第 33 卷 第 2 期 计 算 机 工 程 2007 年 1 月
Vol.33 No.2 Computer Engineering January 2007
·工程应用技术与实现· 文章编号：1000—3428(2007)02—0208—03 文献标识码：A 中图分类号：TM712

TMS320LF2812 在电力系统测频测相装置中的应用

王德意[1]，罗兴锜[1]，闫 伟[1]，邱锦东[2]
（1. 西安理工大学电力工程系，西安 710048；2. 云南德宏电力股份有限公司，潞西 678400）

摘 要：提出了一种基于数字信号处理器（DSP）的测频测相方法，用于同步发电机微机励磁系统中机组频率及机端电压电流相位差的测量，与传统的单片机、PLC 或 FPGA 测频测相装置相比，其硬件电路大为简化，测频测相装置的可靠性极大提高，而且测频测相精度较高，提高了发电机励磁控制的可靠性和控制精度。

关键词：频率相位测量；数字信号处理器；事件管理器；励磁控制

Application of TMS320LF2812 in Frequency and Phase Angle Measurement

WANG Deyi[1], LUO Xingqi[1], YAN Wei[1], QIU Jindong[2]
(1. Department of Electrical Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048; 2. Yunnan Dehong Electric Power Co., Ltd., Luxi 678400)

【Abstract】 this paper presents a new method of frequency and phase angle measurement based on digital signal processor(DSP). Compared with singlechip, PLC or FPGA measurement devices and others, measurement device based on this method is of high precision and reliability and the hardware circuit is greatly simplified, so that the precision and reliability of excitation control are greatly raised.

【Key words】 Frequency and phase angle measurement; Digital signal processor; Event manager; Excitation control

电力系统频率无论作为衡量电能质量的重要指标还是作为调速器控制的状态反馈量，都需要准确测量[10]。频率测量准确与否直接关系到调速器能否正常工作，也关系到频率调节过程的可靠性[8]。频率的测量在同步发电机微机励磁系统中亦具有重要的地位，实时准确地测量电力系统频率是实现跟踪采样、脉冲形成以及限制保护的基础[1]。而励磁调节器要实现对同步发电机高精度的恒无功控制和恒功率因数控制，也要求在精确测量出电压电流相位差的基础上，对无功和功率因数能够准确计算。目前的频率与相位测量装置一般均采用单片机实现，其硬件为自制件，且各厂家均为小批量生产，故元件检测、筛选、老化处理、焊接及生产工艺等都受到限制，致使频率与相位测量环节可靠性较低，甚至运行中还可能出现单片机死机，使频率与相位测量环节失灵，从而使装置的可靠性大大降低，严重影响电力系统的安全可靠运行[2]。有的厂家采用PLC或FPGA作为测频测相装置的硬件核心，装置的可靠性虽然得到了提高，但硬件结构仍然比较复杂[3~5]。本文提出了一种基于数字信号处理器 (DSP)的发电机频率与相位测量装置，克服了单片机等频率与相位测量装置的缺点与不足。

1 DSP 及其通用定时器单元和捕获单元

在众多的DSP产品中我们选择美国TI公司最新推出的高度集成，具有强大处理能力的 32 位定点DSP——TMS320LF2812。它采用 32 位定点DSPTMS320C28x^{TM}CPU内核，主频可达 150 MHz，每秒可以执行 150MB条指令，具有强大的数据处理能力。片内集成有 128Kx16 Flash，有 56 个独立可编程的通用输入输出接口（GPIO）。片上还集成了丰富的外设资源，主要包括模数转换模块(ADC)、事件管理器模块(EV)、串行外设接口模块(SP1)、串行通信接口模块(SCI)、CAN控制器模块(eCAN)等。事件管理器模块包括EVA和EVB两个模块，每个EV模块包括 2 个通用定时器、3 个比较单元、3 个捕获单元以及PWM电路、正交编码电路等[6]。本文提出的测频测相方法主要应用事件管理器模块(EV)中捕获单元（CAP）和通用定时器（GPT）单元。

通用定时器是DSP常用的外设接口，其核心是计数器，计数范围为 0～65 535。每个定时器可以各自独立工作，也可以相互同步工作。在DSP中通过对寄存器的事先设置来达到控制相应设备按设计者要求工作的目的。16 位的全局通用定时器控制寄存器GPTCONA（EVA中）和GPTCONB（EVB中）用来规定 4 个通用定时器在不同定时器事件中所采取的操作，并记录它们的计数方向。通过合理设置GPT的计数寄存器TxCNT、定时器比较寄存器TxCMPR、定时器周期寄存器TxPR以及定时器控制寄存器TxCON（x=1，2，3，4），就可以使所选的定时器具有完成测频测相任务所需具有的 功能[7]。

捕获单元用于捕获DSP输入引口上电平的变化并记录其变化发生的时间。事件管理器有 6 个捕获单元，每个捕获单元都有一个与之相对应的捕获输入引口，即可以同时有 6 路信号进入DSP以触发捕捉[6,9]。捕获单元结构见图 1。

基于 DSP 的频率相位测量直接利用 DSP 的捕获单元(CAP)捕捉到待测信号周期起始点，同时启动通用定时器(GPT)，由 GPT 在待测信号的周期内以通过设置相关寄存器已经设定的频率计数，测得信号的频率以及它们的相位差。

作者简介：王德意(1962－)，男，教授，主研方向：厂站自动化系统与装置；罗兴锜，教授、博导；闫 伟，硕士生；邱锦东，工程师

收稿日期：2006-01-25 **E-mail：**yw1.23@126.com

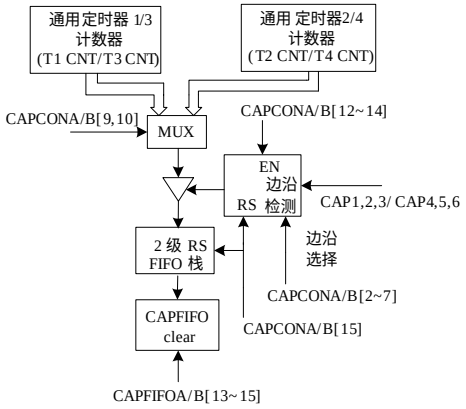


图 1　EVA/B 模块中的捕获单元结构

2 DSP 测频测相原理及软硬件设计

2.1 测频测相硬件系统

DSP测频测相装置系统结构如图 2 所示。它由整形放大电路、数字量输入及DSP芯片 3 部分组成。整形放大电路将来自母线或发电机出口电压互感器及电流互感器的正弦波信号整形为同频率的方波信号，经数字量输入部分隔离并滤波后送入DSP芯片上的事件管理器（EV）外设，EV通过片内的外设总线（Peripheral Bus）和TMS320C28x^{TM}CPU连接。图中f_U为电压信号，整形放大后经光电隔离送入DSP的GPIOA8（CAP1）口；f_I为电流信号，整形放大后经光电隔离送入DSP的GPIOB8（CAP4）口。其中进入GPIOA8（CAP1）口的f_U信号用于测量信号频率；进入GPIOA8（CAP1）口的f_U信号和进入GPIOB8（CAP4）口的f_I信号用于测量电压和电流之间的相位。

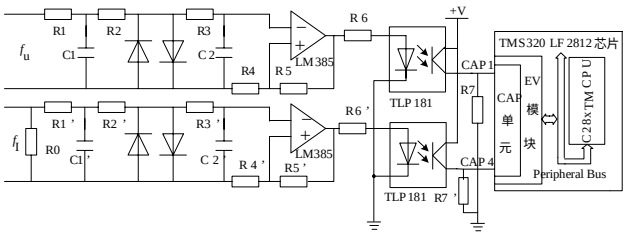


图 2 DSP测频测相硬件原理

2.2 基于 DSP 的频率和相位测量

首先要对 DSP 的相关寄存器进行设置，以使 DSP 能够完成测频测相的任务。主要的设置包括：设置 I/O 口的功能选择寄存器GPxMUX和方向控制寄存器GPxDIR，将GPIOA8口和 GPIOB8 口配置为外设功能，方向为输入；因为要用通用定时器GPT1和通用定时器GPT3分别作为CAP1 和CAP4的时基，所以对定时控制器 T1CON 和 T3CON 进行设置，将它们设置为连续增计数模式，输入时钟预定标设置为x/32(x=96MHz，则定时器的计数频率为 f_c =3MHz)，时钟源选择内部时钟并使能定时器；分别配置捕获单元控制寄存器CAPCONA 和 CAPCONB 使 CAP1 和 CAP4 使能，选择 GPT1 和 GPT3 分别作为 CAP1 和 CAP4 的时基，边沿检测为上升沿方式；设置 EVA 中断标志寄存器 EVAIFRC、EVA 中断屏蔽寄存器 EVAIMRC 和 EVB 中断标志寄存器 EVBIFRC、EVA 中断屏蔽寄存器 EVBIMRC，开捕获单元 1 和捕获单元 4 的中断 CAP1INT 和 CAP4INT。

2.2.1 频率测量

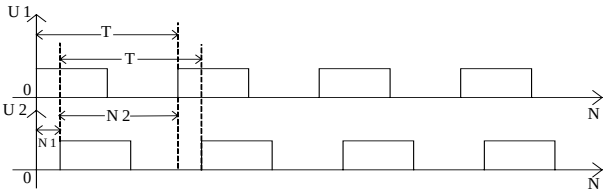
当 DSP 捕获到 CAP1 引脚电压信号 f_U 的上升沿时，定时器 GPT1 的计数值装入捕获 1 堆栈 CAP1FIFO 中，同时由硬件控制产生捕获中断 CAP1INT。在捕获中断服务程序中读取 CAP1FIFO 的值，并置定时器 GPT1 的计数寄存器 T1CNT 的值为 0，为下一周期的测频计数做好准备。由 CAP1FIFO 的值便可以得到 2 次上升沿之间的计数次数 T，由算式 $f = f_c/T$ 就可以计算出发电机频率 f。虽然 GPT 采用 16 位计数器，但可以通过软件方式将 2 个 GPT 级联，使计数器的计数范围理论上为 0～4 294 836 225。这样，在时钟频率 3MHz 时，测频下限小于 0.000 1Hz；该测频方式的上限可以很高，考虑到励磁调节器的实际需要，取其测频上限为 100 Hz，与之对应的计数值为 $_{3\times10^4}$。在 50Hz 时，计数值为 $_{6\times10^4}$，可得测频分辨率为

$$\left|\frac{3\times10^6}{6\times10^4}-\frac{3\times10^6}{6\times10^4\pm1}\right|=0.83\times10^{-3}\ \text{Hz}$$

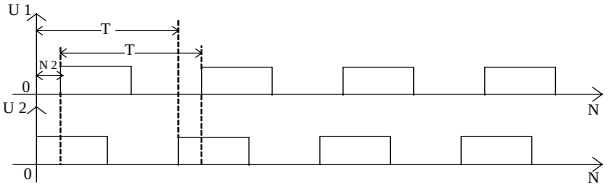
2.2.2 相位测量

如图 2 所示，机端电压信号经整形隔离后进入 DSP 的 CAP1 引脚，电流信号经整形隔离后进入 DSP 的 CAP4 引脚。在电压信号和电流信号的上升沿到来时，分别产生各自的捕获中断。在电压信号上升沿触发的中断 CAP1INT 中，读取作为 CAP4 时基的定时器 GPT3 中计数寄存器 T3CNT 的值 N2，并置定时器 GPT1 的计数寄存器 T1CNT 的值为 0；在电流信号上升沿触发的中断 CAP4INT 中置定时器 GPT3 的计数寄存器 T3CNT 的值为 0。

图 3 为测相的原理图，其中，纵轴 U1 是电压信号经整形后所得的方波信号，U2 是电流信号经整形后所得的方波信号；横轴 N 是计数脉冲的个数。由图 3(a)可见，$N1 = T\text{-}N2$ 即为与电压信号超前电流信号的角度值相对应的定时器计数值，超前相位大小 $\varphi = 360N1/T$，并且此时 $N2 > T/2$；由图 3(b)可见，计数寄存器 T3CNT 的值 N2 即为与电压信号滞后电流信号的角度值相对应的定时器计数值，滞后相位大小 $\varphi = 360N2/T$，并且此时 $N2 < T/2$。所以在 CAP1INT 中断服务程序中，首先判断 $N2$ 与 T/2 的大小关系，当 $N2 > T/2$ 时功率因数角为滞后，大小为 $\varphi = 360N1/T$；当 $N2 < T/2$ 时功率因数角为超前，大小为 $\varphi = 360N2/T$。



(a)电压信号超前电流信号的测相原理



(b)电压信号滞后电流信号的测相原理

图 3 DSP 测相原理

3 实验室测试

对开发的DSP励磁调节器的测频测相功能在实验室的一台 3 000W 的同步发电机上进行了测试。表 1 和表 2 分别是频率和相角差的对比数据（计算相对误差时，频率和相角差的基准分别为 50Hz 和 90°）。其中 f_{osc} 和 φ_{osc} 分别是用美国 Tektronix 公司 300M TDS3032 数字荧光示波器所测得的频率

值和相角差的值；f_{DSP} 和 φ_{DSP} 分别是用所开发的 DSP 励磁调节器的测频测相模块所测得的频率值和相角差的值。

表 1 频率测量数据

f_{OCS} (Hz)	45.55	46.50	47.12	48.62	49.36	50.01	51.30	52.12
f_{DSP} (Hz)	45.49	46.55	47.20	48.56	49.45	50.00	51.35	52.23
|绝对误差|(Hz)	0.06	0.05	0.08	0.06	0.09	0.01	0.05	0.11
|相对误差|(%)	0.12	0.10	0.16	0.12	0.18	0.02	0.10	0.22

表 2 相角差数据对比(“－”指电流超前电压)

φ_{OSC} (度)	-85.70	-66.76	-40.50	-20.21	5.50	20.54	35.67	55.50	75.56	87.60
φ_{DSP} (度)	-84.60	-65.75	-41.54	-20.80	5.00	19.84	34.87	56.76	76.80	88.50
|绝对误差|(度)	1.10	1.01	1.04	0.59	0.50	0.70	0.80	1.26	1.24	0.90
|相对误差|(%)	1.22	1. 12	1.16	0.66	0.56	0.78	0.89	1.40	1.38	1.00

由表 1 和表 2 所测的数据可计算出采用本文提出的测量装置，测频最大绝对误差为 0.11Hz，最大相对误差为 0.22%；相位差测量最大绝对误差为 1.26 度，最大相对误差为 1.40%。另外，相角差测量的精度和对角度变化的适应能力较高，提高了无功和功率因数的计算精度，从而提高了恒无功励磁控制和恒功率因数励磁控制的精度。

4 结语

(1)由整形电路和数字信号处理器(DSP)配以相应软件实现了测频测相功能，并取代以单片机为硬件核心测频测相装置，使测频测相电路大为简化，便于工程应用。

(2)DSP 的通用定时器的计数脉冲频率设为 3MHz 时，用其直接测量频率信号的当前周期，在 50 Hz 附近其测频分辨率可达 0. 000 83 Hz，因而该测频装置具有较高的测频精度。

(3)功率因数角测量的精度和对角度变化的适应能力较高，提高了无功和功率因数的计算精度，从而提高了恒无功励磁控制和恒功率因数励磁控制的精度。

参考文献

1 高　辉, 崔文进. 基于 DSP 的交流采样和电量数字测量的研究[J]. 电工技术杂志, 2002, (10): 16-19.

2 南海鹏, 姚李孝, 王德意. PCC 测频测相装置研究[J]. 电网技术, 2001, 25(9): 78-80.

3 邢海赢. 使用 C51 编程实现基于单片机系统的数字测频装置[J]. 山西电力, 2003, (4): 42-44.

4 张　鹏, 王更辰, 何　伟. 一种快速测频算法及其 FPGA 实现[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2005, 6(4): 74-76.

5 杨霓清. 用单片机实现精密测频的方法[J]. 山东大学学报(工学版), 2003, 33(5): 534-537.

6 苏奎峰, 吕　强, 耿庆逢等. TMS320F2812 原理与开发[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.

7 Texas Instrument. TMS320x281x Event Manamer(EV) Reference Guide(Rev.C)[R]. 2004-11.

8 方勇耕, 郭修伟. 微机液压型调速器的数字测频与鉴相[J]. 水力发电, 2004, 30(1): 53-57.

9 Texas Instrument. TMS320x280x Enhanced Capture(ECAP) Module Reference Guide[R]. 2004-11.

10 鲍克勤, 完颜绍会. 数字测频回路的设计与应用[J]. 上海电力学院学报, 1997, 13(3): 34-39.

(上接第 159 页)

指标，由于集合选择后，再经过“结果合并”才能给出分布式检索的平均准确率，“结果合并”可能对最终平均准确率结果造成影响，从而影响对于集合选择的评价，因此对于集合选择问题的评价采用了 Top10 文档集合中含有的相关文档数作为集合选择问题的评价指标(分布式信息检索中通常对前 10 个最相关的集合进行检索)。具体的实验结果如表 1 所示。

表 1 文档检索与集合选择结果比较

检索方法		文档检索	集合选择(篇)
tf*idf	raw(tf)	0.017 6	794
	log(tf)	0.017 6	810
	cosine	0.053 9	756
INQUERY(CORI)		0.084 8	834
语言模型	JM	0.068 3	852
	Dir	0.064 7	838
	Abs	0.080 8	849

从表 1 的结果可以看出，在文档检索方面 INQUERY 算法的检索效果最好，当采用适合的平滑算法时，语言模型的检索方法也能够取得比较好的结果，相对来说 tf.idf 系列的方法表现相对较差；在集合选择问题方面，语言模型采用 JM 平滑算法的结果最好，但两类概率方法 INQUERY 和语言模型的方法相差不多，都要好于 tf.idf 系列的方法。

从语言模型检索方法的表现看，针对文档检索，采用 Absolute discounting 平滑算法的结果较好，但对于文档集合选择问题来说采用 Simplified Jelinek-Mercer 平滑算法取得了比较好的结果，但与 Absolute discounting 平滑算法相差不大。这也体现出不同的平滑算法在文档集合发生变化时，会有一些差异，但总的来说，语言模型的方法无论在文档检索和集合选择方面都取得了比较稳定的结果。

4 结论

本文将文档集合作为一个虚拟的文档，尝试了多种检索算法作为集合选择算法，从目前的实验结果看，语言模型的检索算法与 CORI 算法的性能比较接近，两种算法在文档检索与集合选择两个问题上都取得了比较好的稳定检索结果，是比较适合作为分布式信息检索的集合选择算法的。

参考文献

1 Callan J. Distributed Information Retrieval[M]. Advances in Informational Retrieval. USA: Kluwer Academic Publishes, 2001.

2 Callan J P, Lu Zhihong, Croft W B. Searching Distributed Collections with Inference Networks[C]. Proceedings of the 18th Annual International Conference on Special Interest Group on Information Retrieval, 1995: 21-28.

3 Gravano L, Molina H G. Generalizing GlOSS to Vector-Space Databases and Broker Hierarchies[C]. Proceedings of the 21th International Conference on Very Large Data Bases, 1995: 78-89.

4 Sogrine M, Patel A. Evaluating Database Selection Algorithms for Distributed Search[C]. Proceedings of the ACM Symposium on Applied Computing, 2003: 817-822.

5 Jones K S, Willett P. Readings in Information Retrieval[M]. Morgan Kaufmann Publishers, 1997.

6 Turtle H R, Croft W B. Evaluating of An Inference Network-based Retrieval Model[J]. ACM Transactions on Information Systems, 1991, 9(3):187-222.

7 Ponte J M, Croft W B. A Language Modeling Approach to Information Retrieval[C]. Proceedings of the ACM Conference on Special Interest Group on Information Retrieval, 1998: 275-281.

8 Zhai Chengxiang, Lafferty J D. A Study of Smoothing Methods for Language Models Applied to Information Retrieval[J]. ACM Transactions on Information Systems, 2004, 22(2): 179-214.

9 Ogilvie P, Callan J P. Experiments Using the Lemur Toolkit[C]. Proceedings of the TREC'01, 2001: 103-108.