

基于 AD8601 的电荷放大器的设计

朱新翔, 陈江伟, 纪晓轮, 唐平, 谢奇峰

(江苏国电南自海吉科技有限公司, 江苏 南京 210009)

摘要: 设备的冲击和振动信号常用压电加速度传感器来获取。压电加速度传感器是高内阻传感器, 仅能输出微弱的电荷信号, 需要使用电荷放大器对电荷进行电荷-电压转换, 方便后续的放大和处理。本文对电荷放大电路进行研究, 进而提出基于 AD8601 的电荷放大器的设计方法。

关键词: 压电加速度传感器; 电荷放大器; AD8601

中图分类号: TP212

文献标识码: B

文章编号: 1674-7720(2013)03-0088-02

Design of charge amplifier based on AD8601

Zhu Xinxiang, Chen Jiangwei, Ji Xiaolun, Tang Ping, Xie Qifeng

(Guodian Nanjing Automation Co., Ltd, Nanjing 210009, China)

Abstract: Piezoelectric acceleration sensor is a high internal-impedance device and the output of the device is low charge signal, which need taking a charge amplifier to transform the charge to voltage to facilitate subsequent amplification and processing. Therefore, this paper focuses on the charge circuit, and put forward a design based on AD8601.

Key words: piezoelectric acceleration sensor; the charge amplifier; AD8601

压电加速度传感器输出的电荷量很小, 不能用一般的测量电路测量。一般的测量电路输入阻抗较低, 而压电加速度计内阻很高^[1], 为了阻抗匹配, 要求后续测量电路输入阻抗也要很高。如果阻抗不匹配, 会导致传感器上的电荷经过测量电路之后会泄露掉, 造成测量误差。因此, 需要设计电荷放大器, 方便一般的信号处理电路来处理压电加速度传感器采集到的信号。电荷放大器是用于将电荷转换成电压的运算放大电路, 从而变化的电缆分布电容不会影响电荷的测量结果^[2]。因此设计性能良好的电荷放大器在测量系统中具有重要的意义。

1 电荷放大器设计存在的技术难点^[3]

电荷放大器设计存在的技术难点主要有三个方面: 传感器方面、运算放大器方面、反馈电容的选取方面。

传感器部分主要有: (1) 输出信号较小。(2) 传感器的频率范围很大。现在精度高的传感器低频可以做到 0.000 01 Hz, 接近直流, 高频可以到达 1.2 kHz, 对运放的响应频率要求很高。同时低频时, 输出的信号幅度较小, 信号很微弱。

运算放大器方面: 电荷放大器的反馈电阻非常大, 通常在 150 MΩ 以上。因而对运算放大器的要求是具有

很低的偏置电流和很高的输入阻抗。如果要制作频带响应非常好的电荷放大器, 反馈电阻通常在 1 GΩ 以上, 即使是纳安级别的偏置电流也会产生数伏以上的偏压。

反馈电容 C_f 的选取方面: 电荷放大器是一个深度负反馈的高增益放大器。要求反馈电容具有时间和温度稳定性好等高性能。

2 电荷放大器原理简介

压电加速度传感器与电荷放大器的连接示意图如图 1^[4]:

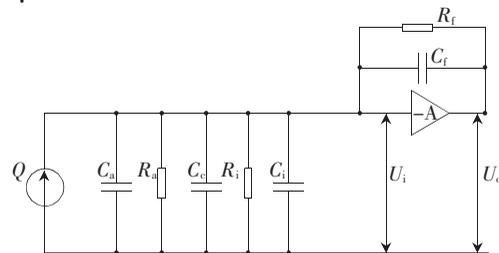


图 1 电荷放大器连接图

由“虚地”原理可知, 反馈电容 C_f 折合到放大器的输入端的有效电容 C'_f 为,

$$C'_f = \frac{C_f}{(1+A)} \quad (1)$$

反馈电阻 R_f 等效到放大器的输入端的有效电阻 R'_f 为^[6]

$$R'_f = \frac{R_f}{1+A} \quad (2)$$

设运放开环增益为 A , 则输出电压为

$$U_o = \frac{-j\omega A Q}{\left(\frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_i} + \frac{1+A}{R_f}\right) + j\omega [C_a + C_c + C_i + (1+A)C_f]} \quad (3)$$

在实际电路中, 运算放大器的增益 $A \gg 1$, 同时运算放大器输入阻抗高, 则此时, 可以忽略传感器自身电阻 R_a 、自身电容 C_a 、放大器输入电阻 R_i 、输入电容 C_i 、电缆电容 C_c 。同时在频率较高时可以忽略反馈电阻等效到输入端的电阻 $\frac{1+A}{R_f}$ 。则在频率高时放大器的输出成为

$$U_o = \frac{-A Q}{(1+A)C_f} \approx -\frac{Q}{C_f} \quad (4)$$

由式子(4)可以知道在电荷放大器中, 输出电压只与电荷量成正比。

电荷放大器中, 运算放大器采用电容负反馈, 对直流工作点相当于开环, 因此零点漂移很大。为了使工作稳定, 在反馈电容两端并联了电阻 R_f 用来稳定放大器工作点。

在频率较低时候, $\frac{1+A}{R_f}$ 的比值与 $j\omega C_f$ 的值相当, 则 $\frac{1+A}{R_f}$ 不可舍去, 此时根据复变函数理论, 输出电压的幅频响应函数为

$$U_o = \frac{-\omega Q}{\sqrt{\left(\frac{1}{R_f}\right)^2 + \omega^2 C_f^2}} \quad (5)$$

由式子(5)可以知道, 信号频率 ω 越小, $\frac{1}{R_f}$ 作用越明显。 R_f 与 C_f 作用同等重要, 可以推导得出, 反馈电阻、反馈电容决定电荷放大器的下限频率。

3 电荷放大器设计

3.1 选择元件

3.1.1 选择运放

经过前文的讨论, 制作一个高质量的电荷放大器是相当困难的事情, 首先要选取合适的芯片。压电加速度的特性要求电荷放大器输入电阻应该无穷大, 偏置电流无穷小。传感器输出的电荷信号比较微弱, 需要运放具有宽频段, 增益足够大。本设计在经过多方综合考虑之后, 选择 ADI 公司的 AD8601 芯片来设计电荷放大器。AD8601 具有低偏置电流, 低偏置电压, 具有 8 MHz 的带宽, 具有高增益特性^[5]。符合设计所需参数要求。

3.1.2 反馈电容的选择

由式子可知, 电荷放大器中输出电压只与反馈电容 C_f 有关, C_f 决定了电荷转电压输出的大小以及电荷放大器的频率响应特性。电容性能的好坏决定着电荷放大器是否稳定。本设计要求电容具有大的泄露电阻、吸附效应小、稳定性高等高性能。经过综合考虑, 选择聚苯乙烯电容做反馈电容。同时, 对于电荷放大器, 电缆线要尽可能短, 反馈电容尽可能大, 减少干扰。本设计选用

1 000 pF 的电容值的电容。

3.1.3 反馈电阻

电路采用了电容反馈, 会导致零点漂移较大。电荷放大器对直流的漂移很敏感。为了使电荷放大器稳定工作, 在反馈电容上并联了一个反馈电阻。由电荷放大器的下限截止频率 $f_L = \frac{1}{2\pi R_f C_f}$ 可知, 在 C_f 一定情况下, 要保证下限截止频率, 反馈电阻 R_f 必须尽可能的大^[6]。本设计反馈阻值选择 1 G Ω 的高精度电阻。

3.2 设计电路

综上所述, 完成了电荷放大器的设计。本设计如图 2 所示。

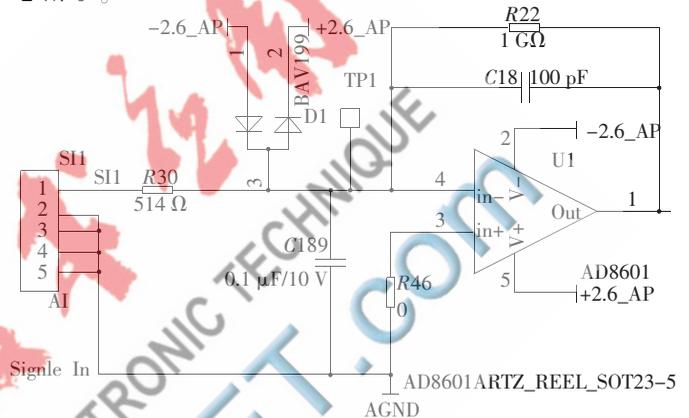


图 2 实际应用的电荷放大器

AI 为传感器电缆输入的 SMA 接口, R_{30} 电阻用来消除在电缆传输中带来的噪声干扰。BAV199 是稳压保护电路, 防止电路电压一时过高, 对放大器有影响。BAV199 可以将电路工作电压限制在 -2.6 V 到 2.6 V 之间。 R_{22} 与 C_{18} 为反馈电阻及反馈电容。电路实现了电荷放大功能, 完成了预期要求。

本文从电荷放大器的基本原理出发, 分析了电荷放大器的原理, 以及设计过程中应该注意的事项, 设计出一个应用于电机状态检测系统的电荷放大器。

参考文献

- [1] 查万纪. 压电加速度传感器测量电路的研究与设计[D]. 安徽: 安徽大学, 2005.
- [2] 王昊. 集成运放应用电路设计 360 例[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [3] 谢静. 新型电荷放大器设计[D]. 陕西: 西安理工大学, 2008.
- [4] 徐赛秋, 杨新尧. 振动测量系统中双积分电荷放大器的设计与应用[J]. 实验室研究与探索, 1994(4): 75-82.
- [5] ADI. AD8601 数据手册. 2000.
- [6] 魏东, 张志杰, 裴东兴. 电荷放大器可靠性分析[J]. 中国测试技术, 2007, 33(1).

(收稿日期: 2012-11-08)

作者简介:

朱新翔, 男, 1988 年生, 工程师, 主要研究方向: 电机在线状态监测系统。

陈江伟, 男, 1984 年生, 工程师, 主要研究方向: 电机在线状态监测系统。