

抗光电编码器抖动技术

朱 灿 焰

(电气工程系)

摘 要 研究了光电编码器输出脉冲信号的特征,提出了相应的防抖动干扰的技术措施,并给出了实际应用结果。

关键词 调压开关;干扰;抗干扰;光电编码器;抖动;计量误差

分类号 TP206.1

0 引 言

光电编码器在调压开关自动检测中得到了重要应用,其旋转角度计量的精度直接决定了检测仪器的精度和检测结果的正确性。因此,确保光电编码器旋转计量的准确性是至关重要的。在理想情况下,若光电编码器朝某同一方向持续转动时,其信号输出端 A、B 两相逻辑脉冲信号的相位始终保持 90° 差,且输出脉冲的个数与其旋转轴的角度位移量相对应。然而,实际应用环境中,由于存在各种各样的干扰因素,如机械冲击、电磁干扰、共模干扰等,均会造成光电编码器旋转角度的计量误差。本文重点研究了机械干扰使光电编码器产生抖动时的输出信号特征,提出了相应的抗干扰技术措施。同时,介绍了其他几种防干扰的具体办法。所有这些防干扰技术措施,在调压开关在车检测仪中均得到了具体应用,并在消除角度计量误差方面取得了明显的效果。文章最后给出了实际应用结果。

1 光电编码器的输出信号特征

1.1 光电编码器有效信号

光电编码器是实现旋转角度位移量转换成逻辑脉冲信号输出的精密角度传感器。其内部有一个高精度圆码盘与旋转轴相连,盘上有 A、B 两组精密光栅,它们间的机械相位精确相差 90° 。每组光栅的总线数,决定了光电编码器的分辨力,也即角度传感精度。码盘两侧分别置有固定的光信号源和光敏感元件。其结构原理如图 1 所示。

光码器正常工作时,码盘随旋转轴一起转动。光源信号经过码盘光栅过滤后,由光敏感

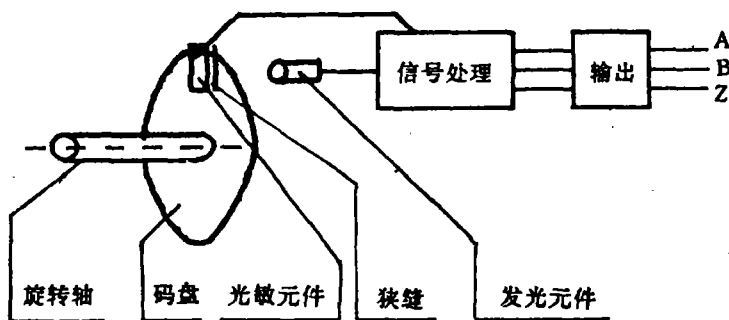
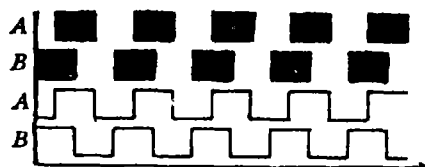


图1 光电编码器内部结构原理

元件接收并输入到信号处理单元，然后经输出单元转换成电脉冲输出。若旋转轴朝单一方向持续旋转，则光码器 A、B 两相逻辑脉冲信号的输出脉冲个数，与经光源扫描过的光栅线数完全对应，从而实现了轴旋转角度位移量转换成电脉冲信号的变化。图 2 中给出了光电编码器朝某一方向匀速旋转时的输出波形及对应的光栅状态。假设有光栅时刻对应的输出信号脉冲为高电平。

图2 光电编码器朝单一方向
匀速旋转时的输出波形

由图 2 可知，A 相脉冲的上升沿和下降沿时刻，分别对应 B 相信号的高电平和低电平；B 相脉冲的上升沿和下降沿时刻，则分别对应 A 相的低电平和高电平。A、B 两相脉冲始终保持 90° 相差不变。同样，若编码器朝另一方向持续匀速旋转时，则图 2 中各相脉冲信号的上升沿变为下降沿，而下降沿变成了上升沿。但因光栅的几何尺寸和位置是固定不变的，因而，这些跳变沿时刻所对应的另一相脉冲信号的电平值也是不变的。所以，我们可以根据某相输出脉冲信号的高电平或低电平期间所对应的另一相脉冲信号的跳变沿的变化方向，来判断编码器的旋转方向。同时，根据某一固定参考方向下的 A 或 B 相输出脉冲的个数，来计量编码器的旋转轴的角度位移量。在调压开关在车检测仪中，光电编码器的旋转方向与调压开关的进级或退级方向一致；其旋转轴的位移量对应于调压开关凸轮轴的旋转角度。因此，只要能准确地计量出光电编码器旋转轴的变化位置，就能够准确地计量出调压开关凸轮轴的旋转角度，并判断出调压开关的进级和退级状态。

1.2 光电编码器干扰信号

在调压开关自动检测过程中，编码器经齿轮与调压开关凸轮轴相连接。由于调压开关自动调级的动作强度大，容易造成编码器颤抖；另外，传动齿轮间的吻合间隙也会使编码器产生微小的抖动。增量式光电编码器的灵敏度非常高，任何微小的抖动都将产生相应的输出脉冲信号，但这些脉冲信号的脉宽和相位变化不定，容易造成 A、B 两相脉冲信号间的逻辑关系紊乱，从而产生角度计量误差。

图3给出了三种有代表性的抖动情形,并给出了相应的编码器的输出逻辑时序脉冲波形。图3(a)中a、b、c为编码器在光栅边缘发生抖动时的典型形式。图3中假设抖动是等幅的,起始点都是从中心位置开始的;图3(b)、(c)、(d)则分别对应图3(a)中a、b、c三种抖动时的输出波形。将图3与图2作比较后不难看出:A、B两相信号间的相位关系不再是固定的 90° 相差,而是随抖动幅度和中心位置的变化而变化,故无规律可寻;另外,输出信号的脉冲宽度和周期也是随抖动形式的不同而不同。光电编码器有抖动时,若不消除误差信号的影响,势必造成角度计量误差。我们曾使用过720线 0.5° 级的增量式光电编码器,在存在抖动干扰时,每转一周,累计角度误差在 20° 以上,且变化不定;调压开关若从起始 0° 开始,自动进级结束后再自动退级到起始位置,则光电编码器的计量角度值应准确地返回到 0° ,但是,这种结果从未出现过,且偏差较大。由此可见,必须消除抖动干扰,确保角度计量精度,才能使光电编码器在实际应用时达到理想效果。

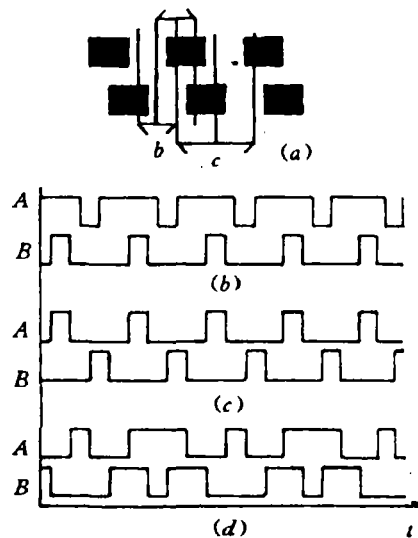


图3 光电编码器的三种典型抖动形式及相应的输出逻辑时序脉冲波形

事实上,光电编码器抖动时输出的误差信号波形也有其固有特征。仔细研究图3中A、B两相输出脉冲波形间的逻辑时序关系,不难发现:若抖动的幅度不覆盖一个完整的光栅,即限制在光栅边缘的微小范围内,则输出信号A(B)中,任意正脉冲或负脉冲的上升沿或下降沿时刻,所对应的另一相脉冲波形的电平值都是相等的,如抖动情形a和b;若抖动范围超过了一个完整的光栅宽度,则输出脉冲波形中存在两种情况。一种情况是,A(B)相正或负脉冲的两个跳变沿时刻,所对应的另一相信号的逻辑电平值不变。另一种情况是,A(B)相正或负脉冲的两个跳变沿时刻,所对应的另一相信号的逻辑电平值相反,但在整个抖动过程中,上升沿或下降沿所对应的高电平次数等于低电平次数,如抖动情形c。虽然这种现象与图2中A、B两相脉冲波形的逻辑相序关系完全不同,但仍可采用同样的方法进行处理。两种抖动情况下,A(B)相信号中,正脉冲或负脉冲的上升沿和下降沿时刻所对应另一相均具有对称性。这种对称性现象正好符合抖动是在一定范围内来回旋转的运动规律,所以,上述结论可以推广到较大范围内的抖动情况。

2 消除角度计量误差原理

通过分析A、B两相信号间的相位关系和逻辑时序关系,我们知道,只要能辨别出A(B)相脉冲的两个跳变沿时刻所对应的另一相信号的逻辑电平值是否一致,就能够确定编码器输出的信号是计量信号还是干扰信号,从而采取相应的技术措施,消除干扰,保证角度计量的精度。

角度计量误差的消除原理分硬件和软件两部分。硬件上,我们利用D触发器的记忆功能

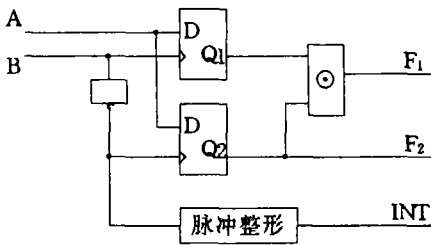


图 4 硬件电路防抖动原理

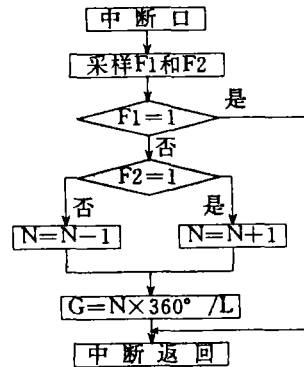


图 5 软件角度计量防抖动原理

来产生干扰状态信号和有效状态信号，并判断出光电编码器旋转轴的运动方向信息，然后由软件进行信息处理和角度计算。硬件原理电路如图 4 所示。图 4 中，F1 为抖动干扰状态信号；F2 为旋转方向状态信号；INT 是中断信号。输入脉冲信号 A、B 是相对的，它们的位置可以互换，但 F2 反向。软件中以 A (B) 相信号的上升沿或下降沿作为采样基准时刻，并根据 F1 和 F2 的状态来消除干扰和计算角度值。软件抗抖动干扰的原理如图 5 所示。图 5 中，L 为所选用的光电编码器的光栅总线数；G 即为计量出的旋转角度值。

在调压开关在车检测仪中，我们使用上述抗抖动干扰技术，取得了明显效果。无论是人为地施加摆动干扰（抖动幅度较大），还是在实际应用环境中受到的颤动干扰（抖动幅度微小），旋转角度的计量精度均相当高。光电编码器每旋转一周，角度累计误差从未超过编码器的分辨率，即误差脉冲的计入个数最多不超过 1 个。需要注意的是，硬件电路中必须做到方向状态触发器的更新时刻与中断触发时刻一致，否则，角度计量的精度将变差。

光电编码器在实际应用中除抖动干扰外，还会受到其他因素的影响，其中主要是共模干扰和电磁干扰。针对这些干扰，我们也采取了相应的技术措施。光电编码器是由金属外壳封装的，防电磁干扰效果较好。其信号传输电缆也采用了金属屏蔽线，然而，若屏蔽线连接不妥，不仅未起到抗干扰作用，还会引入共模干扰。如屏蔽线接外壳，则共模干扰严重，屏蔽效果变坏。实际使用中，屏蔽线与 A、B 两相的信号地相连，可有效消除共模干扰。

另外，由于 A、B 两端的负载电阻很大，如用 CMOS 门电路，则负载电阻达兆欧数量级，

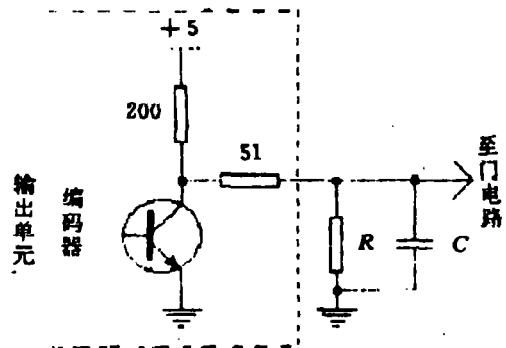


图 6 编码器输出端加 RC 滤波

这样容易引入空间电磁干扰信号. 为此, 我们在门电路的输入端增加 RC 去加重网络, 既可降低编码器的负载阻抗, 又可消除随机信号干扰. 图 6 给出了原理电路. 图 6 中, R 的取值应根据逻辑门电路的门坎电平和光电编码器的输出电路参数来确定.

3 结果及分析

在调压开关在车检测仪中, 我们实际使用了一台增量式光电编码器, 其型号为 LEC-72.0 BM-G05E, 分辨率为 0.5°, 即编码器每旋转 0.5° 输出一个脉冲. 在采取了防抖动干扰措施的情况下, 对现场中某台 SS3 型电力机车的调压开关进行了检测, 具体检测结果如附表所示. 附表中, TK1~10 是调压开关主触头序号; 附表(a)、(b)中每个触头序号的第一行数据为实测到的开闭点位置的角度值, 其第二行数据则为对应开闭点的测量值与标准角度间的误差. 附表(c)给出了各触头开闭点位置的标准角度.

附表 检测仪对某 SS3 调压开关主触头的检测结果

(a)进级检测结果					(b)退级检测结果					(c)标准开闭点角度值				
方式:进级					方式:退级					主触头标准闭合表				
(TK1~10)					(TK1~10)					(TK1~10)				
TK01	0	174.0	0	0	TK01	0	173.5	0	0	TK01	0	174.5	0	0
	0	-0.5	0	0		0	-0.5	0	0					
TK02	16.0	44.5	196.0	223.5	TK02	15.0	44.5	196.0	223.0	TK02	15.5	44.5	195.5	224.5
	0.5	0	0.5	-1.0		-0.5	0	0.5	-1.5					
TK03	36.5	63.5	216.5	244.0	TK03	36.0	63.5	216.0	243.0	TK03	35.5	64.5	215.5	244.5
	1.0	-1.0	1.0	-0.5		0.5	-1.0	0.5	-1.5					
TK04	56.0	82.5	235.0	263.0	TK04	55.0	82.5	234.5	262.5	TK04	55.5	84.5	235.5	264.5
	0.5	-2.0	-0.5	-1.5		0.5	-2.0	-1.0	-2.0					
TK05	76.0	103.0	256.0	284.0	TK05	75.5	103.0	255.5	283.5	TK05	75.5	104.5	255.5	284.5
	0.5	-1.5	0.5	-0.5		0	-1.5	0	-1.0					
TK06	96.5	124.0	276.5	304.0	TK06	96.5	123.5	276.0	303.5	TK06	95.5	124.5	275.5	304.5
	1.0	-0.5	1.0	-0.5		0.1	-1.0	0.5	-1.0					
TK07	116.0	143.0	296.5	318.0	TK07	115.5	143.0	295.5	318.0	TK07	115.5	144.5	295.5	316.5
	0.5	-1.5	1.0	1.5		0	-1.5	0	1.5					
TK08	136.0	164.0	316.0	318.0	TK08	135.5	163.5	315.0	318.0	TK08	135.5	164.5	315.5	316.5
	0.5	-0.5	0.5	1.5		0	-1.0	-0.5	1.5					
TK09	156.5	204.0	0.0	0.0	TK09	156.0	204.0	0	0	TK09	155.5	204.5	0	0
	1.0	-0.5	0	0		0.5	-0.5	0	0					
TK10	185.5	318.0	0	0	TK10	185.0	318.0	0	0	TK10	185.5	316.5	0	0
	0	15.5	0	0		-0.5	1.5	0	0					

附表(a)中的数据是在调压开关凸轮轴从起始点自动进级到最高级顶位点的过程中自动检测到的. 从中可以看出: 检测仪计量出的凸轮轴(即编码器的旋转轴)的角度变化区间是 0°~318°; 附表(b)中的数据是凸轮轴从进级结束时的位置自动退级到起始点的过程中检测到的. 这组数据可以说明: 在凸轮轴的机械位置从进级结束点自动返回到起始点时, 检测仪计量出的凸轮轴旋转角度值也从 318°准确地返回到了 0°. 编码器在两段完全相等的大范围内作单方向匀速旋转时, 检测仪所计量出的旋转轴的角度位移量均是 318°, 计量结果的重复性和一致性好. 由此, 图 7 中的实测结果可以说明两点: (1)从广义上讲, 光电编码器作大幅度的摆动(即凸轮轴从起始点到最高级顶位点, 然后又从最高级顶位点到起始点的旋转过程)时, 检测仪

中计入的误差脉冲个数为0;(2)从狭义上讲,由于两段范围内的旋转方向正好相反,所以,可以认为凸轮轴作了一个超圆周(636°)的旋转,尽管编码器的颤动(小幅度抖动)干扰存在,且是随机的,但检测仪在一超圆周内的累计角度计量误差为0,即误差脉冲的计入个数为0.需要说明的是,调压开关凸轮轴旋转到最高级顶点时的计量值 318° 与理想角度存在 1.5° 误差.经现场多台机车的反复检测和该台机车的多次测试,结果均证实该误差不是检测仪的计量过程造成的,而是调压开关检修工艺的允差所造成的误差事实.

4 结束语

本文分析并总结出了光电编码器的输出信号特征,由此提出了消除编码器角度计量误差的防抖动技术,以及其他防干扰技术措施.实际运用这些技术所得到的检测数据,充分说明了其正确性和实用价值.

参 考 文 献

- 1 林知明,胡建华,何国民.调压开关的微机检测方法.华东交通大学学报,1992,9(1):12~19
- 2 朱灿焰,李津发,何国民.调压开关在车检测仪的研制.华东交通大学学报,1995,12(2):6~11
- 3 朱企明.光电编码器检测仪.电子技术,1994,(4):23~25
- 4 长春市第一光学仪器厂编.小型光电编码器使用说明书
- 5 庄梓新主编.测量与控制核心系统手册.北京:航空工业出版社,1989
- 6 刘友梅主编.韶山3型电力机车.北京:铁道出版社,1990
- 7 郑州铁路局编.SS3电力机车检修工艺规范.电子·仪器,1990

The Anti—shaking Technology about the Photo—electric Encoder

Zhu Canyon

Abstract In this paper, the pulse signal characteristics of the photo—electric encoder are studied, and the technology of anti—shaking interference about the photo—electric encoder is correspondingly put forward. At the end of this paper, the practical results are also given.

Key words Adjusting voltage switches; Interference; Anti—interference; Photo—electric encoder; Shaking; Measuring error