

专用电压电流变送集成电路 AM 462 – 二线制 工业标准电流(4...20mA)输出的应用方法

模拟工控网上用的 4-20 mA 标准电流信号是工业上最常用的信号传输方法之一。本文将介绍二线制方式的标准电流输出为 4...20mA 的变送电路。通过对集成电路 AM462（电压电流转换变送电路）的应用举例，介绍了如何实现工业上常用的二线制变送接口电路，而它可以为程控机 PLC 等直接传输信息。针对不同的控制设备，介绍了相应的电路元器件的计算方法。

注意：下面的介绍对于 AMG 公司生产的所有电压电流转换集成电路（AM400, AM402, AM422, AM442, AM460）原则上都是适用的[1]。

模拟电路接口

工业上通常用电压 0...5(10)V 或电流 0(4)...20mA 作为模拟信号传输的方法，也是被程控机经常采用的一种方法。那么电压和电流的传输方式有什么不同，什么时候采用什么方法，下面将对此进行简要介绍。

电压信号传输比如 0...5(10)V

如果一个模拟电压信号从发送点通过长的电缆传输到接收点，那么信号可能很容易失真。原因是电压信号经过发送电路的输出阻抗，电缆的电阻以及接触电阻形成了电压降损失。由此造成的传输误差就是接收电路的输入偏置电流乘以上述各个电阻的和。如果信号接收电路的输入阻抗是高阻的，那么由上述的电阻引起的传输误差就足够小，这些电阻也就可以忽略不计。要求不增加信号发送方的费用又要所提及的电阻可忽略，就要求信号接收电路有一个高的输入阻抗。如果用运算放大器 OP 来做接收方的输入放大器，就要考虑到此类放大器的输入阻抗通常是小于 $<1M\Omega$ 。

原则上，高阻抗的电路特别是在放大电路的输入端是很容易受到电磁干扰从而会引起很明显的误差。所以用电压信号传输就必须在传输误差和电磁干扰的影响之间寻找一个折中的方案。

电压信号传输的结论：如果电磁干扰很小或者传输电缆长度较短，一个合适的接收电路毫无疑问是可以用来传输电压信号 0...5(10)V 的。

电流信号传输比如 0(4)..20mA

在电磁干扰较强的环境和需要传输较远距离的情况下，多年来人们比较喜欢使用标准的电流来传输信号。

如果一个电流源作为发送电路，它提供的电流信号始终是所希望的电流而与电缆的电阻以及接触电阻无关，也就是说，电流信号的传输是不受硬件设备配置的影响的。同电压信号传输的方法正相反，由于接收电路低的输入阻抗和对地悬浮的电流源（电流源的实际输出阻抗与接收电路的输入阻抗形成并联回路）使得电磁干扰对电流信号的传输不会产生大的影响。

专用电压电流变送集成电路 AM 462 – 二线制 工业标准电流(4...20mA)输出的应用方法

电流信号传输的结论：如果考虑到有电磁干扰比如电焊设备和其他信号发射设备，传输距离又必须很长，那么电流信号传输的方法是适合这种情况的（模拟信号传输）。实际上经常采用的电流传输方法有二线制和三线制方法。由于二线制的重要意义，在这里将主要论述二线制方法，也叫电流回路方法。

电流回路的综合特性

- **简单的使用：**如果信号发送电路和相联接的其他电路的工作电流保持常数不变，那么该工作电流和信号电流就可以通过同一根电缆来传输。人们只需用一个负载取样电阻，而电流在负载电阻上的电压降就可以作为有用的信号。当然还应该注意工作电压要足够高，以满足电流回路里所需要的电压降。

- **低廉的成本：**与数字信号传输需要一个 AD 转换，一个单片机和一个合适的驱动电路相比，用简单的电流回路方法，人们只需要一条电缆，一个负载电阻和一个测量电压表。特别当对测量精度要求高的时候，二者产品成本的差别就更加明显了。

- **错误诊断：**4-20mA 电流信号传输的优点除了传输距离远和抗干扰能力强外，还会自动提供出错信息。在一个经过校准的系统输出零信号时（输出端为电流 4mA），如果接收到的信号大于零毫安而小于 4 毫安时，就说明此时系统一定有问题。如果接收到的电流信号为零，那么一定是电缆断了或者信号接收方面出了问题。如果电流信号超过 20mA 就意味着输入端方面的信号过载或者信号接收方面有问题。

- **长距离传输：**传输距离与发送信号端的驱动能力和电缆的电阻以及接收端的测量电阻（负载电阻）有关。如果在信号传输的电缆中也要安装测量仪表，那么负载电阻还应该考虑到测量仪表的输入阻抗和监测记录仪表的输入阻抗。这些仪表常常因为成本低廉和无需外加电源而与集成电路一样共同连接在电流回路中并从 4mA 中直接获得工作电源。因此在电路设计时要考虑到电流源回路的带载能力。

二线制电流信号传输

最简单的情况就是一个可调的电流源和电阻组成的电流信号发送方和接收方（从负载电阻处接收信号），见图 1。

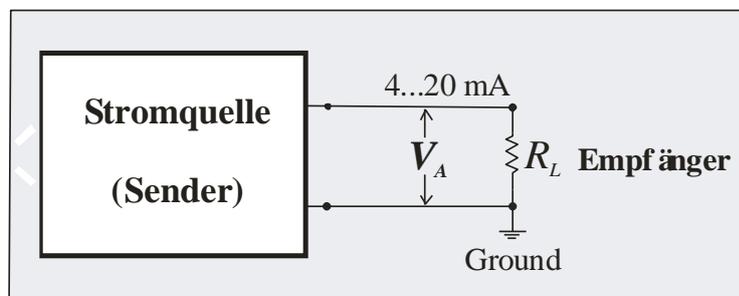


图 1：4-20mA 电流信号传输原理图

Stromquelle--电流源，（Sender）--发送方，Empfänger—接收方

专用电压电流变送集成电路 AM 462 – 二线制 工业标准电流(4...20mA)输出的应用方法

在图 1 中对发送方有一个假定，就是它应该产生一个与测量值相关的所希望的信号电流 $I_{OUT} = 4\text{--}20\text{mA}$ 。电阻 R_L 作为接收方，可以测量它上面的电压降 V_A 或者直接测量串联在电路里的电流表得到 I_{OUT} 。实际上发送方常常由很多功能电路组合在一起的。在传感器领域内，发送方常作为信号测量转换器，包含有传感器，给传感器供电的工作电源和一个电流源（图 2）。电流源回路除了可以变送测量信号外还可以作为隔离放大器用于 PWM 调制脉宽信号的输出级，或者简单地作为电压输出的信号源。

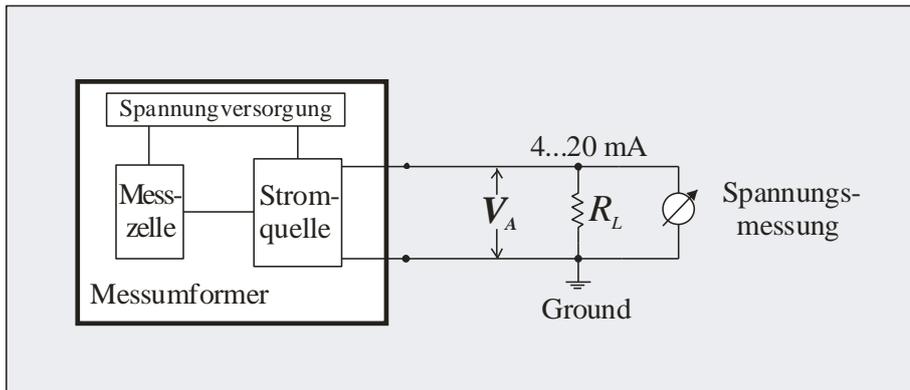


图 2: 完整的电流信号变送电路

Spannungversorgung—工作电压供给 Messzelle—传感器 Stromquelle—电流源
Messumformer—变送电路 Spannungsmessung—电压测量 Ground—地线

通常传感器信号或 PWM 调制脉宽信号是从零到一个满度值 (FS) 变化，那么对于电压控制的电流源就必须能够生成一个零点为 4mA 和满度值为 20mA 的电流信号（差值为 16 mA）。在工业控制中，控制设备（控制室）常常同测量信号变送电路有较远的距离。如果把电源线同时也用作信号传输线，一共只用二根导线就可以进行信号传输，那么成本就会下降，电路就会更简单合理，这就是所谓的二线制电流传输方法。

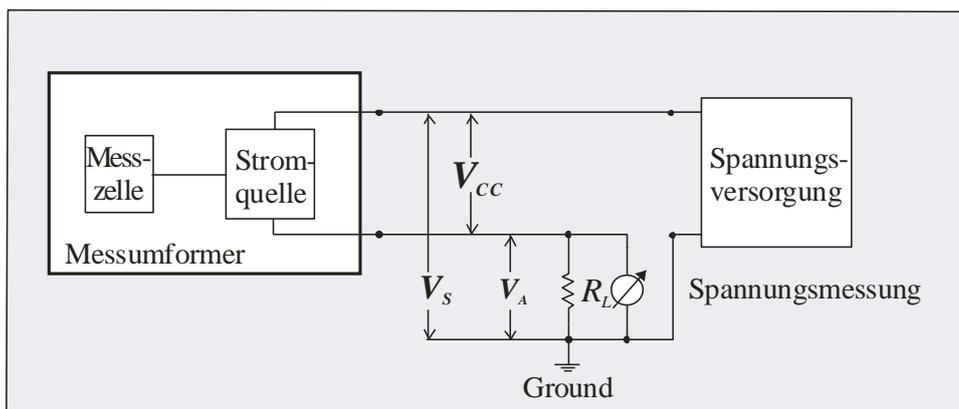


图 3: 二线制的应用电路

Messzelle—传感器 Stromquelle—电流源 Messumformer—变送电路
Spannungsmessung—电压测量 Spannungversorgung—工作电源 Ground—地线

如图 3 所示，人们提供一个来自控制设备（控制室）的工作电源，它可以同时给多个变送电路提供电源。

专用电压电流变送集成电路 AM 462 – 二线制 工业标准电流(4...20mA)输出的应用方法

AM462-二线制的变送电路

本文描述的电压控制的电流源是由 Analog Microelectronics (AMG 公司) 开发生产的 AM462 专用集成电路, 它的工作电源最大可达 35 V。AM462 可以将测量的单端接地电压信号转换变送成工业标准的电流输出 4...20mA (图 3)。为了能弄清 AM462 转换变送集成电路和它的一些附加功能, 这里先介绍一下 AM462 电路。

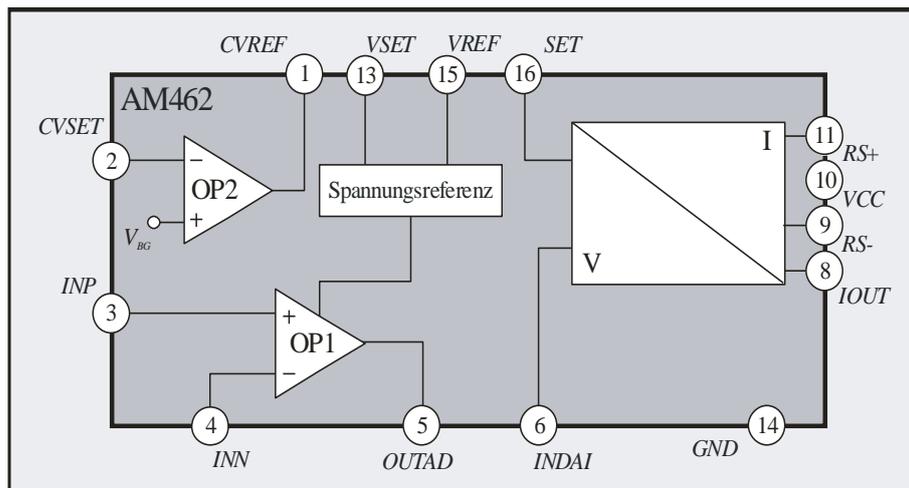


图 4: 电压电流转换变送集成电路 AM462

Spannungsreferenz—参考电压源

作为核心电路的 AM462 (图 4) 是一个多级放大电路和一些其他功能电路以及保护电路所组成, 它们都可以任意选用。这些以模块形式组成的电路比如运算放大器, 电压电流转换, 参考电压源, 参考电流源, 可以通过外面电路连接组合使用也可以单独使用 (见图 5 和图 6)。

下面简要介绍 AM462 的各个功能模块情况:

1. 运算放大器 OP1 用来放大单端接地电压信号 (正信号), 放大倍数可通过外接电阻来调整。
2. 电压电流转换模块提供一个电压控制的电流信号到集成电路的输出端, 该信号直接控制外置的三极管并最终输出工业标准的电流信号。由于功耗的原因将三极管外置, 在极性反接时一个附加的二极管起到保护作用。
3. AM462 上的参考电压源可为外接电路比如传感器, 微处理器等提供工作电源, 这样也简化了二线制的电路。参考电压源可提供 5 到 10V 的电压并且可调。
4. 附加的运算放大器 OP2 可用作为电压源或电流源来使用, 也可以为外接电路提供工作电源。OP2 的正输入端是连接在内置的固定电位 V_{BG} 上, 这样可以通过外面的二个电阻调整输出的电压或输出的电流大小。

AM462 的参数计算和应用举例在产品说明书中有详细介绍[1]。

专用电压电流变送集成电路 AM 462 – 二线制 工业标准电流(4...20mA)输出的应用方法

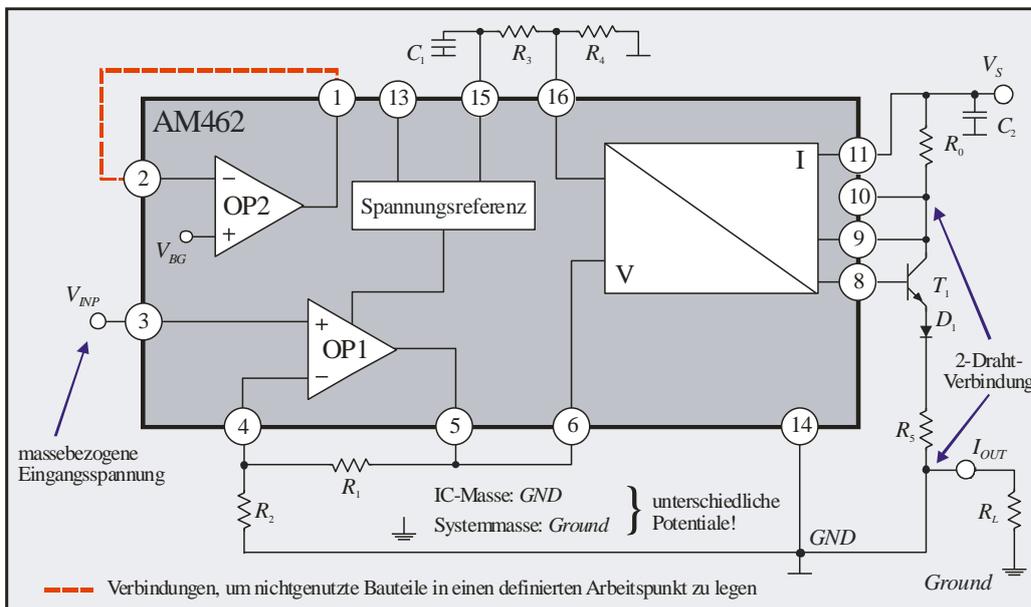


图 5: AM462 的二线制 4-20mA 的应用电路图

Massbezogene Eingangsspannung—单端接地输入电压信号

IC-Masse: GND—集成电路的地（虚地）

Systemmasse: Ground--系统地（大地）

Unterschiedliche potential—不同的电位 2-Draht-Verbindung—二线制接法

--- Verbindung, um nichtgenutzte Bauteile in einem definierten Arbeitspunkt zu legen 将没有用的模块连接到所定义的工作电位上

AM462 具有很多保护功能，比如 OP1 具有输入信号过载保护功能。在整个工作电压范围内，电流输出级具有极性保护功能和输出电流限制功能并保护三极管不被损坏。

要注意在二线制方式中，一些附加的电流负载比如在图 6 中，OP2 的工作电流和集成电路本身的工作电流都被限制在 4mA 之内，就是说系统的总工作电流（AM462 和所有外接的元器件）不能超过 $I_{OUTmin} = 4mA$ ，特别要考虑到环境对工作电流的影响比如环境温度，它会使工作电流发生变化。

专用电压电流变送集成电路 AM 462 – 二线制 工业标准电流(4...20mA)输出的应用方法

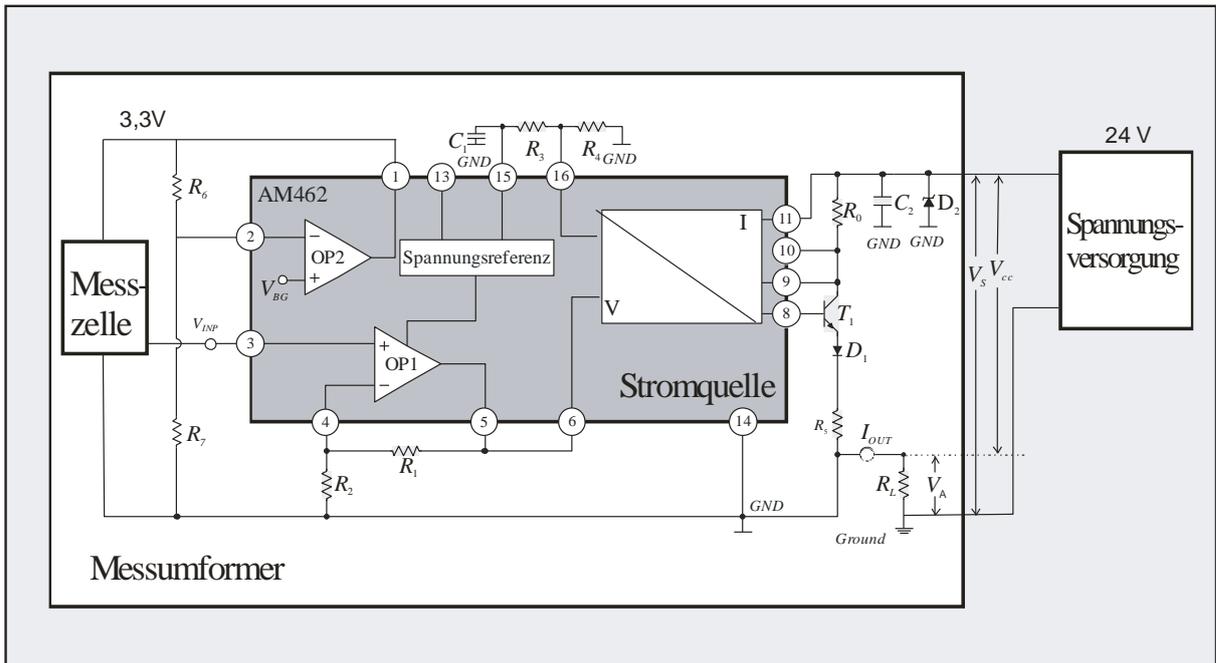


图 6: AM462 与测量电路 (AM462 提供 3.3V 工作电压)
Messzelle--测量电路 Messumformer--信号变送电路 Stromquelle--电流源

电流信号变送电路 AM462 的实际应用

图 6 是 AM462 的电流信号变送电路的实际应用电路图。这里假定测量电路的工作电压为 3.3V, 它由 AM462 提供。GND 是变送电路所有元器件包括电流源在内的一个虚拟的参考电位 (虚地)。用于过压保护的电容器和齐纳二极管也是相对于 GND 而言的。GND 通过负载电阻 R_L 与系统地 Ground (大地) 相连, 它们之间的电位是不等的。

$$GND \neq \text{Ground}$$

V_{CC} 是集成电路 AM462 的工作电压, V_A 是负载电阻的电压降, 它们与外加的对大地而言的工作电源 V_S 的关系为:

$$V_S = V_A + V_{CC \min}$$

而 $V_{CC \min}$ 为:

$$V_{CC \min} = V_{Ref} + 1V \text{ 和 } V_S = 6/11 \dots 35V$$

有多少检测仪器可以接入电流回路和传输电缆可以有多长由下面的式子给出 (见图 7)。

$$V_A = I_{\max} \cdot R_L + I_{\max} \cdot \sum_i R_{li} + \sum_k V_{Mk}$$

R_l 是电缆电阻, R_L 是负载电阻, V_M 是检测仪器二端的电压降, 由图 6 可知:

$$V_S \geq V_{CC \min} + V_A \text{ 或者 } V_{A \max} = V_S - V_{CC \min}$$

专用电压电流变送集成电路 AM 462 – 二线制 工业标准电流(4...20mA)输出的应用方法

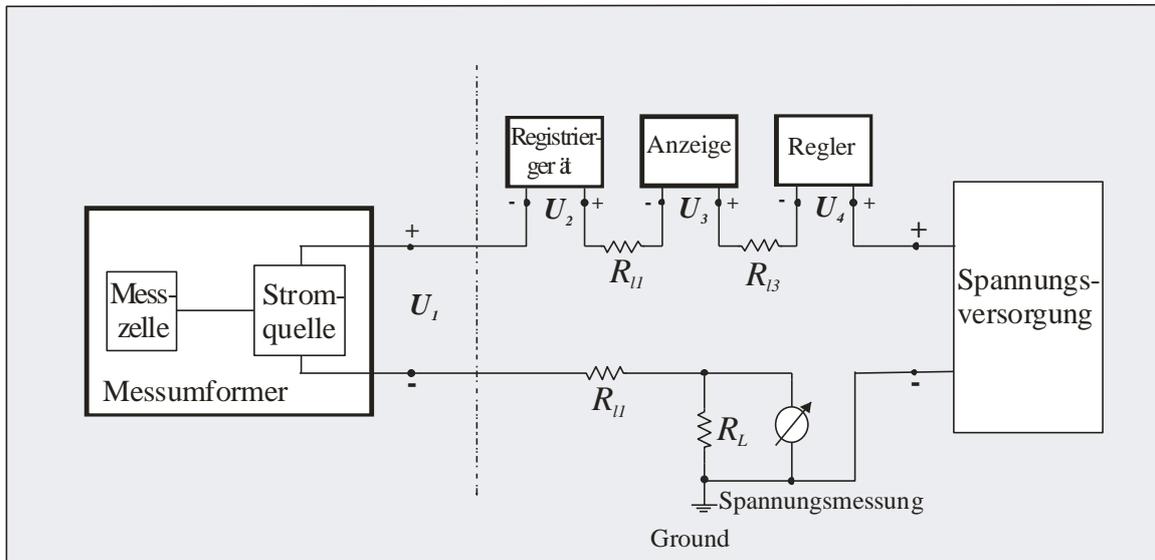


图 7：控制系统的电流变送技术应用

Messzelle--测量电路 Stromquelle--电流源 Messumformer--信号变送电路
 Registriergeraet--监测记录仪表 Anzeige--显示仪 Regler—控制器
 Spannungsmessung—电压测量 Spannungsversorgung—工作电源

如果 R_L , V_M 和 V_S 已知或事先给定, 那么根据公式 $R_{li} = \frac{\rho \cdot l}{A}$ (ρ = 电导率, 铜 $\rho = 0,016 \Omega m$; l 是电缆长度, 单位是米; A 是电缆的截面积, 单位是 mm^2), 就可以算出电缆的最大长度或者算出可允许串入的检测仪器数量。考虑到电磁干扰的影响, 有关负载电阻 R_L 的值应该是低阻值的, 但也受到测量仪器的分辨率的限制 (在小电流时负载电阻 R_L 上的电压降测量)。

图 7 是一个传感器信号二线制电流变送传输技术应用电路图。在电流回路中串联了相应的检测设备, 就像在工控设备中比如 PLC 等所需要的一样。

总结

信号数字化传输方法越来越多, 但是模拟电流 4-20mA 信号的传输在今天仍然是工业上最普遍的抗干扰效果很好的一种信号传输方法。

本文介绍了二线制变送电路设计和信号传输中要注意的问题。通过专用变送集成电路 AM462 的例子说明了如何简单地开发一个电流变送电路和电流信号传输本身所能带来的好处。

参考文献:

所有参考资料参见网站: www.analogmicro.de 和 www.sym-china.com

[1] www.analogmicro.de/german/index/html

[2] www.analogmicro.de/products/info/german/analogmicro.de.an1014.pdf