

新型微机自动准同期装置设计

郭 建¹,周 斌^{1,2}

(1. 国电南瑞科技股份有限公司,江苏 南京 210003;

2. 东南大学 电气工程系,江苏 南京 210096)

摘要: 同期并列操作是发电厂频繁而又重要的操作,介绍一种新型的智能微机自动准同期装置,它采用具有 DSP 功能的新一代单片机为控制核心,快速准确地完成发电机并网操作;采用 PID 控制方法对发电机进行调频调压;具有多重软硬件闭锁功能;具有全数字仿真调试功能。

关键词: 自动同期; PID 调节; 闭锁; 仿真

中图分类号: TM 76

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2005)08-0077-04

同期并列操作是电力系统中频繁而又重要的操作,它要求快速、准确。准确就是要在两侧电压近零角度时合闸,减少对电气设备的冲击;快速就是最好在第一个近零角度时合上开关,减少发电机空转的资源浪费。随着单片机技术的发展,微机自动准同期装置智能化水平也越来越高。本文介绍一种以 80296SA 为核心处理器的微机自动准同期装置。

1 设计原理

1.1 准同期并列基本条件

- a. 发电机电压与系统侧电压应接近相等,误差不应超过 5%~10%。
- b. 发电机频率与系统侧频率应接近相等,误差不应超过 0.2%~0.5%。
- c. 发电机电压与系统电压相相差接近零度时,断路器触头刚好接通^[1]。

1.2 同期合闸原理

本装置采用恒定导前时间同期原理,在断路器两侧电压的相角差为零之前的一定时间发出合闸信号,当断路器的主触头闭合时,断路器两侧电压的相角差为零。从同期装置发出合闸信号到断路器主触头闭合所经历的时间为断路器的合闸导前时间,主要包括出口继电器动作时间和断路器合闸时间。每个同期开关合闸导前时间均可以由定值设定。装置根据合闸导前时间和合闸点两侧电压的滑差变化率计算出合闸导前相角,装置在此导前相角发出合闸信号,同期合闸导前相角可由下式得出:

$$\theta_{dq} = 2\pi \Delta f t_{dq} + \frac{1}{2} \frac{2\pi d\Delta f}{dt} t_{dq}^2 \quad (1)$$

式中 θ_{dq} 为导前角; Δf 为开关两侧频差; t_{dq} 为合闸导前时间; $2\pi \Delta f$ 为计算点的滑差角速度,其计算方法如下:

$$2\pi \Delta f = \Delta \delta_i / \Delta t = (\delta_i - \delta_{i-1}) / \Delta t \quad (2)$$

式中 δ_i 和 δ_{i-1} 为相邻两计算点的相角值; Δt 为两计算点间的时间。

同期装置在进行本点 δ_i 计算时,同时对下一点的 δ_{i+1} 进行预报,预测最佳合闸导前角是否介于两者之间,在到达最佳合闸角度时发出合闸信号,进行快速准确同期,确保断路器合闸瞬间,两侧电压相角差接近于零,此时对电网冲击最小^[2]。

1.3 调节原理

装置对发电机的电压和转速的调节采用比例、积分、微分(PID)调节原理,实时跟踪发电机进行调节。以系统电压(或频率)为目标,发电机实际输出为反馈,进行 PID 计算,得出调节量,并生成变频变宽的调节脉冲控制一次调节器执行增减,是一种数字闭环控制系统。PID 控制结构如图 1 所示。

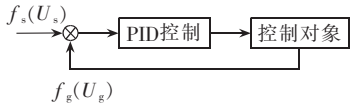


图 1 PID 控制器
Fig.1 PID controller

其连续表达式为

$$P = K_p \left(e + \frac{1}{\tau_i} \int e dt + \tau_d \frac{de}{dt} \right) \quad (3)$$

式中 e 为目标值与反馈值偏差量,本装置为 $U_s - U_g$ (或 $f_s - f_g$); τ_i , τ_d 分别为积分和微分时间常数; K_p 为比例系数。

PID 控制即比例-积分-微分控制中的比例项用于纠正偏差;积分项用于消除系统的稳态误差;微分项用于减小系统的超调量,增加系统稳定性。PID 控制的性能就决定于 K_p , τ_i , τ_d 这 3 个系数。本装置对于不同的发电机组,这 3 个系数均可通过试验来整定^[3]。

1.4 同期合闸闭锁

同期操作不当会对电网造成很大冲击,甚至造成系统振荡,为了确保系统安全稳定运行,装置采用

多种闭锁定值限制同期合闸。当断路器两侧有较大的电压差时,合闸后会产生较大无功性质冲击电流,装置设置电压差闭锁定值,同期时若电压差不满足条件,则自动发出调压脉冲进行调节。装置在频差较大时导前相角的预测误差将增大,此时合闸可能会引起较大的冲击电流;另外,在两侧频差较大的情况下,即使合闸时的相角差满足要求,发电机也会经历一个剧烈的暂态过程才能进入同步运行状态;同时在频差变化率较大时,发电机的频率不稳定,也会影响同期合闸越前相角的预报,因此,装置设置频差和频差变化率闭锁定值,在频差不满足条件时,自动发出调速脉冲进行调节。

2 硬件结构

2.1 概述

本装置采用 INTEL 公司生产具有 DSP 功能的新一代 16 位单片机 80296 SA^①为核心处理器,配以高精度交流变换器,准确快速的交流采样以及先进的计算技术,准确测出开关两侧电压、频率及相角差;输入/输出全光电隔离,采用进口密封中间继电器作为合闸输出和同期电压切换。系统按照组成原理大致可分为单片机系统、输入、输出、存储和记录、显示、通信、打印等 7 个部分。

装置的硬件组成结构如图 2 所示。

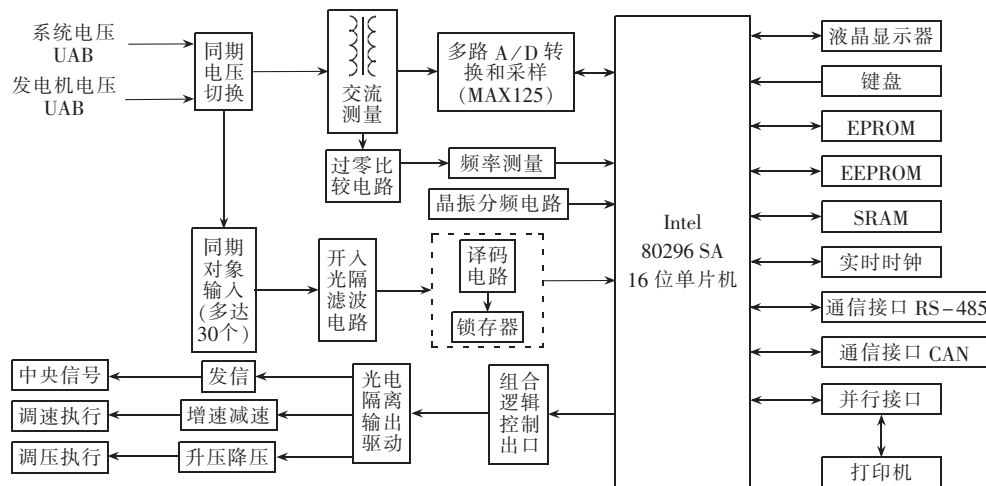


图 2 微机自动准同期装置硬件电路框图

Fig.2 The hardware block diagram of automatic quasi-synchronization device

2.2 单片机系统部分

单片机系统主要有 CPU、程序存储器 EPROM、数据存储器 SRAM、通信功能(包括 CAN 和 RS-485)、多路 A/D 采样和并行口等组成。为满足同期快速准确要求,装置设计中采用了 80296 SA 单片机。其集成了数字信号处理(DSP)技术,适合数学运算和同期点预报计算。80296 SA 本身具有 6 个片选信号,不需要专用可编程逻辑阵列(EPLD)即可进行 I/O 的扩展。内部事件的处理阵列 EPA(Event Processor Array),它能自动记录输入事件发生的时间,在内部时钟 16 MHz 情况下,最小分辨率可达 0.5 μ s。

2.3 输入部分

输入部分包括两个方面,即模拟量输入测量部分和开关量输入部分。

对于模拟量输入部分,同期装置取自同期开关两侧电压(可以为单相电压,也可以是线电压,每个电压有两路独立 A/D 通道进行测量),交流信号经互感器隔离变换后,再经滤波电路滤波,输入 A/D 转换电路进行电压幅值计算。装置采用带有同步采样保持功能的 14 位高速 A/D 转换器 MAX 125,保

证数据采集速度和精度。开关两侧同期电压(一般取同名电压),经过整形电路转换为方波信号,输入至 80296 SA 的 EPA 端口,80296 SA 的事件处理阵列(EPA)将自动记录方波上升沿和下降沿的时间,进行频率和相角差的测量与计算。如图 3 所示,只要测得连续 2 个方波上升沿或下降沿的时间,即可计算出方波周期及频率,并且根据系统侧 TV 和发电机侧 TV 的方波,可以计算出实际角度、滑差变化率等参数。

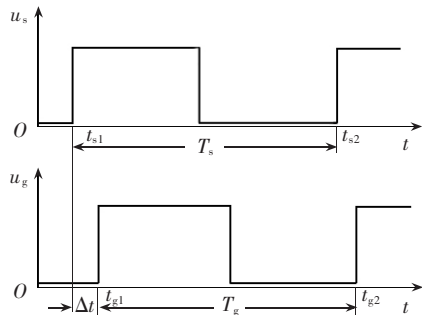


图 3 频率和相角测量图

Fig.3 The frequency and angle measurement

① 80296SA Microcontroller User's Manual, Intel Corporation, September 1996.

若系统电压 u_s 连续方波上升沿时刻为 t_{s1} 和 t_{s2} , 发电机电压 u_g 连续方波上升沿时刻为 t_{g1} 和 t_{g2} , 则有

$$\begin{aligned} T_s &= t_{s2} - t_{s1}, & f_s &= 1/T_s \\ T_g &= t_{g2} - t_{g1}, & f_g &= 1/T_g \\ \Delta f &= f_s - f_g, & A_\theta &= d\Delta f/dt \\ \theta &= 2\pi(t_{g1} - t_{s1})/T_s \end{aligned}$$

式中 T_s, f_s 分别为系统周期和频率; T_g, f_g 为发电机周期和频率; Δf 为频率差; A_θ 为滑差变化率; θ 为相角差。

这样, 装置每隔半个工频周期便完成实时频率、频差、滑差变化率和相角的测量。

对于开关量输入部分, 装置作为同期对象选择信号, 可支持多达 30 个同期对象。对每个同期对象, 装置软件均提供一套相应的独立参数, 这样在不同对象进行同期并列时, 可自动调用相应的定值参数。装置采用隔离滤波和延时去抖的判别方法正确判别同期输入对象。

2.4 输出部分

装置输出部分包括信号输出、合闸输出和调节输出 3 个部分。其中信号输出包括电源消失、装置异常、合闸方式(有压或无压)等几种情况, 均是无源空接点, 可作为遥信上传。合闸输出部分可直接带合闸线圈出口, 也可以通过保护操作箱带合闸线圈出口; 合闸接点可根据需要配置带保持功能的接点。调节输出部分包括发电机增速、减速、升压和降压 4 种调节出口, 调节出口分为空接点输出和模拟量输出, 可根据不同的发电机灵活配置, 其中模拟量输出可通过 80296 SA 单片机的 PWM 口实现。

2.5 存储和记录部分

装置采用串行通信芯片 93C 64 存储定值, 该存储芯片在进行写入前必须输入一定的特征码, 这样可以有效地防止程序跑飞而误改定值或装置开关电源时定值被改写, 确保了定值的可靠性。装置采用具有高精度内部时钟的 RAM 芯片 DALLAS1644 存放调节和合闸记录, 准确记录调节与合闸的时间和详细的测量数据, 可检索多达 128 条数据记录, 并且所有数据记录在装置掉电时不会丢失。

2.6 显示部分

装置采用大屏幕汉字液晶显示器, 菜单设计简明清晰, 人机界面友善, 利用键盘操作可方便查看实时数据、定值修改和数据记录检索等操作。装置可通过专用串行口将一次系统接线图下装到装置中, 可最多存储 8 页图片, 非常方便现场人员调试和维护。

2.7 通信部分

装置支持 RS-485 和 CAN 网 2 种通信方式。RS-485 通信方式中波特率 1 200~19 200 bit/s 均可设置; CAN 通信方式最大可设置为 500 kbit/s。通信规约支持部颁 CDT 或其他协议规约。利用通信可完全实现与远方互连, 实现远方同期操作、记录检

索和定值读写等功能。

2.8 打印部分

装置可通过标准并行口外接打印机, 可进行诸如实时数据、定值参数、合闸报告、调节过程数据、装置自检等多方面数据的打印记录, 便于查看和存档检索。

3 软件设计

装置软件主要包括主程序和中断处理 2 个部分。装置采用每个周期 32 点交流采样, 每隔 0.625 ms 完成一次采样中断, 进行采样和同期功能判断。装置采用恒定越前时间的检同期合闸原理, 其具有完备的同期闭锁功能和准确的机组调节功能, 其中断处理软件框图如图 4 所示。

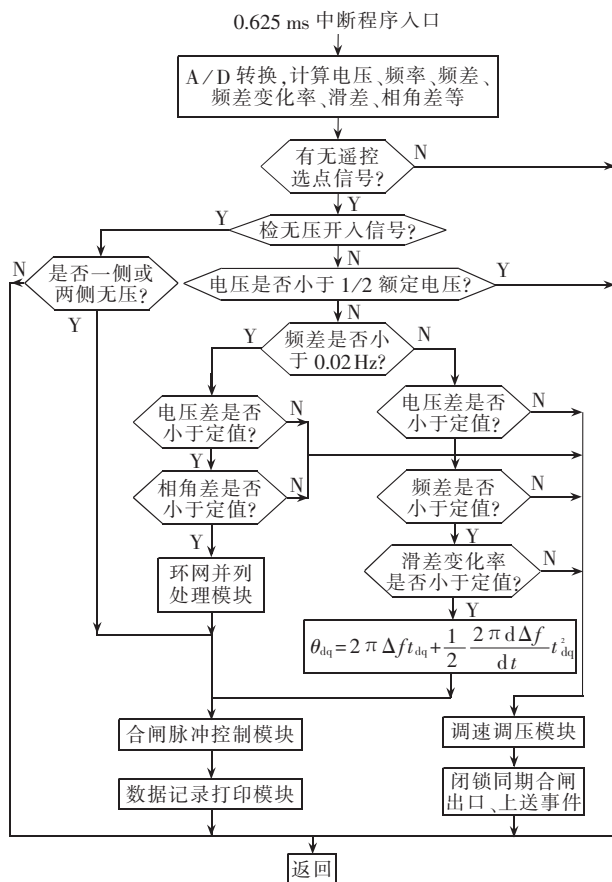


图 4 装置同期功能软件框图

Fig.4 The software block diagram of synchronization function

4 主要特点

4.1 先进性

装置核心部件采用 16 位 80296 SA 单片机, 其运算快速、精确, 可以保证同期合闸角的精确计算。装置软件设计中采用同期点预报原理, 可以确保在第一次同期机会到来时进行准确同期。装置对发电机的调节采用 PID 调节原理, 其原理先进, 调节均稳, 方便发电机组的快速和安全同期。

4.2 高可靠性

装置在硬件设计中,首先考虑了同期合闸的可靠性。在同期合闸输出部分采用双系统接点经过与逻辑输出控制方法,即系统中对同期合闸输出控制采用2个部分。

a. 纯硬件电路实现的角度闭锁和限制接点部分;另外就是微机的纯数学运算控制输出接点部分。2个接点通过与逻辑方式控制装置内部合闸继电器,实现同期合闸。其独特方式可以保证同期合闸的绝对安全可靠。

b. 装置采用多重闭锁和限制措施保证同期合闸的可靠。闭锁主要有压差闭锁、频差闭锁、频差变化率闭锁和相角差闭锁4种类型。这些参数用户均可以根据情况进行整定,同期判别时,若其中任意一项不满足定值条件,则装置拒绝同期合闸,并且通过汉字液晶屏幕显示,也可以通过通信上送管理中心。

众多措施与方法均可确保同期过程安全可靠。

4.3 灵活性和适应性

装置硬件采用总线背板技术和模块化设计思想,使功能扩展尤为灵活方便。同期点和调节点的扩充只需增加相应的模块,而不需要更改其他硬件和软件,并且相同模块可互相更换,互为备用。装置采用大屏幕汉字液晶显示技术,可通过测试口将一次系统接线图下装至装置,也可以将同期过程中的实时数据动态显示。通过显示面板和键盘,可以设置多达30组同期参数。所有对象的同期参数和同期记录等均可方便地查阅,也可以打印出来,方便运行和维护人员的使用。在二次回路设计中,经常会碰到同期开关两侧电压由于接线方式不同而造成电压幅值差和相角差的情况(Y/△接线方式主变开关同期时便如此)。过去设计人员只能采用转角变压器或幅值变压器进行补偿,不仅增加硬件成本,而且设计也不方便。针对这种情况,装置在软件中设计了电压和相角补偿功能,可支持任意电压和角度的补偿。同时装置不仅适用于发电机的同期并列操作,而且也适用于线路开关的同期并列操作。装置自动识别开关状态,可进行开关有压、无压和电网环并合闸。利用通信接口,很方便进行远方同期操作。诸多特点极大地提高装置的灵活性和广泛的适应性。

4.4 开关导前时间的测量

导前时间指的是装置出口到断路器真正合闸的所有动作时间。它的准确获得直接关系到同期导前角的准确性。常规方法是通过开入量的方式,即通过接入断路器的辅助接点,计算发出合闸令到该信号变位的时间。该方法思路直接,容易实现,大部分同期装置便是采用了这种测量方法;但是,当断路器合上的时刻与辅助接点变位不一致的时差会引入

误差,另外若接点抖动也影响精度。因此,又设计出另一种测量方法,即利用电气量的反馈作为测量依据。开关合上时,开关两侧电气量有如下特征:电压差为零、频率差为零、相角为零,考虑TV测量误差,电压差可允许一个较小的数值,本装置采样速率能达到32点/周期,时间分辨率约为0.6ms,可以满足要求。该方法物理概念明确清晰:从同期装置合闸出口时刻到变为电气量相同(而不是辅助接点变位)时刻,这个过程时间为真正合闸时间。但是,这种测量方法在开关进行无压操作时无效,因此在工程中这两种测量方法均同时采用,无压合闸时(例如开关传动试验)时采用前一种测量方法,真正有压并列时采用后一种测量方法。装置均可以准确记录开关合闸时间。这2种测量方法互为补充,由运行人员参考并进行参数修正。

4.5 纯数字仿真调试功能

为了方便运行和调试人员使用和维护,装置设计了一套完备的调试软件,不需借助专用试验仪器,也不需要外加任何模拟量,便可完全模拟发电机的各种运行状态,进行自动调速和调压试验。进行仿真测试时,只需输入调试定值和密码即可,同时同期过程中实时数据和状态可以通过通信口在计算机上显示,非常方便运行人员进行操作培训。

参考文献:

- [1] 许正亚. 电力系统自动装置[M]. 北京:电力工业出版社,1980.
- [2] 周 斌,鲁国刚. 具有检同期合闸功能的变电站测控装置[J]. 电力自动化设备,2004,24(1):91-93.
ZHOU Bin,LU Guo-gang. Substation measuring and control device with synchronization function[J]. **Electric Power Automation Equipment**,2004,24(1):91-93.
- [3] 胡寿松. 自动控制原理[M]. 北京:国防工业出版社,1998.
- [4] 钱 晟,汪福明,黄立军. 智能双微机自动准同期装置的设计[J]. 电力系统自动化,1999,23(14):48-50.
QIAN Sheng,WANG Fu-ming,HUANG Li-jun. The design of intelligent dual-microcomputer automatic synchronization device[J]. **Automation of Electric Power Systems**,1999,23(14):48-50.

(责任编辑:柏英武)

作者简介:

郭 建(1975-),男,江苏宿迁人,助理工程师,主要从事变电站自动化设备的研究和开发工作(E-mail:guoj@naritech.cn);

周 斌(1970-),男,江苏南京人,工程师,硕士研究生,主要从事变电站自动化设备的研究和开发工作(E-mail:zhou@naritech.cn)。