

4~20mA 模拟输出（电流环）应用笔记

bpsun@163.com

前言

4-20mA.DC(1-5V.DC)信号制是国际电工委员会(IEC):过程控制系统用模拟信号标准。

在工业现场,如果采集的信号经调理后是电压信号并且进行长线传输,会产生以下问题:第一,由于传输的信号是电压信号,传输线会很容易就受到噪声的干扰;第二,传输线的分布电阻会产生电压降;第三,在现场如何提供仪表放大器的工作电压也是个问题。

为了解决上述问题和避开相关噪声的影响,工业现场大量采用电流来传输信号。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,而低于 4mA 高于 20mA 的信号用于各种故障的报警下限。之所以没有取 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。

4~20mA 电流环有两种类型: 二线制和三线制。当监控系统需要通过长线驱动现场的驱动器件如阀门等时,一般采用三线制变送器,这里电流输出模块位于监控的系统端,由系统直接向电流输出模块供电,供电电源是二根电流传输线以外的第三根线。二线系统是电流输出模块和传感器位于现场端,由于现场供电困难,一般是接收端利用 4~20mA 的电流环线缆向远端的电流输出模块供电,通过 4~20mA 来反映信号的大小。

4~20mA 产品的典型应用是传感和测量应用。在工业现场有许多种类的传感器可以被转换成 4~20mA 的电流信号。

变送器的概念是将非标准电信号转换为标准电信号(0/4~20mA DC,1~5V DC,0~10V DC)的仪器。传感器是能够受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置的总称,通常由敏感元件和转换元件组成。当传感器的输出为规定的标准信号时,则称为变送器。们讨论的两线制、三线制、四线制,是指各种输出为模拟直流电流信号的变送器。

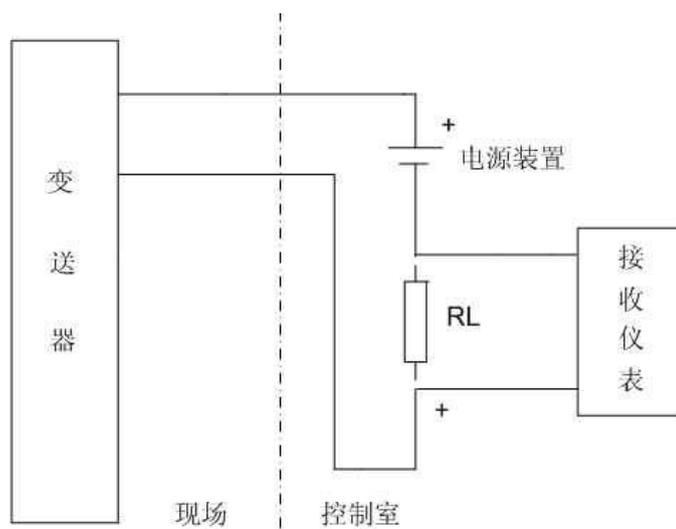
方案

两线制电流环方案

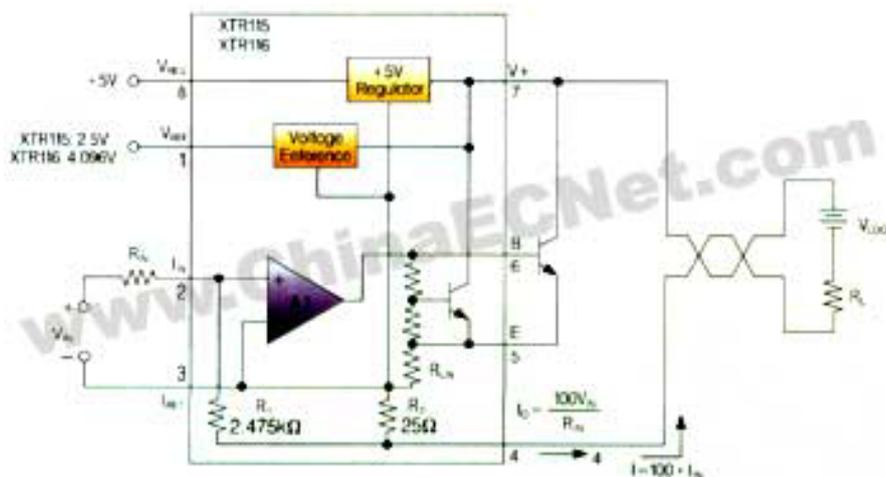
两线制电流环的工作电源和信号共用一根导线,工作电源由接收端提供。所谓两线制即电源、负载串联在一起,有一公共点,而现场变送器与控制室仪表之间的信号联络及供电仅用两根电线,这两根电线既是电源线又是信号线。两线制变送器由于信号起点电流为 4mA,为变送器提供了静态工作电流,同时仪表电气零点为 4mA,不与机械零点重合,这种“活零点”有利于识别断电和断线等故障。而且两线制还便于使用安全栅,利于安全防爆。

两线制变送器如图一所示,其供电为 24V.DC,输出信号为 4~20mA.DC,负载电阻为

250Ω，24V 电源的负线电位最低，它就是信号公共线，对于智能变送器还可在 4~20mA 信号上加载 HART 协议的 FSK 键控信号。

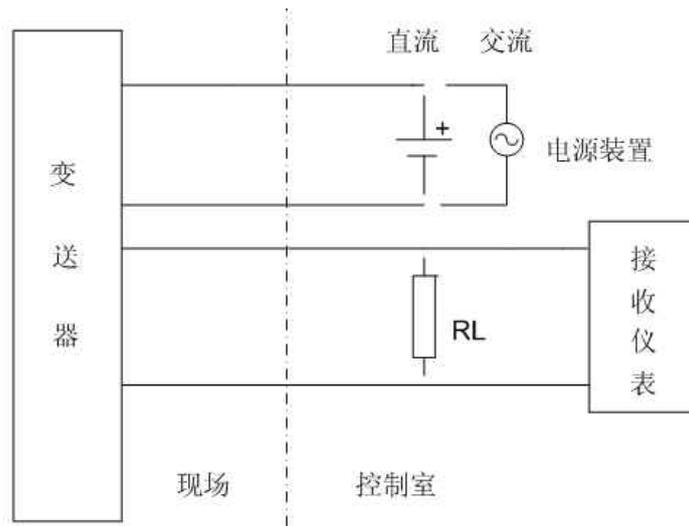


下图是 TI 的 XTR115 的应用方案。



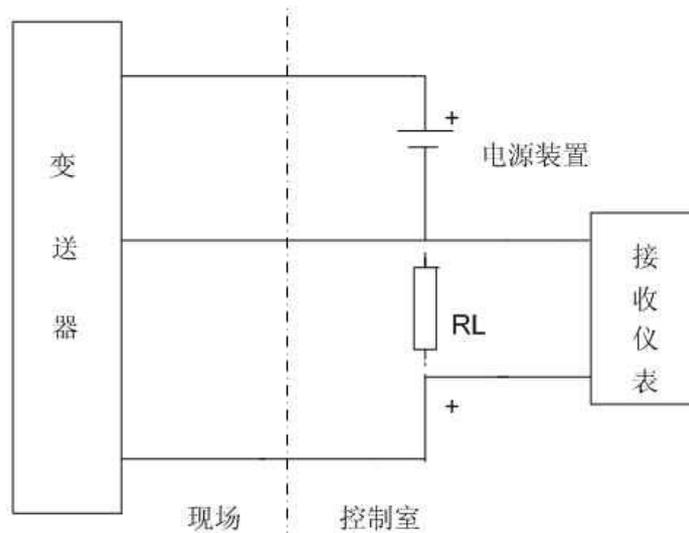
三/四线制电流环方案

三/四线制电流环有专门的供电线。由于 4~20mA 信号制的普及和应用，在控制系统应用中为了便于连接，就要求信号制的统一，为此要求一些非电动单元组合的仪表，如在线分析、机械量、电量等仪表，能采用输出为 4~20mA 信号制，但是由于其转换电路复杂、功耗大等原因，难于全部满足上述的三个条件，而无法做到两线制，就只能采用外接电源的方法来做输出为 4~20mA 的四线制变送器了。四线制变送器如图所示，其供电大多为 220V.AC，也有供电为 24V.DC 的。输出信号有 4~20mA.DC，负载电阻为 250Ω。



有的仪表厂为了减小变送器的体积和重量、并提高抗干扰性能、减化接线，而把变送器的供电由 220V.AC 改为低压直流供电，如电源从 24V.DC 电源箱取用，由于低压供电就为负线共用创造了条件，这样就有了三线制的变送器产品。

三线制变送器如图三所示，所谓三线制就是电源正端用一根线，信号输出正端用一根线，电源负端和信号负端共用一根线。

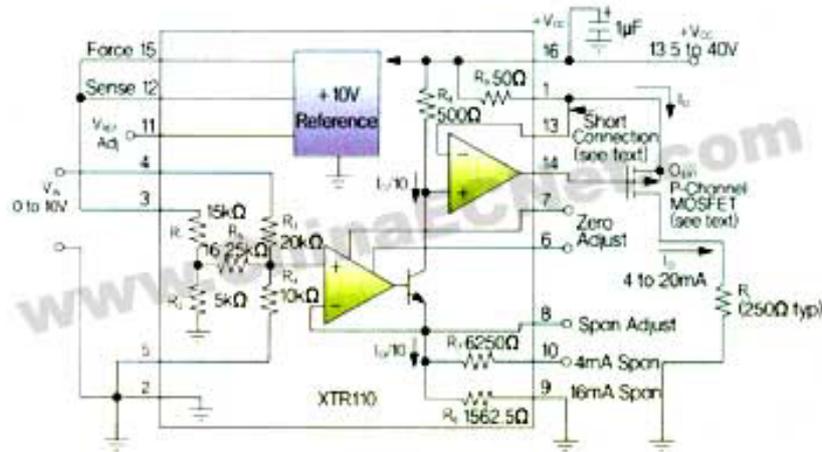


三/四线制电流环的实现

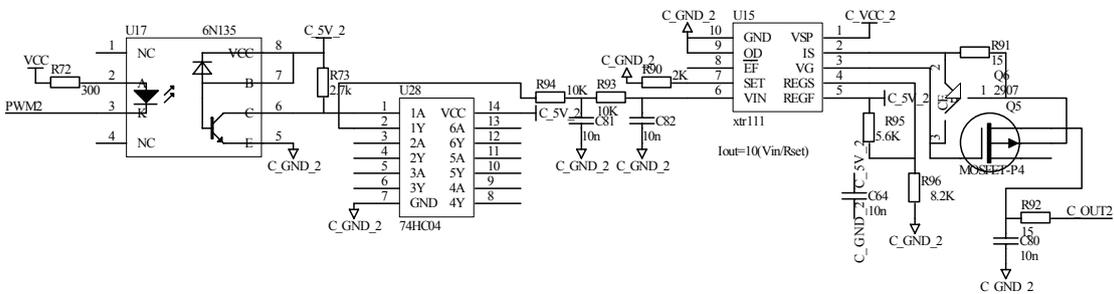
集成芯片方案

我们以 TI 和 ADI 两家半导体厂家提供的集成芯片为例子，来探讨电流环的实现。集成芯片又分成 V/I 芯片和 D/I (D/A) 芯片。V/I 芯片是把标准电压信号转换为电流的芯片，D/I 芯片是将数字量通过串行或者并行数字接口直接转换为电流量的芯片。

TI 公司提供的 V/I 芯片包括 XTR111 等。可以将电压信号转换为电流量。下图是 TI 的 XTR110 的一个应用方案。



下图是使用 xtr111 芯片的一个方案，利用微控制器的 PWM 经过低通滤波转换为电压，输入 xtr111，产生 4~20mA 电流。这个是我刚用过的，感觉还是挺稳定的。



ADI 提供一种电流环变送器驱动芯片 (V/I)，如 AD694。可以将输入的电压转换为电流输出。

ADI 公司提供了一系列的 D/A 转换芯片。其数字量输入一般是 SPI 接口或者是并口，输出为 4~20mA 电流。AD420 是应用比较广泛的电流环输出芯片，在网上能查到好多资料。凭借 ADI 公司 iCMOSTM 工业制造工艺支持的技术创新开发出的最新 DAC 包括 AD5422, AD5420, AD5412 和 AD5410，从而允许它们能够达到工业应用所要求的高电压。其中 AD5422 是采用 12V~48V 单电源或者 ±12V~±24V 双电源供电的单通道 16bit DAC。通过软件可选择其输出配置，在电压模式下其输出选择范围为 5V, 10V, ±5V 和 ±10V；在电流模式下其输出选择范围为 4~20mA, 0~20mA 和 0~24mA。全部输出范围都包含一个附加的超量程设置。

AD5422 工作在电压模式或电流模式时达到 0.1%总非调整误差(TUE)精度水平，还包括一个 5ppm/oC 内部参考电压源。内部故障检测电路为线路故障提供了硬件指示和软件指示，例如线路或远端负载的开路或短路。AD5422 还集成了过热指示。为了检测输出电压，它包含了带强制和检测能力缓冲电压输出，用来补偿串联保护电阻器和现场布线阻抗。AD5422 片内可调节精密输出放大器使其输出摆幅接近电源电压(R-R 特性)，从而使其动态范围最大并且使该 DAC 能够提供多种工业应用所需要的性能。其模拟输出端能驱动高达 1μF 的容性负载和高达 1H 的感性负载。

AD5412 是引脚兼容的单通道 12bit、电流源和电压输出 DAC。AD5420(16bit) 和 AD5410(12bit)只能工作在电流源模式，它们采用 12V~60V 单电源供电，可用软件选择输出配置，包括 4~20mA, 0~20mA 和 0~24mA 选择范围。

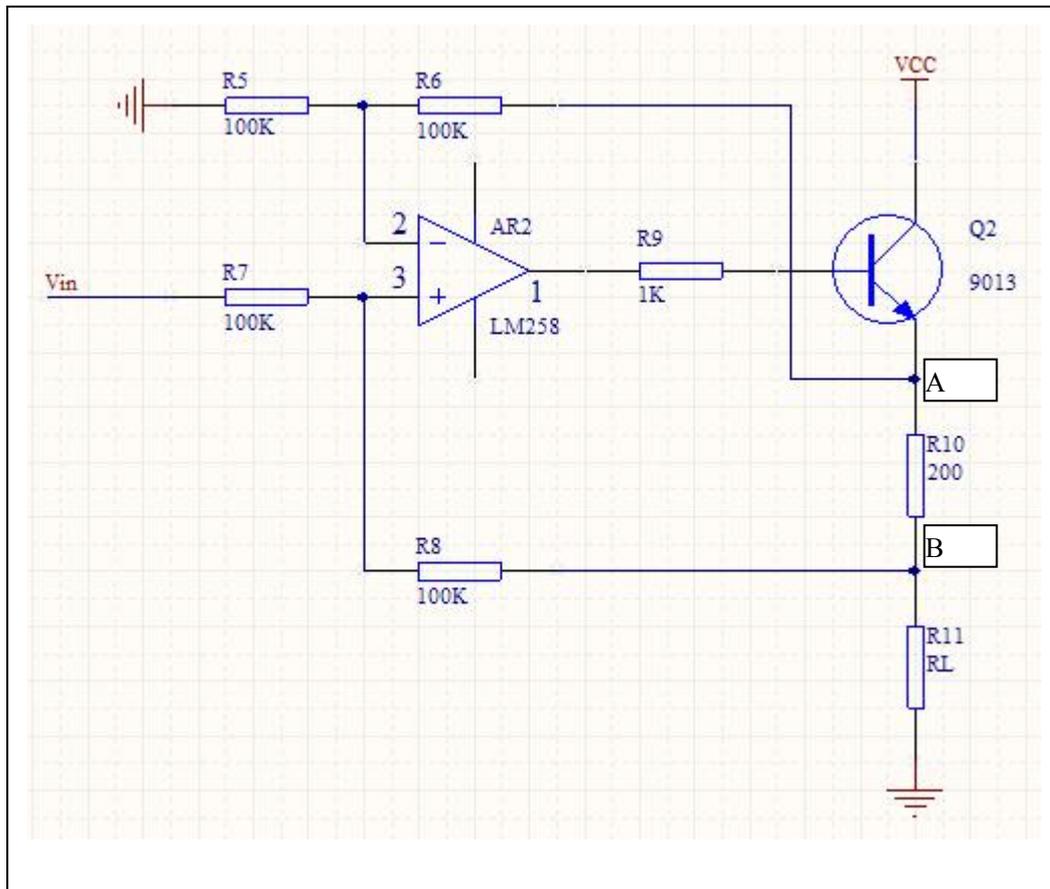
这些最新的 DAC 还包含一个 30MHz 的串行外围接口(SPI)，上电复位和硬件清零(CLR)

以及用于输出控制的 CLR 选择功能。每款 DAC 在工业温度范围都完全达到规定技术指标。

这些芯片对于想开发 4~20mA 电流的工程师来说是极大的好消息,但是在国内却很难买到, 并且价格也非常高, 这就限制了这些芯片的应用。

分立元件方案

下面是一个给出工作原理的 4~20mA 输出电路。



原理如下:

根据“虚断”的概念

由下一条反馈支路得到

$$V(B) = 2 * V(3) - V_{in} \quad ①$$

由上一条反馈支路得到

$$V(A) = 2 * V(2)$$

根据“虚短”可知 $V(3) = V(2)$

所以 $V(A) = 2 * V(3)$ ②

列 B 点的节点电流方程

$$I(L) = V(B) / R_L = [V(A) - V(B)] / R_{10} + [V(3) - V(B)] / R_8$$

将①、②代入, 得到

$$I(L) = -V_{in} / R_{10} + (V_{in} - V_3) / R_8$$

因为 $R_8 \gg R_{10}$, 忽略后面一项, 得到负载电流

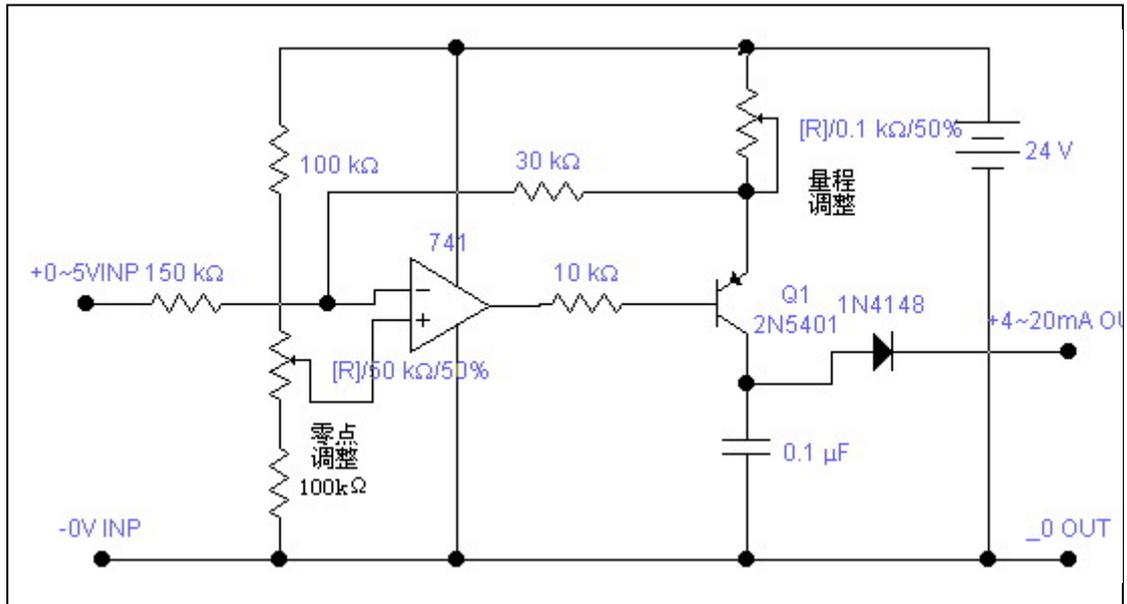
$$I(L) = -V_{in} / R_{10} = -V_{in}/500$$

可以看出负载电流是与负载大小无关的表达式。

这样 0~10V 信号在负载上就变成 0~20mA 的信号

这是一个很可靠的电路，我在多个项目中使用了效果很理想。实际应用中为了提高精度和带载能力，我将反馈电阻 R8 换成了运放电压跟随器反正 LM258 是双运放，另一路空着也是空着，不用白不用。另外要注意，负载的上限不能超过 VCC 和 9013 的能力

下图是在网上找到的一个分立器件的原理图。



总结

30

以三/四线为例子进行总结如下：

最快方案：寻找带有数字接口（如 SPI）的 DAC 芯片（AD5412）。

最可行方案：使用 V/I 变换芯片，如 xtr111。（好买）

最经济方案：使用分立器件。

参考资料

<http://blog.gkong.com/more.asp?id=61258&name=d1r>

http://www.gkong.com/gkong_bbs/uploadImages1/20055812112454123.jpg