

压力传感器信号调理电路设计

周 娟¹ 袁良豪² 曹德森¹

摘 要 详细介绍了循环式氦氧混合气辅助呼吸装置压力传感器信号调理电路传感器接入、电流源、差分放大器、输出放大器、非线性调整环、频率响应等功能模块的设计,明确给出了信号调理电路差分放大器及零点调整电路中电阻的计算方法。测试结果表明:该压力传感器信号调理电路在实现大电压信号满量程输出、输出电压与输入压力保持线性关系、零点电压提升等功能方面取得了很好的效果。

关键词 辅助呼吸装置;压力传感器;信号调理;功能模块

中图分类号 R318.06 **文献标识码** A **文章编号** 1002-3208(2007)04-0395-04

Designing signal conditioning circuit for integrated circuit pressure sensor ZHOU Juan¹, YUAN Lianghao², CAO Desen¹ 1 General Hospital of PLA, Beijing 100853; 2 Foreign Enterprise Service Co. Ltd., Beijing 100020

[Abstract] The paper introduces the detail designing of the these functional blocks, such as sensor assembly, current source, differential normalizing amplifier, output amplifier, nonlinearity correction loop, frequency response shaping network. And the paper also gives out the way of calculating the resistance in the circuits of differential normalizing amplifier and zero balance adjustment definitely in assistant breathing equipment cycled with mixed gases of helium and oxygen. The testing result is that the signal conditioning circuit has the famous behaviors of higher level voltage output span, linearity between output voltage and input pressure, raise of zero voltage.

[Key words] assistant breathing equipment; pressure sensor; signal conditioning; functional blocks

随着现代数据采集系统的不断发展,对高精度信号调理技术的要求也越来越高。由于传感器输出的信号往往存在温漂、信号比较小及非线性等问题,因此它的信号通常不能被控制元件直接接收,这样一来,信号调理电路就成为数据采集系统中不可缺少的一部分,并且其电路设计的优化程度直接关系到数据采集系统的精度和稳定性。

循环式氦氧混合气辅助呼吸装置的三路压力传感器的测量范围分别为 0 ~ 350kPa (P1)、-2 ~ 6kPa (P2)、-2 ~ +2kPa (P3),均采用 HIT 系列 -1210 型压力传感器。HIT 系列 -1210 型压力传感器满量程输出电压为 75 ~ 150mV (典型值为 100mV)。其中央微处理器采用 ADI 公司生产的 AD μ C812 单片机,ADC 的模拟输入范围是 0 ~ 5V。故要设计有更高增益并满足其它信号调理要求的电路。电路结构见图 1。

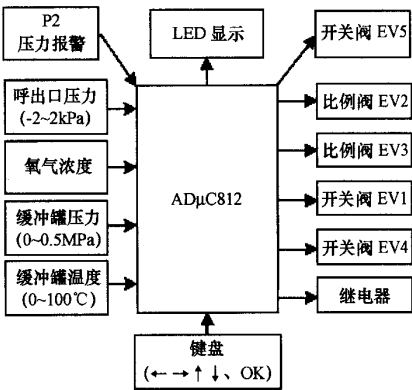


图 1 循环式氦氧混合气辅助呼吸装置硬件电路结构
Fig 1 Hardware frame of assistant breathing equipment cycled with mixed gases of helium and oxygen

1 压力测量

通过检测机械元件的位置移动来测量压力,该位移使应变计的电阻值发生改变。氦氧混合气辅助呼吸装置使用的 HIT 系列 -1210 型压力传感器采用的是一种惠斯通 (Wheatstone) 电阻电桥结构的应

作者单位: 1 解放军总医院 (北京 100853)
2 北京市外企服务有限公司 (北京 100020)
作者简介: 周娟 (1972—), 女, 讲师, 从事医学工程技术研究

$$(W_{400} - R_{404})_1 = \frac{2.5}{0.996 \times 101\%} = 2.485\text{k}\Omega$$

$$(W_{400} + R_{404})_2 = \frac{2.5}{0.996 \times 99\%} = 2.535\text{k}\Omega$$

电阻取值如下:

$$W_{400} = 500\Omega, R_{404} = 2.2\text{k}\Omega, R_{402} = 2.5\text{k}\Omega$$

2.4 差分放大器

放大器 A2、A3、A4 提供高共模抑制比 (CMRR), 用以测量差分电压。MAX4164 具有低值输入失调电压 (VOS) 漂移和输入偏置电流, 以使得从传感器能精确地读数。放大器 A1 ~ A4 连接成仪表放大器以达到上述目标。这种配置的电压增益 (AV) 为:

$$AV = (1 + 2R_{403}/r)(R_{401}/R_{400})$$

图 3 所示的增益放大可互换的传感器基本配置中, 在激励电流 $I_o = 0.996\text{mA}$ 时, 传感器的输出电压范围 $S_i(\text{V})$ 和增益设置电阻 r 之间的关系为:

$$S_i = \frac{2r}{200 + r}$$

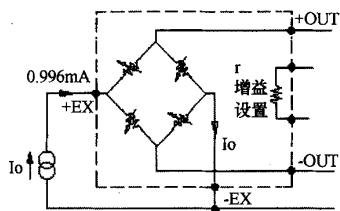


图3 增益放大可互换的传感器的基本配置

Fig 3 Basic configuration gain-programming interchangeable sensor

2.4.1 350kPa 压力传感器反馈电阻计算

$$S_i = \frac{2 \times r}{200 + r} = \frac{2 \times 7.22}{200 + 7.22} = 69.6844\text{mV}$$

由于本放大电路满量程输出为 5V, 现欲设计输出放大器放大倍数为 2, 故

$$S_o = AS_i \left(\frac{r + 2R}{r} \right) = \frac{5}{2} = 2.5\text{V}$$

式中, A 为激励电流和参考电流的比率, $A = I/I_o = 1$; R 为反馈电阻, $\text{k}\Omega$ 。

$$R = \left(\frac{S_o}{AS_i} - 1 \right) \times r/2 = 125.9025\text{k}\Omega$$

$$\text{即 } R_{403} = R_{405} = 126\text{k}\Omega$$

2.4.2 -2 ~ 6kPa 压力传感器反馈电阻计算 同理, 可计算得 $R_{403} = R_{405} = 95\text{k}\Omega$ 。

2.4.3 -2 ~ +2kPa 压力传感器反馈电阻计算

同理, 可计算得 $R_{403} = R_{405} = 62\text{k}\Omega$ 。

2.5 输出放大器

三路压力传感器采用相同的设计。二级放大器 A4 放大倍数设计为 2, 选取

$$R_{400} = R_{406} = 100\text{k}\Omega, R_{401} = 200\text{k}\Omega$$

$$R_{407} = 200\text{k}\Omega, R_{409} = 100\text{k}\Omega$$

2.6 非线性调节

非线性调整环由电阻 R_{12} 建立。调整环反馈输出电压来调整桥电压, 影响输出信号。反馈常用来补偿压力传感器的非线性。

若传感器存在正非线性, 则反馈连接到放大器 A1 的 X 输入端; 若传感器存在负非线性, 则反馈连接到放大器 A1 的 Y 输入端。

反馈电阻 R_{12} 的计算公式为:

$$R_{12} = 4R(10)^A/S(NL)^B$$

$$A = 1.9074, B = 0.97242$$

式中, R 为和电阻 R_{12} 相连, 共同进行反馈配置的电阻, 其值为电阻 R_{402} 值或 W_{400} 与 R_{404} 的和值, 本系统中, 其值为 $2.5\text{k}\Omega$; S 为驱动电阻 R_{12} 的输出信号电压范围, 三路压力传感器的输出信号电压范围都为 5V; NL 为以百分比表示的基于非线性度的跨度端子绝对值, 其表达式为

$$NL = \frac{100[V_1 - (V_2 - V_0)(P_1 - P_0)/(P_2 - P_0) - V_0]}{(V_2 - V_0)}$$

2.7 零点调整

2.7.1 350kPa 压力传感器零点调整电路相关电阻计算 本系统中, 传感器零压输出最大值为 $\pm 2\text{mV}$, MAX4164 最大输入偏置为 $\pm 6\text{mV}$, 故

$$\pm 2 \times 2 \times \left(1 + \frac{2 \times 126}{7.22} \right) = \pm 143.612\text{mV}$$

$$\pm 6 \times 2 \times \left(1 + \frac{2 \times 126}{7.22} \right) = \pm 430.837\text{mV}$$

$$\pm (430.837 + 143.612) = \pm 574.449\text{mV}$$

R_{12} 空置不接 (即接开关 Z 点), R_{408} 、 W_{401} 、 R_{411} 、 R_{409} 均空置不接。零点偏置电压通过软件进行修正。

2.7.2 -2 ~ 6kPa 压力传感器零点调整电路相关电阻计算 W_{401} 零点调整电压应能达到的最小值为 0.339883V; W_{401} 零点调整电压应能达到的最大值为 2.160117V。

$$\text{取电阻 } R_{408} = 12\text{k}\Omega, R_{411} = 2.2\text{k}\Omega。$$

设 W_{401} 电阻值为 Y , 2、3 引脚之间的电阻值为 X 。

零点调整电压最小时, W_{401} 阻值的计算:

$$\frac{0.339883/2}{X+2.2} = \frac{2.5}{12+2.2+Y}$$

设 $Y=20\text{k}\Omega$, 则 $X=125\Omega$

零点调整电压最大时, W_{401} 阻值的计算:

$$\frac{2.160117/2}{X+2.2} = \frac{2.5}{12+2.2+Y} = \frac{1.0800585}{X+2}$$

设 $Y=20\text{k}\Omega$, 则 $X=12.6\text{k}\Omega$

即 W_{401} 电阻值为 $20\text{k}\Omega$ 时, 调整 W_{401} 的电阻值, 可使 $-2 \sim 6\text{kPa}$ 压力传感器零点输出电压值为 1.25V 。

2.7.3 $-2 \sim +2\text{kPa}$ 压力传感器零点调整电路相关电阻计算 同理, 可得 W_{401} 电阻值为 $5\text{k}\Omega$, 调整 W_{401} 的电阻值, 可使 $-2 \sim 6\text{kPa}$ 压力传感器零点输出电压值为 2.5V 。

2.8 频率响应

三路压力传感器采用相同的设计。第二级放大电路设计成 50Hz 低通滤波电路。

$$50 = \frac{1}{2\pi R_{401} C_{400}}$$

由 $R_{401}=200\text{k}\Omega$, 得:

$$C_{400} = C_{401} = \frac{1}{2\pi \times 200000 \times 50} \approx 16\text{nF}$$

2.9 信号调理系统的最后级——ADC

信号调理系统的基本目标是尽可能快速、完整和方便地把模拟传感器信号变换为数字形式, 此任务就落在 ADC 身上。

大多数信号调理应用采用逐次逼近(SAR)或积分型 ADC。这两种 ADC 能很好地处理 DC 信号, 而 SAR 型 ADC 对快速 AC 信号能提供更好的支持。SAR 转换器是所有 ADC 中最通用的, 这种转换器把高分辨率和高吞吐能力结合在一起。

AD μ C812 中集成的 A/D 转换包括 8 通道 12 位单电源 ADC。此模块内的所有部件能方便地通过 3 个寄存器 SFR 接口来设置。该 ADC 由基于电容 DAC 的常规逐次逼近转换器组成。转换器接收的模拟输入范围为 $0 \sim V_{\text{REF}}$ 引脚电压。本电路中, 采用外部基准 $V_{\text{REF}}=5\text{V}$ 。

3 测试

未进行非线性调节前, 350kPa 压力传感器信号调理电路测得的一组压力和对应的采集电压之间的数据关系如图 5 所示。

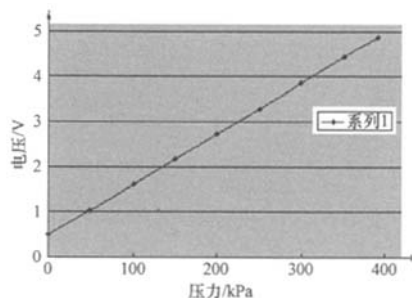


图 5 压力和输出电压之间的数据关系

Fig 5 Data relationship of output voltage and pressure

测试结果表明: 该压力传感器信号调理电路在实现大电压信号满量程输出、输出电压与输入压力保持线性关系、零点电压提升等功能方面取得了很好的效果。

4 结论

压力传感器信号调理技术是循环式氮氧混合气辅助呼吸装置设计中的一项关键技术。通过具体设计, 验证了循环式氮氧混合气通气技术在呼吸支持设备中应用的可行性。本研究对促进现有呼吸支持设备与新型呼吸支持技术的整合、完善, 推动其产业化、商品化, 以及在较高的起点研制开发成型设备具有重要意义。

本系统设计的压力传感器信号调理电路具有很强的扩展性和重构性。其功能可在不改变整体硬件设计的基础上进行调整, 增加了方案的灵活性和适应能力, 可推广到其它医学应用系统中, 具有很好的应用价值。

参考文献

- [1] 李刚. AD μ C812 系列单片机原理与应用技术. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001

(2006-07-07 收稿, 2007-09-10 修回)