

浅谈光电耦合器电流传输比对飞机电动机构工作的影响

张晓军¹ 郝向阳² 马腾² 周懿²

1. 空军装备部驻汉中地区军事代表室 陕西 汉中 723000

2. 陕西飞机工业有限责任公司 陕西 汉中 723213

摘要: 本文首先分析了光电耦合器电流传输比的工作特性,结合某电动机构的工作原理,分析电流传输比对电动机构工作的影响,其次结合一架飞机在地面模拟空中状态进行通电检查时,停机制动操纵系统报故为例,通过实际测试分析并验证了电流传输比对电动机构的影响,明确了电流传输比控制阈值,避免了故障的再次出现,最后结合自身岗位,总结了电流传输比控制原则,提出了电动机构的质量控制建议,为产品设计提供一定的参考价值。

关键词: 光电耦合器; 电动机构; 电流传输比

电动机构是用于根据指令控制相关部件工作的执行机构。在飞机上,既有用于驱动调整片或舵面偏转的电动机构,如副翼调整片电动机构、升降舵备用调整片电动机构等,又有用于配平操纵力的电动机构,如升降舵调校机构,甚至还有控制滑油散热风门工作的电动机构。在电动机构中,有些电动机构内部采用光电耦合器来隔离输入信号和输出信号,为电机驱动器的供电和断电提供逻辑控制作用,使电动机构能够实现根据不同状态执行不同动作。

本文以光电耦合器为研究对象,首先,重点研究电流传输比这一光电特性,分析不同电流传输比对电动机构工作的影响,其次,以实际飞机停机制动操纵为例,研究明确内部光电耦合器电流传输比的控制阈值,最后,结合上述分析,总结电流传输比控制原则,提出电动机构的质量控制建议。

1 电流传输比及其影响

1.1 光电耦合器及其工作机理

光电耦合器(也称:光电隔离器)是把发光器件和光敏器件组装在一起,通过光线实现耦合构成电-光-电的转换器件^[1],主要由发光二极管、光敏晶体管、信号放大部分组成。典型结构图如图1所示。其工作原理是在发光二极管部分,用直流、交流或脉冲电源驱动,发光二极管外加正向电压条件下,便会将电能转换为光能从而发生发光现象;光的接收部分主要由光敏晶体管构成,光敏晶体管的集极受到光照后产生基极电流,经放大产生相应的集电极电流,使三极管导通^[2]。由于发光二极管与光敏晶体管之间在电气上呈现真空绝缘状态,因此,光电耦合器具有较高的电气隔离和抗干扰能力。

1.2 电流传输比CTR

光电耦合器的主要光电特性包括输入特性(如正向电压 V_F 、反向电流 I_R),输出特性(如输出高电平电流 I_{OH} 、输出低电平电压 V_{OL})、传输特性(如电流传输比CTR)、隔离特性(如隔离电阻 R_{ISO})、开关特性(如上升延迟时间 t_{PLH} 、下降延迟时间 t_{PHL})。

其中,电流传输比CTR是光电耦合器的重要参数,是指在直流工作条件下,光电耦合器的输出电流与输入电流之间的比值^[3],如公式(1)所示,传输比的大小表明光电耦合器传输信号能力^[4]。

$$CTR = \frac{I_C}{I_F} \times 100\% \quad (1)$$

其中, I_C 为输出端集电极负载电流, I_F 为输入端二极管正向电流。

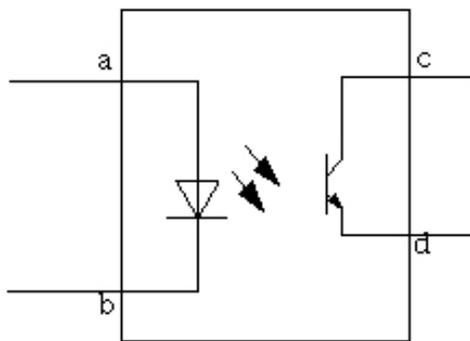


图1 四引脚光电耦合器

1.3 工作状态

光电耦合器有三种工作状态,分别是饱和状态、截止状态和线性放大状态。

①截止状态:当输入端电流 I_F 非常小时,由于不足以使发光二极管充分导通,此时发光二极管完全关闭,光敏晶体管的基极电流 $I_B < 0$,集电极-发射极电压小于基极-发射极电压,因此,输出端电压 V_O 为满电压;

②线性放大状态:当输入电压增大,发光二极管不

完全打开,二极管的正向电流随着正向电压的增加而迅速增大。此时,光敏晶体管的基极电流 $I_B > 0$,集电极-发射极电压大于基极-发射极电压,集电极电流与基极电流关系如公式(2)所示。

$$I_C = \beta I_B \quad (2)$$

此时,输出端电流随输入端电流呈比例变化,比值满足公式(1)。

③饱和状态:当输入电压增大到发光二极管完全打开,光敏晶体管的基极电流 $I_B > 0$,集电极-发射极电压小于基极-发射极电压,集电极电流不受基极电流控制,三个电极间的电压极小,此时,输出端电压 V_0 为零电压。

因此,线性放大状态下,当电流传输比越大,输出电流越大,推动负载的能力更强,同样输入端电压的情况下,输出端压降将更明显。

2 实际案例验证

图1是飞机停机制动操纵系统中的继电器控制电路,其主要作用是根据飞机轮载信号情况,自动控制继电器的通断实现28V供电电源的接通和断开。

当轮载信号接地时,此时模拟飞机处在地面状态,图1电路中c脚对地理想状态下为0V,光电耦合器为饱和状态,输出端电压 V_0 为零电压,那么三极管 Q_1 的集电极电压小于发射极电压,三极管导通,使得继电器 J_1 吸合,28V接通,此时电动机可以正常工作。

当轮载信号悬空,此时模拟飞机处在空中状态,c脚对地理想状态下应为悬空,输入端电流 I_F 几乎为0,电路中光电耦合器为截止状态,输出端电压 V_0 为5V,三极管 Q_1 截止,使得继电器 J_1 断开,继电器输出端无28V供电,此时电动机不工作。

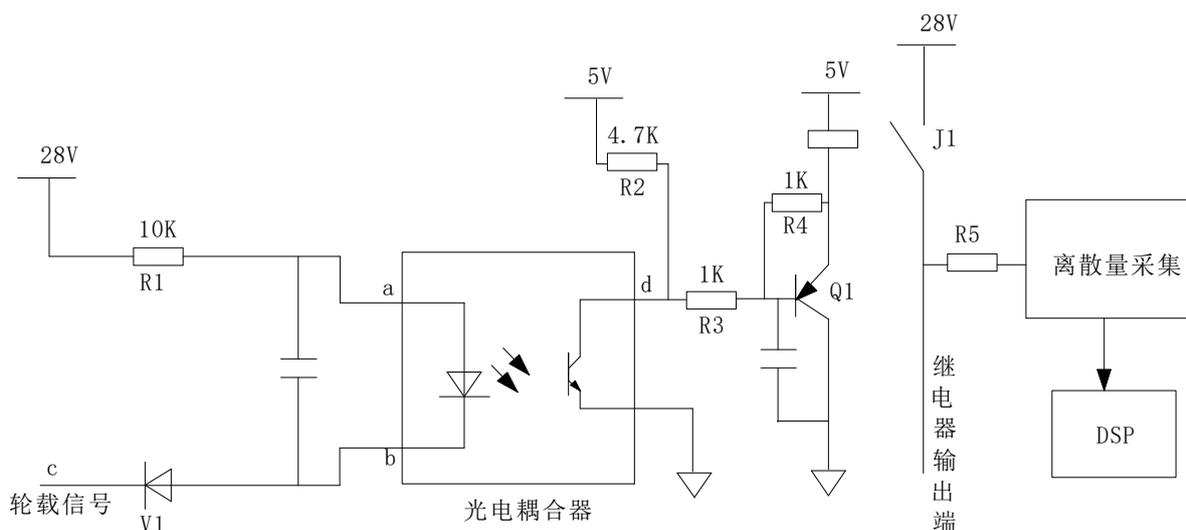


图1 继电器控制电路图

2.1 电流传输比对停机制动操纵系统的影响

由图1可知,输入电压 V_c 为电源电压(28V)与轮载电压之差。

①截止状态:停机制动操纵系统采用的光电耦合器为GH5701型,根据产品手册,当输入端电流 $I_F < 0.3mA$,由于不足以使发光二极管充分导通,此时光电耦合器正向电压 $V_F < 0.8V$,发光二极管完全关闭。经计算,输入端电压 $V_c \leq 2V$,因此,光电传输比CTR也比较小,光敏晶体管进入截止状态,光电耦合器输出端电压 V_0 应为5V。此时,三极管 Q_1 处于截止状态,继电器 J_1 不吸合,停机制动操纵系统不工作。

②线性放大状态:当输入端电压 V_c 增大,使得经过光电耦合器输入端电流 $0.3mA < I_F < 0.5mA$,正向电压 V_F 在 $0.8V \sim 1.1V$ 时,发光二极管不完全打开,输出端电流随

输入端电流呈比例变化,CTR符合公式(1),计算可得公式(3)。

$$5 - V_0 = \frac{CTR \times 4.7 \times (V_c - 1.2 - V_F)}{10} \quad (3)$$

因此,当电流传输比CTR越大,对于同样输入端电流 I_F ,其输出端集电极负载电流 I_C 越大,那么输出端电压 V_0 越小。此时,继电器 J_1 是否吸合,则取决于光电耦合器电流传输比和输入端电压,只要继电器线圈两端电压达到继电器吸合电压,继电器即可工作。

③饱和状态:当输入电压增大到正向电压 $1.0V < V_F < 1.5V$,经过光电耦合器输入端电流 $0.5mA < I_F < 5mA$,发光二极管应完全打开,光电耦合器输出端电压 V_0 应在 $[0, 0.4]$ 范围内,此时,CTR也比较小,经计算,输入端电压 $V_F \geq 7.2V$,如公式(4)所示。

$$5 - \frac{V_c}{1K} \times (1 + \beta) = V_s \quad (4)$$

其中, V_s 为继电器吸合最低电压, β 为三极管电流放大倍数。

2.2 实际故障分析

一架飞机在地面通电检查时,发现其停机制动操纵系统在模拟空中状态时,点击“锁定”按钮后,EICAS维护页面显示停机制动操纵系统故障,将轮载信号切换至地面状态,故障不消失。

①逻辑上分析:根据停机制动操纵系统的工作机理,飞机在空中飞行时,舵面不能锁定,停机制动操纵系统不应工作,此时,点击“锁定”按钮,系统应判定指令电路故障,同时上报故障信息,点击“解锁”按钮,系统应判定指令无效。

飞机在地面时,舵面可以锁定,停机制动操纵系统可以工作,点击“锁定”按钮,如果舵面锁已经锁定到位,系统判定指令无效,如果舵面锁没有锁定到位,系统控制电机工作,直至锁定到位。点击“解锁”按钮,如果舵面锁已经解锁到位,系统判定指令无效,如果舵面锁没有解锁到位,系统控制电机工作,直至解锁到位。总之,地面状态下,系统应不报故。

②实际测试情况:通过机上测量发现,虽然模拟空中状态时,轮载信号应为悬空,但实际上电路中c点与地之间的电压差为26.3V,测得此时的电源供电电压为28.97V,因此供电电源与轮载之间存在电压差,差值为2.67V。

通过查二极管IN4148元器件手册得到二极管导通电压为1V,参照公式(3)可得输入端电流 I_F :

$$I_F = \frac{2.67 - 1.2 - 1}{10K} = 0.047mA < 0.5mA$$

由此可知,系统处于线性放大状态。当系统报故时,测得输出端电压为1.2V,此时继电器接通,通过计算输出端电流 I_C :

$$I_C = (5 - 1.2)V \div 4.7k\Omega = 0.809mA$$

由此可知,电流传输比CTR:

$$CTR = 0.809mA \div 0.047mA = 1721\%$$

通过对电流传输比的1721%的光电耦合器输出端电压值进行测量,当轮载信号电压低于26.6V,光电耦合器输出端电压低于2.7V时,继电器接通,产品报故。

③故障排查情况:将故障件的光电耦合器更换为电流传输比约1500%的光电耦合器,更换完成后,同样使用电源分别模拟机上轮载信号(26.3V)和机上电源电压信号(28.9V),继电器不导通,继电器输出端电压为0V,

故障现象未发生。

因此,进一步验证了光电耦合器电流传输比的大小对电动机构工作的影响。

2.3 系统优化改进

由上述分析可得,造成系统报故的根本原因是光电耦合器电流传输比过大,导致当输入端电压 V_o 增大到一定程度时,输出端继电器两端压差达到了吸合电压。

为确定满足产品各种工况环境下的电流传输比值,首先需明确输入端电压范围,飞机上的轮载信号实际不为悬空,而与电源电压为同一源,受电缆长度和负载影响,存在一定的压降,经过大量数据分析,两者之间的电压差不超过3V。以不超过3V压降为例,因为正向电压 V_F 在1.0V~1.5V,而当输出端电压大于2.7V(粗略值)时,三极管不导通。因此,计算得出电流传输比CTR上限:

$$CTR = \frac{I_C}{I_R} \leq \frac{2.3}{4.7} \times \frac{10}{0.3}$$

经试验验证后确认,电流传输比 $CTR \leq 1650\%$ 时,飞机的电源电压与轮载信号存在不超过3V的压降不会导致系统误报故。

3 选用原则和质量控制

经过上述分析研究可知,光电耦合器的电流传输比特性对输出端电压值有直接影响,因此,应针对不同电路选用合适的光电耦合器,并对光电耦合器电流传输比进行控制,主要原则是:

①应结合实际电路中输出端相关逻辑,明确输出端电压和电流相关指标范围;

②大部分光电耦合器产品自身特性中,仅明确电流传输比下限,如GH5701型光电耦合器仅明确 $CTR \geq 300\%$ 即该项指标合格,因此,需根据理论计算和实际验证明确是否需控制上限,或者现有指标是否需加严控制;

③充分考虑电路应用的不同工况,光电耦合器在高温、低温等特殊环境下的差异性。

为了保证产品的装机质量,对使用光电耦合器的电动机构应进行质量控制,结合工作岗位和经验建议如下:

①电流传输比阈值的明确应经过大量试验验证,既包括实验室试验验证、也应包括装机后验证;

②光电耦合器在装配至电路前,应进行元器件二次筛选,并将高温、低温、常温及振动条件下,光电耦合器的电流传输比作为控制要素;

③应做好技术状态的控制,在技术状态变更前应履行评审机制;

④光电耦合器装配至电动机构后,应进行出厂前测

试,测试环境应与飞机实际环境保持一致;

⑤产品出厂交付前,用户应将产品性能及光电耦合器二次筛选结果纳入军检验收内容;

⑥跟踪产品装机后的工作情况,对故障件应履行返厂管理流程,建立故障件管理台账,明确故障件的故障原因及措施。

结束语

本文首先研究了光电耦合器工作机理和工作状态,结合实际案例,分析了光电耦合器电流传输比对电动机构工作的影响;其次,通过分析飞机停机制动操纵系统在模拟空中状态时系统报故的原因,通过测试进一步验证了光电耦合器电流传输比对电动机构工作的影响,并确定了电流

传输比的控制阈值;最后,结合研究成果,分析了不同电路的光电耦合器选用原则和质量控制建议,对飞机机载系统的设计和故障排查提供了一定参考。

参考文献

[1]殷伟伟.光电耦合器电流传输比温度稳定性提升研究[D].北京:北京工业大学,2018:1-1.

[2]熊建云.基于光电耦合器的智能仪器I/O接口电路设计[J].工业仪表与自动化装置,2013(5):51-51.

[3]章圣焰,刘小康,胡水仙.浅谈光耦的使用方法[J].航空电子技术,2015(4):52-52.

[4]马潇飞.CD4N24R型光电耦合器辐照损伤效应研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2021:19-19.