

一种实用的三相相序鉴别器的设计与仿真研究

李立平, 王振玉, 牛晓燕

(石家庄铁道大学 四方学院, 河北 石家庄 051132)

摘要:三相交流电机类负载对电源相序和电压幅值都有严格要求,通过对当今电子市场上三相电源相序鉴别产品调查后发现:大多相序鉴别产品采用集成电路实现,且只能解决缺相、鉴别相序问题。但是,当三相正相序而某一相电压出现偏高或偏低时则无法判断而导致报警失败。由于集成电路不可避免地涉及输入信号幅值范围较小和电源电压要求稳定性高等问题,通过仿真软件 Altium Designer 设计出了一种由模拟分立元件组成的非线性相序鉴别电路,该电路能够较好地满足缺相、正逆相序鉴别和三相正相序但某相电压偏高或偏低时能够报警动作等需求,动作时间小于 0.4 s,性能可靠,可广泛应用于冶金、石油、舰船等野外电气设备挂装或便携使用,具有一定的实用价值。

关键词:三相电源;相序鉴别;缺相;模拟电路;设计与仿真

中图分类号:TM930.12 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-0373(2015)04-0094-05

0 引言

在工业生产设备中,负载电源相序的正反直接决定着负载电机的运行状态,所以鉴别交流三相相序就成了至关重要的一个问题。通过对当今电子市场的调查发现,大多相序鉴别产品^[1]只能解决缺相、鉴别相序问题。但是,当接入三相正相序而某一相电压出现偏高或偏低时,则容易出现无法判断而导致报警失败的情况,同样会损害相应的电气设备,影响产品质量。如传动系统中的风机泵类负载、交流调速系统、舰船上很多电气设备以及各类机床、电焊等多种装置,都需要对输入的三相相序进行鉴别,对三相电压是否平衡都有严格的要求。因此,相序鉴别器就成为现场工程师们必不可少的装备。可是,对于有些特殊工作场合如油田、矿区等野外工作的工业设备,工程技术人员如果每天随身携带示波器等测量设备进行施工或检修十分不便,所以简单实用的相序检测模块就显得尤为重要。针对这一问题,综合电路、电子等相关学科知识,利用仿真软件设计出了一个由模拟分立元件组成的非线性相序鉴别电路,能够较好地满足缺相、正逆相序鉴别和三相正相序但是当某一相电压出现偏高或偏低时能够报警动作等需求,动作时间短(≤ 0.4 s),安全可靠,可广泛应用于冶金、石油、舰船等野外电气设备挂装或便携使用,具有一定的实用价值。

1 常用相序鉴别器缺点

以前传统的相序鉴别产品如电磁继电器式分辨电路、自耦变压器分辨电路有体积大、成本高、可靠性差、不宜推广等缺点;目前市场上的相序继电器大多由整流桥、相位差鉴别集成电路、晶体三极管、稳压管等器件组成^[2-3]。额定线电压 380 V,额定频率 50 Hz,允许电压波动范围为 80%~110%之间。主要用于相序检测或缺相保护^[4]。由于其电压波动范围小且仅限于三相电源电压幅值同步变化,所以它们解决不了在三相电源正相序而当某相电压偏高或偏低时的电路保护问题,此外集成电路有不可回避的缺点,比如在输入电压较高、干扰较大的场合工作很容易出现问题,为了使集成电路工作稳定,常常对其电源的稳定性和纹波系数有较高的要求。

收稿日期:2014-09-03 责任编辑:车轩玉 DOI:10.13319/j.cnki.sjztdxxxbzrb.2015.04.17

作者简介:李立平(1982-),女,讲师,主要从事电子电路设计、测控技术等研究。E-mail:31910540@qq.com

李立平,王振玉,牛晓燕.一种实用的三相相序鉴别器的设计与仿真研究[J].石家庄铁道大学学报:自然科学版,2015,28(4):94-98.

2 实用的三相相序鉴别器的设计与仿真

结合已有电路、电子知识,提出了采用质量可靠的简单模拟分立元件构成非线性电路,针对在三相电源正相序而某相电压偏高或偏低时的电路保护问题,巧妙地利用三相电路本身的相位差,尽可能使用电阻、电容元件来实现相序鉴别功能^[5]。而且为了电源和设备的安全,避免将电容直接串联在电源回路中,通过实验仿真和实物测量验证,在三相交流电压 $\pm 20\%$ 的情况下,能够在 $0.05\sim 0.4\text{ s}$ 内完成对正逆相序的鉴别;即使是正相序的情况下,当线电压超过 $\pm 20\%$ 时,能够在 0.5 s 内使输出继电器动作,从而能够有效地保护电动机和相应的机械设备,提高工艺水平和产品质量,原理如图1所示。

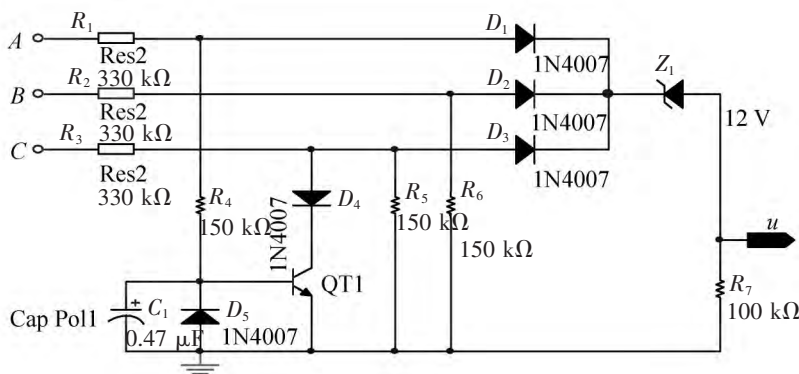


图1 三相电路相序鉴别图

2.1 工作原理分析

当输入三相交流电压为正相序时,有

$$\begin{cases} \dot{U}_A = \sqrt{2}U \cos(\omega t) \\ \dot{U}_B = \sqrt{2}U \cos(\omega t - \frac{2}{3}\pi) \\ \dot{U}_C = \sqrt{2}U \cos(\omega t + \frac{2}{3}\pi) \end{cases} \quad (1)$$

在正常的三相电压对称的情况下,一定满足

$$u_A + u_B + u_C = 0 \quad (2)$$

所以在本电路原理图设计时,也充分地考虑并利用了这种电路结构的对称性^[6-7]。当输入电压正相序且当电压大于零时,由于C相电压超前A相电压 120° ,所以当A相电压从 0 V 变正值时,因为电路结构对称,电流的流向将分别经过电阻 R_1 、 R_4 以及三极管QT1的发射极形成正相序的闭合回路;当A相电压从 0 V 变负时,仍然为使电路结构对称,则分别经过二极管 D_5 、电阻 R_1 和 R_4 形成反相序的闭合回路,此时仍然满足 $u_A + u_B + u_C = 0$ 。所以此时三相电源的电流通路为:

A相: $A(+)\rightarrow R_1\rightarrow R_4\rightarrow T_4$ 发射结 \rightarrow 中线

$A(+)\rightarrow R_1\rightarrow D_1\rightarrow$ 稳压管 Z_1 降压 $\rightarrow R_7\rightarrow$ 中线

中线 $\rightarrow D_5\rightarrow R_4\rightarrow R_1\rightarrow A(-)$

B相: $B(+)\rightarrow R_2\rightarrow R_5\rightarrow$ 中线

$B(+)\rightarrow R_2\rightarrow D_2\rightarrow$ 稳压管 Z_1 降压 $\rightarrow R_7\rightarrow$ 中线

中线 $\rightarrow R_5\rightarrow R_2\rightarrow B(-)$

C相: $C(+)\rightarrow R_3\rightarrow R_6\rightarrow$ 中线

$C(+)\rightarrow R_3\rightarrow D_3\rightarrow$ 稳压管 Z_1 降压 $\rightarrow R_7\rightarrow$ 中线

中线 $\rightarrow R_6\rightarrow R_3\rightarrow C(-)$

2.2 设计与仿真实现

图 1 中为了保证三极管 QT1 在 C 相电压变负时不会被反相击穿,所以在其发射结上并联了一个反向二极管 D_5 。由于三极管的发射结正向导通后的等效电阻很小,所以当 A 相瞬时电压过零点后变正时,电容 C_1 上的电荷能够迅速释放并反向充电,又因为电容两极板间的电压不能够突变,所以保证了三极管 QT1 的发射结电压不会突变,从而保护了三极管的发射结。由于正相序,三极管 QT1 的集电极电压先于发射极电压过零点变正值,所以当 A 相电压过零点变正时,QT1 会瞬间导通,从而保证了三相电路经二极管 $D_1 \sim D_3$ 半波整流后的输出电压三相平衡。在输出端 u 的反映就是电压波形成周期性变化,波形图如图 2 所示。其中,横坐标为仿真时间,纵坐标为三相电压幅值。

当输入电压逆相序时,在三极管 QT1 的发射极和集电极上的电压作用时间和作用的先后顺序发生了改变,这样导致了三相电路的平衡关系被打破,经过二极管 $D_1 \sim D_3$ 的半波整流和稳压管 Z_1 的降压后,输出端 u 的电压不再平稳,此时的波形图如图 3、图 4 所示。

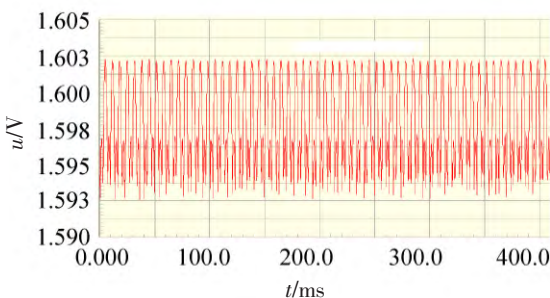


图 2 正相序三相平衡时输出电压 u 的波形图

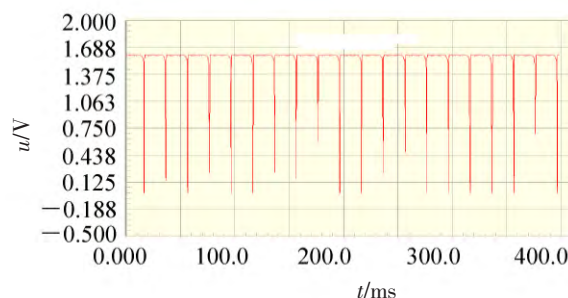


图 3 逆相序三相平衡时输出电压 u 的波形图

3 后续信号处理

由于电路属于非线性混合电路,理论计算较困难,在这里不再赘述。在设计过程可以充分地借助于 Altium Designer2008^[8] 软件进行仿真分析,该软件是国际领先的一体化电子设计平台,是继 Protel 系列产品之后又一款高端设计软件,为电子产品设计提供了完整解决方案。在仿真结果的波形文件中,可以给出相应元件的电压、电流、功率、直流分析、小信号模型以及信号完整性分析等内容。在本设计中,后续信号处理的电路图 5 所示。

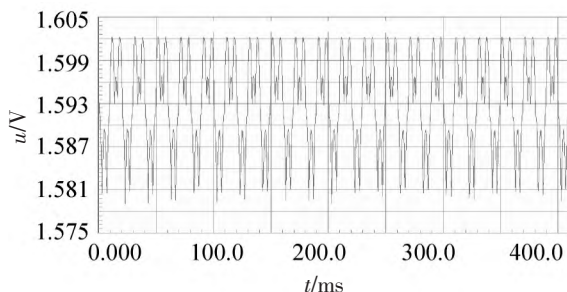


图 4 正相序三相不平衡时输出电压 u 的波形图

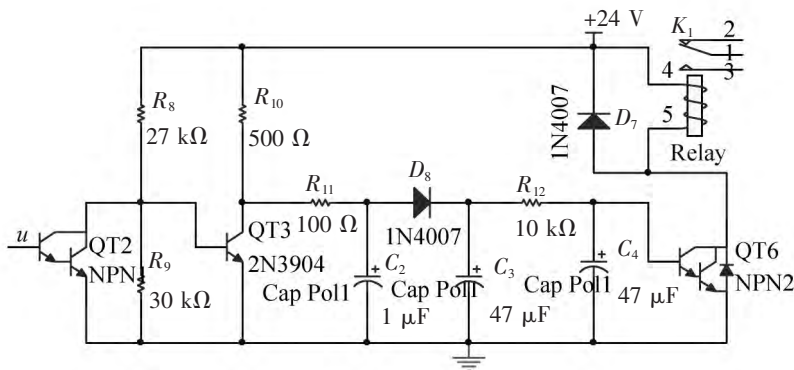


图 5 后续信号处理电路

当三相输入电源为正相序时,由图 2 可知,输出电压 u 在 1.598 V 左右稳定波动,所以该电压可以使复合三极管 QT2 饱和导通。此时,QT2 的集电极电压降为 0.7 V 左右,使 QT3 的集电极电压约为 0.7

V, 经过二极管 D_8 降压, 使 Q_{T4} 的基极电压低于 1.4 V, 所以三极管 Q_{T4} 截止。逆相序时, u 的幅值大小不稳定, 会使 Q_{T2} 的基极电压降低, 图 5 中输入信号 u 经过三极管 Q_{T2} 会在一个周期内 (约 3.3 ms) 截止, 此时经过分压电阻 R_8 、 R_9 使三极管 Q_{T3} 基极电位升高, 集电极电压升高到 0.5~4 V, 然后经过 T 型滤波整形和二极管理压电路并结合 π 型滤波升压后使三极管 Q_{T4} 的基极电压平稳在 1.6 V 左右, 从而驱动三极管 Q_{T4} 饱和导通, 使继电器 K_1 线圈得电导通, 常开节点闭合, 常闭节点打开, 从而切断电源起到保护相应电气设备的作用。二极管 D_7 给继电器线圈提供放电回路, 保护三极管不被击穿。

4 电路性能与特点

由于接入三相电源的每一相都对地采用 480 k Ω 的电阻接到了电源线路中, 所以并不会影响设备的绝缘性能; 而且, 并没有将电容直接传入线电压中, 不存在电容击穿而发生断路的问题。经过仿真和实验分析, 本系统的突出优点如下:

- (1) 采用分立模拟器件, 输入电压范围宽, 交流相电压 50~500 V 均适用;
- (2) 能够检测逆序和缺相故障;
- (3) 从图 2 横坐标的仿真时间可知, 当三相电源正相序而某相电压低于或超过约 20% 时, 能够在 0.5 s 内检测出并继电器动作;

(4) 从图 2~图 4 横坐标的仿真时间可知, 该设计响应时间短, 正常动作时仅为 0.05~0.4 s;

(5) 具有工作状态指示功能, 继电器输出, 接入其它主控设备时应用方便;

(6) 经实际工程现场检验, 安全可靠, 对三相电源主回路没有太大影响。硬件实物图如图 6 所示。

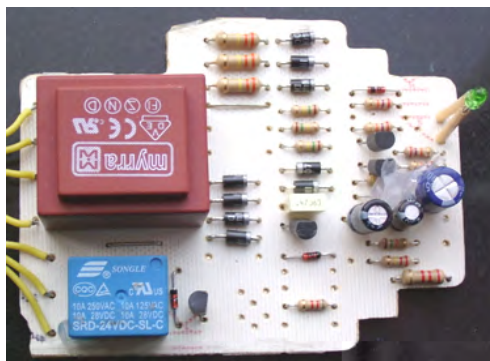


图 6 硬件实物图

5 结论

通过分析文献和市场调查, 发现很多三相相序鉴别产品只能解决三相交流电源缺相、鉴别相序的问题。但是, 当三相正相序而某相电压出现偏高或偏低时则无法判断, 所以充分利用三相电路的对称性, 运用模拟分立元件设计仿真了一个简单实用的相序鉴别电路。通过仿真和实验验证表明, 该电路能够较好地解决缺相、鉴相和三相正相序但某相电压出现偏高或偏低时进行报警动作等问题, 可广泛应用于冶金、石油、舰船等野外电气设备挂装或便携使用, 具有一定的实用价值。

参 考 文 献

- [1] 周强, 侯熙平, 阳初春, 等. 电动机自鉴相系统研究[J]. 机电工程技术, 2006, 35(7): 62-63.
- [2] 吴义彬. 继电器用户实用手册[M]. 北京: 国防工业出版社, 1992.
- [3] 姚志清, 李金伴. 继电器与继电保护装置实用技术手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [4] 姜华, 王金波. 三相电动机缺相保护实用方法[J]. 煤矿机械, 2006, 27(8): 154-156.
- [5] 王元利, 王先伦, 宋守云. 实用的相序分辨电路[J]. 河南机电高等专科学校学报, 2000, 8(4): 63-65.
- [6] 王振宇. 电路分析[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [7] 康华光. 电子技术基础模拟部分[M]. 5 版. 北京: 高等教育出版社 2006.
- [8] 徐向民, 邢晓芬, 华文龙, 等. Altium Designer 快速入门[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.

The Design and Simulation of a Practical Three-phase Discriminator

Li Liping, Wang Zhenyu, Niu Xiaoyan

(Sifang College Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 051132, China)

Abstract: Three-phase AC motor type of equipment has stringent requirements on the phase sequence of power and voltage amplitude. By today's electronic market survey it is found that many phase sequence identification products have the problem that they can only solve the differential phase sequence and phase loss, but in case of positive phases with one phase voltage much higher or lower, the serious result can not be judged and alarm failure would occur. For integrated circuits inevitably involve issues of small input signal and power supply voltage range, Altium Designer simulation software is used to design an analog nonlinear circuit by discrete components. The system can meet the phase missing, phase sequence identification and if a phase voltage turns high or low then alarm action will be activated in less than 0.4 s. So this circuit is reliable and can be widely used in metallurgy, petroleum, marine and other outdoor mounted or portable electrical equipment with some practical values.

Key words: three-phase power; identification of phase sequence; phase missing; analog circuit; design and simulation



(上接第 68 页)

Research of Direct Torque Control of PMSM Based on MRAS and ADRC Hybrid Speed Sensorless Control

Luan Dongxue, Xu Mingzhu, Li Shenshan

(College of Mechanical Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: The speed sensorless control based on model reference adaptive (MRAS) technology for permanent magnet synchronous motor (PMSM) direct torque control system is presented. In the proposed strategy, the model of PMSM itself is regarded as reference model while current function model is regarded as adjustable model. The speed and position of the PMSM are estimated by designed adaptive laws generated by Popov stability theory. Considering the robustness and load disturbance in the sensorless control of PMSM, the ADRC is introduced into the MRAS and a novel Hybrid control algorithm is obtained. The simulation model of the MRAS and ADRC speed sensorless of PMSM direct torque control system using Matlab/Simulink is built. The simulation results show that this control method is more robust and has higher speed and position identification precision and better static and dynamic characteristics of performance.

Key words: PMSM; speed sensorless; MRAS; ADRC; direct torque control