

# 单片机相位测量系统

罗晚成 胡见堂

(电子技术系)

**摘要** 本文介绍了应用单片微型计算机技术的智能化相位测量系统。该系统由软件支持,克服了硬件上的许多缺陷,具有测量精度高、工作频带宽、使用简单等特点。

**关键词** 无线电计量, 相位计量, 微型计算机

**分类号** TM933.312

传统的相位测量系统,大都采用硬件来实现。由于受器件的限制,一般只能工作在低频范围,测量相位精度低,可靠性差。本文提出的测量系统,采用单片机技术,软件与硬件相结合;不仅提高了工作频率和测量相位精度,而且具有自动故障诊断等功能,使用简单可靠。本文对该系统的电路及工作原理作了简要介绍,并探讨了几个实际问题。

## 1 测量原理

如图1所示,被测信号 $u_1$ 、 $u_2$ 由整形器变成两路方波,然后送入鉴相器输出一宽度与 $u_1$ 、 $u_2$ 之相位差成正比的脉冲信号。此信号经积分、放大得到一模拟电压,模/数变换后送入单片机进行补偿、换算等处理,最后将测量结果以数字的形式显示出来。

### 1.1 相位检测部分

相位检测原理电路如图2所示。J685为过零检测整形器,正弦信号通过它,在Q端形成方波,而在 $\bar{Q}$ 端则输出与Q反相的方波。 $K_1$ 为高速开关,其动作由单片机控制,用于工作状态的选择。E12040为鉴相器,当 $u_{1q}$ 超前 $u_{2q}$ 时,输出 $u_{1b}$ 为脉冲信号, $u_{2b}$ 为一低电平;反之 $u_{1b}$ 为一低电平, $u_{2b}$ 为脉冲信号。 $u_{1b}$ 、 $u_{2b}$ 分别经过两个对称的积分器 $R_1C_1$ 及 $R_2C_2$ 形成模拟电压信号 $u_{1c}$ 和 $u_{2c}$ 。 $C_1$ 、 $C_2$ 均有多个,它们通过 $K_{2a}$ 、 $K_{2b}$ 由单片机来控制选择,以适应不同的工作频率。

图3示出了电路中各点的波形关系。此时 $K_1$ 在测量位置,积分器已进入稳态,且其时间常数 $\tau$ 远大于信号周期 $T$ 。图中:

$$\begin{cases} u_{1c} = U_0 + Et_p/T \\ u_{2c} = u_{2b} = U_0 \end{cases} \quad (1)$$

$u_{1c}$ 及 $u_{2c}$ 送入差动放大器FG3193,得到一模拟电压:

$$u_0 = k(u_{1c} - u_{2c}) \quad (2)$$

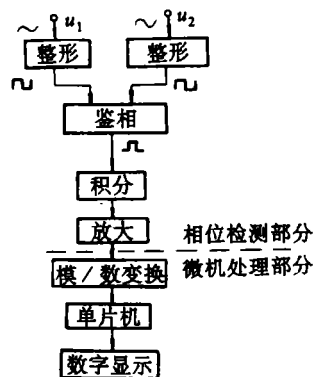


图1 测量原理简图

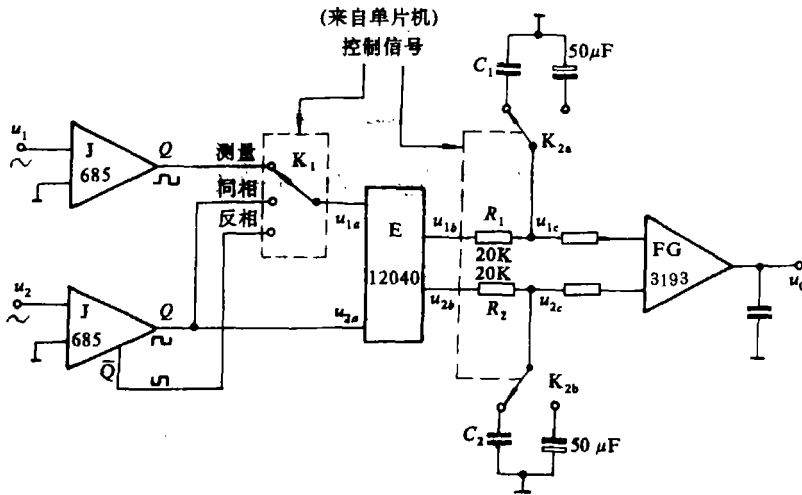


图 2 相位检测电路

式中,  $k$  为差动放大器的放大倍数。

将式 (1) 代入式 (2) 得:

$$u_0 = (kE/T)t_p \quad (3)$$

又,  $u_1$ 、 $u_2$  之相位差:

$$\phi = (t_p/T) \cdot 360^\circ \quad (4)$$

故由式 (3)、式 (4) 可得:

$$\phi = [360^\circ / (kE)] \cdot u_0 \quad (5)$$

即可由  $u_0$  求  $\phi$ , 但存在下述缺陷。

(1) 电路的鉴相特性随频率的不同而有所变化, 使得  $u_0 - \phi$  不是一一对应的关系。

图 4 示出了被测信号频率分别为 10kHz、10MHz 及 40MHz 时实测的  $u_0 - \phi$  的关系曲线。可见,  $u_0$  与  $\phi$  在单一频率上为线性的——对应关系。但在频率改变时, 同一  $u_0$  值则可对应不同频率时的不同  $\phi$  值。

(2) 电路中两通道不对称影响测量结果

若两个整形器的时延存在  $\Delta t = 0.5\text{ns}$  的不对称, 则对 30MHz 的信号会引入  $\Delta\phi = 360^\circ \times \Delta t / T = 360^\circ \cdot \Delta t \cdot f = 5.4^\circ$  的相位差。

此外, 电路中各元器件的温漂等因素也对  $u_0$  产生影响, 从而造成测量误差。

在采用单片机技术, 上述缺陷可利用软件来补偿。

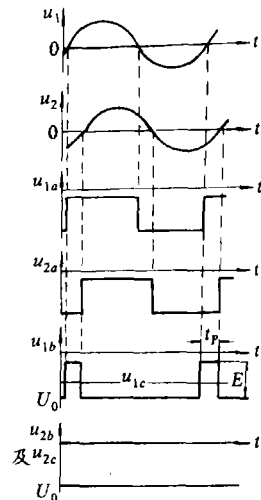


图 3 波形关系

## 1.2 微型计算机处理部分

图 5 表示本部分的原理框图。模拟信号  $u_0$  经 ADC149-14 变换成 14 位数字信号, 通过 8282 接口送至单片机 8031, 由预先存在 2716 里的软件进行补偿校正等处理, 然后由 8155 扩展器送入 T8719 显示结果。

软件的总体流程如图 6 (a) 所示。系统一开机即进行自检。若某部分电路有故障, 就显示出特定的符号。自检通过后, 系统等待键盘输入“人控”或“自控”指令。在“人控”状态, 则仍需从键盘进一步输入“校准”或“测量”指令。在“自控”状态, 系统自动地进行“校准”和“测量”, 其“校准”由定时单元定期申请。

校准和测量均基于图 4 表示的测量模型:

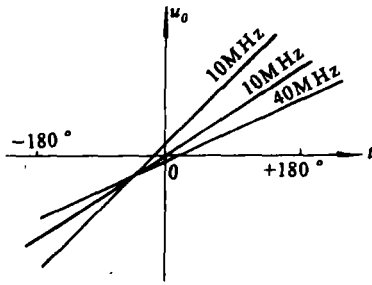


图 4  $u_0-\phi$  曲线

$$\phi = au_0 + b \quad (5)$$

式中,  $a$ 、 $b$  称为误差因子, 其值可通过“同相”和“反相”校准操作求取。

在“同相”状态  $\phi=0^\circ$ , 此时  $u_0=u_0'$ , 有

$$0 = au_0' + b \quad (6)$$

在“反相”状态,  $\phi=180^\circ$ , 此时  $u_0=u_0''$ , 有

$$180 = au_0'' + b \quad (7)$$

由 (6)、(7) 两式可得:

$$\begin{cases} a = 180 / (u_0'' - u_0') \\ b = 180u_0' / (u_0'' - u_0') \end{cases} \quad (8)$$

求得  $a$ 、 $b$  后, 即可由 (5) 式算出相位差。这由“测量”操作来完成。

“校准”和“测量”软件流程分别如图 6(b)、6(c) 表示。限于篇幅, 具体软件从略。

## 2 性能分析

### 2.1 工作频率

系统的工作频率, 其低端主要由积分器的时间常数  $\tau$  决定。为使系统正常工作, 必须使  $\tau \gg T = 1/f$  ( $f$  为工作频率)。对本系统

有  $\tau_{max} = RC_{max} = 20 \times 10^3 \times 50 \times 10^{-6} = 1s$ , 故可取频率低端为 10Hz。频率高端主要由 J685 和 E12040 决定, 可达 80MHz。可见, 系统的工作频率范围为 10MHz~80MHz。

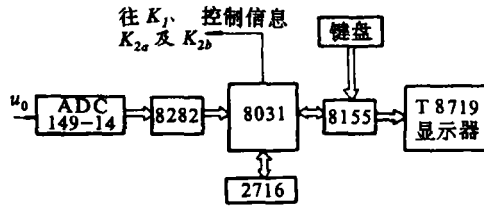
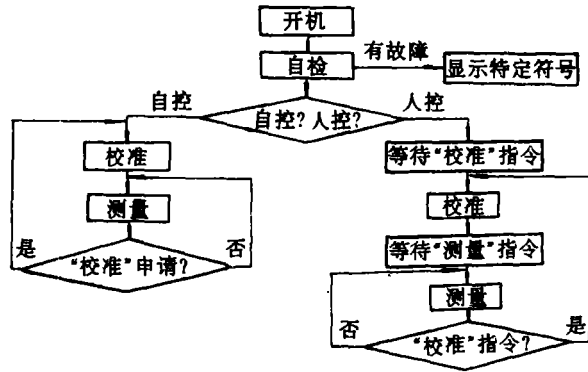
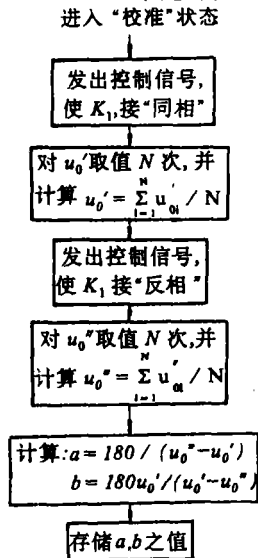


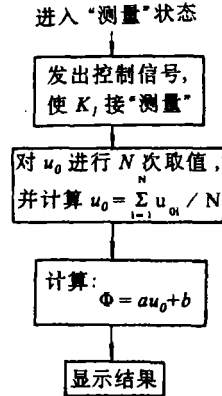
图 5 微机处理部分框图



(a) 总体流程



(b) 校准 流程



(c) 测量 流程

图 6 软件框图

## 2.2 测量误差

测量误差主要由 A/D 以后的电路引入, ADC149 的最大误差为 1/2LSB, 对应相位误差

$$\Delta\phi_1 = 360^\circ/2^{14} \cdot 1/2 \approx 0.011^\circ$$

软件中有两次除法运算, 每次有最大为 1/2LSB 的舍入误差, 对应的相位误差为:  $\Delta\phi_2 = 0.022^\circ$ .

可见, 本系统的最大测量误差为  $\Delta\phi_1 + \Delta\phi_2 = 0.033^\circ$ .

## 3 结 语

于 1991 年研制出该系统样机, 主要技术指标基本上达到要求。

### 参 考 文 献

- 1 廖常初. 使用微机的相位差测量方法. 电测与仪表, 1986, (10)
- 2 胡见堂. 固态高频电路. 长沙: 国防科技大学出版社, 1987
- 3 张世冀. 智能仪器. 北京: 电子工业出版社, 1985
- 4 赵依军, 胡戎. 单片微机接口技术. 北京: 人民邮电出版社, 1989
- 5 Saegusa T, Suzuki Y, Murse H. Digital Phase Meter Using Relative Counting A/D Conversion System. IEEE Trans. Instrum. Meas., 1978, 27: 450~452

# A Phase-measuring System Using a Single-chip Microcomputer

Luo Wancheng Hu Jiantang  
(Department of Electronic Technology)

### Abstract

This paper describes an intellectualized phase-measuring system using a single-chip microcomputer technique, supported by proper software, this system can overcome the shortcomings of complex hardware construction and possess good performance characteristics, such as high measurement accuracy, wide input frequency range, ease of operation, etc. This paper has given a full description and discussion on the hardware and the software used in the system.

**Key words** radio parameters measuring, phase measuring, microcomputer