

基于双处理器的自动准同期装置设计

邓振利^{1,2}, 姜杰¹, 唐昆明¹, 汪志彬³

(1. 重庆大学, 重庆 400044; 2. 宜宾学院, 四川 宜宾 644007;

3. 重庆新世纪电气有限公司, 重庆 400030)

摘要: 电力系统运行中发电机的并网操作是一项基本的操作,它在操作准确、并网迅速的前提下,要求有极高的可靠性与稳定性来保证安全。论述了在双处理器(一个工作,另一个处于热备用的运行模式)的基础上实现的自动准同期装置,采用硬件冗余技术保证高可靠性;应用线性插值算法预测来自动捕捉合闸时机,能实现高精度、快速、可靠、平稳的并网操作。装置主要用于要求可靠性高且并网速度快、同期精度高的场合,如较大(100 MW 以上)发电机的同期合闸操作,具有较好的应用前景。

关键词: 双处理器; 准同期; 冗余技术; 线性插值

中图分类号: TM761; TP272 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2006)21-0046-03

0 引言

电力系统运行中发电机的并网操作是一项基本的操作,它在操作准确、并网迅速的前提下,要求有极高的可靠性与稳定性来保证安全。现有的微机准同期装置多为 8 位或 16 位单片机单 CPU 模式^[1],少数采用了双 CPU 分工协作模式^[2],在同期过程中主处理器一旦出现故障则无法实现发电机的成功并网,还可能导致严重的事故发生。本文介绍基于双处理器的自动准同期装置,它确保了硬件高可靠性与并网稳定性,能准确计算频差、相位差,应用线性插值算法^[3]预测相角差来自动捕捉合闸时机能更加精确地确定合闸提前时间,使用自适应控制技术对发电机电压和频率进行调节一步到位。在待并两侧压差合格,频差合格,整定的提前时间与断路器机械动作时间相吻合的情况下,实现快速无冲击合闸。

1 准同期的基本原理

并网的理想条件为待并发电机和电网两侧电压的 3 个状态量全部相等,即待并发电机频率与系统频率相等;发电机电压与母线电压幅值相等;相角差为零^[4]。但实际并列操作中,并列的条件允许有一定的偏离。本文介绍的同期装置在同步发电机和电网按准同期方式并列操作时,必须满足下述 3 个条件:(1)待并发电机电压 U_G 与系统电压 U_X 的电压差 $U_s = U_G - U_X$ 应小于允许值,即 $U_s \leq 0.5\% U_X$;(2)待并发电机电压频率 f_G 与电网电压频率 f_X 的频率差 $f = f_G - f_X$ 应小于允许值,即 $f \leq 0.1 \text{ Hz}$;(3)在并列断路器主触头闭合瞬间,发电机与电网

的电压相位差应小于允许值,即 $\delta \leq 1^\circ$ 。在实现时,利用高性能的 16 位单片机 M306 实时采集发电机和电网并列的所需信息,并对待并发电机的电压和频率做出自动调节,使得发电机与电网的电压幅值差、频率差能同时满足并列条件,然后快速捕捉合闸时机,在脉动电势到达两电压向量重合之前一定时间(越前时间)发出合闸指令,实现准同期自动并列操作。

2 硬件结构概述

2.1 装置结构框图

本装置采用 FFT 算法求出电压幅值,得出电压差;通过硬件测频电路计算出电压的频率,从而得到频差;利用两路电压比较电路,把发电机和电网的交流电压信号变换为与它们同频率的方波信号,然后将这两个方波信号通过 PLC 进行异或,异或输出信号的宽度反映了两交流信号相角差的变化情况。因此,通过用异或信号宽度计数就能知道两交流信号的相角差。对发电机机端电流的检测可以监视断路器合闸时发电机的冲击电流,硬件中还有人机接口、远方控制接口、开入和开出控制量。

整个装置采用日本三菱 M306 型 16 位单片机,构成总线不出芯片系统,完成单元的全部功能,包含显示功能。扩 2 片 24LC64 E2PROM,1 片 SPR4096 存储芯片并设时钟;A/D 采用 8 通道 12 位 A/D 芯片 MAX197 加一片 8 选 1 电子开关 MAX308,利用其 3 个通道变换母线电压、线路电压和电流,用 3 个通道变换系统侧相电压(作判 PT 断线用),3 个通道作待并侧 3 个相电压或熔丝前电压(作判 PT 断线

用),另一通道作自检;通信接口有 CAN、RS-232/RS-485,以太网接口用 DM9000 以太网控制芯片。装置硬件原理图如图 1 所示。

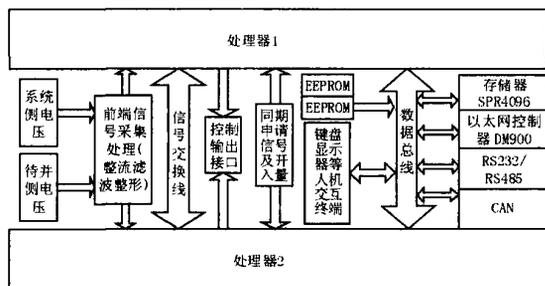


图 1 装置原理图

Fig 1 Block diagram of the device

2.2 CPU 运行模式

两个处理器,一个工作,另一个处于热备用的运行模式构成装置的硬件冗余。工作处理器运行全部程序,而备用处理器仅运行输入的相关程序(包含读入全部开关状态及各种键盘命令、定值输入等),屏蔽全部输出(控制输出、显示器及指示灯驱动)。为保证两个 CPU 模块正常运行时,相互监视,设置两 CPU 间必要的信号交换线,主要有以下几个相互交换的信号:CPU 号的确定信号;闭锁备用 CPU 输出信号;CPU 运行方式脉冲;CPU 正常运行信号。每个 CPU 在其工作正常时,由一条口线输出一个脉冲信号,送到另一个 CPU 的开入口线,以实现两个 CPU 的相互监视。当备用 CPU 故障时,工作 CPU 读不到备用 CPU 的输出脉冲,则报备用 CPU 故障信号;如工作 CPU 故障,备用 CPU 读不到脉冲,则报工作 CPU 故障并发切换信号,将备用 CPU 切换到工作状态。

2.3 CPU 工作方式切换

工作处理器、备用处理器可经键盘命令、通信命令相互切换。在工作处理器故障时备用处理器立即自动投入工作运行方式。为实现工作处理器故障时自动切换,两个处理器均由某一口线输出工作方式脉冲、工作处理器和备用处理器工作方式脉冲的频率不同或占空比不同。这个脉冲送到另一个处理器的开入端,当工作处理器脉冲消失(或占空比改变)时,表示工作处理器故障,备用处理器立即投入工作运行并输出工作脉冲,原工作处理器恢复正常后,自动处于备用方式。当单片机系统工作于备用方式时,与上位机通信的内容与工作方式下相同,只是在接收到有关操作的命令时,不进行操作,只监视操作过程,并将监视所采集的有关数据信息上传给上位

机。

2.4 硬件冗余可靠度与平均无故障时间计算

在基于双处理器的硬件冗余系统下,若每一分路的可靠度为 $R_b(t) = e^{-t}$,对于两装置构成的备用系统其可靠度为:

$$R_b(t) = e^{-t} \sum_{j=0}^{n-1} \frac{(t)^j}{j!} = R_b(t) = e^{-t} (1 + t)$$

平均无故障时间(MTBF)为:

$$MTBF = t_p = \int_0^{\infty} R_b(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-t} (1 + t) dt = \int_0^{\infty} e^{-t} dt + \int_0^{\infty} te^{-t} dt = \frac{2}{1}$$

因此,构成的备用系统其可靠度提高了 $(1 + t)$ 倍,而 MTBF 增加到 2 倍。

3 软件设计

3.1 利用线性插值算法捕获合闸时机

数字式自动准同期并列装置按下式计算理想的导前合闸相角 δ_k ,它可以计及含有加速度的情况:

$$\delta_k = \delta_s \delta_k + \frac{1}{2} \frac{d}{dt} \delta_s^2 \delta_k \quad (1)$$

式中: δ_k 为断路器合闸时间; δ_s 为计算点的滑差角速度,其值可按下式求得:

$$\delta_s = \frac{\delta_i - \delta_{i-1}}{t} = \frac{\delta_i - \delta_{i-1}}{2x} \quad (2)$$

式中: δ_s 为第 i 个计算点的滑差角速度; δ_i 和 δ_{i-1} 分别为本计算点和上一计算点的角度差值; x 为系统电压方波的宽度, $2x$ 为两计算点间的时间。

为保证在第一个滑差周期内完成同期并网操作且保证合闸角小于 1° ,采用线性插值算法预测同期时刻,具体操作如下:

1) 当压差和频差都满足允许值后,且相角差处在 $180^\circ \sim 360^\circ$ 区间,根据计数器的值分别计算 δ_{i-1} 和 δ_i 。

2) 按照式(2)、(1)分别计算出 δ_s 和 δ_k ,在误差允许范围内简化由式 $\delta_k = \delta_s \delta_k$ 计算出 t_{i-1} 和 t_i ,构造线性插值函数如下:

$$\delta_{i+1} = \delta_i + \frac{\delta_i - \delta_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} (t_{i+1} - t_i) \quad (3)$$

把 $t_{i+1} = t_i + (t_i - t_{i-1})$ 代入上式中预测出下一计算点的 δ_{i+1} ,判断是否有 $\delta_{i+1} > \delta_k$,若是则转 1) 重新开始,若不是则继续向下进行。

3) 把 δ_k 代入公式(3)的左边,求出 t_{i+1} ,表明从第 i 计算点开始延时 $(t_{i+1} - t_i)$ 的时间发合闸脉冲,可以使在相角差为零的时刻断路器合闸并网。

在整个过程中, 监视 f , 如 f 变化较大, 甚至反符号, 则返回重新计算合闸提前角 t_k 及预测延时时间 $(t_{i+1} - t_i)$ 。

3.2 同期子程序

同期子程序流程图如图 2 所示。

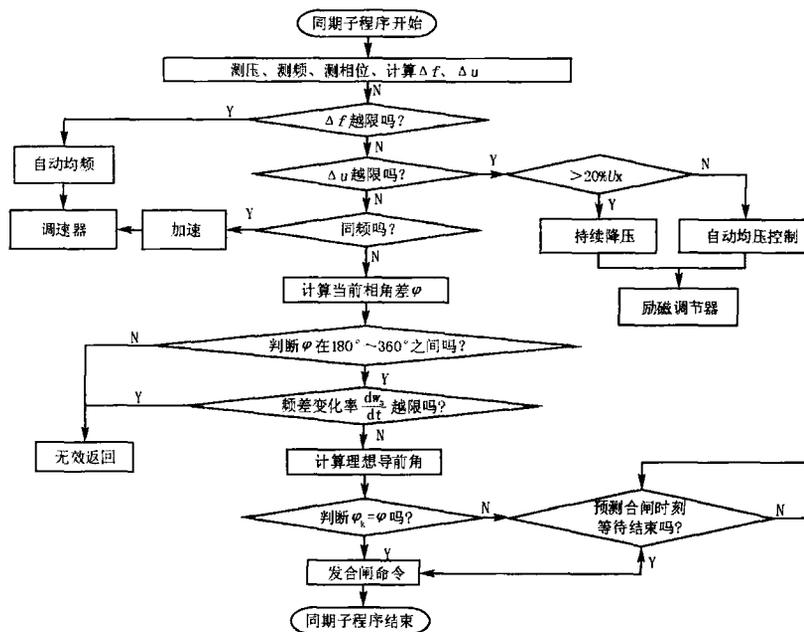


图 2 同期子程序流程图

Fig 2 Flow chart of synchronization subprogram

4 结语

本文提出了一种双处理器的微机自动准同期装置, 给出了其硬件实现和软件设计。经现场运行调试证实: 装置采用的 16 位单片机性能高计算快速准确, 能保证同期合闸角的精确计算; 工作于双处理器模式, 保证同期并网的高可靠性; 在频差、压差满足并网条件后, 利用线性插值函数法对合闸时间进行预测, 可快速、可靠捕获合闸时机; 能较好地完成录波功能, 实现了发电机与电网高精度、快速、可靠、平稳的自动准同期并列。此装置主要用于要求可靠性高且并网速度快, 同期精度高的场合, 例如较大 (100 MW 以上) 发电机的同期合闸操作, 具有较好的应用前景。

参考文献:

- [1] 李俊霞, 涂仁川, 严兵, 等. 一种微机型自动准同期装置 [J]. 继电器, 2002, 30 (9): 53-54.
LI Jun-xia, TU Ren-chuan, YAN Bing, et al. A Microprocessor-based Automatic Synchronizing Device [J]. Relay, 2002, 30 (9): 53-54.
- [2] 郭谋发, 杨耿杰. 双微机协同工作的自动准同期并网装置的研制 [J]. 电气应用, 2005, 24 (9): 90-93.

GUO Mou-fa, YANG Geng-jie. The Design of a Automatic Synchronization Device Based on the Cooperation of Double Microprocessors [J]. Electrical Application, 2005, 24 (9): 90-93.

- [3] 胡国强, 贺仁睦, 涂晔海. 基于模糊控制的数字式自动准同期装置 [J]. 华北电力大学学报, 2004, 31 (4): 10-15.
HU Guo-qiang, HE Ren-mu, TU Ye-hai. Digital Automation Synchronization Device Based on Fuzzy Control [J]. Journal of North China Electric Power University, 2004, 31 (4): 10-15.
- [4] 杨冠城. 电力系统自动装置原理 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1995.
YANG Guan-cheng. Principle of Power System Automatic Device [M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1995.
- [5] 彭晓涛, 王少荣, 程时杰. 高性能微机自动准同期装置 [J]. 电力系统自动化, 2002, 26 (9): 75-77.
PENG Xiao-tao, WANG Shao-rong, CHENG Shi-jie. A High Performance Microprocessor Based Automatic Quasi-synchronization [J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26 (9): 75-77.

收稿日期: 2006-06-28; 修回日期: 2006-08-27

(下转第 73 页 continued on page 73)

rithm Based on Nonlinear Complementarity Problem Function [J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24 (9): 130-135.

胡丹云 (1980 -),女,硕士研究生,主要研究方向为电力市场、电网规划、综合自动化; Email: dodoyun@126.com

李渝曾 (1947 -),男,教授,博士生导师,主要研究方向为电力市场输电定价、博弈分析等;

韦钢 (1958 -),男,教授,研究方向为电力系统规划与技术。

收稿日期: 2006-03-02; 修回日期: 2006-05-16

作者简介:

Time-of-day price considering inter-temporal demand-price elasticity effect

HU Dan-yun¹, LI Yu-zeng¹, WEI Gang²

(1. Shanghai University, Shanghai 200072, China; 2. Shanghai Institute of Electric Power, Shanghai 200090, China)

Abstract: Inter-temporal demand-price elasticity effect is discussed firstly. Then it is introduced into the classical marginal cost calculation based on optimal power flow and a time-of-day price representation considering the effect of inter-temporal demand-price elasticity is obtained. The new model reflects the customers' response to the change of price and can induce the result of load adjustment. Furthermore, the Nonlinear Complementarity Approach is utilized to solve the problem. Through introducing NCP function, the inequalities in all the KKT conditions of correspondingly independent OPF models of different periods are transformed into the linear forms. Then combining with the linear functions formed by demand-price elasticity effect, a set of linear optimal functions about all periods and all nodes is obtained. Finally, an improved Levenberg-Marquardt-type algorithm based on sub-gradients is utilized to search the optimal values of the model.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China (NSFC) (No. 50377023).

Key words: demand-price elasticity; marginal cost price; time-of-day price; nonlinear complementarity approach

(上接第 48 页 continued from page 48)

作者简介:

邓振利 (1979 -),女,助教,硕士研究生,现主要从事电力系统综合自动化方面的学习研究工作; Email: dengzl_mky@163.com

姜杰 (1958 -),男,副教授,硕士生导师,长期从事电力系统综合自动化方面的研究工作;

唐昆明 (1959 -),男,副教授,硕士生导师,长期从事电力系统综合自动化方面的科研工作。

Design of automation synchronizer based on double microprocessor

DENG Zhen-li^{1,2}, JIANG Jie¹, TANG Kun-ming¹, WANG Zhi-bing³

(1. Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. Yibin University, Yibin 644007, China;

3. Chongqing New Century Electrical Co., Ltd, Chongqing 400030, China)

Abstract: Synchronization operation of generators is very essential in operation of power system. On precondition of operating correctly and paralleling in rapidly, it demands higher reliability and stability to ensure its security. This paper presents an automation synchronizer with double microprocessor—one working and the other in stand-by heat. The hardware redundancy in the device can guarantee high reliability. This device also forecasts the difference of angle by adopting a linear interpolation method to grasp synchronization opportunity rapidly and reliably. The testing indicates that this device can realize synchronization operation with high-accuracy, rapidness, reliability and stability. The device will be usually applied to the situation demanding high reliability and fast synchronization operation. There is a nice application foreground in the field of the synchronization operation of heavy-duty generators.

Key words: double microprocessor; synchronization; redundancy; linear interpolation