

应用 Labview 分析 D/A 转换器字宽与转换速率对信号波形失真度(THD)的影响

胡仁杰 东南大学电气工程系(210096)

Abstract

When producing the signal by DAC, the Total Harmonious Distortion of signal is decided by the bit width and the converting speed of D/A converter. This paper aims to analyze signal's distortion when D/A converter chooses different bit width and converting speed by means of Labview.

Keywords: distortion, D/A converter, Labview, bit width, convert speed

摘要

应用 DA 转换器拟合波形时,波形的失真度主要取决于 DA 转换器字宽和数据输出速率。本文介绍了以 Labview 为工具,分析 DA 转换器在选择不同字宽和数据输出速率时波形失真度的方法。

关键字: 波形失真度, DA 转换器, Labview, 字宽, 数据输出速率

通常微机测控系统所输出的周期性模拟信号是通过 DA 转换通道输出的,信号的质量(信号波形的逼真程度)将直接影响微机测控装置的性能指标。

1 影响波形质量的两个因素

DA 转换器产生一个连续的波形(例如正弦波)时,是用若干个离散的点来描述,波形实际上是由无数个阶梯构成的(见图 1),这样的波形中包含高频谐波分量。

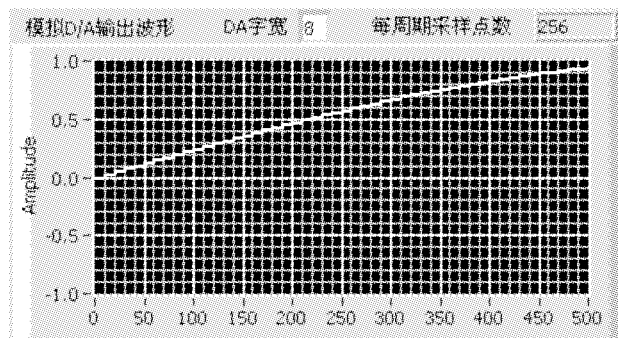


图 1 由阶梯构成的正弦波

从理论上来说,应用 DA 转换器拟合波形时,如果希望 DA 转换器产生一个连续平滑的信号,应该用尽可能多的数据点来描述一个周期的波形;同时,每个数据点应该有用尽可能高的数据分辨率。但每个周期输出数据点数越多,要求 DA 转换器转换速度越高;DA 转换器的分辨率:

$$K=2^{-L}$$

L 为 DA 转换器的字宽,DA 转换器的字宽越长,数据输出点的数据分辨率越高。但随着这两个指标的提高,DA 转换器实现的难度和成本也会提高。在对波形的失真度有一定要求时,如何选择合适的 DA 转换器是成为一个值得研究的问题。

由 DA 转换器产生的波形所对应的频谱中包含高频分量,通过分析波形的频谱,可以鉴定波形的质量。波形的功率谱:

$$\text{Auto Power Spectrum} = \frac{\text{FFT} * (\text{Signal}) \times \text{FFT}(\text{Signal})}{N^2}$$

N 为参加运算的点数。

波形的总谐波失真+噪声:

$$\text{THD}(\%) + \text{Noise} = 100 \frac{\sqrt{\text{sum}(\text{APS})}}{A(f_1)}$$

其中 sum(APS)为波形功率谱中除基频和直流分量以外所有频率分量幅值的平方和。

2 利用 Labview 分析 DA 转换器所产生波形的失真度

为了分析不同字宽和转换速率下的 DA 转换器产生的波形的失真程度,利用 Labview 提供的总谐波分析功能模块,编写波形的自动分析程序,分析波形的失真度。Labview 应用于虚拟仪器的编译型图形化编程组态软件开发和应用平台,具有各种函数库及数据处理与控制的开发工具。

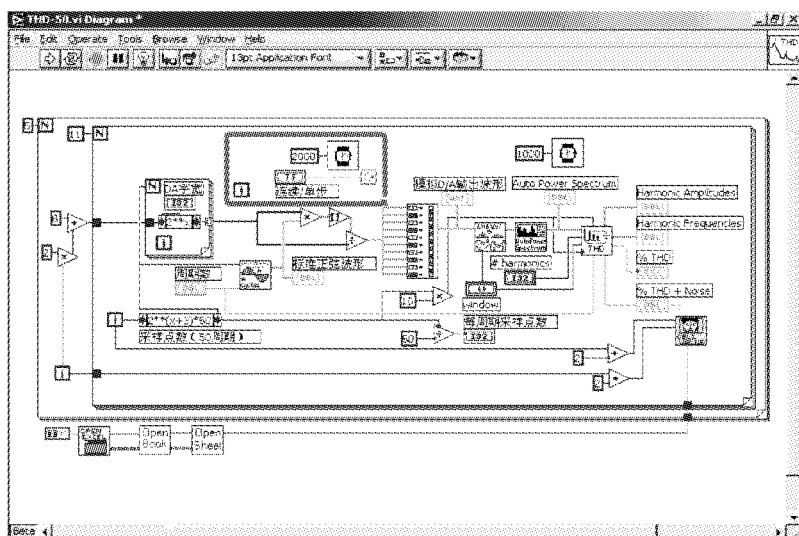


图2 总谐波分析程序图

为了分析不同字宽和转换速率下 DA 转换器所产生波形的失真程度而编写的自动测量程序, 根据 DA 转换器采用的字宽和转换速度, 首先模拟 DA 转换器的输出波形, 再对所模拟产生的波形进行失真程度分析, 选取总谐波噪声来表征波形失真度。测试中以 5 个周期的正弦波为标准波形, 先固定 DA 转换器的字宽, 使表现每周期波形的点数按 $2L$ 的规律由 8 点到 8192 点递增; 然后逐渐增加 DA 的字长从 8 位、10 位、12 位、14 位直至 16 位, 重复上述过程。对于每个给定了字宽 L 和每周期输出点数 N 的波形, 做 FFT 变换, 得到它的频谱, 再将各频率分量的幅值平方, 得到功率谱。将除去基频以外的功率谱积分, 除以基频的能量, 得到了鉴定了波形质量的参数: 总谐波失真+噪声。

总谐波分析功能模块编写自动测量程序参见图 2。该程序实现了按照不同字宽和数据输出速率, 分别测量 D/A 产生波形的失真程度。选取总谐波噪声来表征, 系统同时将测试结果存入 Microsoft Excel 文件, 便于后续处理和分析。该程序模拟了 D/A 波形发生系统和后续测量系统, 现在就各个程序模块详细说明如下:

(1) D/A 波形发生系统的模拟

在图 2 中, 程序的内外两层循环变量分别表示每周期的输出点数 (即 D/A 的速度) 和分辨率 (与 DA 转换器的字宽相关)。

内层循环变量的取值范围是 $0 \sim 10$, 表示每周期有 8, 16, 32, ... 8192 个数据输出点。外层循环变量的取值范围是 $0 \sim 4$, 表示的 DA 转换器字宽是 8, 10, 12, 14, 16 位。

在波形发生采用了 LabView 提供的 sine wave pattern 模块, 该模块的输入为总输出点数、幅值和周期数, 输出为产生的波形数列。为了模拟 D/A 的速度, 通过公式 $2^{(x+3) \times 50}$: (x 为内层循环变量) 来改变每周期的点数; 利用公式 2^Y (Y 为外层循环变量) 来模拟 D/A 的精度, 以改变 D/A 的分辨率。

在同一字宽下, 一个周期的输出数据点数越多, 波形越致密、平滑; 同样, 在一个周期输出数据点数相同情况下, DA 转换器的字宽越长, 波形的阶梯效应越小, 波形越致密、平滑。

(2) 总谐波分析

在总谐波分析中, 用到了自动功率谱 (APS) 模块和 THD 模块, 如图 3、图 4。

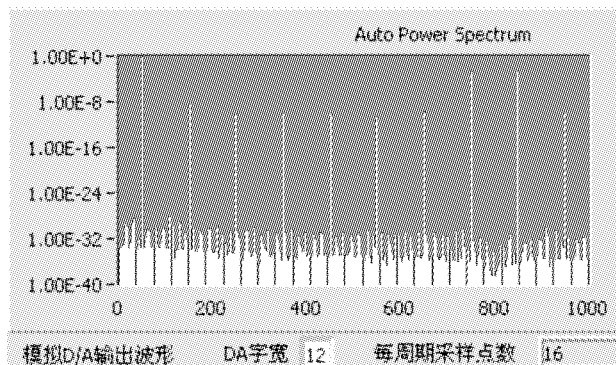


图3 对数功率谱 (12 位 D/A, 16 点/周期)

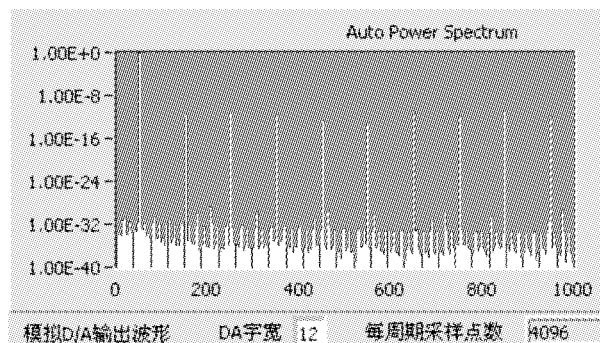


图4 自动对数功率谱 (12 位 D/A, 4096 点/周期)

数据进入 APS 模块计算输入信号的功率谱, 功率谱中各个频率分量的功率可以用图形的方式显示, 该结果也作为 THD 模块的计算依据。

THD 模块的功能是依据信号功率谱计算 $2 \sim k$ 次谐波分量的幅度, 计算谐波分量相对于基频分量的百分比, 计算相对于基频的总谐波噪声。

从 APS 模块计算的功率谱图中, 取出 12 位字宽

(下转第 34 页)

2) 在原有试验的基础上, 缩小步长和调节范围。即修改试验步骤中的步骤 1 和步骤 3, 仍按原来的均匀设计表设计试验即可。

4 试验结论

(1) “均匀设计法”可方便地达到所设定的跟踪要求, 最优实验结果表明使用该算法能在较短的时间跟上(过渡时间小于 2s), 实现了快速同步跟踪, 而且在整个跟踪过程中, 没有出现超调现象, 在过渡过程结束后, 系统即进入稳定的运行状态, 基本上实现了无静差(偏差小于 2 个脉冲)跟踪。

(2) 5 个模糊控制调整因子之间互相影响, 需要大量的调试工作, 使用本方法, 试验次数较少, 不需人工干预, 即可在线的得到最优的控制参数组合。

(3) 该方法的研究结果, 对高性能的数控位置伺服系统的设计提供了新的思路。

(4) 本方法可进一步推广, 特别适用于各项控制指标互相影响, 需要综合考虑的参数优化。

总之, 均匀设计法调整模糊控制参数是一种新方

法, 它可以在对象特征完全不清楚的情况下, 按照程序就可获得较为满意的结果, 特别适宜对机制尚不完全清楚的复杂系统。且只需进行较少次数的试验就可选出有利的参数组合, 是一种行之有效的现场调试方法。

参考文献

- 1 诸静. 模糊控制原理与应用. 机械工业出版社, 1998
- 2 方开泰. 均匀设计与均匀设计表. 北京: 科学出版社, 1994
- 3 堵盘兴. 均匀设计法. 陕西化工, 1989(3)
- 4 李友善, 李军. 模糊控制理论及其在过程控制中的应用. 北京: 国防工业出版社, 1993
- 5 关中玉, 宋桂菊. PID 参数的均匀设计. 自动化仪表, 1993, 14(4)
- 6 周万坤, 谭伟明, 樊丁. 焊接变位机的位置模糊控制研究. 电气传动自动化. 1999(1)
- 7 潘晓彬. 无位置静差的速度同步跟踪方法研究: [硕士学位论文], 1996

[收稿日期: 2001.10.16]

(上接第 9 页)

DA 转换器在不同转换速率(16 点/周期和 4096 点/周期、)下的功率谱图作对比。由于功率谱中所包含的谐波分量较小, 功率谱图取对数坐标。

3 DA 转换器分辨率和数据转换速率与波形失真度的关系

THD 模块根据各种模拟波形的功率谱分析出总谐波噪声, 表 1 中是总谐波分析数据的结果。

表 1 总谐波分析数据表

每周期数据 输出点数	D/A 字宽				
	8Bit	10Bit	12Bit	14Bit	16Bit
8	22.91028168	22.91028168	22.91028168	22.91028105	22.91028102
16	11.32326874	11.3228047	11.32280188	11.32279948	11.32279942
32	5.646081471	5.645174541	5.645124894	5.645116716	5.645116347
64	2.823065661	2.820745058	2.820549411	2.820531575	2.820530784
128	1.419237536	1.410473762	1.410043320	1.410013538	1.410012284
256	0.721429532	0.705882186	0.705053329	0.704978353	0.704974686
512	0.382953953	0.354296868	0.352629758	0.352490801	0.352483759
1024	0.235882666	0.180319304	0.176509335	0.176257373	0.176242189
2048	0.183191746	0.096954929	0.088715589	0.088159640	0.088122671
4096	0.166536701	0.059167350	0.045241461	0.044133257	0.044064707
8192	0.162379239	0.045859418	0.024269376	0.022175294	0.022038859

总谐波趋势图分析图。根据图表可以看出, 当每周输出点数较少时, DA 转换器字宽的提高对波形质量的影响不大; 而提高每周输出点数, 可大幅度提高波形质量。当每周输出点数较大时, 选择较长字宽的 DA 转换器, 对波形质量的提高有明显作用。当每每周输出点数达到 1024 以上时, DA 转换器的字宽选择 12 位、14 位或 16 位时, 输出波形的失真度并未有明显的提高。

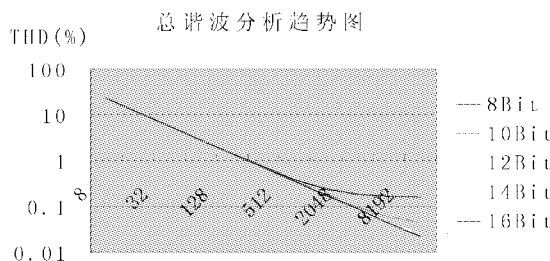


图 5 对数坐标总谐波趋势图

所以在设计 AWG 时, 当选择 12 位字宽的 DA 转换器, 每周输出点数达到 1024~4096, 任意波形发生器 AWG 所产生波形的失真度较低, 能够满足系统在波形失真度方面的要求; 同时也比较经济, 具有比较理想的性能价格比。

[收稿日期: 2001.11.28]

图 5 是根据总谐波分析数据表作出的对数坐标