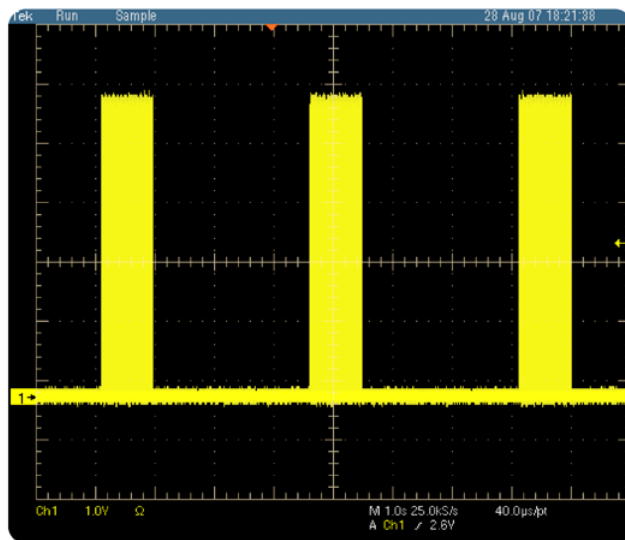
► 应用指南

参数	设置
Function	Pulse
Frequency	1 kHz
Amplitude- High Level	5.000 V
Amplitude- Low Level	0 mV
Width	5%
Run Mode	Burst
N-Cycles	1000
Trigger Interval	4 s

► 表 4. AFG3252 检定 IQ 调制器的设置。

任意波形 / 函数发生器，如 AFG3251/52，特别适合生成脉冲频率高达 120 MHz (较低的 VHF 频段) 的低频雷达。典型应用包括海军和远距离监控及反弹道导弹提前预警。为生成脉冲突发，仪器配置成突发模式下的脉冲发生器。许多雷达应用会受益于仪器 2.5 ns 的急剧上升时间和下降时间。根据应用，还可以在内部触发仪器，或通过外部信号触发仪器。

某些雷达应用还要求非方形脉冲形状，以最大限度地检测标靶。为满足这些要求，可以使用 ArbExpress 波形编辑软件通过公式或其它手段创建所需的脉冲形状，也可以通过 AFG 任意波形函数生成这些脉冲形状。



► 图 8. 脉冲式雷达信号的示波器屏幕。

例如，表 4 说明了仿真脉冲雷达突发的设置，其重复频率为 1 kHz，占空比为 5%，每 4 秒重复一次。图 8 显示了使用示波器测得的 AFG3251/52 的输出信号。AFG3251/52 的优势是可以通过快捷键直接进入波形参数，并在使用过程中修改这些参数，而不必停止输出信号。仪器还支持雷达应用中通常要求的最低 0.001% 的脉冲占空比。

脉冲式噪声系数测量

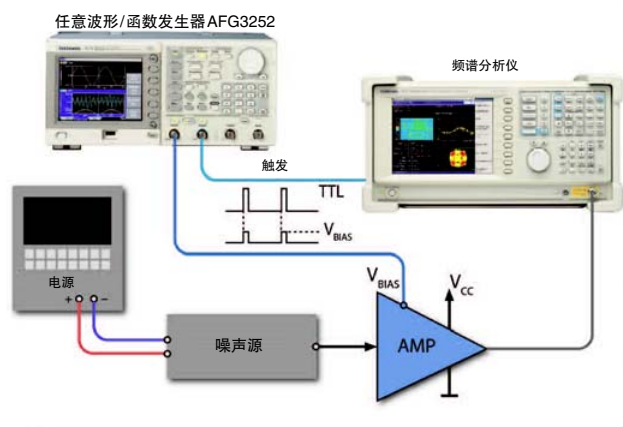
噪声系数是电信放大器中的一个重要参数,因为它指定了放大器会给输出信号带来多少噪声。它描述了信号链条中的元器件导致的信噪比劣化程度。它定义为输出上的信噪比与输入上的信噪比之比:

$$NF = \frac{SNR_{input}}{SNR_{output}}$$

TDMA、GSM 和其它突发型无线标准的蜂窝手机和基站放大器只会在活动时隙期间供电,以节约能耗。为获得准确的测量结果,必须象正常运行期间一样,在脉冲模式下运行放大器,来测量噪声系数。

测量噪声系数的一种流行方法是 Y 系数方法。它依赖校准的拥有已知过量噪声比(ENR)的噪声源,这个噪声源连接到被测放大器的输入上(参阅图9)。AFG3252 的通道 1 通过驱动放大器偏移输入的脉冲信号开关放大器。脉宽和重复率根据被测标准设置。频谱分析仪配置成时间选通模式,只测量放大器在打开阶段的输出。AFG 的通道 2 为与驱动放大器偏移的脉冲同步的频谱生成触发信号。

为了采用这种方法导出噪声系数,我们首先需要确定所谓的 Y 系数,即噪声源在 ON 状态和 OFF 状态下的输出噪声密度之比。为获得可以复现的测量结果,要求充分平均测量数据。



► 图 9. 脉冲式噪声系数测量的测试设置。

通过测得的 Y 系数及噪声源制造商为感兴趣的频率提供的 ENR, 可以使用下面的公式计算噪声系数:

$$NF = ENR_{dB} - (10 \log(Y - 1))$$

例如,我们假设 ENR 是 5.28 dB, 在打开噪声源后,测得的噪声密度从 -90 dBm/Hz 提高到 -87 dBm/Hz。这会得到 3 dB 的 Y 系数,然后需要把它转换成上述公式中使用的线性值。通过使用公式 $Y(\text{lin}) = 10^{Y(\text{dB})/10}$, 我们得到 $Y(\text{lin}) = 1.995$ 。把这个值代入这上面的噪声系数公式,得到 $NF = 5.3 \text{ dB}$ 。

在这一应用中,使用 AFG3000 的优势是它提供了两条通道,这两条通道在频率上可以同步,并可以独立调节幅度,与放大器和频谱分析仪或噪声系数仪表触发输入上要求的偏移电平相匹配。

任意波形 / 函数发生器在 RF 应用中提供通用激励源

► 应用指南

小结

现代任意波形 / 函数发生器提供了通用、灵活、经济的工具，可以满足各种 RF 测试应用的需求。AFG3000 系列可以生成两个独立的或紧密同步的高达 240 MHz 的 RF、IF 和 IQ 信号。通过任意波形函数，可以生成自定义波形。

AFG3000 系列帮助用户节约了设置时间，因为在 AFG3000 系列上可以通过指定按钮选择比较重要的参数，其速度要远远快于其它仪器中使用的一层层的菜

单。大型屏幕显示了所有相关设置，并以图形方式表示波形，使用户对仪器设置全面树立信心。

在运行测试的同时，可以调节所有波形参数，包括通道 1 和通道 2 之间的相位。与要求重新加载波形才能改变参数的其它解决方案相比，这明显缩短了评估时间。

当然，尽管有这些优势，任意波形 / 函数发生器较专用 RF 发生器也有局限性，特别是在要求 240 MHz 以上的频率或低相噪时。

任意波形 / 函数发生器在 RF 应用中提供通用激励源

▶ 应用指南

任意波形 / 函数发生器在 RF 应用中提供通用激励源

► 应用指南

泰克科技(中国)有限公司
上海市浦东新区川桥路1227号
邮编: 201206
电话: (86 21) 5031 2000
传真: (86 21) 5899 3156

泰克北京办事处
北京市海淀区花园路4号
通恒大厦1楼101室
邮编: 100088
电话: (86 10) 6235 1210/1230
传真: (86 10) 6235 1236

泰克上海办事处
上海市静安区延安中路841号
东方海外大厦18楼1802-06室
邮编: 200040
电话: (86 21) 6289 6908
传真: (86 21) 6289 7267

泰克广州办事处
广州市环市东路403号
广州国际电子大厦2807A室
邮编: 510095
电话: (86 20) 8732 2008
传真: (86 20) 8732 2108

泰克深圳办事处
深圳市罗湖区深南东路5002号
信兴广场地王商业大厦G1-02室
邮编: 518008
电话: (86 755) 8246 0909
传真: (86 755) 8246 1539

泰克成都办事处
成都市人民南路一段86号
城市之心23层D-F座
邮编: 610016
电话: (86 28) 8620 3028
传真: (86 28) 8620 3038

泰克西安办事处
西安市东大街
西安凯悦(阿房宫)饭店345室
邮编: 710001
电话: (86 29) 8723 1794
传真: (86 29) 8721 8549

泰克武汉办事处
武汉市武昌区武珞路558号
中南花园饭店将军楼4201室
邮编: 430070
电话: (86 27) 8781 2831
传真: (86 27) 8730 5230

泰克香港办事处
香港铜锣湾希慎道33号
利园3501室
电话: (852) 2585 6688
传真: (852) 2598 6260

最新产品信息请参见: www.tektronix.com.cn



© 2007 年泰克公司版权所有, 保留所有权利。泰克产品受已经签发和正在申请的美国和国外专利保护。本文中的信息代替以前出版的所有材料。泰克保留改变本文中的技术数据和价格的权利。TEKTRONIX 和 TEK 是泰克公司的注册商标。本文中提到的所有其它商号均为各自公司的服务标志、商标或注册商标。
9/07 FLG/WOW 75C-21197-0

Tektronix
Enabling Innovation