

# 基于 PLC 的船舶电站快速并车装置

于风卫

(青岛远洋船员学院, 山东 青岛 266071)

**提 要** 自动准同步并车是船舶电站自动化的主要功能之一。提出了一种适合于 PLC 控制的船舶电站的快速、简单可靠的并车方法。系统在实验室小型电站模拟试验中取得满意效果。系统提出的并车装置, 硬件设备少, 适用于新建电站也适用于旧系统的改造。

**关键词** 船舶电站 可编程序控制器

自动准同步并车

中图分类号 U664

文献标识码 A

## 1 引 言

现代船舶对船舶电站供电可靠性和供电质量的要求越来越高。可编程序控制器(简称 PLC)的可靠性高和抗干扰能力强已为专业技术人员之共识, 这对于工作环境恶劣、运行可靠性要求很高的船舶电站控制系统尤为重要, 因此 PLC 控制的船舶电站成为目前船舶电站控制研究的热门课题。本文在对系统总体介绍的基础上, 重点提出了一种适用于 PLC 控制的船舶电站的快速、简单可靠的并车方法。

## 2 系统概况

本系统是以西门子 S7-300 型 PLC 作为核心器件, 用于三台发电机组的控制。系统中每台发电机组配置一台 S7-300 PLC、一块信号处理板, 整个系统又另配置一台 S7-300 PLC。各 PLC 的 CPU 模块均采用 CPU314, 另配置开关量输入输出模块和模拟量输入模块。机组 PLC 主要承担发电机组起、停控制, 机组故障处理, 单机调频等任务。系统 PLC 主要承担并车, 并联运行时负荷的比例分配、频率调节, 机组运行台数管理及大负荷投入管理等任务。信号处理板是现场器件与 PLC 间的媒介, 是将现场大功率信号转换成 PLC 所能接受的系统所需的开关量、模拟量信号, 如  $U$ 、 $I$  等; 并利用可获得的电量产生新的 PLC 能接收的控制系统所需信号, 如  $U$ 、 $I$ 、 $P$ 、 $f$ 、 $U_s$  等参数。系统的现场信息通过 PLC

的开关量和模拟量输入模块输入, PLC 通过输出模块输出信息对电站进行控制。

本系统所能实现的主要功能包括:

- (1) 发电机组停机状态下的预润滑;
- (2) 发电机组的自动起动控制;
- (3) 发电机组的自动并车操作;
- (4) 并联运行中功率的自动分配与电网频率的自动调整;
- (5) 发电机组运行台数管理;
- (6) 大功率负荷投入管理;
- (7) 电站机组故障的自动处理与报警;
- (8) 发电机组的解列与停机控制;
- (9) 发电机的保护。

## 3 自动并车控制

### 3.1 自动准同步并车条件

把待并发电机组准确地投入电网, 进行自动准同步并车必须满足以下三个条件: 待并机和在网机电压一致; 待并机和在网机频率一致; 待并机和在网机相位一致。否则, 在合闸瞬间将产生较大的冲击电流, 严重时将造成整个船舶电力系统崩溃, 中断全船供电。

### 3.2 自动准同步并车条件的实现

在本系统中, 并车用的差频三角波电压、待并机与电网的电压、频率等模拟量信号经信号处理板转

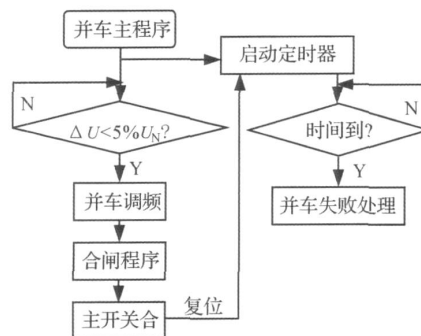


图1 并车主程序流程

作者简介: 于风卫(1972-), 男, 副教授。

换成 0~10V 的电压信号,经模拟量输入模块输入 PLC 并充分利用 PLC 的计算能力,按一定的算法经计算后得出调频及合闸指令。图 1 所示为并车主程序流程。

### 3.2.1 电压、频率条件的实现

本系统中,进入合闸程序时,待并机与电网的电压差设定为小于额定电压的 5%。对于并车的电压条件,在正常情况下,通过自动电压调整器的调整即可满足要求,因此,对于电压的调整没有加在并车装置中。若调压器发生故障,达到规定的并车时间而并车的电压条件还没有满足,则按照并车失败处理。对于并车的频差条件,调整在正频差并车,这样待并机组一投入电网即承担一定负荷,不至出现逆功率。同时,为了合闸时保证不产生大的冲击电流,又能提高并车的快速性,进入合闸程序时,待并机与电网的频率差设定在 0.1~0.3 Hz 范围内。若频差超出允许范围,系统发出待并机组加速或减速指令。图 2 所示为并车调频程序流程。

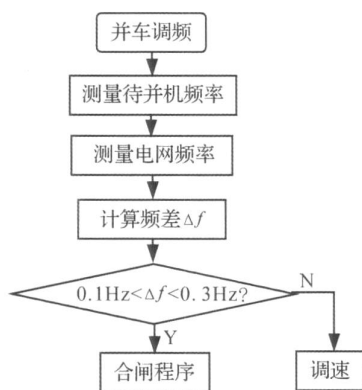


图2 并车调频程序流程

### 3.2.2 相位差条件的实现

相位差条件的检测与实现是自动并车的难点与关键所在,为了尽可能地在待并机与电网电压相位一致时准确合闸,并车时必须考虑发电机主开关固有的动作时间,并以此确定发出合闸指令的时刻,即发合闸指令应有一定的提前量。

### 3.3 差频电压的检测

本装置采用差频三角波电压来取得同相位时刻。差频三角波电压模拟量信号来自信号处理板,由硬件电路运用相位比较原理来取得。差频电压形成电路原理如图 3 所示。电网电压、各台发电机电压经降压加到差频电压形成电路,图中  $u_0$  表示电网

电压; $u_1$ 、 $u_2$ 、 $u_3$  分别表示 No. 1、No. 2、No. 3 发电机

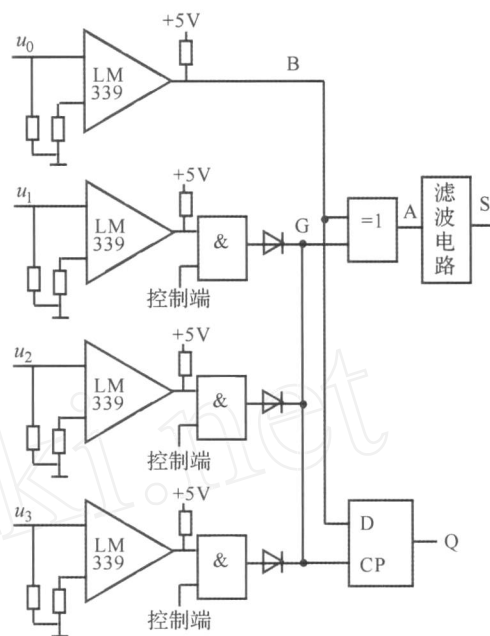


图3 差频电压形成电路原理

电压。实际选择哪一台机组作为待并机组,则是由 PLC 的软件程序来判断并通过开关量输出模块输出控制信号,经与门的控制端来实现的。假如与门的控制端加上高电平则被选中,否则不被选中。电网电压和待并机电压经电压比较器和与门转换成方波电压,这两组方波信号输入异或门进行逻辑处理,得到一组宽窄不等的矩形波,即将相位差变换成脉冲空度比,再经低通滤波电路便可得到与输入的两个信号相位差成比例的直流电平,它是一个等腰三角形电压,即差频三角波电压,它的数值与相位差角成正比。当相位差  $= 0$  时,对应的输出最小为 0 V;

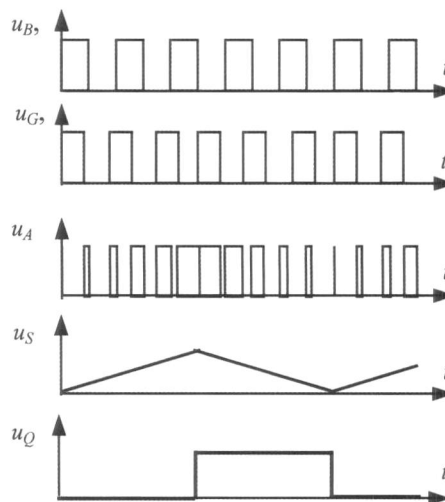


图4 差频电压形成电路中各点波形

相位差  $= 180^\circ$  时,对应的输出最大为 10V。相位角的超前与滞后是由 D 触发器的输出端来检测的,当  $Q = 1$  时表示落后,当  $Q = 0$  时表示在相位上超前。差频电压形成电路中各点波形如图 4 所示。

## 4 合闸提前量的获取

### 4.1 合闸提前量获取原理

本装置采用恒定超前时间法获取合闸提前量。当频差在允许范围内进入合闸程序时,PLC 采集差频三角波电压的模拟量值,当差频三角波电压波形在到达同相点前的  $30^\circ$  范围内时,在这一范围内运用三角形相似原理计算到达同相点的时间来获得恒定超前时间。运用相似三角形原理获得恒定超前时间的原理如图 5 所示。图中 A 点是同相点时刻,  $t_i$  为当前采样时刻,  $t_{i-1}$  为前一次采样时刻,  $T_j$  为两次采样的时间间隔,  $t$  为从当前采样时刻  $t_i$  到同相点时刻所需的时间。根据相似三角形原理可得到:

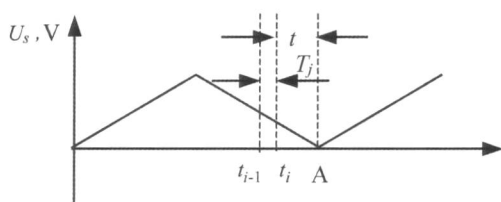


图 5 用相似三角形原理获恒定超前时间

$$t = \frac{u_i}{u_{i-1} - u_i} T_j$$

式中  $u_i$  ——本次采样所得差频电压值;

$u_{i-1}$  ——上次采样所得差频电压值。

显然,当满足  $t$  等于主开关动作时间  $T_{ACB}$  时,发合闸指令是最佳时刻。

### 4.2 合闸程序

合闸程序如图 6 所示。合闸程序中,计算  $t$  值时加入了本次采样差频电压值小于上次采样值 ( $u_i < u_{i-1}$ ) 的条件,这样可以确保在相位差逐渐减小时发合闸指令;加入  $< 30^\circ$  的条件,使  $t$  值的计算只能在相位差  $< 30^\circ$  时进行,避免了由于干扰影响,在较大相位差发出合闸指令的危险。对于  $< 30^\circ$  的检测,PLC 读取实际差频电压值与  $= 30^\circ$  所对应的差频电压值相比较而得到。对于发合闸指令的时刻,虽然  $t - T_{ACB} = 0$  时是最佳的合闸时刻,但此条件很难恰好取得,因此,当进入合闸程序第一次出现  $t - T_{ACB} > 0$  的标志即发合闸指令。合闸的最大可能时间误差是一个采样周期。在实际程序中计算的是

$t/T_j$  的值,即以采样周期  $T_j$  作为计时单位,是否发合闸指令是以本次采样时刻到同相点的时间  $t$  还有多少个扫描周期为依据。例如:采样周期为 20ms,主开关的固有动作时间是 0.1s,则在第一次出现  $3 < t/T_j < 5$  标志时发合闸指令。加入  $3 < t/T_j$  条件的目的是防止恰好接近同相点时进入合闸程序控制系统发合闸指令。

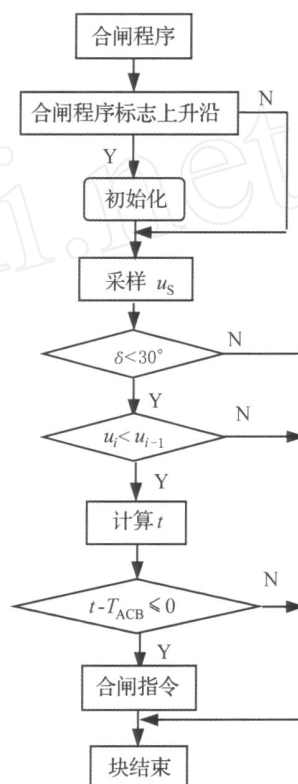


图 6 合闸程序框图

### 4.3 差频电压的采样周期

当采样周期很小时,可能出现的合闸误差增大。而采样周期太长,又不能自动跟踪差频的变化,可能出现的合闸误差会随着采样周期的增加而增加。因此采样周期必须取一个合适的数值,经综合考虑和多次试验,笔者认为取采样周期为 20ms 左右比较合理,既可得到与实际曲线趋向一致的误差最小的直线,又能自动跟踪差频的变化,可获得较高的合闸精度。此时可能出现的最大合闸误差约为 20ms,即使频差达到允许的最大值 0.5 Hz,对应的最大合闸相位差仅为  $3.6^\circ$ ,能达到足够的合闸精度。

在计时的精度方面,PLC 要比微机系统差。PLC 计时的最小时基是 10ms,且 PLC 是按扫描方式工作的,20ms 左右的采样周期若采用定时器计时很难达到要求的精度。在本并车装置中是以 PLC

的平均扫描周期作为计时单位。经实验证明,PLC在稳定运行期间,其扫描周期基本不变,可以作为PLC程序设计中的最小计时单位。PLC的扫描周期可以在运行时通过模块信息测得。用于并车的PLC应选择扫描速率较高的CPU,程序设计应合理,以保证合闸程序运行期间尽量缩短扫描周期及保持扫描周期的恒定。笔者所选PLC的CPU模块为CPU314,其扫描速率为每千步指令0.3ms,合闸程序运行期间测得的PLC扫描周期为5ms,在程序中每四个PLC扫描周期采样一次差频三角波电压值。

## 5 结束语

此并车方法经反复试验运行,工作可靠,合闸精度高。此方法经我院电站实训室实际运行证明,工

作稳定,切实可行。以PLC平均扫描周期作为计时单位的计时方法,在我院电站实训室PLC控制的电站点火转速的检测中得到实际应用,经几年运行证明,此种计时方法是可行的。

## 6 参考文献

- 1 姜锦范.船舶电站及自动化.大连:大连海事大学出版社,2005.
- 2 于风卫.基于PLC的船舶电站自动控制系统的研究:[学位论文].大连:大连海事大学,2006.
- 3 SIEMENS. S7-300 Programmable Controllers Module Specifications Reference Manual. 2001.
- 4 姜锦范.船舶电站的PLC控制系统.青岛远洋船员学院学报,1998,19(2):74
- 5 杨国豪,王恒,华增芳,等. PLC船舶电站自动准同步并车装置.航海技术,2000,(5):49

[上接第22页]

## 4 效果检验

采用了新方法后,弯头放样工时所占比例由18%下降到5.8%,大大地提高了效率,见表2。而且利用电脑计算,把误差精确到0.1mm,从而大大降低了误差。

表2 制作一个直径为540mm的完整弯头工时对比

	总工时 (h)	放样工时 (h)	放样工时所占比例 (%)
改进前	10	1.8	18
改进后	8.5	0.5	5.8

经过一段时间的试用,对改进后的情况进行了调查统计,与改进前对比有明显提高。按目前在造

的1700TEU集装箱船来计,每艘船的主、辅机的排烟管、货舱的通风管、机舱的风管、焚烧炉间排烟管等,它们的制作工时是在5000工小时左右,即每艘船可节省工时: $5000(\text{总工时}) \times 70\%(\text{弯头占用工时}) \times (18\% - 5\%) = 455$ 工时。

在误差方面,计算机计算出来的结果可以精确到0.1mm。正是因为放样误差降低了,也为弯头后续装配工序节省了时间,使得装配更为顺利,也缩短了造船周期,在不增加生产投入的前提下,达到了某厂大批量造船的需求。

## 5 参考文献

- 1 上海市造船局编写组.船体放样.上海:上海科学技术出版社,1978.
- 2 杨皓.ASP步步高.北京:机械工业出版社,2000.

祝福奥运 祝福中国  
祝奥运会圆满成功