

在变革中寻求突破的信号源发展史

深圳市鼎阳科技有限公司

1 走进信号源

信号源，顾名思义，就是一种产生所需要波形的仪器。它被当作仿真信号或者激励信号而广泛应用于各种测试环境中。现在市场上充斥着很多种信号源，它的分类经常让人摸不着头脑，如图1所示为对常用信号源的分类。

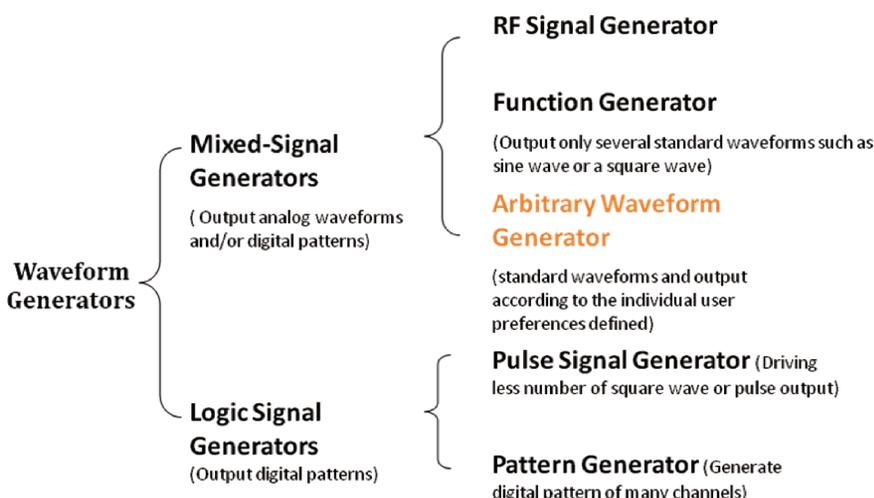


图1 信号源的分类

2 如何区分函数发生器和任意波形发生器

说到这里很多读者都有这样的疑问：这两者之间到底有什么区别？为什么函数发生器就渐渐被任意波形发生器所取代？

函数发生器（FG, function generator）采用模拟的方法，只能产生正弦波、三角波、方波等几种有限的波形。一个传统函数发生器，用恒

总的来说信号源分为复合信号发生器和逻辑信号发生器两种，其中复合信号发生器包括射频信号发生器、函数发生器以及任意波形发生器两种，而逻辑信号发生器又包括了脉冲信号发生器和码型信号发生器两种。其中被使用最广泛的就是函数发生器和任意波形发生器。

流源对电容充电、放电，电容两端的电压就是三角波。如果三角波送到一个比较器，就能产生方波。三角波通过波形整形电路还能够产生正弦波。通过改变电流和电容的大小，就能调节信号频率。受模拟电路温度漂移、老化等特性影响，这种信号源一般能输出的频率不高、频率准确度和稳定度低。随着数字技术的发展，函数发生器的实现从模拟走向数字是一种必

然的趋势。

任意波形发生器（AWG, arbitrary waveform generator）除了函数发生器能产生的波形外，还可以生成脉冲、噪声以及用户定义的任意波形等。由于任意波形发生器基于数字方法产生信号，因此其频率稳定性好，频率分辨率极高。任意波形发生器的基本设计思想是：把所需重现的信号波形截取一个周期进行均匀采样，保存在存储器中。把存储器中的波形数据按顺序读出，经DAC转换后，再滤波，获得所需要的波形。任意波形发生器和数字存储示波器在原理上可以认为是一个互逆的过程。数字存储示波器把模拟波形通过ADC数字化，任意波形发生器把数字化的波形数据通过DAC转换为模拟波形。这两类仪器都受Nyquist定律约束，能够测量/输出的最高频率分量不超过ADC/DAC采样率的一半。按实现构架，任意波形发生器又可以分成：1) DDS-based AWG, 基于DDS的任意波形发生器；2) True Arbitrary, 真任意波形发生器，简称True Arb。

3 任意波形发生器的实现原理

3.1 DDS技术

DDS (direct digital synthesis) 技术，中文称为直接数字频率合成技

术，目前仍然是一种被广泛采用在任意波形发生器里面的技术。它是通过数字查表的方法来产生周期信号，再经过高速DAC将数字波形转换为模拟波形输出。相对于模拟技术，DDS技术具有频率稳定性好，频率分辨率高，频率切换快等优点，并且只要更新波形数据表的内容，理论上可以生

成任意波形的周期信号。DDS结构的工作时钟速率 (f_s) 是固定的，通过改变查表的地址间隔来实现指定频率的输出 (f_{out})，这个可变地址间隔为频率控制字 (FTW, frequency tuning words)，它的二进制位宽为 N 。

DDS在产生任意波形时有两个固有缺陷：波形细节丢失和抖动。

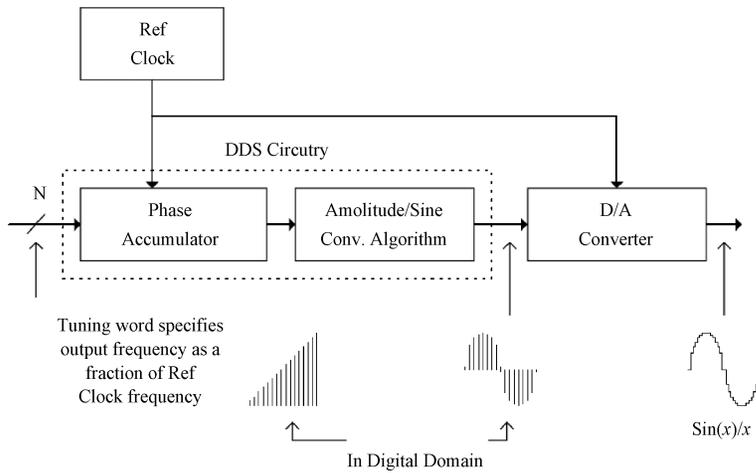
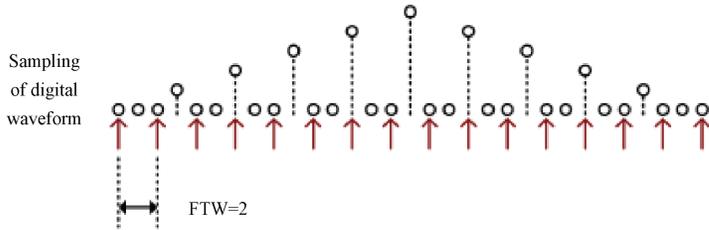


图2 DDS的实现原理



我们期待的输出是这样的:



但是DOS实际的输出是这样的:

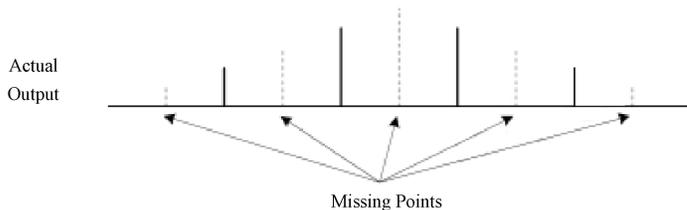


图3 波形细节丢失示例

3.1.1 波形细节丢失

当 $FTW > 1$ ，即 $f_{out} > f_s/2^N$ ，波形存储器中的某些点会被跳过，这个对于正弦波来说是无关紧要的，但是对于包含某些重要细节 (如毛刺) 的任意波，则意味着重要信息的丢失。

以图3为例，每3个点输出一根毛刺的波形，以 $FTW=2$ 输出。

3.1.2 抖动

DDS产生带有波形阶跃的任意波形时，如果 f_s 与 f_{out} 不成整数倍关系，输出才会算一个采样的周期抖动。

如图4所示，假设存储在查表中的波形为10个点的方波，以 $FTW=3$ 输出，则实际输出周期为4个采样周期，也可能为3个采样周期。

3.2 True Arb技术

Siglent创新的TrueArb技术，兼顾了DDS技术的简单灵活和逐点输出技术对信号原始信息的保留，采用固定频率的工作时钟，在现场可编程阵列器件 (FPGA) 中实现采样率的转换，做到任意波逐点输出。

采样时钟方面，TrueArb和DDS一样使用固定频率 f_s 的工作时钟，避免了其他用高复杂度的可变采样时钟方案，采样时钟进入FPGA后，通过DDS的方式产生逐点输出需要的等效采样数字时钟 f'_s ，保证查表方式是按 $FTW=1$ 的逐点输出形式进行，从查表输出的数据率和 f'_s 同步，需要经过采样率变换后切换到 f_s 的时钟域来，再通过DAC以 f_s 固定采样率转换为模拟信号。

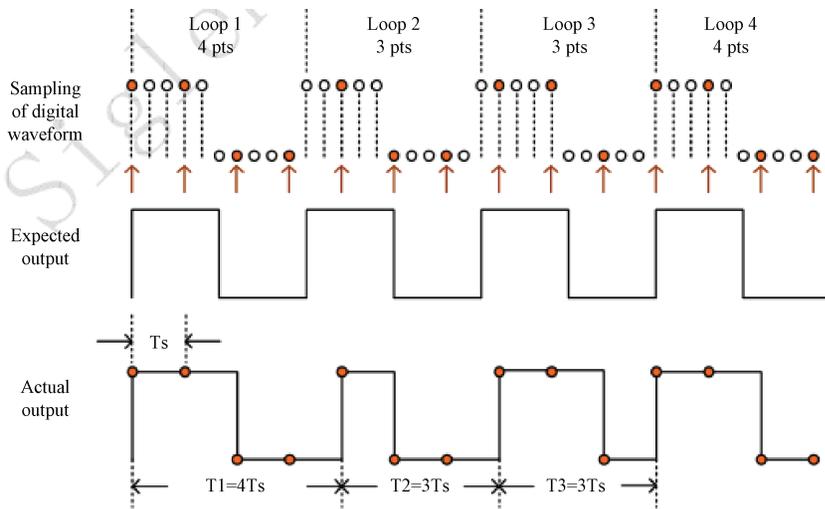


图4 抖动示例

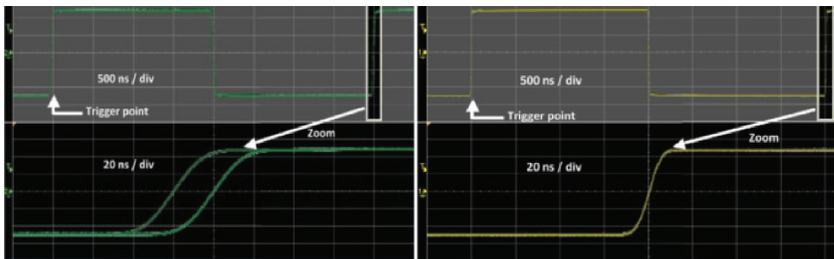


图5 DDS技术(左)和Easypulse技术(右)产生方波/脉冲信号抖动指标对比



图6 EasyPulse 技术(左)和 DDS 技术(右)的占空比极限对比

Siglent独创的TrueArb技术,能在不改变采样系统时钟的前提下实现逐点输出,而且还具备以下DDS技术所不具备的优点:

- 1)低抖动 (<200 ps);
- 2)数据长度可变 (8 pts~8 Mpts);
- 3)支持数据分段存储和输出,并

对每段数据设定任意次的循环数。

4 除了Siglent的TrueArb信号源还能有多少革新

4.1 Easypulse技术

根据前文论述,DDS技术在输出方波/脉冲带来的抖动时常为人诟病,针对这一问题Siglent 开创了 EasyPulse

技术,采用数字信号处理的方式生成低抖动 (<200 ps),且占空比、上升/下降沿任意精确可调的方波/脉冲,无需校正。

如图6所示为EasyPulse 技术和DDS 技术生成的脉冲占空比极限对比。对于一个频率为0.1 Hz 的脉冲,采用 DDS 技术的某同档次任意波形发生器能达到的占空比下限大于 0.3%,而采用 EasyPulse 技术生成的占空比可以做到 0.000 1%以内。

通过前文的对比论述,发现Siglent的TrueArb和Easypulse技术正不知不觉中给传统的信号源行业带来了翻天覆地的变化。那Siglent有没有一款产品能把这些好的技术都集成在一起,给使用者更多的惊喜呢。这里必须提到鼎阳的SDG2000X信号源,采用了创新的TrueArb和Easypulse技术,克服了DDS技术在输出任意波和方波/脉冲时先天的缺陷,能够为客户提供高保真、低抖动的信号,满足更广泛的应用需求。而Siglent还不仅仅满足于此,SDG2000X的采样系统具有 1.2 GSa/s 采样率、16 bit 垂直分辨率,这两项关键指标在国内外同档次任意波形发生器中是最好的,能最大限度地还原出高保真的信号;目前国内外同档次任意波形发生器,采样率最高不超过 500 MSa/s,垂直分辨率普遍为14 bit。本着让每一位电子工程师拥有专业级的测试测量仪器的梦想,相信 Siglent会在创新之路越走越远,把更多更好的一起带给大家。