

一种简单实用的模拟信号隔离电路

朱灿焰

(电子与信息工程系)

摘要 简要分析了温度变化对光电耦合器工作特性参数的影响,提出了温度补偿的主要思路 and 对称补偿原理,并介绍了一种简单实用的模拟信号光电隔离电路。

关键词 光电耦合器;模拟信号隔离;温度补偿

分类号 TM 930 .126

0 引言

现代测量仪表或检测系统的智能化程度和复杂度越来越高,使得多个测量仪表与数据处理系统(计算机)连接时,会产生系统的共地干扰问题。特别是现场信号存在强电干扰时,如不采取有效防范措施,将会危及系统的安全。因此,现场测量信号与仪表系统或者数据处理系统之间,应采取电隔离措施。若被测信号为模拟信号,则相应为模拟隔离。相对于开关量隔离来说,模拟隔离对信号传输的线性度、电路增益和稳定性等指标有较高的要求,故实现时有一定的难度。现有的模拟信号隔离方法有: V/F 转换后经光电耦合再作 F/V 逆变换,线性变压器隔离,线性调制与解调,以及光电耦合器线性放大等。第一种隔离方法工作可靠,但传输信号频带较窄、速率低;线性变压器隔离方式的线性度和隔离度均较好,但体积大,主要限于音频功率信号的传输;第三种隔离方式的频带宽,但电路复杂,尽管已有专用模拟隔离放大器集成电路产品,但成本很高;光电耦合器直接构成的模拟隔离电路,因受温度变化的影响较明显,且线性区域窄,也很少被实际采用。然而,光耦器构成的隔离电路简单,成本低,隔离效果好,在有限信号范围内线性度较高,传输信号频带较宽。若在电路中采取有效的温度补偿措施,保证在相当宽的温度范围内,电路的工作状态稳定可靠,则光耦器构成的模拟信号隔离电路可成为较理想的隔离方式。本文在分析光耦器工作特性的基础上,提出了温度补偿的主要思路 and 对称温度补偿方法的原理,最后给出了一种简单实用的模拟信号隔离电路。

1 光电耦合器件的工作特性

1.1 结构原理

光电耦合器件是一种光与电直接耦合的器件,它由发光器件和光接收器件直接组合并集

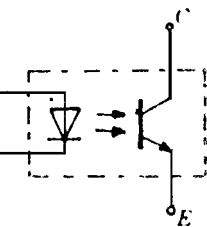
成在一起构成。光耦器大致可分为三类,其中用于传递模拟信号的光耦器,其发光器件为二极管,光接收器件为光敏三极管。典型电路原理如图 1 所示。其工作原理为:当有电流通过发光二极管时,便产生了一个光源,光源的光强取决于流过二极管电流的大小。该光源的光照射到光敏三极管表面上,使光敏三极管产生一集电极电流,该电流的大小与光照的强弱亦即流过二极管正向电流的大小或成正比。由于光电耦合器件的输入端和输出端之间是通过光信号传输,因而输入和输出之间在电气上完全隔离,没有电信号的反馈和干扰,因而性能稳定,抗干扰能力强。而且发光管和光敏管间的耦合电容小(3 pF 左右),而压高(2.5 kV 左右),故共模抑制比很高,输入和输出间的电隔离程度取决于两部分供电电源间的绝缘电阻。另外,由于输入电阻小(约 10 Ω),对高内阻源的噪声等于被短接。因此,由光耦器构成的隔离电路将具有优良的电气性能。

1.2 工作特性

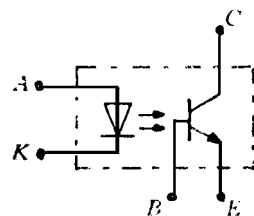
光电耦合器是一种电流控制电流转移器件,其输出特性与普通 NPN 型双极性晶体管的输出特性相似,故可以将其作为一只普通放大器接成图 2 所示的放大电路形式,以实现输入和输出信号间的电隔离。然而,图 2 所示电路的工作稳定性较差,在实际应用中不能直接使用。究其原因主要有两点。一是光耦器的线性工作范围较窄,且受温度影响;二是光耦器共发射极电流传输系数 β 和集电结反向饱和电流 I_{CBO} (亦称为暗电流) 受温度变化的影响明显。

图 3 给出了 TIL 117 型光电耦合器的转移特性曲线,以及转移特性受温度影响的具体情况。从图 3

(a) 可以看出: $R_B = \infty$ 时,光耦器在 $I_F = 1.8 \sim 3.9$ mA



(a) 无基极光耦器



(b) 带基极光耦器

图 1 典型的光电耦合器内部电路原理图

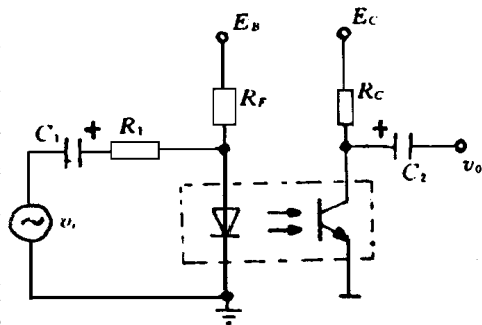
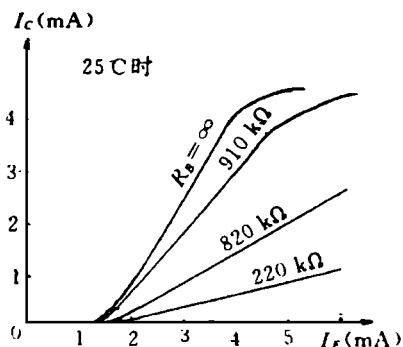
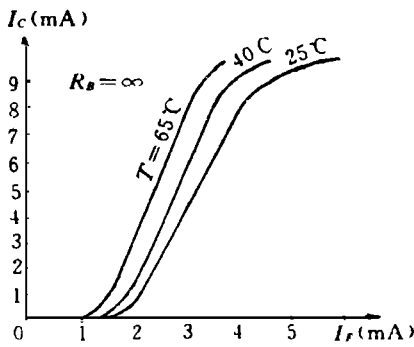


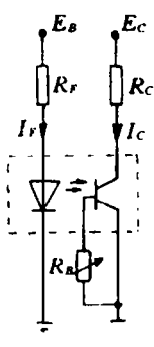
图 2 共发射极模拟隔离放大电路



(a) 典型转移特性曲线



(b) 转移特性与温度关系



(c) 测试电路

图 3 TIL 117 型光耦器的转移工作特性及其测试电路

范围内工作在线性状态。随着 R_B 值的减小,线性工作范围变宽,但光耦器的电流传输系数 β 值也同时下降。在 β 值下降到一定值时,实际上 I_{CBO} 的影响加重,线性度反而变差。由图 3(b) 可知:随着温度升高,转移特性的线性工作范围变窄,而电流传输效率提高。在一定的温度变化范围内,普通光耦器的 β 值可从几到几十之间变化。因此,在实际应用中,除应选用线性范围宽、线性度高的光耦器来实现模拟信号隔离外,还必须在电路上采取有效措施,尽量减轻或消除温度变化对放大电路工作状态的影响。

2 对称温度补偿原理

一般采用的温度补偿措施有:热敏电阻温度补偿,基极电阻偏置温度补偿和桥式对称温度补偿。其电路原理分别如图 4(a)、(b)、(c) 所示。图 4(a) 中热敏电阻 R_{TH} 的温度系数为负,但因 β 值随温度变化规律是非线性的,故很难在相对较宽的温度范围内,使热敏电阻上的电压变化抵消掉光敏三极管 β 值的影响,因而温度补偿范围较窄;图 4(b) 的补偿效果是牺牲了光电转换效率取得的。若 R_{B1} 和 R_{B2} 值选择不当,则光敏管的灵敏度很低,非线性更为恶化;图 4(c) 电路简单,补偿效果显著,只要两种光敏管的温度变化特性相同,则可在相当宽的温度变化范围内消除暗电流随温度变化的影响。然而,若作为模拟信号隔离放大电路的输出部分,则该电路并不能消除 β 值随温度变化的影响,因而,电路的工作状态仍存在不稳定因素。

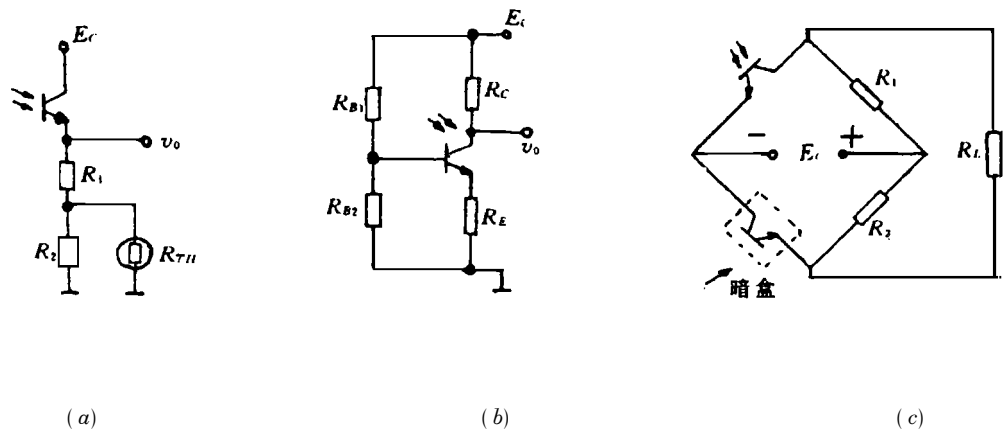


图 4 三种常用温度补偿方法的原理电路图

从光耦器的转移工作特性与温度间的关系可以看出,若使光耦器构成的模拟信号隔离电路稳定实用,则应尽量消除 I_{CBO} 的影响,以提高线性度,做到静态工作点 I_{FQ} 随温度的变化而自动调整,使输出信号保持对称性和线性度;应使输入信号的动态范围随温度变化而自动变化,以抵消 β 值随温度变化的影响,保证电路工作状态的稳定性。在实际电路设计中根据桥式温度补偿电路的特点,并遵循上述温度补偿的主要思路,作者采取了反馈式对称温度补偿的具体措施,取得了很好的温度补偿效果。

反馈式对称温度补偿方法的原理如图 5 所示。图 5 中,假设两个光耦器 $GN1$ 和 $GN2$ 的性能完全相同,均工作在线性放大状态。 $GN1$ 用于传输模拟隔离信号; $GN2$ 用于产生反馈比较信号。由于两光耦器的发光二极管是串接在一起的。所以, $GN1$ 和 $GN2$ 的工作状态完全对称,

GN_1 的发射极电位与 GN_2 的发射极电位, 即两光敏三极管的集电极电流分别在 R_4 和 R_1 上所产生的压降相对称, 且受输入信号 v_i 线性控制。因而, 实现了模拟信号的隔离和传输, 同时, 在一定温度变化范围内消除了 β 值的影响。此外, 图 5 中的比较器与 GN_2 构成了闭环反馈控制回路。在一定的温度变化范围内, 该闭环回路能自动调整不同电流转换效率时光二极管的工作电流, 以保证光耦器能可靠地工作在线性状态, 提高电路的线性度。

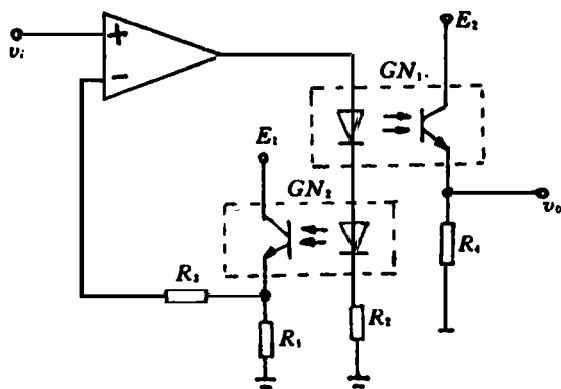


图 5 反馈式对称温度补偿原理图

3 实际应用电路举例

任何光电耦合器的转换特性都是温度 T 的函数, 因此, 使用单个光耦器的隔离电路的增益随温度变化。如若使用另一个经匹配好的光耦器, 以负反馈方式排列, 则便能抵消温度的影响。图 6 所示的模拟信号光电隔离电路, 即是根据负反馈对称温度补偿法设计的一个实际应用电路。

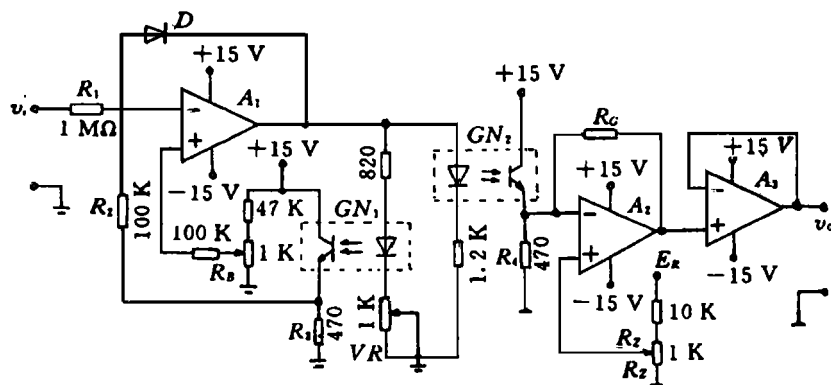


图 6 光耦器构成的实用模拟信号隔离电路

图 6 中, 电位器 VR 可改善电路的非线性, 其作用是为了消除同类型光耦器的分散性, 使两光耦器获得更好的对称性; 二极管 D 是用于保护光耦器的发光二极管免受负过压的影响。光耦器 GN_1 构成稳定电路的反馈通路; GN_2 将输入部分和输出部分隔离并耦合起来。两光耦器的发光二极管虽未直接串接在一起, 但分别处在两条完全对称的并联电路中, 因而, 两发光二极管中的电路完全相等。这样, 改变输出部分耦合所引起的任何温度影响, 也改变了反馈量, 从而保证了电路的增益恒定不变。调整 R_B 改变运放 A_1 的同相端电位, 从而改变光耦器的静态工作点, 使其工作在最佳线性区域; 调整 R_Z 使输入信号为零时输出 v_o 为零电平; R_G 可改变

整个电路的增益。当输入信号经电阻直接耦合到运放的反相端时,经放大后使两光耦器的发光二极管中的电流变化。在输入信号变化过程中,运放 A_1 的反相端均保持交流等效接地,因而,输入 v_i 使光耦 G_1 集电极电流变化量为

$$i_1 = -\frac{R_2 + R_3}{R_1 R_3} v_i。$$

由于 G_1 与 G_2 是对称的,所以 G_2 的集电极电流的变化量 $i_2 = i_1$ 。故输出电压为

$$v_o = \frac{(R_2 + R_3) R_G}{R_3 R_1} v_i。$$

即该电路的电压增益为

$$G_V = \frac{(R_2 + R_3) R_G}{R_1 R_3}。$$

经实际检验,当温度在 $0 \sim 80^\circ\text{C}$ 间变化时,增益 G_V 基本保持恒定,其偏差不超过 $\pm 5\%$;输入信号的范围是 $-3 \sim +3 \text{ V}$;频率响应主要由所采用的运算放大器决定。使用普通 741 运放,电路可工作在 $0 \sim 50 \text{ kHz}$ 范围内,且信噪比较高;电路的隔离度取决于输入和输出部分供电电源的隔离度。在输入信号低于几毫伏时为保持相应的信噪比和隔离度不变,两部分电源的隔离度应在 80 dB 以上。

4 结束语

本文讲座了单个光耦器构成的模拟隔离电路的不稳定性因素,指出了光耦器温度补偿的思路,并提出了反馈式对称温度补偿方法。根据该方法所设计的模拟信号光电隔离电路;简单实用,且在较宽的工作温度范围内,能保持良好的性能。因此,该温度补偿法有较好的实用价值。

参 考 文 献

- 1 汤定元,糜正瑜等编著。光电器件概论。上海:上海科学技术文献出版社,1989
- 2 闻伍椿编著。运算放大器在电测技术中的应用。北京:机械工业出版社,1989
- 3 朱达斌等编著。模拟集成电路的特性及应用。北京:航空工业出版社,1994
- 4 陈尔绍等编。实用光电控制电路精选。北京:电子工业出版社,1993
- 5 康华光主编。电子技术基础(模拟部分)。北京:高等教育出版社,1988

A Simple Practical Analog Signal Isolating Circuit

Zhu Canyon

(Electronic and Information Engineering Department)

Abstract This paper briefly analysed how the characteristic parameters of photo-electric connector are affected by the temperature variation. The main idea of temperature compensation and the symmetric compensating method are presented. And a simple practical analog signal photo-electric isolating circuit is introduced accordingly.

Key words photo-electric connector; analog signal isolating; temperature compensation