

PVDF 压电传感器信号调理电路的设计

王庆锋 吴斌 宋吟蔚 何存富
(北京工业大学机电学院 北京 100022)

摘 要 设计 PVDF 压电传感器信号调理电路,详细介绍前置放大、工频陷波和低通滤波电路的设计原理。利用数字示波器对 PVDF 压电传感器信号调理电路进行测定。试验结果表明:设计的信号调理电路工作稳定可靠、重复性好、噪声小,抗干扰能力强,工频及工频倍频陷波效果明显,信号处理实时、准确,PVDF 压电传感器能够用于工业现场信号检测。

关键词 信号调理 前置放大器 工频陷波器

Design of a signal conditioner circuit for the PVDF piezoelectric transducer

Wang Qingfeng Wu Bin Song Yinwei He Cunfu
(Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract The design of a signal conditioner circuit for the PVDF transducer is described detailedly in this paper, including the design principle of preamplifier circuit, line-frequency notch filter, low-pass filter. The corresponding simulations and experiments show that the circuit has the function of real time processing well and truly; it is reliable and can minimize the effect of electromagnetic interference; and the circuit can effectively trap line-frequency and line-frequency multiplication. Therefore it can be applied to detect signal on-site for PVDF transducer.

Key words Signal Conditioner Preamplifier Line-frequency Notch Filter

1 引 言

PVDF 传感器输出电荷量很小、内阻抗十分高、抗电磁干扰能力较差,要把来自传感器的模拟信号转换为数字信号必须进行信号调理。目前国内压电晶体传感器信号调理装置大多数采用集成运算放大器及电容、电阻等元件搭建,电路具有集成度低、电路复杂、稳定性较差、噪声大等问题^[1]。为克服传统信号调理电路上述缺点,研制了以集成芯片 AD745、LMF90、MAX7410 为核心元器件的 PVDF 传感器信号调理电路,该电路工作稳定可靠、重复性好、噪声小,抗干扰能力强,工频及工频倍频陷波效果明显,信号处理实时、准确,能够用于工业现场 PVDF 压电传感器信号检测。

2 信号调理电路

PVDF 传感器信号调理电路主要由前置放大器、工频及工频倍频陷波器、低通滤波器等部分组成,完成

信号的放大、滤波、电荷电压的转换。

2.1 前置放大电路

前置放大电路有两个作用:一是实现阻抗变换,把压电元件的高输出阻抗变换为低阻抗输出;二是实现信号放大。PVDF 压电传感器压电晶片电容值较小——产生的电荷量很小、压电晶片的漏电阻很高——内阻抗十分高,所以传感器必须和高输入阻抗的前置放大器配合使用才能有效的检测并输出信号。

AD745 是美国 AD 公司生产的具有超低噪声、高速场效应管输入型放大器,优化的内部补偿结构使它具有高增益、频带宽和转换速率快等特性,高达 10^{10} 的输入阻抗非常适合作为压电传感器的前置放大器^[2]。

2.2 工频及倍频陷波电路

实践证明:PVDF 压电传感器极易受电磁干扰,其中 50Hz 和 150Hz 干扰最为明显。PVDF 压电传感器信号调理电路采用了以集成芯片 LMF90 为核心器件的陷波器来抑制或消除工频及其倍频干扰信号。

LMF90 是美国 National Semiconductor 公司生产

的一种 4 阶椭圆陷波器,它具有如下特点:陷波中心频率 f_0 可以通过外部晶振设置;响应特性只需要调整引脚极性无需其他外部元器件设置;可分别设定陷波带宽、衰减幅度、时钟和陷波中心频率比值等参数^[3]。

2.3 低通滤波器

PVDF 压电传感器的频率响应曲线或电导曲线常表现出高的尖峰,当动态力作用于传感器时,唯一的阻尼源是材料的内摩擦力,因此传感器工作频率必须远低于机械谐振频率并且其输出信号需低通滤波。

美国 DALLAS SEMICONDUCTOR 公司生产的 MAX 半导体集成芯片系列可实现低通、带通、高通滤波的功能。采用 MAX7410 芯片,只需要在引脚 CLK 和 GND 之间外接电容,通过改变电容值可实现不同滤波器截至频率^[4]。

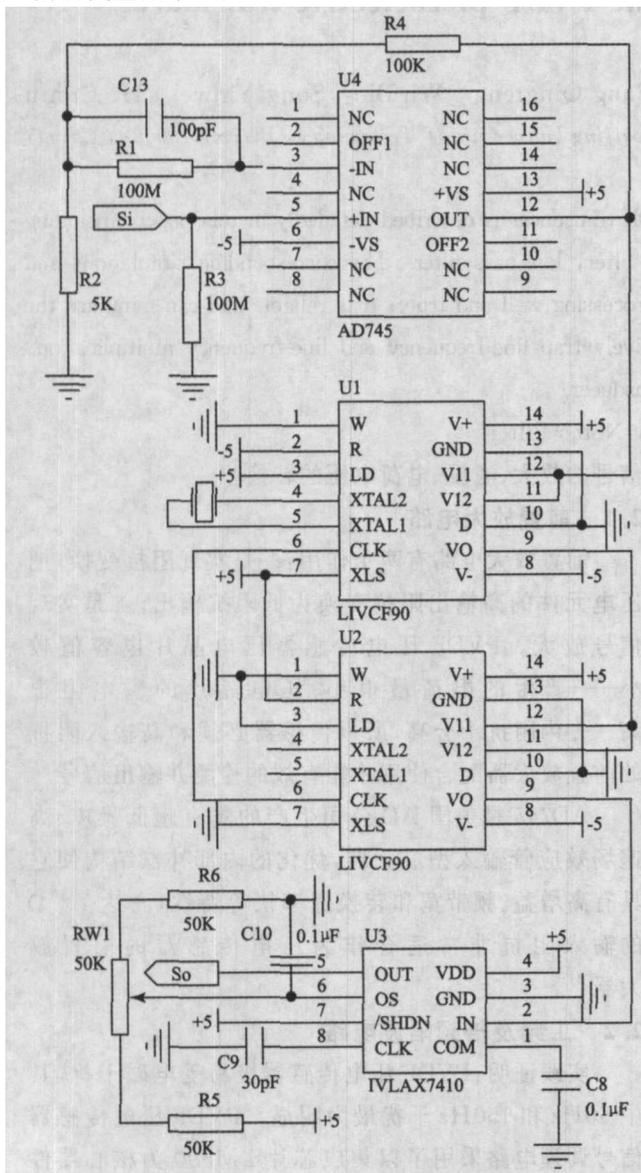


图 1 PVDF 压电传感器信号调理电路原理图

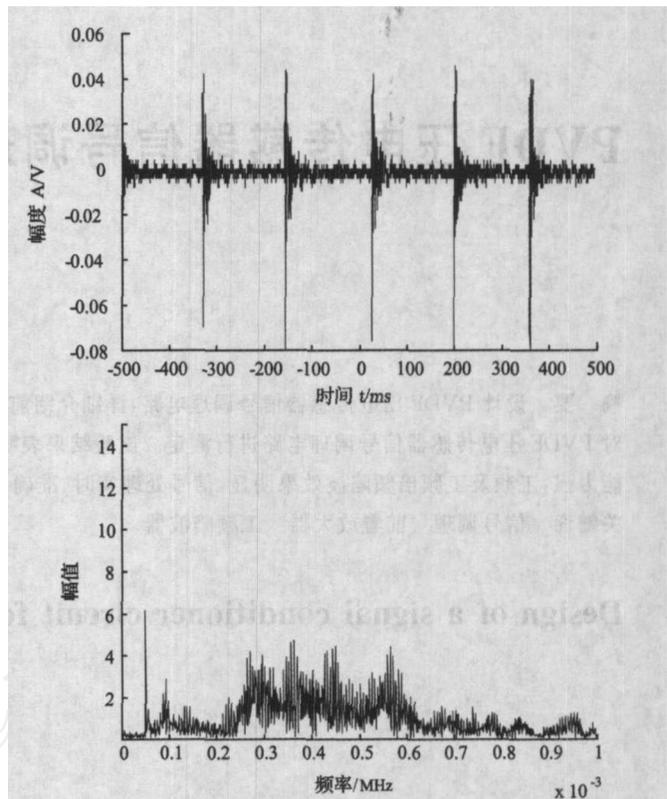


图 2 信号调理前的声发射信号

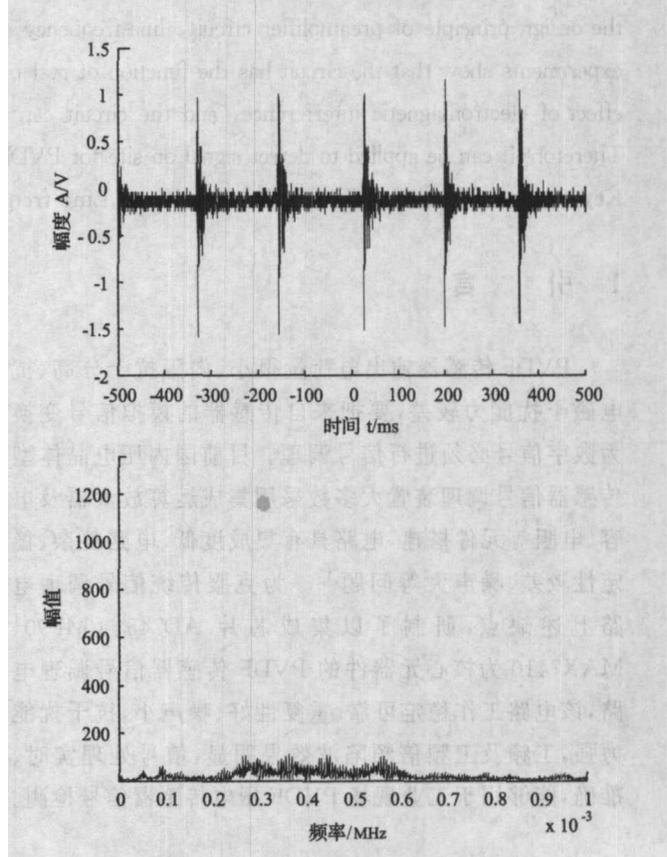


图 3 信号调理后的声发射信号

2.4 阻抗匹配和信号调理电路

PVDF 压电传感器信号调理电路其前置放大器、

50Hz 和 150Hz 陷波器和低通滤波器的电路连接必须符合阻抗匹配要求。

图 1 所示,为优化 AD745 的 DC 响应特性和 AC 响应特性,减少偏置电流误差和 AC 响应误差达到超低噪声性能的要求,前置放大电路设计需平衡 AD745 输入源电阻(电阻和电抗),要求: C_{i3} 和传感器压电晶片的电容值相等(Si 输入端口接传感器); $R_1 = R_3 = 10^8 \Omega$; R_2 和 R_4 取值远小于 R_1 ,前置放大增益值为: $1 + R_1/R_2$ 。设计的 PVDF 压电传感器输出阻抗值为 $10^8 \Omega$ 数量级,前置放大器输入阻抗高达 $10^{10} \Omega$ 数量级, PVDF 压电传感器的输出阻抗和前置放大器的输入阻抗能够达到很好的阻抗匹配。前置放大器输入阻抗越高,传感器的最小分辨率越低、传感器输出信号信噪比越高。

前置放大器的输出阻抗一般很小,50Hz 和 150Hz 陷波器的输入阻抗大于 $222k\Omega$,前置放大器和陷波器阻抗匹配良好。

MAX7410 滤波器输入阻抗为 $476k\Omega$,50Hz 和 150Hz 陷波器的输出阻抗很低,二者阻抗匹配符合要求。

3 实验实例

设计 PVDF 压电传感器,其源阻抗(容抗和阻抗)约为 $500M\Omega$,按图 1 设计信号调理器。利用稳压电源(PH1718)、数字示波器(TDS3032B)、数字信号发生器(Agilent 33120A)、计算机搭建 PVDF 压电传感器信号

调理实验平台。PVDF 压电传感器接受随机声发射信号,经过信号调理器使传感器输出电压信号在数字示波器上显示,并通过串口通讯把数据存储传输到计算机,然后利用 Matlab 软件对信号进行处理实现信号的重现和分析。

图 2、3 所示,随机声发射信号经过信号调理后前置放大增益约为 30dB;50Hz 工频及其倍频抑制效果明显。

4 结 论

基于高输出阻抗 PVDF 压电传感器信号调理的需要,研制了以集成芯片 AD745、LMF90、MAX7410 为核心元件的信号调理电路,该电路搭建容易、集成度高。实验结果表明:信号调理电路具有噪声低、信噪比高、工频及其倍频陷波效果明显、重复稳定性好等优点,能够广泛应用于相关信号检测领域。

参考文献

- [1] 李刚,林凌. 高共模抑制比前置放大器 [P]. CN02129065. 2. 2003,4.
- [2] Analog Devices, Inc. Ultralow Noise, High Speed, BiFET Op Amp AD745. www.analog.com, 2002.
- [3] National Semiconductor Corporation. LMF90 4th-Order Elliptic Filter[Z]. 1995.
- [4] MAXIM. 5th-Order, Lowpass, Switched-Capacitor Filters. www.maxim-ic.com, 1998.
- [5] Liang D F, Mcmillan J C, Vinnins M F. Low Cost Integrated Machine Navigation System[J]. Proceedings 39rd ION, 1983,32(1):30-39.
- [6] Chetwynd D. G. and Siddall G. J. Improving the Accuracy of Roundness Measurement [J]. Phys. E: Sci. Instrum, 1976,9 537-544.
- [7] Zhang Y, Gao F, Wu X, et al. Investigation of the re-entrant integrated optical rotation sensor [A]. Symposium Gyro Technology. Germany; University of Stuttgart, 2000. 23-26.
- [8] Richard L G. Initial Navigation Technology from 1970 -1995[J]. the Institute of Navigation, 1995, 42(1): 165-185.

(上接第 1652 页)

- [2] Debra D. B. Parkinson B. W. Engineering Technology for Physics in Space[A]. Advances in Space Research v9n9 [C]. USA; Stanford, 1989. 5-11.
- [3] Zhang Y, Gao F, Wu X, et al. Investigation of the re-entrant integrated optical rotation sensor [A]. Symposium Gyro Technology. Germany; University of Stuttgart, 2000. 23-26.
- [4] Richard L G. Initial Navigation Technology from 1970