

基于 DSP 自动准同期装置可靠捕捉合闸时机的研究

黄宏清,朱 冉,郑 洁,胡红兵,王 力
(国电南瑞科技股份有限公司,江苏 南京 210061)

摘 要:利用 DSP 快速计算能力,实时采集、计算系统侧和待并侧频差、压差及角差,对待并侧电压量实现自适应采样,利用外部中断来快速响应角差变化,采用最小二乘拟合曲线的方法来计算角差变化率以及采用特定的机制来保证同期合闸的快速性及准确性。

关键词:DSP;自动准同期;自适应采样;最小二乘

中图分类号: TM56

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2010)06-0068-03

随着电力系统规模的日益扩大,系统运行变化越来越频繁,发电机与电网等并列操作就成为系统中的一个重要环节。自动准同期装置是电力系统对发电机与电网或电力系统解列的两部分进行并列操作的自动控制设备,它的核心任务是实现对并列双方电压的频率、幅值及相位的快速准确测量,以便在准同期并列条件满足时,发出恒定导前时间的同期合闸信号。而非同期合闸对发电机的危害是严重的,有试验和分析结果表明非同期合闸产生的过电压要比同期产生的要高,甚至高很多,而非同期并列的对发电机的另一大危害则是产生很大的电磁转矩,可见合闸时机的捕捉在并列操作中是十分重要的^[1,2]。合闸时机的捕捉要准确且快速(捕捉到第一次合闸时机),然而在电力系统运行中,噪声、谐波和随机干扰对测量造成污染,这为准确地进行同期合闸带来了难度。本文利用最小二乘算法从受到干扰污染的输入信号中来获取准确的角差变化率从而计算出准确的导前角,对于角差值的测量采用硬件电路来实现,并且采用中断响应方式来保证实时性。

1 硬件设计

1.1 硬件整体框架设计

本文设计的自动准同期装置的硬件平台以 32 位带浮点功能 DSP28335 和 16 位 AD 作为核心,DSP、AD 均采用工业控制领域的主流制造厂商并已有成功应用的、形成系列化的主导产品;DSP 除具有常规的高速计算功能外,还包含了大容量的程序 FLASH、RAM、I/O 接口、SCI、SPI、CAN 等资源,大大地简化了硬件的复杂程度,提高了硬件可靠性。

自动准同期装置的功能板件,按功能合理划分,采用了模块化、功能化、通用化的设计思想,使功能板件的功能明确、便于互换。

图 1 是自动准同期装置的硬件构架模式。

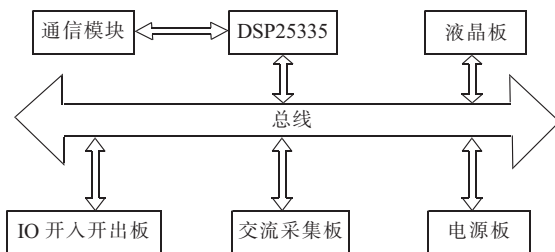


图 1 硬件框架图

1.2 角差测量电路

本文中角差采用硬件电路直接测量,设计一个电压比较电路(如图 2),把系统侧和待并侧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 2 个方波信号进行异或,异或输出的信号宽度反映了两交流信号相角差的变化情况,然后把异或输出信号作为 DSP 捕获中断的输入信号,分别读取 2 次捕获寄存器,可知道异或方波信号的宽度,也就知道了两交流信号的角差值^[3]。

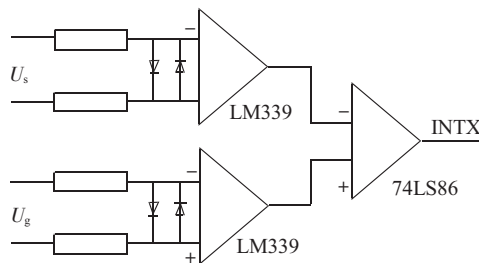


图 2 角差测量电路图

2 主要软件模块设计

2.1 自适应采样测待并侧电压量

考虑到系统侧电压频率稳定,基本可以认为是 Hz 不变,若每个系统侧电压周波采样点,那么系统电压固定 0.833 3 ms 采样一个点,也就是固定 0.833 3 ms 执行一次中断采样程序来处理系统侧电压量。

而待并侧电压频率是变化的,若采样待并侧电压量还是固定 0.833 3 ms 中断采样一次的话,那么连续采样点得到的波形则不一定是一个周波,既而如果要像计算系统侧电压量那样采用点 DFT 算法来计算的话,有可能会得到大于误差范围的电压有效值。因此,在待并侧电压采样程序编写时用到了自适应采样的方法,就是根据实时测量到的待并侧电压频率来决定待并侧电压的采样间隔,以保证连续采样待并侧电压点为一个完整的周波^[4],采样子程序如图 3 所示。

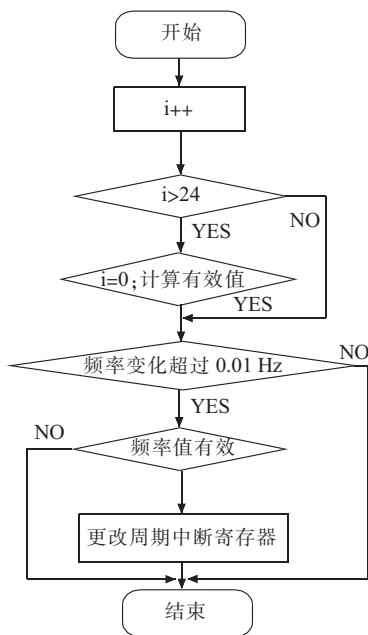


图 3 自适应采样子程序流程图

2.2 最小二乘求角差变化率

电力系统运行中的噪声、谐波和随机干扰等对测量造成污染,这为准确测量角差变化率等物理量带来了难度。

最小二乘法是一种数学优化技术,它通过最小化误差的平方和寻找数据的最佳函数匹配,利用最小二乘法可以简便地求得未知的数据,并使得这些求得的数据与实际数据之间误差的平方和为最小,最小二乘法用于曲线拟合可计算得到所需的物理量,如图 4 所示, $\theta = \theta_0 + w \times t$ 为拟合所得曲线。

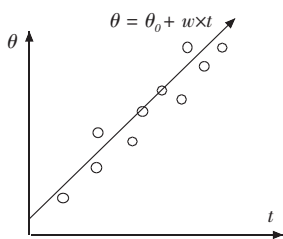


图 4 最小二乘拟合示意图

同期合闸的关键是准确地计算出导前角,导前角的计算公式由式(1)可得:

$$\theta_i = \theta_0 + w_D \times t_{dq} + \frac{1}{2} \frac{dw_D}{dt} \times t_{dq}^2 \quad (1)$$

式中: θ_0 为初始相角差; w_D 为角差变化率; t_{dq} 为导前时间。

可以看出,如何计算出角差变化率 w_D 是准确地得到导前角的关键,角差变化率反映的是角差的变化速度,实际中短时间内 $dw_D/dt \approx 0$,式(1)可以简化为 $\theta_i = \theta_0 + w_D \times t_{dq}$,则也可以理解为角差和角差变化率为一阶线性关系,角差的测量可由式(2)完成,式中 τ_i 为异或方波对应的计数值, τ_s 系统半周波对应的计数值。

$$\begin{cases} \theta_i = \frac{\tau_i}{\tau_s} \times \pi & (\text{当 } \tau_i > \tau_{i-1}) \\ \theta_i = 2\pi - \frac{\tau_i}{\tau_s} \times \pi & (\text{当 } \tau_i \leq \tau_{i-1}) \end{cases} \quad (2)$$

若已知若干角差测量值,可以通过最小二乘拟合出角差与角差变化率的线性关系,这也是最大程度上提取真实角差变化率的一种可行方法,依据以上思路且根据式(2)可解出角差变化率 w_D 。

$$\begin{bmatrix} m+1 & \sum_{i=0}^m t_i \\ \sum_{i=0}^m t_i & \sum_{i=0}^m t_i^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_0 \\ w_D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=0}^m \theta_i \\ \sum_{i=0}^m \theta_i \times t_i \end{bmatrix} \quad (3)$$

2.3 参考角差计算^[5]

为了确保可靠地捕捉同期合闸时机,需进一步防止干扰或者其他原因带来角差测量的误差,本文采用参考角差测量来防止误操作,参考角差是通过计算系统侧和待并侧电压向量夹角得到,如式(4),其中 U_s 为系统侧电压向量, U_g 为待并侧电压向量。

$$\alpha = \arccos\left(\frac{|U_s|^2 + |U_g|^2 - |U_s - U_g|^2}{2|U_s| \times |U_g|}\right) \quad (4)$$

同时为了能够捕捉到第一次同期合闸时机,在满足一定的合闸角误差时,且角差测量正常情况下即可发出合闸命令,如图 5 所示,其中合闸误差为实际导前角与测量导前角之间的差值。

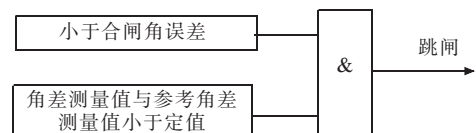


图 5 同期合闸闭锁示意图

3 实验结果

实验结果如表 1 所示,在不同导前时间及不同的频差条件下,本文所设计的准同期装置均能准确合闸,且有较小的合闸误差。

表 1 实验数据

导前时间 /ms	频差 /Hz	实际导 前角 / (°)	动作导 前角 / (°)	误差 / (°)
100	+0.1	3.6	3.06	-0.54
100	+0.2	7.2	7.06	-0.14
100	-0.1	356.4	356.74	0.34
100	-0.2	352.8	353.37	0.57
300	+0.1	10.8	10.65	-0.15
300	+0.2	21.6	21.07	-0.53
300	-0.1	349.2	349.27	0.07
300	-0.2	338.2	338.67	0.27

4 结束语

本文设计一种基于 DSP 自动准同期装置,它利用最小二乘算法来处理测量数据及采用自适应调整采样间隔技术,具有测量精度高、抗干扰能力强、响应时间短等优点。

对于同期合闸时机的可靠捕捉,提出了参考角差来防止错误合闸,经现场运行证明该装置具有良好的可靠性和稳定性。

Research on Reliable Grasping of Quasi-synchronization Point of Switch with DSP

HUANG Hong-qing, ZHU Ran, ZHEN Jie, HU Hong-bing, WANG Li
(NARI Technology Development Co.,Ltd., Nanjing 210013, China)

Abstract: Based on Rapid computations of DSP, the differences of frequency, voltage, angle between waiting-synchronization side and network are sampled and calculated on time. And the adaptive sampling of the voltage on waiting-synchronization side is realized. By using external interruption to response to the Phase-difference change, and least-square method of curve fitting to calculate the Phase-difference change rate, and also using specific mechanism, the accuracy and rapidity of synchronous switching can be ensured.

Key words: DSP; automatic quasi-synchronizing; self-adaptive sampling; Least squares method

(上接第 67 页)

重要。

因为一方面串联电抗的使用降低了电容器的无功补偿效率,如式(14)所示。

$$\eta = (1-K)Qc \tag{14}$$

其中 K 为电容器组串联电抗器电抗率,所以从经济角度来考虑应尽可能的选择电抗率较小的电抗器;同时,还要防止因为不当的串抗导致电容器组回路发生谐振,所以电抗器电抗率必须根据系统情况而定,比如系统中存在较大的 3 次谐波电流,就必须

参考文献:

- [1] 卓乐友,叶念国.微机型自动准同步装置的设计和应用[M].北京,中国电力出版社,2002.
- [2] 黄 梅.电力系统自动装置[M].中国电力出版社,2000.
- [3] 傅全兴,李 忠,郭颖娜.单片机准同期自动并列合闸时机捕捉的研究[J].煤矿自动化,2002(6):1-3.
- [4] 黄 纯,何怡刚,江亚群,等.交流采样同步方法的分析与改进[J].中国电机工程学报,2002,22(9):38-42.
- [5] 李振然.利用富里叶变换实现微机自动准同期[J].继电器,1994(4):35-40.

作者简介:

黄宏清(1969-),男,江苏泰兴人,高级工程师,从事电力系统自动化及继电保护工作;
朱 冉(1983-),男,江苏泰州人,助理工程师,从事电力系统自动化工作;
郑 洁(1980-),男,江苏常熟人,工程师,从事微机测控及自动化工作;
胡红兵(1974-),男,湖北鄂州人,工程师,从事电力系统自动化工作;
王 力(1984-),男,河南周口人,助理工程师,从事电力系统自动化工作。

选择 12%或 12%与 4.5%~6%混装的电抗器。

参考文献:

- [1] 林海雪,孙树勤.电力网中的谐波[M].北京:中国电力出版社,1998.
- [2] 全国电压电流等级和频率标准技术委员会.全国电压电流频率和电能质量国家标准应用手册[S].2001.

作者简介:

袁建英(1978-),女,江苏南京人,工程师,长期从事电能质量测试分析工作。

Analysis of Series Reactor Burnout in Capacitor Bank

YUAN Jian-ying
(Nanjing Power Supply Company, Nanjing 210008, China)

Abstract:At present, series reactor is adopted to control the close inrush current of reactive power compensation capacitor bank. From both theory and case, this paper has elaborated that harmonic will be enlarged if reactance rate of series reactor is set improperly and thus serious incidents may be caused.

Key words: capacitor bank; harmonic; series reactor