

# 一种数字式多功能电网参数测量仪的研制

陈天华

(北京工商大学 信息工程学院, 北京 100037)

**摘要:** 为了提高电参数测量的便利性和准确性, 提出了一种基于数字信号处理器的多功能电网参数测量仪设计方案. 对 C500、C501、AT93C46 的工作方式和接口等进行了讨论, 采用了基于 C500 的误差校正法以提高测量准确度, 实现了对交流电网中三相电流、电压、功率因数、有功功率、无功功率、视在功率、频率、有功及无功电能的实时测量, 测量准确度达到 0.5 级.

**关键词:** 数字信号处理; 电网; 数字仪表

**中图分类号:** TP 273; TM 343

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0254-0037(2005)06-0574-06

电网参数的测量与监控不仅一直受到广泛的关注和重视, 同时也关系到电力管理水平的提升及电力用户的切身利益. 电网测量仪的性能是电网测量与监控的基础和关键因素之一, 电能表作为生产和使用量最大的电工仪表, 已经历了将近 1 个世纪的历程. 目前, 新型电参数测量仪已开始采用 DSP 技术, 向高精度、低误差、体积小、高安全性、多功能、智能化与便携式方向发展<sup>[1]</sup>.

## 1 系统结构

本系统由高性能数字信号处理器 AT73C500(简称 C500)、基于 DSP 技术的 A/D 转换器 AT73C501(简称 C501)、AVR4414 单片机和存储器等构成, 其优越的性能为研发和生产多功能、智能化电表提供了技术保障. 测量仪系统结构如图 1 所示, 三相交流电信号经电压变压器、电阻分压器和电流传感器隔离, 得到低电压信号后输入 A/D 转换器 C501, 进行信号抽样、变换与处理, 采样速度为每周波 64 点. 每个回路, 量化精度为 16 位. C501 将采样结果通过串行通讯方式传送到 C500, C500 进行参数计算, 根据存于 EEROM 中的校验系数, 自动进行信号输入回路的变比误差、相角误差和 CT 曲线误差的修正. C500 的计算结果以数据包的形式被输出到 UP 总线上. C500 与 AVR 型单片机以并行方式通讯, C500 的每组数据分为 6 个包, 每 200 ms 更新 1 次<sup>[2]</sup>. 本智能型测量仪可以测量包括 U、I、P、Q、COS $\phi$ 、F、KWH、KVA $r_h$  等参数. 系统通过单片机采集 DSP 发出的数据包, 然后将数据包储存在 RAM 中, 通过键盘输入命令, 调用 RAM 中的相应数据进行计算, 计算结果由 LCD(液晶显示器)显示.

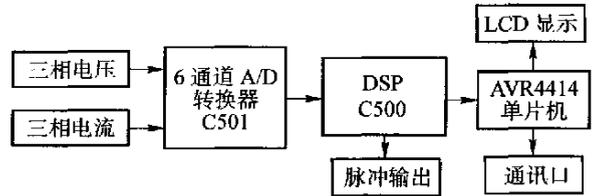


图 1 测量仪系统逻辑结构图

Fig. 1 Measurement instrument structure figure

## 2 工作原理

### 2.1 C501

C501 是采用数字信号处理(DSP)技术的 6 路 16 位 A/D 转换芯片, 其主晶振频率为 3.276 8 MHz. 芯

收稿日期: 2004-05-25.

作者简介: 陈天华(1966-), 男, 湖南长沙人, 副教授.

片由高性能重复取样的 SIGMA-DELTA 调节器、数字滤波器、参考电压发生器、串行输出接口和电压监控模块组成。在 50 Hz 工况时, C501 的额定采样率为 3.2 kHz, 即每行频率周期完成 64 次采样。

C501 的前端输入如图 2 所示, 其 3 个电流输入由电流互感器次级输出提供, 其电压输入由外部电压分配器提供。根据仪表规格和 IEC1036 标准, 默认情况下 AT73C500 芯片的基准电流是满量程的 6.25%。如仪表的电流有效值  $I = 5$  A, 则电流通道的满量程电流为:  $I_{FS} = (5 \times 100 / 6.25) \text{ A} = 80 \text{ A}$ 。

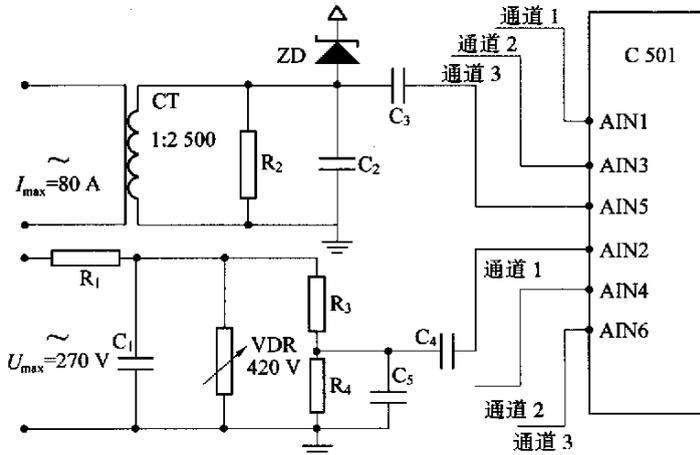


图 2 C501 输入电路原理图

Fig. 2 Input circuit diagram of C501

C501 采用多路复用技术进行电压和电流采样, 并经串口传送给 C500。电压和电流能够通过校正系数进行校正, 并通过旁路技术和使用外部参考温度补偿可实现很小的温度漂移, 以确保参数的准确性。

## 2.2 C500

在 C501、C500 计量芯片组中, C501 的主要功能是 A/D 转换, C500 的主要功能是完成数字信号处理和各测量参数计算, C501 与 C500 以串行方式进行通讯。C500 芯片有 6 种工作方式, 初始化过程中 C500 读取总线的 3 个模式位选择工作方式。C500 与处理器通过 8 位总线进行通讯, 支持单机和微处理器配置结构 (UP) 2 种工作模式, 校正系数可由处理器提供或存储于 1 个  $128 \times 8$  位的 EEPROM。单机和 UP 方式的主要区别是读校正系数的方法不同。本系统校正数据存放于 EEPROM93C46 中, 单片机读取 C500 的计算结果并通过 LCD 显示测量参数。为滤除电压和电流采样中的直流量, C500 先进行数字高通滤波, 复位后即可进行初始化, 通过读取工作方式并从存储器中读取校验系数、脉冲输出频率和启动电流的调节因子等。除频率测量外, 各项测量和计算均在 10 个线周期完成, 计算结果经校正之后传送给处理器总线, 每 200 ms 进行 1 次。

## 2.3 AT93C46

AT93C46 是串行电擦除 EEPROM, 容量为 1 024 b。对 93C46 可以进行读、写、擦除、写保护等操作。在对 93C46 进行写和擦除操作时, 首先要进行写能操作 (EWEN), 在写和擦除操作之后, 要进行禁止操作 (EWDS)。

# 3 数据通信

## 3.1 C501 和 C500 的数据传输

C501 和 C500 通过串行总线接口进行通讯 (如图 3 所示)。C500 提供和处理器相接的 4 个握手信号: DDR1、RD/WR、STROBE 和 BRDY。当 C501 的 3 个电流和 3 个电压的采样准备好时, C501 的 ACK 为

高, C500 检测 ACK 的上升沿, 中断 IRQ1 通知 C500 接收数据, C500 通过 SOUT1 片选 C501, 通过串行总线读取采样数据. C500 接收 C501 的采样数据, 通过其自身的 DSP 功能模块计算出电流、电压、有功功率、无功功率、功率因数等各项参数, 并通过 8 位并行总线输出到单片机. 6 路 16 位采样数据按 I1、U1、I2、U2、I3、U3 的顺序传输.

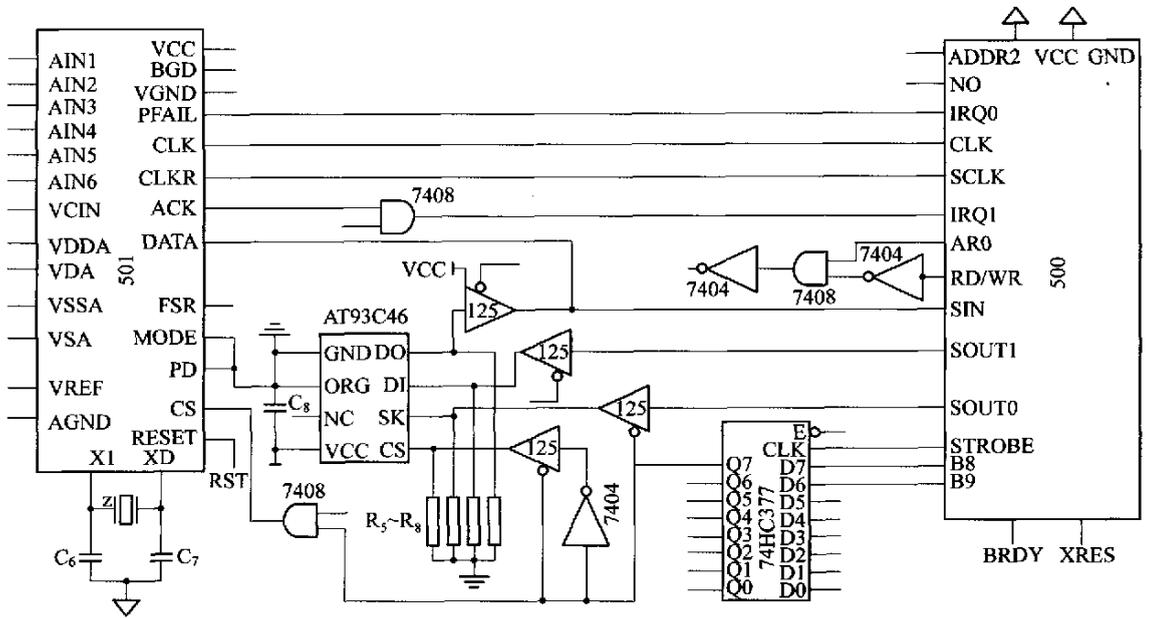


图3 C500、C501及AT93C46连接图

Fig.3 Interface diagram of C500, C501 and AT93C46

### 3.2 C500 与 AVR4414 的数据传输

C500 与 AVR90S4414 以并行方式进行通讯. C500 接收 C501 传送的数据, 对数据进行处理后, 以每次 6 个数据包向 AVR 传输数据, 每个包 16 b, 前 4 b 是标记位分别为: Sync LS 值为 00H~05H 指明包的序号; Sync MS 为常量 80H; Mode 表明 C500 的工作模式, 其值为 00H~07H; Status 反映了 C500 的工作状态. 各包其余 12 b 分别是数据信息, 用于测量时各电参数的计算. 单片机在 20 ms 内接收 16 b 的数据, 并完成数据的存储, 其时序如图 4 所示.

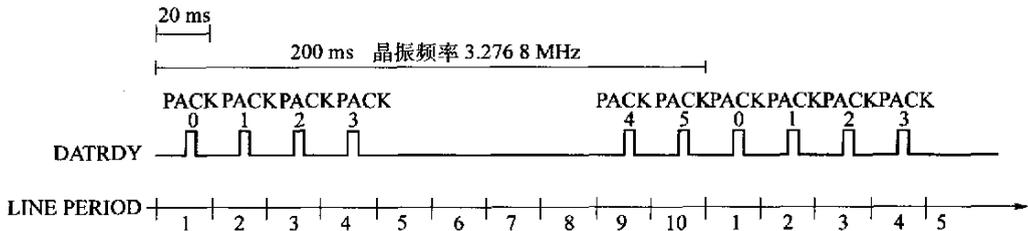


图4 数据包传送时序

Fig.4 Data packages transfer timing

## 4 测量参数的计算方法

表 1 是各寄存器储存值及含义, 根据各寄存器的值和各参数在默认情况下(满电流有效值为 80 A, 满电压有效值为 270 V, 时钟频率为 3.2768 MHz)每一单位表示的实际值即可计算各测量参数. 比如, 在默

认条件下, 寄存器 REG0~REG2 的值的含义是每单位表示有功功率为 34.276  $\mu$ W, 电压寄存器 REG19~REG21 每单位表示电压值为 8.6 mV.

表 1 寄存器分配表

Tab.1 Register allocation list

寄存器	意义	寄存器	意义	寄存器	意义
REG0~REG2	分别为三相有功功率	REG9~REG11	功率因数	REG17	频率量
REG3~REG5	分别为三相无功功率	REG12~REG15	电能	REG19~REG21	分别为三相电压
REG6~REG8	分别为三相视在功率	REG16	未用	REG22~REG24	分别为三相电流

频率测量应在满量程电压的 10% 范围内, 相电压的谐波应低于 10%, 否则可能影响测量结果<sup>[3]</sup>. 频率测量是在线频率和 C500 采样频率比较的基础上得到的, 因此频率测量结果取决于所采用的晶振, 本系统主时钟频率为 3.276 8 MHz, 测量频率的带宽为 20~350 Hz.

### 5 校正系数的意义和读取

由于 A/D 转换器的输入电路元器件误差、电路本身引起的相移和 A/D 转换产生的积累量化误差等因素, 测量仪会产生测量误差. 为提高参数测量的准确性, 本测量仪使用了 C500 内部提供的校正功能, 通过校正系数可以对其计算的各参数进行适当的校正, 使测量达到更高的准确度, 目前, 在高准确度宽量程关口表和预付费等高档电量表的研发上已开始广泛使用 C500 提供的校正功能.

C500 提供 2 种读取校正系数的方式: 一种是校正系数存放在 EEPROM AT93C46 中, C500 复位后, 直接从 AT93C46 中读取校正系数; 另一种读取方式是, C500 复位以后, 先送出特征字节, 然后单片机依次把校正系数送到和 C500 相接的数据总线上.

本设计方案将校正系数放于 93C46 中(93C46 与 C500 的连接方式如图 3 所示), 可以分别对 3 个相电压增益校正因子、3 个有(无)有功功率增益校正因子、3 个有(无)有功功率偏置校正因子、3 个相位校正因子、显示脉冲速率校正因子和启动电流校正因子等参数进行校正, 包含校正系数的主要参数计算公式如表 2 所示. 将本测量仪电压、电流的测量值和准确度为 0.1 级的标准功率源的测量值进行对照和比较, 测试结果表明: 在全量程范围内, 各次测试结果均在 0.5 级准确度仪表的容许误差范围之内.

表 2 含校正因子的主要参数计算表

Tab.2 Major parameter formula table according to rectify actor

计算参数	公式	说明
启动电流	$I_{SU} = I_{FS} \times (1 + 0.2 \times STUPC) / 4\ 000$	STUPC: 启动电流调节因子
有功功率	$P_N = P_N \times (1 + 0.2 \times AGC_N / 128)$	AGC <sub>N</sub> : N 相有功功率和电能校正因子
无功功率	$Q_N = Q_N \times (1 + 0.2 \times RGC_N / 128)$	RGC <sub>N</sub> : N 相无功功率和电能校正因子
三相电压	$U_N = U_N \times (1 + 0.08 \times UGC_N / 128)$	UGC <sub>N</sub> : N 相电压的校正因子

### 6 软件流程

图 5 为测量仪主程序逻辑框图, 图 6 为参数显示子程序流程图. 本系统主要子程序包括: 三相电压测量子程序(U)、三相电流测量子程序(I)、三相功率因数测量子程序(PF)、频率测量子程序(F)、三相有功功率测量子程序(AP)、三相无功功率测量子程序(RP)、三相视在功率测量子程序(PP)和电能测量子程序(E). 任意情况下按 C 键, 程序均返回主程序, 同时 LCD 关断. 图 7 为测量仪正面结构图, 如欲显示第 1 相电压测量值, 先按 U 键, 再按 1 键, 则显示第 1 相电压测量值. RESET 为复位键, POWER 是电源开关键.

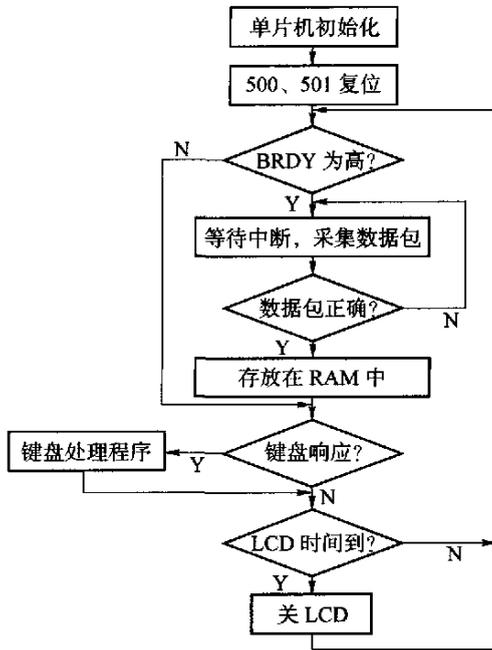


图5 主程序逻辑框图

Fig.5 Main program flow diagram

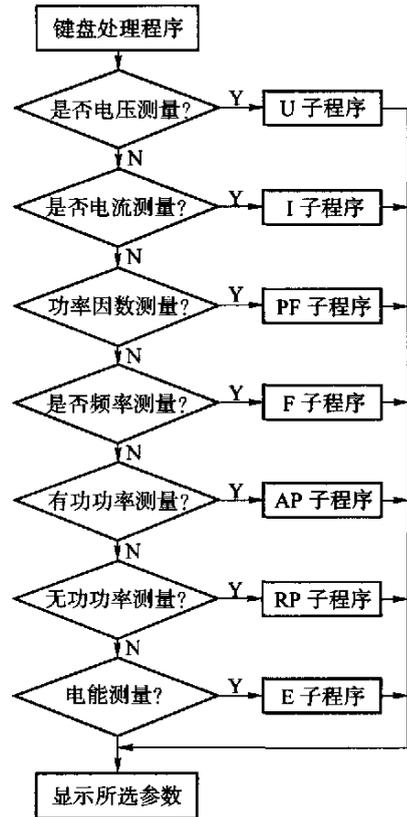


图6 参数显示子程序流程图

Fig.6 Parameter display sub-program flow chart

## 7 结束语

本测量仪采用基于 DSP 技术的数字信号处理芯片设计,具有体积小、抗干扰、质量轻、工作温度范围广( $-25\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ )、功能多、便于携带等特点<sup>[4,5]</sup>,同时采用了误差校正技术,有效提高了测量的准确性<sup>[6]</sup>. 测量仪采样速率为 3.2 kHz,量化字长为 16 位,能对交流电网的三相电流、三相电压、功率因数、有功功率、无功功率、视在功率、频率及电能等进行现场测量. 测量准确度达到 IEC1036、IEC687 国际标准 0.5 级技术要求.

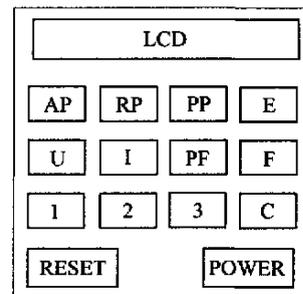


图7 测量仪面板结构

Fig.7 The front show of instrument

### 参考文献:

- [1] 张恺, 李祥珍, 方成彦. 信息时代的电能计量[J]. 电力自动化设备, 2000, 20(2): 11-13.  
ZHANG Kai, LI Xiang-zhen, FANG Cheng-yan. Electric power measurement in information times[J]. Electric Power Automations Equipments, 2000, 20(2): 11-13. (in Chinese)
- [2] 宋建国. AVR 单片机原理及应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1999. 185-201.  
SONG Jian-guo. Principle and Application of AVR[M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 1999. 185-201. (in Chinese)

- [3] 李军, 贺庆之. 检测技术及仪表[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1996. 27-57.  
LI Jun, HE Qing-zhi. Measurement Technology and Instrument[M]. Beijing: Light Industry Press of China, 1996. 27-57. (in Chinese)
- [4] 王宝安, 蒋平, 高亮, 等. 基于 DSP 技术的电能质量检测仪的研制[J]. 电力自动化设备, 2003, 23(4): 58-61.  
WANG Bao-an, JIANG Ping, GAO Liang, et al. Research on power quality analyzer based on DSP[J]. Electric Power Automations Equipments, 2003, 23(4): 58-61. (in Chinese)
- [5] 黄继强, 陈树君, 殷树言, 等. 用 DSP 控制的三相弧焊逆变电源 PFC 技术[J]. 北京工业大学学报, 2003, 29(2): 151-154.  
HUANG Ji-qiang, CHEN Shu-jun, YIN Shu-yan, et al. PFC of three-phases arc welding inverter controlled by a digital signal processor[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2003, 29(2): 151-154. (in Chinese)
- [6] 胡广书. 数字信号处理——理论、算法与实现[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997. 207-235.  
HU Guang-shu. Digital Signal Process—Theory, Algorithm and Realization[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1997. 207-235. (in Chinese)

## Development of New Digital Multi-function Power Network Measurement Instrument

CHEN Tian-hua

(Information Engineering College, Beijing Technology and Business University, Beijing 100037, China)

**Abstract:** For improving the convenience and accuracy of measurement, design method of a DSP-based measuring instrument for multi-function power network is proposed. The paper discusses operation pattern and interface of C501、C500 and AT93C46 chip. In order to improve measure accuracy, error rectify method based on C500 is adopted. This instrument can measure three-phase current, voltage, power factor, active power, reactive power, apparent power, frequency and energy etc. . The measure accuracy reaches 0.5-level.

**Key words:** DSP; power network; digital instrument