

两线制 4/20mA 变送器的电路设计

工业上普遍需要测量各类非电物理量，例如温度、压力、速度、角度等，都需要转换成模拟量电信号才能传输到几百米外的控制室或显示设备上。这种将物理量转换成电信号的设备称为变送器。工业上最广泛采用的是用4~20mA 电流来传输模拟量。

采用电流信号的原因是不容易受干扰。并且电流源内阻无穷大，导线电阻串联在回路中不影响精度，在普通双绞线上可以传输数百米。上限取20mA 是因为防爆的要求：20mA 的电流通断引起的火花能量不足以引燃瓦斯。下限没有取0mA 的原因是为了能检测断线：正常工作时不会低于4mA，当传输线因故障断路，环路电流降为0。常取2mA 作为断线报警值。

电流型变送器将物理量转换成4~20mA 电流输出，必然要有外电源为其供电。最典型的是变送器需要两根电源线，加上两根电流输出线，总共要接4根线，称之为四线制变送器。当然，电流输出可以与电源公用一根线（公用 VCC 或者 GND），可节省一根线，称之为三线制变送器。

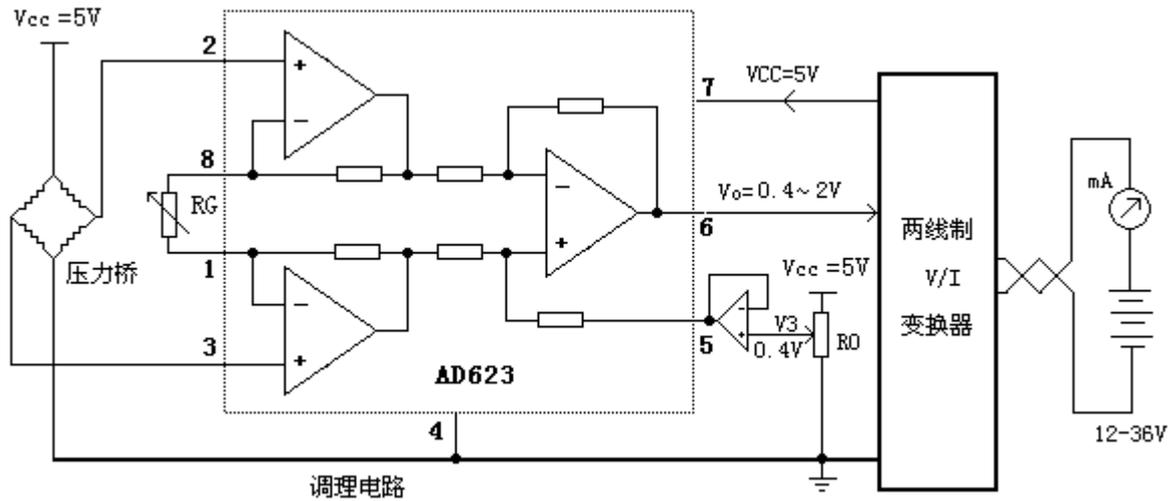
其实大家可能注意到，4-20mA 电流本身就可以为变送器供电，如图1C 所示。变送器在电路中相当于一个特殊的负载，特殊之处在于变送器的耗电电流在4~20mA 之间根据传感器输出而变化。显示仪表只需要串在电路中即可。这种变送器只需外接2根线，因而被称为两线制变送器。工业电流环标准下限为4mA，因此只要在量程范围内，变送器至少有4mA 供电。这使得两线制传感器的设计成为可能。

在工业应用中，测量点一般在现场，而显示设备或者控制设备一般都在控制室或控制柜上。两者之间距离可能数十至数百米。按一百米距离计算，省去2根导线意味着成本降低近百元！因此在应用中两线制传感器必然是首选。



2.两线制变送器的结构与原理 两线制变送器的原理是利用了4~20mA 信号为自身提供电能。如果变送器自身耗电大于4mA，那么将不可能输出下限4mA 值。因此一般要求两线制变送器自身耗电（包括传感器在内的全部电路）不大于3.5mA。这是两线制变送器的设计根本原则之一。从整体结构上来看，两线制变送器由三大部分组成：传感器、调理电路、两线制V/I 变换器构成。传感器将温度、压力等物理量转化为电参量，调理电路将传感器输出的微弱或非线性的电信号进行放大、调理、转化为线性的电压输出。两线制V/I 变换电路根据信号调理电路的输出控制总体耗电电流；同时从环路上获得电压并稳压，供调理电路和传感器使用。除了V/I 变换电路之外，电路中每个部分都有其自身的耗电电流，两线制变送器的核心设计思想是将所有的电流都包括在V/I 变换的反馈环路内。如图，采样电阻 R_s 串联在电路的低端，所有的电流都将通过 R_s 流回到电源负极。从 R_s 上取到的反馈信号，包含了所有电路的耗电。在两线制变送器中，所有的电路总功耗不能大于3.5mA，因此电路的低功耗成为主要的设计难点。下面将逐一分析各个部分电路的原理与设计要点。

但是输出幅度也随之下降，需要提高 AD623 的增益。图6给出的传感器采用恒压供电，实际应用中大部分半导体压力传感器需要恒流供电才能获得较好的温度特性，可以用一个运放构成恒流源为其提供激励。



5.稳定性和安全性的考虑 工业环境下环境恶劣且对可靠性要求高，因此两线制变送器的设计上需要考虑一定的保护和增强稳定性措施。

1. 电源保护。电源接反、超压、浪涌是工业上常见的电源问题。电源接反是设备安装接线时最容易发生的错误，输入口串一只二极管即可防止接反电源时损坏电路。如果输入端加一个全桥整流器，那么即使电源接反仍能正常工作。为防止雷击、静电放电、浪涌等能量损坏变送器，变送器入口处可以加装一只 TVS 管来吸收瞬间过压的能量。一般 TVS 电压值取比运放极限电压略低，才能起到保护作用。如果可能遭受雷击，TVS 可能吸收容量不够，压敏电阻也是必需的，但是压敏电阻本身漏电会带来一定误差。

2. 过流保护。设备运行过程中可能有传感器断线、短路等错误情况发生。或者输入量本身很有可能超量程，变送器必须保证任何情况下输出不会无限制上升，否则有可能损坏变送器本身、电源、或者远方显示仪表。图中 R_b 和 Z_1 构成了过流保护电路。无论什么原因导致 OP1 输出大于 6.2V（1N4735 是 6.2V 稳压管），都会被 Z_1 钳位， Q_1 的基极不可能高于 6.2V。因此 R_e 上电压不可能高于 $6.2 - 0.6 = 5.6V$ ，因此总电流不会大于 $U_e/R_e = 5.6V/200 = 28mA$ 。

3. 宽电压适应能力。一般两线制变送器都能适应大范围的电压变化而不影响精度。这样可以适用各类电源，同时能够适应大的负载电阻。对电源最敏感的部分是基准源，同时基准源也是决定精度的主要元件。3楼图中基准通过 R_5 限流，当电源电压变化时， R_5 上电流也随之改变，对基准稳定性影响很大。附图中利用恒流源 LM334 为基准供电，电压大范围变化时，电流基本不变，保证了基准的稳定性。

4. 退藕电容 一般的电路设计中，每个集成电路的电源端都会有退藕电容。在两线制变送器上电时，这些电容的充电会在瞬间导致大电流，有可能会损坏远方仪表。因此每个退藕电容一般不超过 10nF，总退藕电容不宜超过 50nF。入口处一个 10nF 电容是必需的，保证长线感性负载下，电路不震荡。

