

# 高性能数据采集系统

高性能数据采集和转换系统中最基础的部分是：高性能放大器必须可以缓冲被采样信号、增大信号的幅值、将电流值转换成电压值（或者电压值转换为电流值）、将信号从单端型转换成差分型或者从共模噪声中提取出差模信号（如图 1）。当然要实现以上功能一般都要求一个高性能的放大器具有以下功能的其中之一：1）高速（低精度）或者 2）低速（高精度）。对于一个设计工程师来说，理解上面两种不同类型的放大器之间的差别是非常重要的。同时，也要懂得如何去挑选合适的能满足数据采集系统整体性能的放大器。让我们首先从高速放大器开始，一般高速放大器都是低精度的（这就意味着他们的直流性能都很一般）。

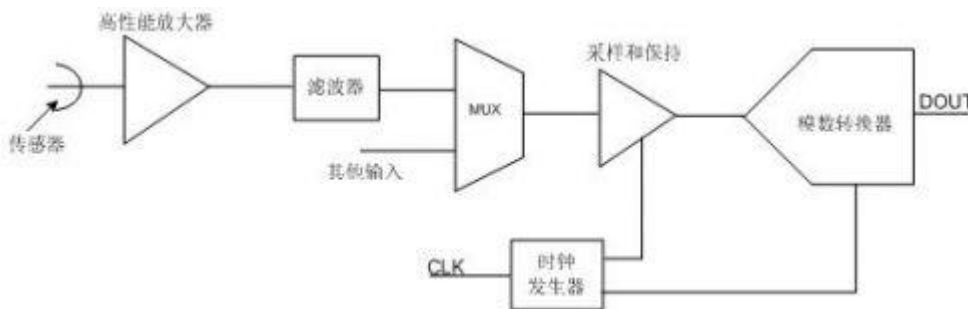


图 1 高性能数据采集系统

当然，理解高频放大器的第一要务是先确定数据采集系统中输入信号的带宽大小。如果系统需要更高的频率（假定 1MHz-1GHz），那么我们的高频放大器必须具有足够的带宽而不至于使采集信号被削弱。该信号可能是频率、相位和幅值不同的正弦波形式，也可能是幅值和时域特性不同的一系列脉冲。由于采集信号的类型不同，极大地影响所采用的高频放大器的类型，因为高频放大器要满足全部的信号。图 2 给出了一种高频放大器典型的环路增益与带宽响应。记住，高速放大器影响系统性能的最重要指标是它的带宽。

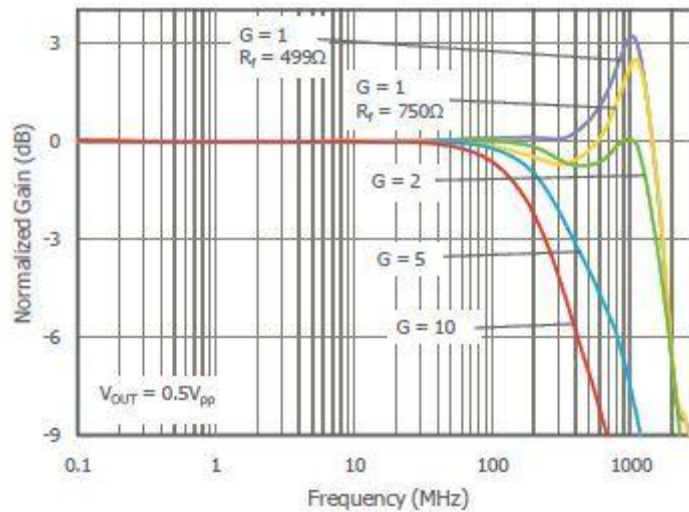


图 2 闭环增益和频率响应

选择一款合适的高频放大器第一步是选择其带宽（可以在系统电源供电和损耗限制的范围  
内）。带宽大小是由采集到的输入信号的频率分量决定的。如果要采集的信号是正弦波（有  
比较窄的带宽），那么你采用的典型放大器的带宽可以接近采集到的输入信号的频率。举例  
说明：如果采集的输入信号是具有 1-10MHz 频带的正弦波形，那么所需要的接收放大器需  
要 20MHz 3dB 的带宽（输入带宽的两倍）。该放大器需具有足够高的 3dB 带宽，使输入  
信号不至于衰减和降格，从而保证整个系统的分辨率和精确度。图 2 给出了在不同增益下  
的 3dB 带宽。一个简单的、单极点、一阶理想高性能放大器应该有一个恒定的增益带宽乘  
积（增益带宽积假定等于 1GHz，相当于增益为 1 带宽为 1GHz）。这种理想的情况下，如  
果增益变大了，那么带宽将减小（增益增大一倍，带宽将减小一倍）。所以设计工程师必须  
确定放大器的合理带宽，在满足进一步放大信号的足够增益的同时，这一带宽须能处理采集  
到的信号。该带宽必须有足够的裕量从而不对信号产生衰减（如果输入信号接近放大器 3dB  
衰减点）以及足够的“增益平坦度”（在采集的输入信号的窄带宽内，典型值要接近 $\pm 0.05$   
dB）。同时必须格外注意，如果采集的输入信号有频率分量接近放大器 3dB 带宽则会产生  
一个增益尖峰（此时会引入不必要的噪声和失真且接近 3dB 的增益尖峰，如图 2 中所示）。  
设计工程师需监控放大器在 3dB 带宽转折点处的响应。图 2 中所示的频率响应大致是随着  
频率升高而衰减的。但在图 3 中，在放大器带宽和数据采集系统带宽以外的范围，放大器  
的响应实际上是开始放大频率分量的。如果实际系统中存在这些频率分量，又被不经意的放  
大了，那么这部分从外部干扰源引入的无用信号和干扰就会被采集，导致整个系统性能的降  
低。

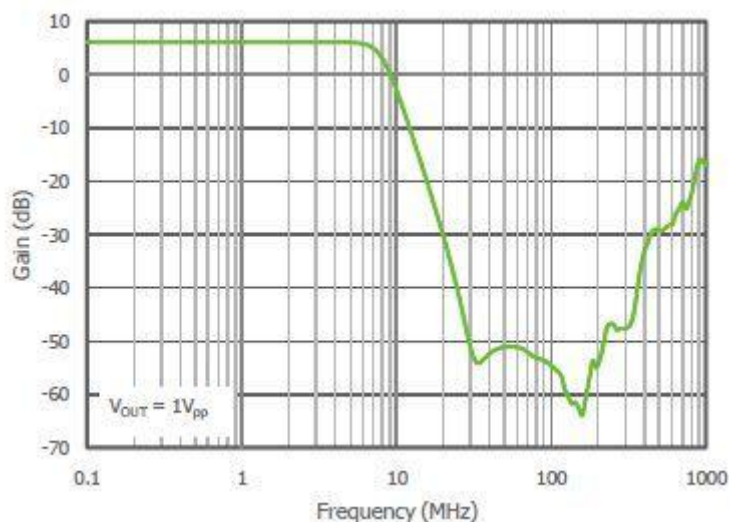


图 3 典型的放大器带宽外的高频响应

如果采集的输入信号是时域的一系列脉冲或者阶跃，那么高频放大器的选择需要额外的性能，  
需要考虑放大器在时域的特性。放大器的性能参数如频域的带宽可以转换为时域的建立时间、

压摆率和超调量。一个高性能的放大器可以定义为要有宽的“小信号”带宽。但实际上，如果放大器是“大信号”驱动的，那么带宽至少会减少 $1/2$ ，当压摆率或放大器输出驱动限制受高容性或者低阻性负载影响时（小信号到大信号的带宽比率某些情况下可能接近 10），这一数值还会更糟。要记住，放大器的压摆率必须大于采集的输入信号的压摆率。比如输入是一个峰值电压为  $2V/500MHz$  的正弦波，放大器的压摆率至少为  $2*2*3.14*500MHz= 6280 V/\mu s$ ！所以即使高性能放大器有  $1GHz$  的小信号带宽，输出压摆率仍不能达到  $6280 V/\mu s$ ，输出电压无法跟随输入，波形就出现了失真（如图 4）。如果采集信号是一个有很快上升沿的脉冲，必须特别注意的是放大器的建立时间。记住即使在一个一阶系统（此系统  $V_o=V_{in}(1-e^{-t/RC})$  ( $BW=.35/trise(10\%-90\%)$ )), 需要时间常数为 9 才能达到 .01% 的建立结果！因此必须采用特定放大器，其带宽满足 9 倍的数据采率从而尽可能达到精确的 .01% 的建立时间。当然，在系统里不合理的建立时间也会导致失真。以后会进一步讨论这一问题。

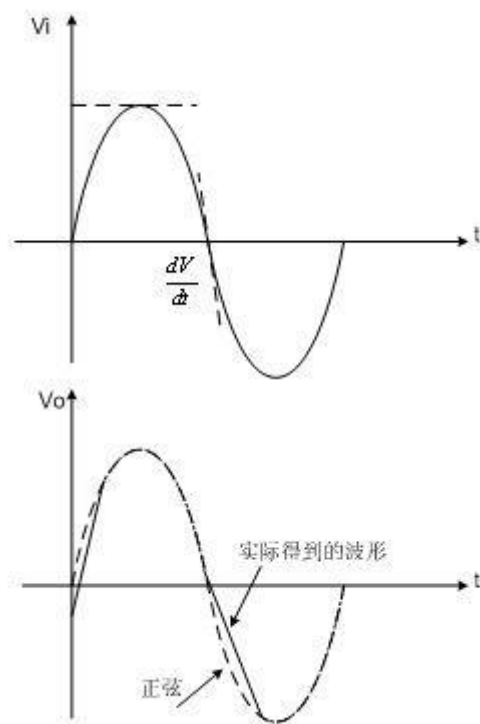


图 4 大信号输入电压和压摆率受限的输出电压

请记得，正确理解数据采集系统的性能要求，加之根据采集的输入信号合理选择放大器，会帮助你极大地减少误差的发生。