



A/D转换器的保真度测试检验纯度

Fidelity Testing for A to D Converters

Jim Williams Guy Hoover 凌力尔特公司

引言

对正弦波进行精确数字化的能力是高分辨率A/D转换器保真度的一项敏感度测试。该测试需要一个具接近1ppm残留失真分量的正弦波发生器。此外，还需要一个基于计算机的A/D输出监视器，用于读取和显示转换器输出频谱成分。若想以合理的成本和复杂程度来实施此项测试，就必需进行其元件的设计并在使用之前完成性能验证。

概要

图1给出了系统的示意图。一个低失真振荡器通过一个放大器来驱动A/D。A/D输出接口对转换器输出进行格式化，并与负责执行频谱分析软件和显示结果数据的计算机进行通信。

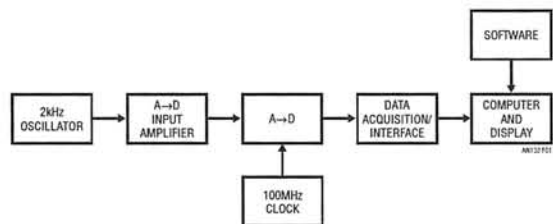


图1 A/D频谱纯度测试系统方框图。假设采用了一个无失真的振荡器，由计算机负责显示因放大器和A/D失真产生的富里叶（Fourier）分量

振荡器电路

振荡器是系统中难度最大的电路设计部分。为了对18位A/D进行有意义的测试，振荡器的不纯度必须超低，而且这些特性必须采用独立的方法加以验证。图2

基本上是一款“全反相”2kHz维氏（Wien）电桥设计（A1-A2），其在哈佛大学Winfield Hill所做研究工作的基础上进行。原始设计的J-FET增益控制被一个LED驱动的光电管隔离器所替代，从而消除了由J-FET电导率调制引起的误差，同时也就不必为最大限度地减少这些误差而进行微调。限带的A3负责接收A2输出和DC失调偏置，并通过一个2.6kHz滤波器提供输出以驱动A/D输入放大器。用于A1-A2振荡器的自动增益控制（AGC）信号由负责给整流器A5-A6馈电的AC耦合A4从电路输出（“AGC检测”）获取。A6的DC输出表示电路输出正弦波的AC幅度。利用终接至AGC放大器A7的电流表和电阻

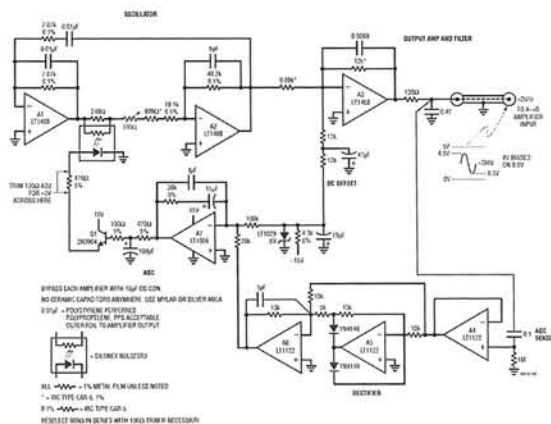


图2 维氏电桥（Wien Bridge）振荡器在信号通路中采用反相放大器，可实现3ppm失真。LED光电管取代了常用的J-FET作为增益控制器，从而消除了电导率调制所引起的失真。与A3相关的滤波衰减通过在电路输出端检测AGC反馈来补偿。DC失调施加偏压使输出进入A/D输入放大器范围

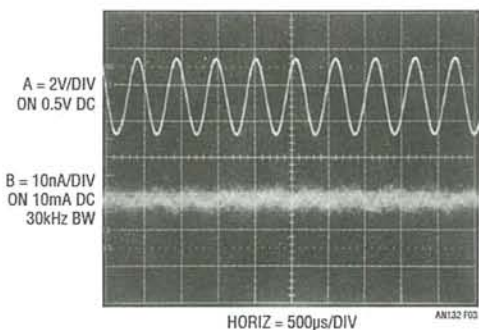


图3 振荡器(扫迹A)相关的残留噪声(扫迹B), 在Q1发射极噪声中仅依稀可看到($\approx 1\text{nA}$, 大约为LED电流的0.1ppm)。利用大量AGC信号通路滤波获得的特性可避免调制分量影响光电管响应



图5 Audio Precision 2722分析仪测得的振荡器THD为-110dB, 大约3ppm

器来使该数值与LT1029基准保持平衡。驱动Q1的A7通过设定LED电流(因而还包括Cds光电管电阻)来闭合增益控制环路, 从而稳定振荡器输出的幅度。尽管这会衰减A3和输出滤波器的带限响应, 但从电路的输出获得增益控制反馈信息可保持输出幅度。另外, 它还对A7环路闭合动态特性提出了要求。确切地说, A3的频带限制与输出滤波器A6的滞后及纹波抑制组件(在Q1的基极中)相组合, 可产生显著的相位延迟。A7上的一个 $1\mu\text{F}$ 主极点和一个RC零点一起提供了该延迟, 从而实现了稳定的环路补偿。这种方法用简单的RC滚降滤波器取代了严密调谐的高阶输出滤波器, 从而在保持输出幅度的同时最大限度地降低了失真。

从LED偏置中消除与振荡器有关的分量是保持低失真的关键。任何此类残留噪声都将调整振荡器的幅度, 因而引入不纯分量。对带限AGC信号正向通路实施了很

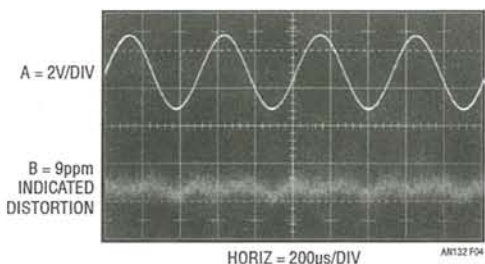


图4 HP-339A失真分析仪在其分辨率限值范围外工作会给出有误导的失真指示(扫迹B)。分析仪输出包含了振荡器和仪器特征的不确定组合, 不可作为判定依据。扫迹A是振荡器输出好的滤波, 而且Q1基极中的大RC常数提供了最终的陡峭

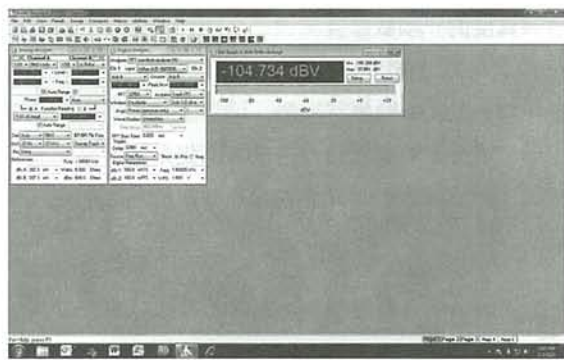


图6 AP-2722分析仪测得的振荡器THD+N $\approx -105\text{dB}$, 大约5.8ppm

滚降。如图3(Q1的发射极电流)所示, 振荡器相关纹波在10mA的总电流中约为1nA(小于0.1ppm)。

振荡器仅通过一次微调便实现了其性能。该调整(其确定了AGC捕获范围的中心)是按照原理图注释设定的。

验证振荡器失真

验证振荡器失真需要采用精细的测量方法。尝试采用传统失真分析仪(甚至是高级型分析仪)来测量失真会遭遇局限性。图4示出了振荡器输出(扫迹A)及其在分析仪输出端上的残留失真指示(扫迹B)。在分析仪的噪声层和不确定性层中, 振荡器相关动作的轮廓描绘是模糊不清的。测试中使用的HP-339A规定了一个18ppm的最小可测量失真; 这张照片在拍摄时仪器的指示为9ppm。这超过了规格指

