

基于 PFC 的非正弦电力系统参数检测

王秋云¹, 邹杰慧²

(1. 井冈山学院 数理学院, 江西 吉安 343009;
2. 井冈山学院 工学院, 江西 吉安 343009)

摘要: 针对目前电力系统电压、电流波形畸变, 导致大多数以 50 Hz 标准正弦波为测试对象而设计的有功功率和功率因数测量仪表测量精度下降的实际情况, 提出一种由乘积频率转换器(PFC)和微控制器(MCU)构成的非正弦电力系统实际有功功率及功率因数的自动测量仪。采用乘积频率转换器将电网的瞬时电压、电流信号的乘积转换成与之成正比的频率信号送入 87c52 单片机处理后得到实际的有功功率和功率因数值。该系统可用于任意波形真有功功率和功率因数的检测。实际表明: 该系统电路结构简单、集成度高, 测量灵敏、性能稳定。

关键词: 乘积频率转换; 相位差检测; 微处理器

中图分类号: TM 76; TM 93 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-6047(2006)09-0065-03

有功功率、功率因数等参数的检测是电力系统测控的主要内容,也是衡量电力系统运行质量的重要指标,其测量精度直接关系到对电力系统正常运行的监控和经济效益的核算。目前,使用的大多数测量仪表对有功功率和功率因数的测量都是以标准 50 Hz 正弦波为测试对象而设计的。但目前电力系统运行的实际情况是:由于大量非线性负载元件的使用,电网谐波增加,其电压、电流并非标准正弦波^[1-2],因而导致测量精度下降,测量误差增大。尤其当谐波污染严重,波形畸变较大时甚至无法正常工作。为此本文设计了基于乘积频率转换器的以 87c52 微控制器为核心的可以测量任意波形有功功率和功率因数的检测装置,较好地解决了上述问题,提高了检测精度并能实现远距离自动监控^[3-4]。

1 系统硬件组成

系统硬件结构如图 1 所示^[5-6]。

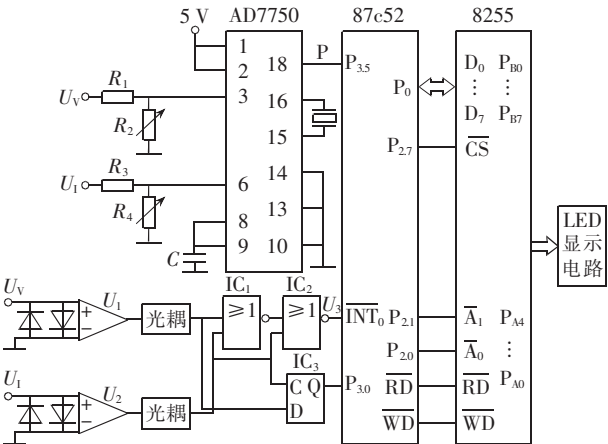


图 1 硬件结构原理图

Fig.1 The hardware structure

系统由 AD 7750 乘积频率转换器组成的瞬时功率检测电路,电压比较器、触发器及门电路构成的相位差角检测通道,87c52 微控制器组成的控制核心及 LED 显示电路等 4 部分组成。

1.1 乘积频率转换电路^{[7]①}

取自电压互感器和电流互感器的待测任意波形电压信号 $u(t)$ 和电流信号 $i(t)$ 送入 AD 7750 乘积频率转换电路。AD 7750 集成电路是美国模拟器件公司于 20 世纪 90 年代推出的一种功能较强的高性能乘积频率转换器件(PFC),其基本结构如图 2 所示。主要包括 2 个模数转换器(ADC)、1 个数字乘法器、1 个数字频率转换器(DFC)、1 个基准源 ($2.5 \pm 0.25 \text{ V}$ 、温漂 $50 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$)和其他信号调节电路。

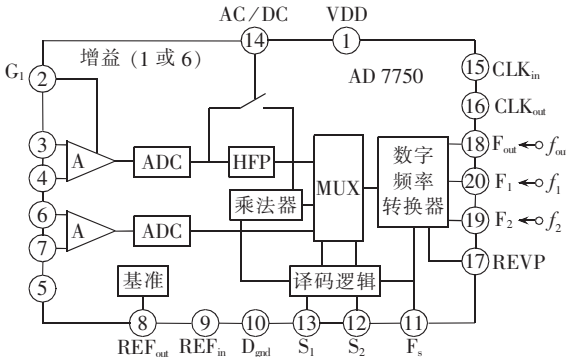


图 2 AD 7750 结构框图

Fig.2 Structure of AD 7750

AD 7750 输入级采用独特的开关电容结构,在 +5 V 单电源情况下允许双极性模拟输入,它有 4 个模拟输入端: $V_{1(+)}、V_{1(-)}、V_{2(+)}、V_{2(-)}$,可组成 2 个差动输入或单端输入通道,其中 1 通道差动放大器增益可选择 1(当控制端 G_1 为 0,低电平时)或 16(当 G_1

① Analog Devices Inc. AD7750 product-to frequency converter, data sheet, 1997.

为 1, 高电平时), 2 通道的增益固定为 2。输入带有保护电路, 额定输入电压为 $\pm 6\text{ V}$ 。当 2 路模拟输入信号经过滤波处理将 2 个数字量在数字乘法器中相乘之后, 再送入数字频率转换器 DFC。它将数字量转换成同步脉冲串, 其频率与 2 个瞬时模拟输入信号 $u(t)$ 、 $i(t)$ 的乘积成正比。

AD7750 输入电路的设置: 在本系统中, 将负载端口电压信号 $u(t)$ 经电压互感器取样后以单端输入方式送入 AD7750 的 1 通道, 设置控制端 G_1 为 1, 则增益 $G=16$ 。负载端口电流信号 $i(t)$ 经电流互感器取样后以单端输入方式送入 2 通道, 此时 AD7750 输出频率 f_{out} 正比于 $u(t)i(t)$, 即正比于负载瞬时功率。

AD7750 输出频率的设置: AD7750 提供 f_1 、 f_2 和 f_{out} 3 种输出频率。 f_1 和 f_2 是 2 个交流负脉冲, f_{out} 可对 f_1 或 f_2 倍频, 输出正脉冲串。3 种输出的最高频率由 F_s 、 S_1 和 S_2 的设置决定, 本系统选择功率测量方式, 单极性频率标度, F_s 、 S_1 、 S_2 分别设置为 1、0、1。此时输出最高频率 $f_{\text{out}} = 32 K_1 f_{2\text{max}}$, $f_{2\text{max}} = 13.6\text{ Hz}$ 。 K_1 为 AD7750 的 1 通道和 2 通道输入电压 U_V 、 U_I 乘积的比例系数。在功率测量方式下: $K_1 = 0.4224 U_V U_I$ 。由此可以计算当输入最大功率时的最高输出频率。

由此可以看出: AD7750 的输出频率仅正比于该瞬时输入模拟信号的乘积, 而与输入信号的波形无关。根据傅里叶级数理论^[8-9], 待测非正弦系统端口电压、电流可表示为

$$u(t) = U_0 + \sum_{m=1}^{\infty} U_m \sin(m\omega t + \varphi_m)$$

$$i(t) = I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} I_n \sin(n\omega t + \theta_n)$$

计算瞬时功率可得:

$$\begin{aligned} p = u(t)i(t) &= U_0 I_0 + U_0 \sum_{n=1}^{\infty} I_n \sin(n\omega t + \theta_n) + \\ &I_0 \sum_{m=1}^{\infty} U_m \sin(m\omega t + \varphi_m) + \\ &\sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} U_m I_n \sin(m\omega t + \varphi_m) \sin(n\omega t + \theta_n) = \\ &U_0 I_0 + U_0 \sum_{n=1}^{\infty} I_n \sin(n\omega t + \theta_n) + \\ &I_0 \sum_{m=1}^{\infty} U_m \sin(m\omega t + \varphi_m) + \\ &\frac{1}{2} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} U_m I_n \cos[(m-n)\omega t + \varphi_m - \theta_n] - \\ &\frac{1}{2} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} U_m I_n \cos[(m+n)\omega t + \varphi_m + \theta_n] \quad (1) \end{aligned}$$

将瞬时功率在 1 个周期内积分再取平均值即为有功功率:

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t) dt = \\ &U_0 I_0 + \frac{1}{2} \sum_{m=1}^{\infty} U_m I_n \cos(\varphi_m - \theta_n) \end{aligned}$$

式(1)中, 第 1 项积分为 $U_0 I_0$; 第 2、3、5 项为谐波项, 其积分为 0。对于第 4 项, 当 $m \neq n$ 时也为谐波项, 积分为 0; 只有当 $m=n$ 时, 积分值不为 0。因此

对式(1)积分求有功功率就是将各次谐波分量滤除, 取其直流分量即可。因此, 可将非正弦电压和电流在乘法频率转换器 AD7750 中相乘, 再将与电压、电流乘积(瞬时功率)成正比的输出频率在微处理器中进行数字滤波, 输出显示即为该系统的实际有功功率。而数字滤波可通过软件实现, 不需要硬件设备, 且能提高系统可靠性。同时数字滤波可对低频(0.1 Hz 以下)信号实现滤波, 能够保证测量精度。

将非正弦电压、电流模拟信号 $u(t)$ 、 $i(t)$ 以单端方式加入 AD7750 的 1、2 通道, 设置控制端 G_1 为 0, 增益 $G=1$, 这时 AD7750 的输出 f_{out} 正比于 u 与 i 的乘积, 调节 R_2 、 R_4 使功率最大(1 kW)时, $f_{\text{out}} = 180\text{ Hz}$ 。

1.2 相位差检测电路

为检测负载的功率因数, 需测量功率因数角即电压、电流的相位差角, 考虑到待测信号为非正弦信号, 设计了 2 个高灵敏度的电压比较器, 非正弦电压、电流信号 $u(t)$ 、 $i(t)$ 送入 2 个电压比较器后, 输出为与 $u(t)$ 、 $i(t)$ 相位差相同的矩形脉冲 U_1 、 U_2 , 这 2 个矩形脉冲的上升沿仅决定于输入信号由负变正的过零瞬间, 而与输入信号的波形无关。从而避免了因输入信号波形畸变所带来的误差。2 个矩形脉冲信号经光耦隔离后送或非门 IC₁、IC₂ 及 D 触发器 IC₃ 的输入端, 经 2 级或非门后其输出脉冲 U_3 的脉宽即为电压、电流的相位差即功率因数角。 U_3 波形如图 3 所示, (a) 负载为感性, (b) 负载为容性。D 触发器输出端的状态则反映了功率因数角的正、负即负载的感性或容性, 当负载为感性时, U_1 超前 U_2 , 当 CP 上升沿触发时, D 触发器输入端电压 U_1 已经为 1, 故输出端 Q 为 1; 而当负载为容性时, U_1 落后 U_2 , 当 CP 上升沿触发时 D 为 0, 故 Q 为 0。

系统工作于功率因数检测时, 单片机定时器 T_0 工作于 0 方式, GATE 为 1, 合成电压 U_3 输入到 $\overline{\text{INT}}_0$, 启动 T_0 后, T_0 是否计数取决于 $\overline{\text{INT}}_0$ 引脚信号。当 $\overline{\text{INT}}_0$ 由 0 变 1 时开始计数; 当 $\overline{\text{INT}}_0$ 由 1 变 0 时停止计数, 所以 T_0 的计数值等于脉冲宽度。

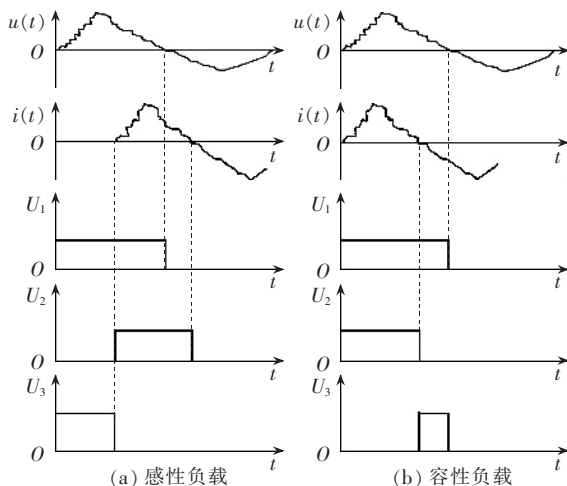


图 3 U_3 波形

Fig.3 The waveform of U_3

1.3 87c52 单片机控制电路^[10]

本系统以 87c52 单片机为控制核心。由于 87c52 片内有 8 KB EPROM,用于存放程序及功率因数表格。87c52 外扩展 1 片 8255 并行接口芯片。该芯片 PA、PB 作为 5 位共阴极 LED 显示器输出,其中 PA 口作为位选扫描口,经反相驱动器 7545N 接 LED 公共极。5 位 LED 显示功率因数时最高位表示负载性质,1 表示感性,0 表示容性。显示有功功率时,高 3 位为整数部分,低 2 位为小数部分,因而可显示 1 kW 以内的有功功率。

2 系统软件编制

软件编制采用模块化方法,整个程序由有功功率检测模块、功率因数检测模块组成。

有功功率检测模块又由初始化程序和中断服务程序 2 部分组成。初始化程序部分的主要任务是将 T_0 设置为定时器,定时值为 10 s。 T_1 设置为计数工作方式。中断服务程序的任务是对 T_1 口输入的与瞬时功率成正比的 AD 7750 的输出频率进行计数。当 10 s 定时到时,取 T_1 的计数值进行数字滤波求平均值得到与有功功率成正比的输出频率,再将输出频率转换为有功功率。

如前所述,AD 7750 输出频率与有功功率的关系为:当输入瞬时功率为 1 kW 时,输出频率为 180 Hz。有功功率为 10 s 内输出频率的平均值转换成功率: $P=(T_1 \text{ 计数值}/10)(1000/180)=T_1 \text{ 计数值}/1.8(\text{W})$,然后再输出至显示电路显示。

3 结语

本文介绍的非正弦电力系统有功功率及功率因数等参数的检测方法取代传统感应式仪表,可对 1 kW 以内任意波形有功功率及功率因数进行检测,对波形畸变的正弦系统能较准确地测量出其实际有功功率和功率因数。将其和标准的正弦有功功率、功率因数进行比较可反映波形的畸变程度,对

电力系统的正常运行监控有一定现实意义。

参考文献:

- [1] 王兆安,杨君,刘进军. 谐波抑制和无功功率补偿[M]. 北京:机械工业出版社,1998.
- [2] 吴竟昌,孙树勤,宋文南. 电力系统谐波[M]. 北京:水利电力出版社,1988.
- [3] 周治国. CAN 总线技术在功率因数动态补偿系统中的应用[J]. 微计算机信息,2003(6):29-30.
ZHOU Zhi-guo. Application of CAN field bus technology to power-factor dynamic compensation system[J]. Control & Automation,2003(6):29-30.
- [4] 高玉芹,张允超. 基于分级通信模式的住宅小区自动电能计费系统的研制[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2001(6):58-61.
GAO Yu-qin,ZHANG Yun-chao. Development of auto charge for electricity used in blocks[J]. Microcontrollers & Embedded Systems,2001(6):58-61.
- [5] 卢有伟. 工业检测与控制微机实用系统设计[M]. 南京:河海大学出版社,1994.
- [6] 刘书刚. 微控制器硬件抗干扰技术[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2002(9):14-17.
LIU Shu-gang. Anti-interference technology of microcontroller hardware[J]. Microcontrollers & Embedded Systems,2002(9):14-17.
- [7] 赵晓明,王立伟. AD 7750 乘积频率转换器及数字电度表设计[J]. 西安邮电学院学报,2002(7):56-59.
ZHAO Xiao-ming,WANG Li-wei. Design of AD 7750 product frequency converter and the digital electric kilo watt-hour meter[J]. Journal of Xi'an Institute of Posts and Telecommunications,2002(7):56-59.
- [8] 熊炳焜. 电路分析导论[M]. 上海:同济大学出版社,1990.
- [9] 刘俊峰,李雪玲. 基于单片机的电力监控系统采样技术的实现[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2001(6):67-70.
LIU Jun-feng,LI Xue-ling. MCU alternating current sampling tech in electricity monitor system[J]. Microcontrollers & Embedded Systems,2001(6):67-70.
- [10] 窦振中. 单片机外围器件实用手册[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1998.

(责任编辑:康鲁豫)

作者简介:

王秋云(1947-),男,江西吉安人,教授,主要从事电子技术、信号检测和自动控制装置等方面的教学和研究工作(E-mail: jgsuwqy@126.com)。

Parameter measuring in nonsinusoidal electric power system based on PFC

WANG Qiu-yun¹,ZOU Jie-hui²

(1. Department of Physics,Jinggangshan University, Ji'an 343009, China;

2. Department of Engineering,Jinggangshan University, Ji'an 343009, China)

Abstract: Due to the wave distortion of voltage and current in power system,the measurement accuracy of active power and power factor decreases in most measuring instruments designed for 50 Hz standard sine wave. An automatic meter for true active power and power factor of nonsinusoidal electric power system is put forward,which is composed of PFC(Product Frequency Converter) and MCU(Micro Control Unit). The PFC converts the product of instantaneous network voltage and current into a proportional frequency signal,which is sent into 87c52 for processing to get the true active power and power factor. The meter can be used to measure the true active power and power factor in any wave type. The practice shows that the system is simple,highly integrated, sensitive and stable.

Key words: product frequency converter; phasor difference detection; micro control unit