

# 高效 FSK/PSK 调制器利用多通道 DDS 实现零交越切换

作者: David Brandon 和 Jeff Keip

频移键控(FSK)和相移键控(PSK)调制方案广泛用于数字通信、雷达、RFID 以及多种其他应用。最简单的 FSK 利用两个离散频率来传输二进制信息，其中，逻辑 1 代表传号频率，逻辑 0 代表空号频率。最简单的 PSK 为二进制(BPSK)，采用两个相隔  $180^\circ$  的相位。图 1 展示了这两种调制方式。

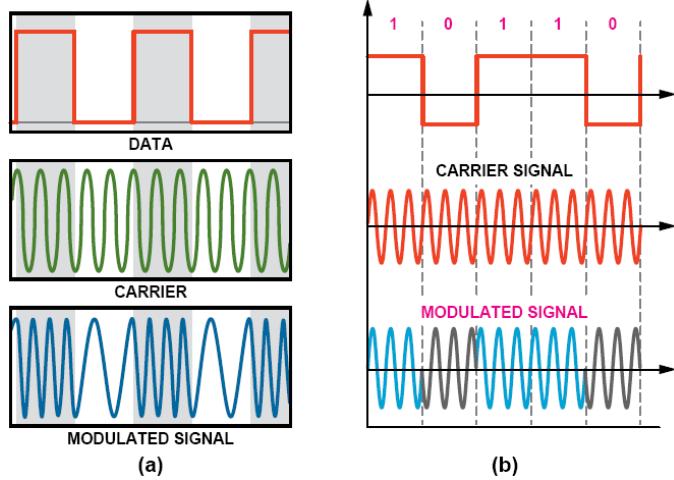


图 1. 二进制 FSK (a) 和 PSK (b) 调制。

直接数字频率合成器(DDS)的调制输出能以相位连续或相位跳跃方式实现频率和/或相位切换(如图 1 所示，另见“[利用多通道 DDS 实现相位相干 FSK 调制](#)”)，使 DDS 技术成为 FSK 和 PSK 两种调制方式的理想选择。

本文将介绍如何利用两个同步 DDS 通道来实现零交越 FSK 或 PSK 调制器。在此，我们将利用 AD9958 双通道、500 MSPS、纯粹的 DDS(见附录)来实现零交越切换频率或相位，但是任何双通道同步解决方案应该都可以实现这一功能。在相位相干雷达系统中，零交越切换可以减少目标特征识别所需要的后期处理量，而且在零交越 PSK 可以减少频谱散射。

尽管 AD9958 DDS 通道的两个输出相互独立，但它们共用一个内部系统时钟，并在同一硅片上，因此，当温度和供电发生变化时，它们比同步的多个单通道器件的输出具有更加可靠的通道间一致性。另外，不同器件间可能存在的工艺差异性也大于同一硅片上两个通道之间的工艺差异性，由此使多通道 DDS 成为零交越 FSK 或 PSK 调制器的首选。

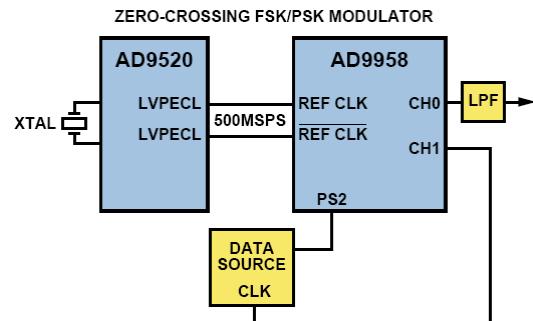


图 2. 零交越 FSK 或 PSK 调制器的设置。

任何 DDS 的一个关键元件是相位累加器，在本方案中，其位宽为 32 位。当累加器溢出时，会保留任何剩余值。当累加器溢出而无余数时(见图 3)，输出正好为相位 0，DDS 引擎从时间 0 时的值开始工作。零溢出的发生速率被称为 DDS 的完全重复率(GRR)。

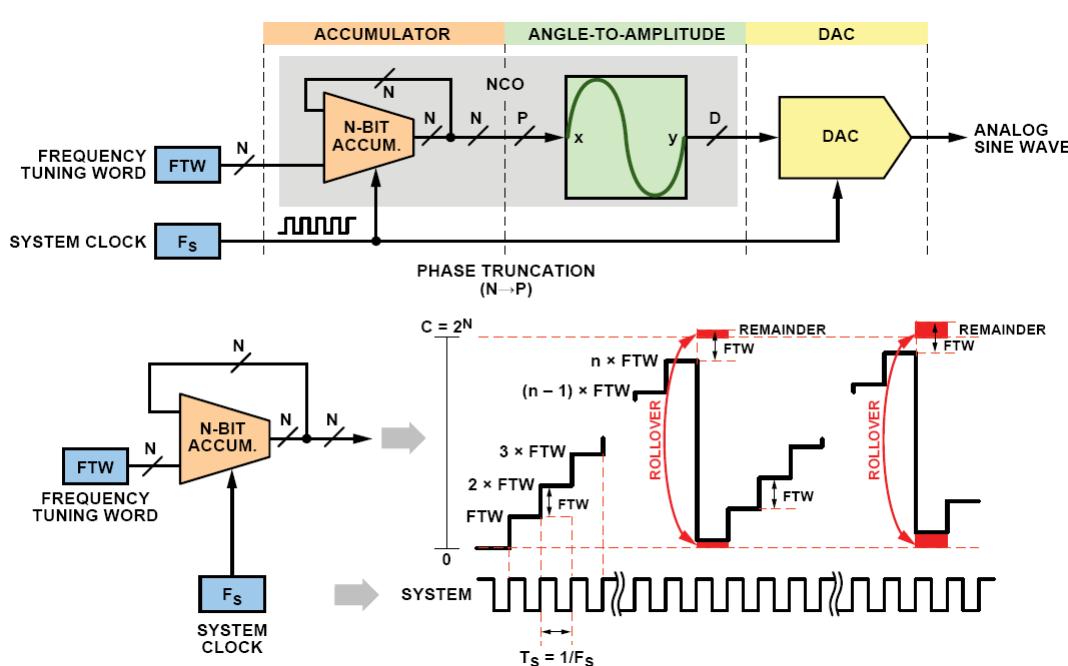


图 3. 累加器溢出的基本 DDS。

GRR 由 DDS 频率调谐字(FTW)最右侧的非零位决定，其计算公式如下：

$$GRR = F_S/2^n$$

其中：

$F_S$  是 DDS 的采样频率。

$n$  是 FTW 最右侧的非零位。

例如，设一个采样频率为 1 GHz 的 DDS 采用 32 位传号 FTW 和空号 FTW，其二进制值如下所示。此时，两个 FTW 之一最右侧的非零位是第 19 位，因此， $GRR = 1 \text{ GHz}/2^{19}$ ，约合 1907 Hz。

传号 (CH0) 00101010 00100110 10100000 00000000

空号 (CH0) 00111010 11110011 11000000 00000000

GRR (CH1) 00000000 00000000 00100000 00000000

DDS 本身即以相位连续方式开关频率。这意味着，当频率调谐字变化时，不会出现瞬时相位变化。即是说，当新的 FTW 有效时，累加器将从其当前所处相位开始累加新的 FTW。但是，相位相干却要求瞬时转换至新频率的相位，就如新频率始终存在一样。因此，为了使标准 DDS 能实现相位相干的 FSK 频率切换，从传号频率到空号频率的变换必须在两个频率具有相同的绝对相位时进行。为了以相位相干方式实现零交越切换，DDS 必须在 0 度进行频率转换(即当累加器的溢出剩余量为零时)。因此，我们必须确定相位相干零交越发生的常数。如果已知传号和空号 FTW 的 GRR，则两个 GRR (若不同) 中较小者为所需相位相干零交越点。

在实现相位相干零交越切换时必须遵循三条标准：

1. 必须能确定与图 2 中 CH0 关联的传号和空号 FTW 二者中较小的 GRR。
2. 必须将第二 DDS 通道(图 2 中的 CH1)同步至图 2 的 CH0，并使 FTW 中除对应于较小 GRR 的一位之外全部为零。
3. 必须能利用第二通道的翻转来在图 2 中 CH0 上触发频率变换。

不幸的是，在 DDS 累加器达到零时与输出端出现零相位时二者之间的延迟会进一步增加解决方案的复杂程度。可喜的是，该延迟是恒定不变的。对于理想解决方案，必须对辅助通道进行相位调整，以补偿该延迟。AD9958 的两个通道都有一个相位偏移字，可用其来解决这一问题。

AD9958 双通道 DDS 产生如图 4、图 5 和图 6 所示的结果。图 4 和图 5 所示为相位连续 FSK 切换与零交越 FSK 切换之间的关系。图 5 同时展示了相位连续切换和相位相干切换。图 6 所示为在多个频率之间切换的伪随机序列(PRS)数据流的结果。

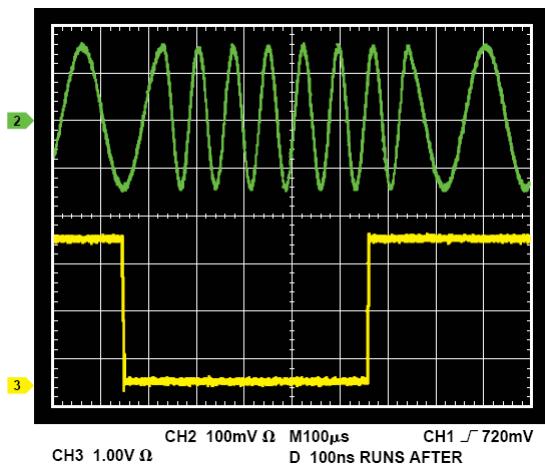


图 4. 相位连续 FSK 转换。

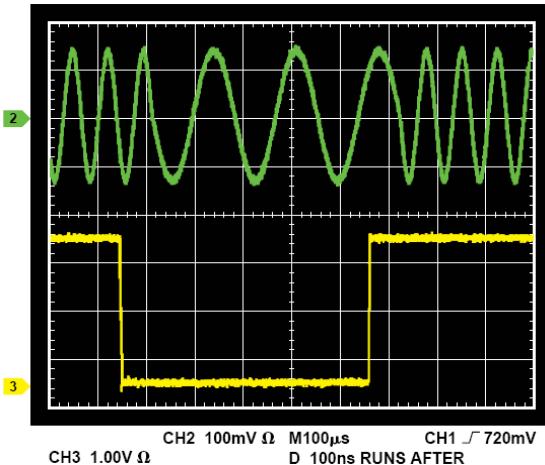


图 5. 零交越 FSK 转换。

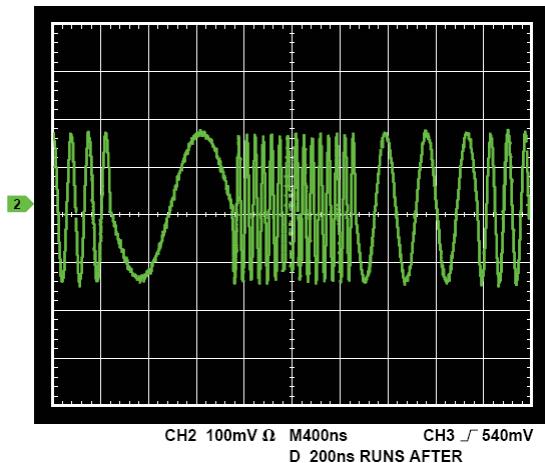


图 6. 零交越 (多次 FSK 转换)。

AD9958 双通道 DDS 产生如图 7 和图 8 所示的结果。这些图所示为相位连续 BPSK 切换与零交越 BPSK 切换之间的关系。

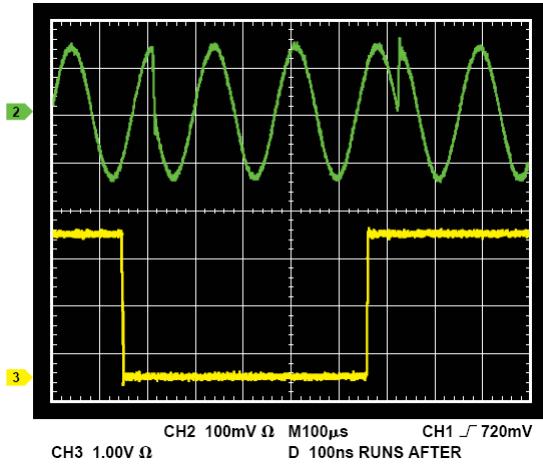


图 7. 相位连续 BPSK 转换。

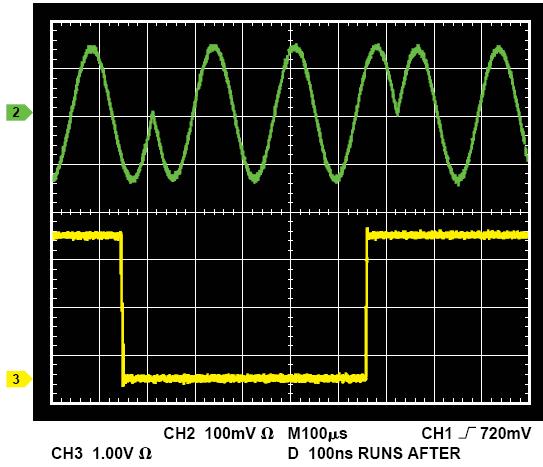


图 8. 零交越 BPSK 转换。

## 作者简介

**David Brandon** [david.brandon@analog.com]



自 1995 年第一款 DDS 发布起便一直为 DDS 产品提供支持。他在 ADI 公司工作了 28 年之久，最近 11 年一直担任时钟和信号合成部门应用工程师。David 撰写了诸多应用笔记，并在杂志上发表过多篇文章。

**Jeff Keip** [jeff.keip@analog.com] 在半导体行业拥有近 20 年从业经验，其中，与频率合成产品打交道的时间超过 15 年。在过去 9 年中，Jeff 是 ADI 高速 DDS 产品组合的主要负责人。



## 附录

### 双通道、10 位、500 MSPS 直接数字频率合成器

**AD9958** 双通道直接数字频率合成器(DDS)功能完善，内置两个 10 位、500 MSPS 电流输出 DAC，如图 9 所示。两个通道共用一个系统时钟，因此本身就具有同步功能；在需要两个以上的通道时，可以使用额外的封装。各通道的频率、相位和幅度可以独立控制，使其可以为系统相关失配提供校正。这些参数可线性扫描；或者可为 FSK、PSK 或 ASK 调制选择 16 个电平。输出正弦波可以 32 位频率分辨率、14 位相位分辨率和 10 位幅度分辨率进行调谐。AD9958 采用 1.8 V 内核电源供电，与 3.3 V I/O 电源逻辑兼容，功耗为 315 mW (所有通道开启) 和 13 mW (关断模式)。额定温度范围为 -40°C 至 +85°C，采用 56 引脚 LFCSP 封装，千片订量报价为 20.24 美元/片。

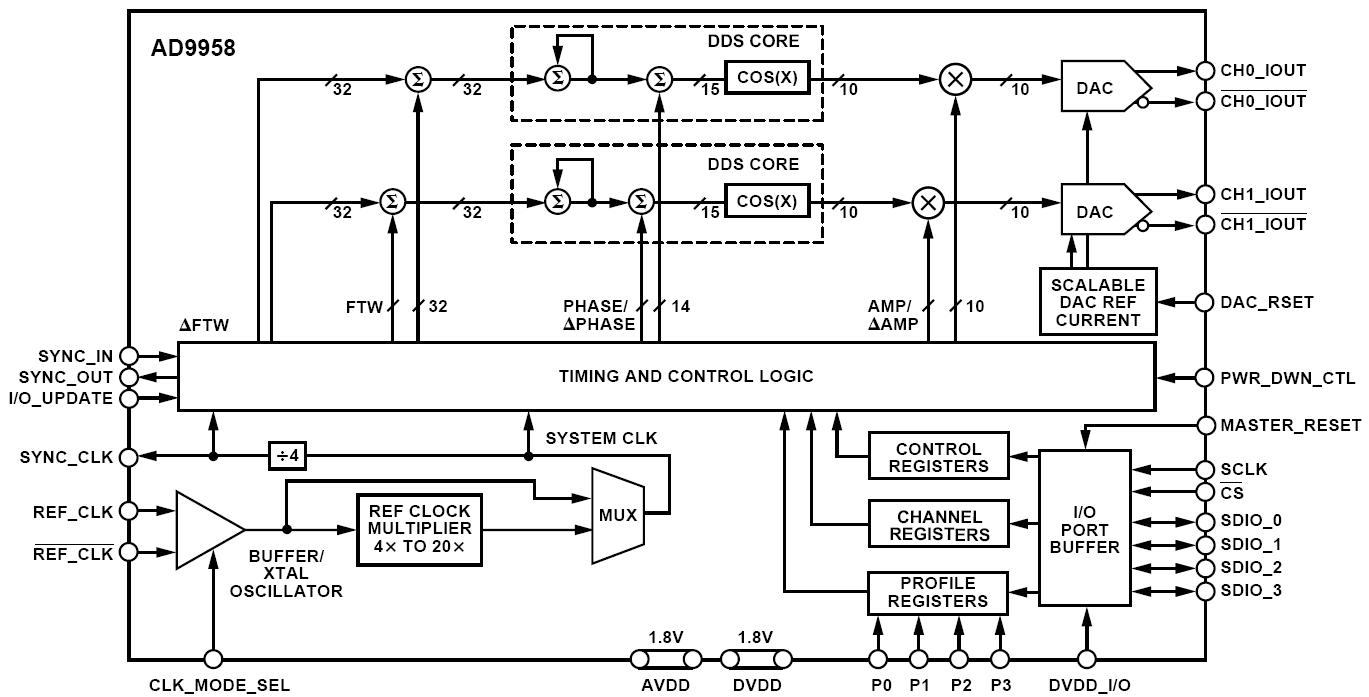


图 9. AD9958 框图。