

文章编号:1006-7736(2008)S-0076-03

# 基于 PLC 的船舶同步发电机自动准同步并车装置的设计\*

吕奇伟,赵殿礼,张春来  
(大连海事大学 轮机工程学院,辽宁 大连 116026)

**摘要:**根据船舶电站自动并联运行的技术要求及特点,将 PLC 应用于自动并车中.设计的自动并车装置以西门子 S7-200 系列 PLC 为运算控制单元,通过相应的软件编程和外围硬件设计,实现船舶电站自动准同步并车.

**关键词:**船舶电站;可编程序控制器;自动并车  
**中图分类号:**U665.11 **文献标志码:**A

## Implement of automatic quasi-synchronization of marine power station based on PLC

LU Qiwei<sup>1</sup>, ZHAO Dian-li, ZHANG Chun-lai

(College of Marine Engineering, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

**Abstract:** PLC is applied in the automatic quasi-synchronization of the marine power station based on whose technical requirement and characteristic. The designed automation synchronizing set adopts the PLC of Siemens S7-200 series as the operation control unit. It would realize the automatic quasi-synchronization of the marine power station by means of relevant software program as well as hardware design.

**Key words:** marine power station; programmable logic controller; automatic quasi-synchronization

## 0 引言

船舶电站是船舶的重要组成部分,现代船舶对船舶电站及电力系统依赖越来越强,电站运行的可靠性、经济性对保证船舶安全、经济航行具有重要意义.船舶同步发电机组的自动并联运行是船舶电站自动化的主要技术指标之一.通常自动并车装置的控制方案有两种,即模拟控制和数字控制,国内已有多种模拟控制式的自动并车装置.随着船舶电站自动化程度的不断提高和微机控制技术的飞速发展,先进的数字控制式的自动化并车装置已显示出其特

有的优越性.数字控制方案可采用单片机、微机或工控机作为控制核心,也可采用可编程控制器(PLC)实现自动控制.

本文设计的并车装置采用西门子公司 S7-200 系列 PLC 为控制核心. S7-200 PLC 提供了多种功能,使得编程控制时更加灵活方便.它执行指令速度快, CPU 执行每条二进制指令时间为 0.37 μs; 它还具有丰富的指令功能;灵活的中断功能;输入和输出可以直接查询与赋值;严格的口令保护;友好的调试和故障诊断功能;输入或输出的强制功能;通信功能等.<sup>[3]</sup>

## 1 自动准同步并车装置的构成

自动准同步并车装置由运算控制单元、信号采

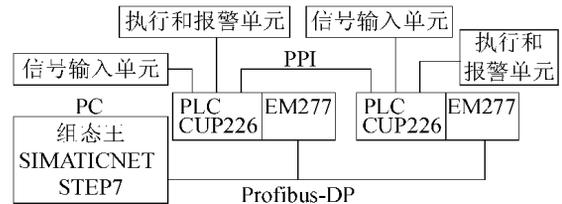


图 1 系统布置图

集单元、报警显示单元以及执行单元构成.本装置采用西门子 S7-200 PLC 为控制核心,控制部分主要有一台 PC 机和两台 PLC 组成,如图 1. PC 机主要用于将应用程序下载至 PLC 并对两台 PLC 的运行状态进行实时的远程监控.两台 PLC 之间的数据传输采用 PPI 协议,利用编程实现它们之间的通信; PC 机与两台 PLC 之间的通信采用 PLC 提供的 EM277 通信模块,用 Profibus-DP 协议和组态软件将 PLC 与 PC 机连接起来.该系统的被控对象是两台船舶发电机.

### 1.1 信号采集单元

\* 收稿日期:2008-05-08.

作者简介:吕奇伟(1983-),男,浙江余姚人,硕士研究生, E-mail:lvqiwei0707@163.com

信号采集单元包括电压信号输入电路、频率信号输入电路、脉动电压形成电路。这些电路负责将采集到的电压、频率、相位信号输入到 PLC。

(1) 电压检测 发电机自动并车时,待并机组与运行机组的电压差值一般限制在 5%~10% 额定电压值范围内,可以使并车时的冲击电流限制在允许的范围。本控制系统即是以此范围作为压差检测依据。

现代船舶同步发电机中采用的调压器可满足发电机运行及并车过程中对电压的需求,因而现代船舶发电机并车控制系统一般可不考虑电压调整这一项。

(2) 频率检测 规范要求,并车控制系统测算合闸时待并发电机与运行机的频率差不超过 0.5 Hz,且待并机的频率应略高于运行机。经计算  $T_s = 1/f = 1/0.5 = 2$  s,可知系统滑差周期  $T_s$  应为 2 s。本控制系统为了实时测算滑差角频率  $\omega_s$ ,提高操作速度、简化硬件,采用了较为简单的波形变换电路,再辅以适当的软件来完成计算,即采用直接比较法检测频差的大小及方向。

运行机与待并机电压  $u_x$  和  $u_y$  的正弦波形经整流限幅及过零检测比较后,转化为方波  $u_x$  和  $u_y$ ,将两方波信号  $u_x$  和  $u_y$  送入 PLC 直接计数测量频率。把方波信号输入至 PLC 所对应的 I/O 中断输入口,利用 PLC 提供的 I/O 边沿中断功能控制高速计数器进行计数。将 6 kHz 的基准脉冲接至高速计数器的计数口,每一个上升沿启动计数器对基准脉冲进行计数,在被测信号的一个周期内,若计数时钟脉冲数为  $N$ ,则被测信号频率为  $f = f_c/N$ ,其中  $f_c$  为基准脉冲信号频率。上述方法适用于低频信号(1 Hz ~ 1 kHz)的测量,本控制系统需检测的电压频率在 50 Hz 范围左右,属于低频,因而适合用此方法检测频率。

计数器测频的准确度主要由两项误差决定:一项是时基误差,另一项是量化  $\pm 1$  误差。当时基误差小于量化  $\pm 1$  误差一个或二个数量级时,这时的准确度主要由量化  $\pm 1$  误差决定。上述测频法测量的相对误差为

$$Y_1 = \frac{\text{测量误差值}}{\text{实际误差值}} \times 100\% = \frac{1}{N} \times 100\%$$

为了提高测量值的精度和利于频差比较分辨,可以适当增加被测信号的周期数,采用多周期测频。即在被测信号的  $M$  ( $M$  被测信号的周期数,  $M > 1$ ) 个周期内,若计数时钟脉冲数为  $N$ ,则被测信号频率

为  $f = Mf_c/N$ 。其测量相对误差为

$$Y_2 = \frac{\text{测量误差值}}{\text{实际误差值}} \times 100\% = \frac{1/f_x}{f_x} \times 100\% \\ = \frac{\left| \frac{M}{N}f_c - \frac{M}{N+1}f_c \right|}{\frac{M}{N}f_c} \times 100\% \\ = \frac{1}{N \pm 1} \times 100\% = \frac{1}{N} \times 100\%$$

由此可见,在满足测量速度要求的前提下,适当增加被测脉冲信号的周期数  $M$ ,则  $N$  会随之增大,测量精度会在原来的基础上提高。

本自动并车控制系统利用 PLC 计数测得运行发电机和待并发电机的频率  $f_1$ 、 $f_2$  之后,再进行计算并判断频差的大小是否满足频率条件,若不满足则进一步作出频差方向的判别。

(3) 相位检测 相位条件的检测是自动并车装置中的关键和难点,本文采用脉动电压来解决相位差检测的问题。本文脉动电压指的是运行机和待并机的频率不一样而差数很小以及电压的数值相等或接近相等时,这两个交流电压之间的差数。脉动电压的形成电路如图 2 所示

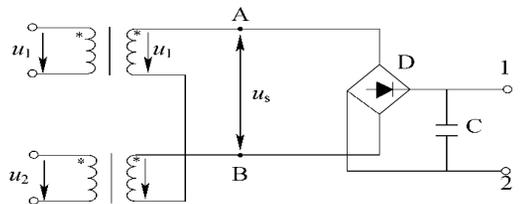


图 2 脉动电压形成电路

用图 2 所示的电路进行分析,设电网电压为  $u_2$ ,角频率为  $\omega_2$ ;待并发电机电压为  $u_1$ ,角频率为  $\omega_1$ 。电网电压的振幅为  $U_{2m}$ ,待并机电压振幅为  $U_{1m}$ 。当  $U_{1m} = U_{2m} = U_m$  时, $u_1 - u_2$  的差值即为脉动电压。式中,

$$u_s = u_1 - u_2 = 2(U_m \sin(\omega_1 t) - \sin(\omega_2 t))$$

脉动电压的周期和滑差角频率有如下关系:

$$T_s = \frac{2}{\omega_s}$$

$$T_s = \frac{2}{2(\omega_1 - \omega_2)} = \frac{1}{\omega_s}$$

由此可见,脉动周期和频差成反比,频差越小则脉动周期越长。

脉动电压的波形如图 3 所示,运用脉动电压的概念,待并发电机主开关的动静触头应该在脉动电压为零时闭合,这一条件对应了并车时电压相等、相

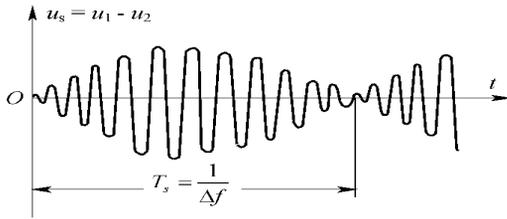


图 3 脉动电压波形图

位一致的两个条件。

当脉动周期  $T_s$  足够长时,即说明频差在允许范围内。例如:并网允许的频差  $f_s = 0.5 \text{ Hz}$ ,相应的脉动周期  $T_s = 1/f = 1/0.5 = 2 \text{ s}$ ,所以只要检测到脉动周期大于  $2 \text{ s}$ ,即保证频差小于  $0.5 \text{ Hz}$ 。因此,自动装置只要检测频差周期足够长,并在脉动电压为零时接通发电机主开关,既满足电压、频率、相位这三个条件。

### 1.2 运算控制单元

本自动并网装置的运算控制模块包括西门子 S7-200 PLC 和模拟量输入输出模块。装置配置的 S7-200 CPU 模块为 CPU266,该模块有 24 点数字输入点以及 16 点数字输出,可以扩展模块数量为 7,内置 6 个高速计数器,同时备有两个 RS-485 通信口。模拟量输入模块采用 EM235 模块,该模块有 4 路模拟量输入和 1 路模拟量输出。

### 1.3 执行单元和报警显示单元

执行单元由伺服电机完成调速功能,通过主开关合闸并网。报警显示部分用于显示频率调节和并网合闸中出现的超频、欠频、电压异常、合闸失败等故障。

## 2 软件设计

系统的软件设计包括一个主程序和通信指令、电压检测、频率检测和调节、相位检测等子程序。设计思想如下:

(1) 系统初始化后,先检测电压差,电压差满足要求则进入下一程序,否则延时后报警;

(2) 检测待并机和运行机的频率差是否在允许的范围内,倘若不在允许范围内,则进行频率调节。

(3) 检测待并机和运行机的相位差,根据前述脉动电压原理获取准确的合闸时间,并发出合闸指令。整个程序的流程图如图 4 所示。

系统采用 KINGVIEW6.5 组态软件实现对

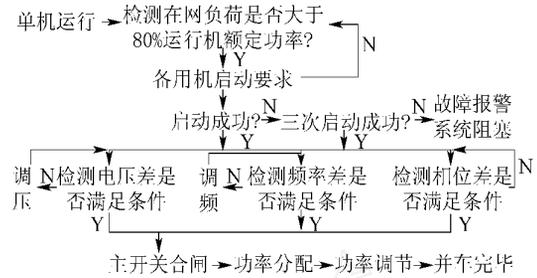


图 4 程序流程图

PLC 的实时监控。该软件为监控 PLC 的运行提供了十分人性化的界面,它可通过其自带的图形编辑器、报警编辑器、报表编辑器等工具对监控界面或参数进行监视,通过自建的变量将 PLC 的数据与 KINGVIEW6.5 的数据相连接。KINGVIEW6.5 编程简单,组网通信较易实现,一般可通过工业以太网 (SIMATIC NET) 或 PROFIBUS-DP 实现其与 S7-200 之间的通信。本系统采用 PROFIBUS-DP 协议实现监控台与 PLC 的连接,这样的连接方式优点是可使数据连续地、实时地进行传输,缺点是传输距离有限。

## 3 结语

把 PLC 应用于船舶电站自动并车中,与传统的继电器自动并车装置相比,本装置提高了自动并车的可靠性,操作简单,具有较高的抗干扰能力,便于维护和改进。同时减少大量的中间继电器和时间继电器,PLC 的配线比继电器控制系统的配线少得多,故可以省下大量的配线和附件,减少大量的安装接线工时,加上开关柜体积的缩小,可以节省大量的费用。把组态软件应用于本装置,实现了对发电机状态的实时监控。

### 参考文献 (References):

- [1] 黄伦坤,朱正德,刘宗德. 船舶电站及其自动装置[M]. 北京:人民交通出版社,1994.
- [2] 杨国豪,朱正鹏,华增芳,等. PLC 船舶电站自动并车装置[J]. 航海技术,2000(5):49-51.
- [3] 廖常初. PLC 编程及应用[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
- [4] 王焕文. 舰船电力系统及自动装置[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [5] 肖涛,徐致新,徐正喜. 船舶主发电机并联运行控制器自动并车功能的实现[J]. 船电技术,2002(6):15-18.