

# 锁相型自动准同期控制

陈永亭 清华大学电机系 (100084)

肖铭进 清华大学110kV变电所 (100084)

刘俊宏 北京许继电气公司 (100085)

**【摘要】** 利用锁相环路原理提出锁相自动准同期控制方案。文中指出,实现该方案的关键是研究一种适用于进行相位差反馈控制的相角检测器,并提出了这种相角检测器的原理。

**【关键词】** 锁相环路 准同期 相角检测器

在电力系统中准同期并列三个条件为1)待并发电机电压与母线电压幅值相等。2)待并发电机频率与母线频率相等。3)主开关触头闭合瞬间,待并发电机电压与母线电压间的相角差为零。过去常用的“恒定超前时间自动准同期控制法”,虽然优点多,但原理和结构比较复杂。所以本文利用无线电通讯技术中锁相环路技术的概念,可在自动准同期过程中对发电机频率和机端电压进行控制的同时,对相角也进行控制。以实现主开关快速、而冲击更小的自动准同期合闸。

## 1 锁相环路原理

锁相环路是一个闭环的跟踪系统,它能够跟踪输入信号的相位和频率。它跟踪固定频率的输入信号时没有频差,跟踪频率变化的输入信号时精度也很高。从本质上讲,锁相环是一个相位负反馈误差控制系统。它由鉴相器(PD)、环路滤波器(LPF)和压控振荡器(VCO)三部分组成其原理框图见图1。

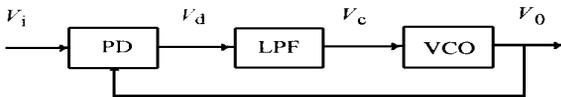


图1 锁相环路原理

鉴相器是把输入信号  $V_i$  的相位与压控振荡器输出信号  $V_o$  的相位相比较得出两信号相位差  $e(t)$  所产生的差电压  $V_d$ ; 环路滤波器是一个低通滤波器,滤掉误差电压中的高频成分;压控振荡器是一个电压—频率转换器。从框图中可以看出,当存在相位差 ( $V_d \neq 0$ ) 时通过闭环控制使  $V_o$  频率变化,最终使相位差  $e(t)$  满足:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{d e(t)}{dt} = 0 \quad (n \text{ 为正数})$$

$$e(t) - 2n = 0$$

严格地讲满足相位锁定是不可能的,一是时间

要无限长。二是考虑到干扰,上式永远也不可能满足。在工程中,只要从时间  $t_0$  开始到时间  $t_a$  满足下式:

$$\left| \frac{d e(t)}{dt} \right| < \epsilon$$

就认为环路进入了相位锁定。

式中:  $\epsilon$  为工程上允许的频率误差与相角误差值。由  $t_0$  到  $t_a$  的相位调节过程称为环路的捕捉过程。

对发电机自动准同期锁相控制中,发电机的调速系统及发电机等效于压控振荡器,因此关键在于相角差的获得。

## 2 相角检测器的原理

相角检测器的任务是测量母线电压和发电机机端电压之间相角差,并通过一周周期性变化的直流输出电压反映出相角的变化。从反馈控制的角度出发,希望相角检测的测角特性是连续的;从自动准同期控制的角度出发,希望相角检测的特性仅当  $\delta = -360^\circ, 0^\circ, 360^\circ$ , 即母线电压与机端电压相位相同时  $u_d = 0$ , 综上所述对测角特性要求,可推导适于进行相位反馈控制的理想测角特性为:在  $-360^\circ \sim 360^\circ$  之间连续,在  $-180^\circ \sim 180^\circ$  之间线性,且仅当  $\delta = -360^\circ, 0^\circ, 360^\circ$  时  $u_d = 0$  见图2。

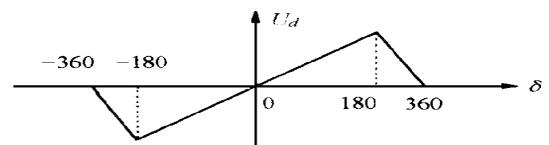


图2 测角特性

本文为实现理想测角特性所提出的相角检测器原理框图见图3。

其中电压比较器的作用是将50Hz的母线电压

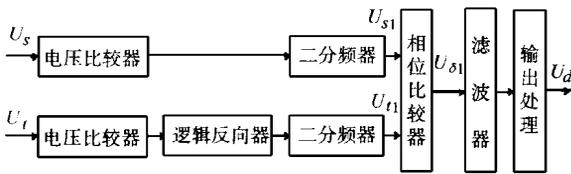


图3 相角检测器原理图

和机端电压的正弦波信号转换成 50Hz 的同相位方波信号,然后再将两方波信号经过二分频后送入相位比较器进行比较,相位比较器是用或门来实现,其逻辑关系为:

$$U_{\delta 1} = U_{s1} \cdot \bar{U}_{t1}$$

其输出信号是 25Hz 的脉冲,设脉冲高电平为 +15V,再利用滤波器和输出处理得到:

$$U_d = (15 \cdot \frac{t_H}{T} - 3.75) \cdot 2 \quad (V)$$

式中  $T$  和  $t_H$  为周期和高电平时间。

### 3 锁相准同期的实现

在自动准同期过程中,对机组频率的调节只有几赫兹,所以调频和调相控制对电压的影响不大,因而可将调频和调相控制与调压控制分成两个独立的控制。又因调相就是通过改变频率而实现,故可将调频和调相合为调频调相控制,只不过是各自调节规律不同而已。

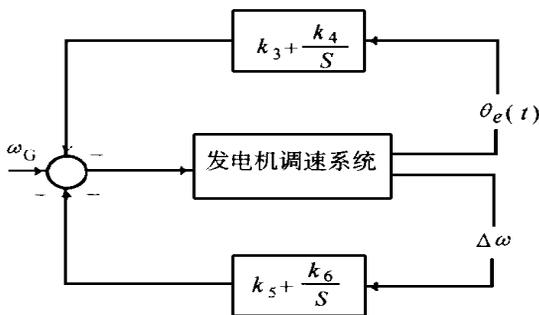


图4 调频调相控制框图

## PHASE - LOCKED AUTOMATIC ACCURATE SYNCHRONIZATION CONTROL

Chen Yongting (Electric Department of Qinghua University, Beijing, 100084, China)

Xiao Mingjin (110kV Power Substation of Qinghua University, Beijing, 100084, China)

Liu Junhong (Beijing XJ Corporation, Beijing, 100085, China)

**Abstract** An automatic accurate synchronization control scheme which adopts phase locked loop principle is presented. This paper points out the key to realise the scheme is to develop a phase angle detector which is available for feedback control of phase difference, and gives out the principle of the phase angle detector.

**Keywords** Phase locked loop Accurate synchronization Phase angle detector

1) 调频调相控制:因调频是使机组的频率与母线电压频率相同,而调相是使机组电压的相位与母线电压的相位相同,是两个不同的概念,因此利用两个反馈来实现,见框图 4。

2) 调压控制:因调压控制目前已发展成熟,在此不加以讨论,其框图见图 5。

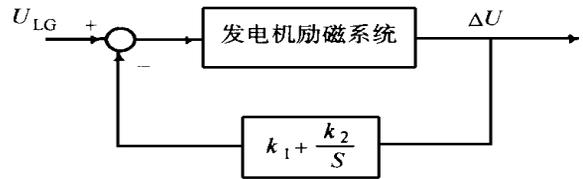


图5 调压控制框图

在控制规律中采用比例—积分负反馈方式是为实现稳定无差。另外限制调压控制对机端电压调整范围,为限制调相和调频控制对机组频率调节范围分别加以限幅。

为了验证锁相自动准同期控制方案可行性,在电机动态模拟实验室进行模拟试验,试验结果说明方案完全可行。

### 参考文献

- 1 郑大钟. 线性系统理论. 清华大学出版社,1990,3.
- 2 浙江大学. 电力系统自动化. 电力工业出版社,1980,12.
- 3 张冠百. 锁相与频率合成技术. 电子工业出版社,1990,8.
- 4 万心平. 集成锁相环路—原理、特性、应用. 人民邮电出版社,1990,12.

收稿日期:1998—07—13

陈永亭,男,1960年生,研究方向为电力系统及其自动化。

肖铭进,男,1962年生,工程师,现从事电力系统专业技术工作。

刘俊宏,男,1969年生,博士,研究方向为电力系统及其自动化。