

双变压器配置时的宽带ADC前端设计

Design of Wide Band ADC Front When Double-Transforme Allocation

叶敏 供稿

摘要: 文章讨论了在ADC前端电路中使用变压器时, 由于变压器是非理想器件而引起的输入失衡会导致ADC的性能不如其它耦合方法, 从而提出了改进电路设计的理论分析和实例。

关键词: 双变压器, 宽带, ADC (模数转换器), 配置, 前端, 设计

中图分类号: TM4 文献标识码: A 文章编号: 1606-7517(2016)02-2-119

1 引言

在电路中, 变压器用作信号隔离, 并且将单端信号转换成差分信号。在高速模数转换器(ADC)前端电路中使用变压器时, 人们往往会忽视变压器并非理想器件这一重要问题。任何由变压器的非理想特性引起的输入失衡都会使输入的正弦信号变成非理想的正弦信号波形输送给ADC的输入端, 从而导致ADC的总体性能不如其他方式耦合到ADC的性能。本文探讨了变压器的输入失衡对ADC性能造成的影响, 并且提供了实现改进电路设计的实例。

2 变压器的选择

在变压器设计制造领域, 一些变压器厂商往往以自身产品性能参数、结构特点结合国家标准命名其产品的型号, 这就使用户在选用产品上造成困惑、混乱和复杂化, 以致许多时候, 不能按国家或企业标准去订购, 只能按需要请厂家定制, 无形中增加了成本。

当我们选择用于驱动所设计的具体的ADC变压器时, 应该首先考虑的几个关键的性能参数是插入损耗、回波损耗、幅度失衡和相位失衡。其中插入损耗表征变压器的带宽能力。回波损耗用于允许用户设计匹配变压器在某个特定频率或频段响应的终端——特别在使用匝比大于1的变压器时尤为重要。在此设计中, 我们主要集中考虑幅度失衡和相位失衡, 以及它们如何影响宽带应用中ADC的性能。

3 工作原理及问题分析

在设定的某个宽带额定值上, 变压器单端输入的原边

和差分输出的副边之间的耦合虽然是线性的, 但是也会引入幅度失衡和相位失衡。当这些失衡的信号施加到ADC或其它差分输出器件时, 将加重转换信号或处理信号的偶数次失真。虽然这些失衡在低频段时对于高速ADC引起的附加失真通常可以忽略, 但是在频率大约达到100MHz的高频段时, 这些失衡将变得特别严重。首先让我们考察研究差分输入信号的幅度失衡和相位失衡, 特别是二次谐波失真将如何影响ADC的性能。

图1所示为使用变压器耦合的ADC前端简化框图。假设变压器的输入是 $X(t)$, 它将被转换成为一对信号, $X_1(t)$ 和 $X_2(t)$ 。如果 $X(t)$ 是正弦信号, 则差分输出信号 $X_1(t)$ 和 $X_2(t)$ 的形式如下:

$$X_1(t) = K_1 \sin(\omega t)$$

$$X_2(t) = K_2 \sin(\omega t - 180^\circ + \phi) = -K_2 \sin(\omega t + \phi) \quad (1)$$

ADC的仿真模型为一种对称的三阶传递函数:

$$h(t) = a_0 + a_1 X_1(t) + a_2 X_2(t) + a_3 X_3(t) \quad (2)$$

$$y(t) = h[X_1(t)] - h[X_2(t)] \quad (3)$$

$$y(t) = a_1 [X_1(t) - X_2(t)] + a_2 [X_{12}(t) - X_{22}(t)] + a_3 [X_{13}(t) - X_{23}(t)]$$

a. 理想情况——无失衡

当 $X_1(t)$ 和 $X_2(t)$ 处于理想情况下完全平衡时, 它们具有相同的幅度($K_1 = K_2 = K$), 并且其相位差严格地相差

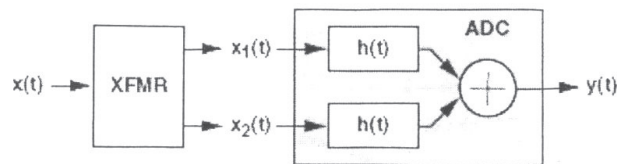


图1 使用变压器耦合的ADC前端简化框图

180°，即：

$$X_1(t) = K_1 \sin(\omega t) \quad (4)$$

$$X_2(t) = -K_2 \sin(\omega t)$$

$$y(t) = 2a_1 K_1 \sin(\omega t) + 2a_3 K_3 \sin(3\omega t) \quad (5)$$

利用三角函数幂指数公式并且整理相同频率项；这是差分电路的常见结果，可以消除理想信号的偶次谐波，而不能消除奇次谐波。

b. 非理想情况——幅度失衡

假设两个输入信号存在幅度失衡，但没有相位失衡。在这种情况下， $K_1 \neq K_2$ ，并且 $\phi = 0$ 。

$$X_1(t) = K_1 \sin(\omega t) \quad (7)$$

$$X_2(t) = -K_2 \sin(\omega t) \quad (8)$$

将公式(7)代入公式(3)，并且再次利用三角函数幂指数公式。从公式(8)中可以看出，这种情况下的二次谐波与幅度值 K_1 和 K_2 的平方差成正比，即：

$$\text{二次谐波} \propto (K_1)^2 - (K_2)^2 \quad (9)$$

c. 非理想情况——相位失衡

我们假设两个输入信号之间存在相位失衡，但没有产生幅度失衡，那么， $K_1 = K_2$ ，并且 $\phi \neq 0$ 。

$$X_1(t) = K_1 \sin(\omega t) \quad (10)$$

$$X_2(t) = -K_2 \sin(\omega t + \phi) \quad (11)$$

将公式(10)代入公式(3)，并给以化简；再由公式(11)，我们可以发现，二次谐波与幅度值 K 平方成正比，即：

$$\text{二次谐波} \propto (K_1)^2 \quad (12)$$

4 结果讨论

首先，将公式(9)和公式(12)进行比较，从中我们可以看出，二次谐波的幅度受相位失衡的影响比受幅度失衡的影响大。对于相位失衡，二次谐波与 K_1 的平方成正比，而对于幅度失衡，二次谐波与 K_1 和 K_2 的平方差成正比，由于 K_1 和 K_2 几乎相等，因此式(9)之值很小。

为了检测上节论述与理论计算的正确性和有效性，将利用 MATLAB 程序以定量和图解方式说明幅度和相位失衡对采用变压器输入的高性能 ADC 谐波失真的影响。MATLAB 模型包括附加的高斯分布噪音。

MATLAB 模型采用的系数 a_i 用于 AD9445 高性能 125MSPS 16bit ADC。图 2 所示的前端配置中的 AD9445 用来产生图 3 所示的快速付立叶变换系数 (FFT)。

这里的本底噪声、二次谐波和三次谐波反映了 ADC

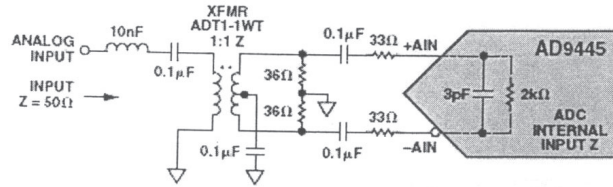


图 2 采用变压器耦合 AD9445 的前端配置

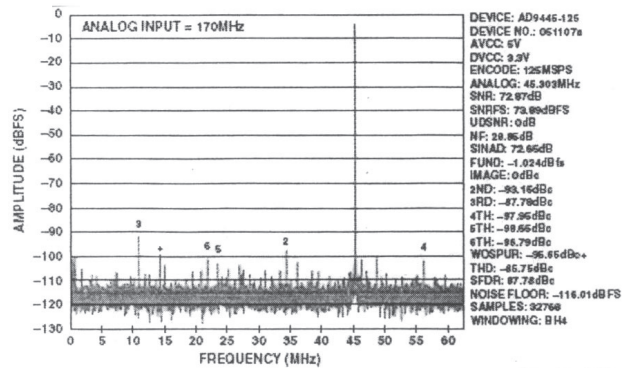


图 3 AD9445 的典型 EFT 曲线，125MSPS, IF=170MHz

和前端电路的复合性能。我们将利用这些测量结果计算 ADC 的失真系数 a_2 和 a_3 、噪声，以及在 170MHz 的输入频率时，标准 1:1 阻抗比率变压器条件下产生的 0.0607dB 的幅度失衡和 14° 的相位失衡。

将这些参数代入公式(8)和公式(11)来计算 $y(t)$ ，而幅度失衡和相位失衡则分别在 0V~1V 和 0° ~50° (在 1MHz~1000MHz 范围内典型的变压器失衡范围)之间变化，并且可观察到它们对二次谐波的影响。图 4 和图 5 所示为其仿真结果。

下转126页

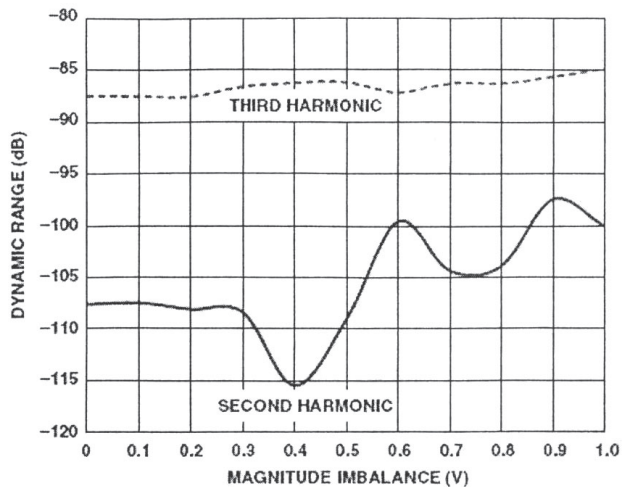


图 4 谐波与幅度失衡的关系曲线