

# 一种测量相位差的新方法

刘 杰,王旭光,赵永林

(山东交通学院,山东 济南 250023)

**摘要:**提出了一种用  $V/f$  变换测量交流电的相位差的新方法:首先产生出其幅度正比于相位差大小的直流电,再由  $V/f$  变换器转换成反映相位差大小的频率信号,在单片机的配合下,最终得到相位差。这种方法具有分辨率高,适应于大范围的各种输入频率等优点。

**关键词:**相位测量;相位差; $V/f$  变换;单片机

**中图分类号:**TM933.3 **文献标志码:**B

## 1 引言

正弦交流电信号相位差的测量可以采用多种方法实现。比较直接的数字式测量方法是在已知信号周期的前提下用定时的方法测得相位差角对应的时间,然后根据已知的周期将其换算成相位差角度。但是,这种方法的测量精度依赖于定时器的精度和分辨率。在信号频率较高或频率虽不甚高但相位差角较小时,都可能出现较大的误差。另外,由于

直接测得的是时间,相位差角要由这一中间结果与信号的周期运算后才能得到,所以周期的测量不可缺少,其测量精度也将影响相位差角的精度。

在此用一种新的思路进行相位差角的测量,用  $V/f$  变换器把相位差转换成一个其频率与之成正比的脉冲列,通过计算在一定时间内的脉冲个数测量相位差角。这种测量方法与信号的周期无关,并且可以得到较高的精度。

收稿日期:2003-10-16;修订日期:2003-11-17

题,达到了  $0.1^\circ\text{C}$  的测量精度,与此同时工业运行控制中现场操作、修改和设置等关键问题也得到了很好地解决。以上这些都在工业运行中得到厂方的认可。存在的问题主要是本仪器通用性不强,很难在更大的范围应用和推广,只能运用于某些特定的企业。今后的工作主要放在硬件和软件的改进上,例如增加一些通用性很强的功能模块。

## 参考文献:

- [1] 韩有望.采用 555 定时电路的测温方法[J].电子与自动化,1995(43):43.
- [2] 贾振.DS1820 及其高精度温度测量的实现[J].电子技术应用.
- [3] 景小宁.智能热电测温技术及其实现[J].微型机与应用,2001(1).
- [4] 刘少强.新型精密铂电阻测温方法[J].传感器技术,1999,18(2).

- [5] 李爱莲,解韶峰,夏利峰.基于单片的实用测温的实现[J].微计算机信息(工控,仪表,自动化),2001(9):26.
- [6] 张庆玲.热电偶传感器测温系统的设计应用[J].西北轻工业学院学报,2000(5):18.
- [7] 罗志坤,徐植坚.温度检测系统[J].仪表技术,1999(1).
- [8] 曹辉,胡俊,黄均.数字式温差测量电路的设计及其实现[J].微电子学,2001,31(3).
- [9] 灰承峰,李黎,张润宇.热电阻温度测量方法[Z].
- [10] 孙涵芳.Intel 16 位单片机[M].北京:北京航空航天大学出版社,1998.
- [11] 汪建,孙开放,章述汉.MCS-96 系列单片机原理及应用技术[M].华中理工大学出版社,2000.
- [12] 颜荣江,朱无清,侯文军.PSD 系列可编程单片机通用外围接口芯片原理、编程及应用[M].北京:人民邮电出版社,1995.
- [13] 窦振中.单片机外围器件实用手册:存储器分册[M].北京:北京航空航天大学出版社,1999.

## 2 $V/f$ 变换测量相位差角的工作原理

先将输入的两个同频率但存在着相位差的信号进行整形,使之变成方波,如图 1 示 A 和 B,再对 A、B 进行异或处理,异或输出信号 C 的脉冲宽度则反映相位差角。C 的脉宽  $T_1$  对应的电角度是相位差角  $\phi$ ,C 的周期  $T_2$  是信号周期  $T$  的  $1/2$  ( $T_2 = T/2$ )。如果信号角频率为  $\omega$ ,则  $T_1 = \phi/\omega$ ;  $T_2 = \pi/\omega$ 。C 为幅值为  $U$  的方波,其平均值  $U_d = U \cdot T_1 / T_2 = U\phi/\pi$ 。由此可见,C 的平均值(亦即直流分量)仅与相位差角

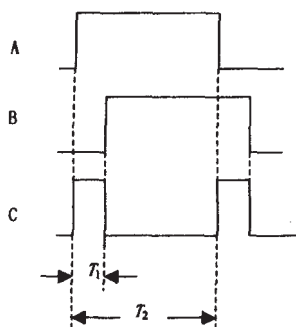


图 1 经过处理的信号

和脉冲幅度有关,与信号周期无关。

通过一个  $RC$  低通滤波器将 C 中的交流成分滤除,在滤波器的输出端就可得到单纯的直流成分  $U_d$ ,如果保持 C 的脉冲幅度  $U$  不变,那么  $U_d$  就能够很好地反映出相位差角  $\phi$  的大小。为了进行数字化处理,将在滤波器输出端得到的  $U_d$  作为  $V/f$  变换器的电压输入,它的输出  $U_f$  将是一列脉冲,其频率  $f$  正比于  $U_d$ 。这样在一定时间里通过对  $U_f$  的脉冲个数的计数,只需简单的标度变换,就可以换算出相位差角。相位差角测量电路原理图如图 2。在得到  $V/f$  变换输出信号后,利用单片机进行定时、计数、

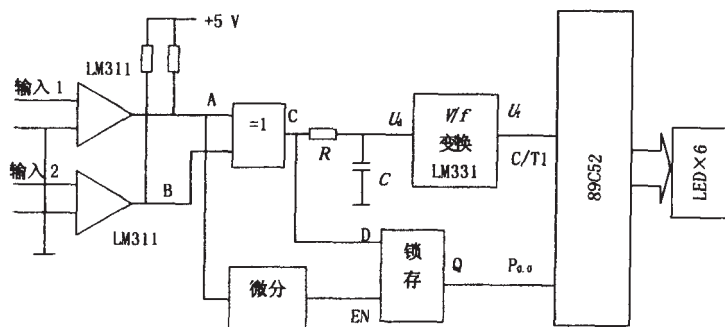


图 2 相位差角测量电路原理图

运算、显示等处理非常方便,不仅可以大大地简化硬件电路,也有利于增加功能和提高精度。本电路采用 89C52 单片机,充分发挥其定时、计数、中断、并行输出等资源的效用,组成一个功能强、结构紧凑、价格低廉的相位测量专用装置。由于单片机的灵活性,该电路的硬件稍加改造,就可以增加频率测试功能。

对于信号 A 与 B 之间的超前/滞后关系的判断,可以遵循以下原则:由图 1 可以看出,如果方波 A 上跳后,C 出现高电平,则说明 A 超前于 B;否则,如果 A 上跳后 C 出现低电平,则是 A 滞后于 B。可以通过一个锁存器来记录 A 上跳后 C 的状态。信号 A 经微分电路后接锁存器的控制端(上跳沿锁入),当信号 A 出现上跳时,微分电路输出一个正脉冲,C 的状态被从 D 端传向 Q 端保存,而后无论 A 保持高、低电平还是从高电平跳变到低电平,微分电路均不输出正脉冲,锁存器处于保持状态。直到下一次 A 的上跳锁存器的内容才得以刷新。输出端 Q 的状态随时可以被读取,Q=1 说明信号 A 超前于信号 B;Q=0 信号 A 滞后于信号 B。

## 3 电路的组成及参数选择

整个测试装置由以 89C52 芯片为核心的单片机系统构成,图 2 所示的电路为其主要外围电路。对于  $V/f$  输出  $U_f$  信号的处理,充分发挥 89C52 单片机内部定时、计数及中断功能的作用。测量结果由 89C52 经其并行口驱动 LED 显示。

### 3.1 整形电路及信号 C 的形成

两路被测输入信号分别经耦合电容与两路整形电路连接。整形电路由电压比较器构成,在此采用 LM311。该比较器可用 +5 V 单电源供电,可以简化电路结构,同时它的输出也更容易与后面的逻辑电路连接,另外 LM311 的转换速度很快,能够保证对信号整形的质量。值得注意的是,输入的两路信号可能有公共端,但也不可能不允许有公共端,而两路整形电路共地。所以每一路的两个端子都必须接耦合电容,以免在输入信号在没有公共端时经整形电路形成短路。另外,在整形电路的输入端还应设置限幅电路以保护电压比较器。

2 个 LM311 的输出即为两路方波信

号 A 和 B, 由于采用 +5 V 单电源供电, 这些信号可以直接与逻辑异或门连接, 得 C 信号。

### 3.2 滤波电路的参数选择

滤波电路采用阻容滤波, 其输入端直接与异或门的输出(即 C 信号)连接。滤波器的输出又接  $V/f$  变换器的输入端, 该端口输入阻抗很大, 可视为开路。异或门采用 74HC 系列, 当其输出高电平时, 输出级的一个接正电源的 MOS 管导通, 电源经滤波电路电阻  $R$  向  $C$  充电, 如果忽略异或门的输出阻抗, 其时间常数为  $\tau = RC$ 。异或门输出低电平时,  $C$  经  $R$  和异或门输出级的接地的 MOS 管放电, MOS 管的等效电阻很小可以忽略, 时间常数  $\tau = RC$ 。时间常数越大, 滤波效果越好, 但时间常数过大会影响电路的响应速度。如果  $R=10\text{ k}\Omega$ ,  $C=100\text{ }\mu\text{F}$ , 则  $\tau=1\text{ s}$ 。即使对于 10 Hz 的输入信号,  $\tau$  是异或门输出脉冲周期的 20 倍, 电容两端电压的波动已经很小了。

### 3.3 $V/f$ 变换电路的设计

$V/f$  变换电路采用  $V/f$  变换芯片 LM331, 采用该芯片的单 +5 V 电源供电的典型应用电路<sup>[2]</sup>。采用这种接法, 输入电压与输出频率成正比关系。输入电压从 0 变到 10 V, 输出频率从 0 变到 10 kHz。本电路的输入电压是滤波电路的输出, 其变化范围是 0~+5 V(对应相位差角为 0~180°), 相应的输出频率是 0~5 kHz。不难看出, 相位差角每变化 1°, 频率随之变化 27.78 Hz, 或者说, 频率输出的每一个脉冲对应 0.036°相位差角。0.036°即为本测量电路的分辨率。

### 3.4 89C52 内部资源的利用

89C52 内部有两个定时计数器 C/T1 和 C/T0。本电路中, C/T1 设定为计数模式, 计数器输入引脚接  $V/f$  变换器的频率输出  $U_f$ 。C/T0 工作在定时模式, 定时时间为 1 s。电路工作时, 先将 C/T1 清零, 然后同时启动 C/T1 和 C/T0, C/T0 在 1 s 定时终了时, 停止 C/T1 计数。这样, C/T1 中累计的数值  $X$  即为  $V/f$  变换器输出  $U_f$  的频率值, 将  $X$  乘以 180 再除以 5 000 即可得到相位差角的度数。

储存超前/滞后状态的锁存器的输出端可接在 89C52 的  $P_1$  口的某一位上, CPU 随时可以读取其状

态。

测量结果通过 LED 进行显示, 相位差角最大可能为 180°, 而在角度较小时, 为保证精度又应显示小数位。本电路保留两位小数。因此, 完整地显示相位差需要 6 位 LED, 即整数 3 位、小数 2 位、表示超前/滞后的符号 1 位。每一个 LED 与一个锁存/驱动电路相连接, 对应一个独立的 I/O 地址, CPU 通过 MOVX 指令向其传送数据。

## 4 应用实例

以图 2 所示电路为基础, 增加少量元器件即可组成一台数字式频率/相位测试仪。具体的做法是两路同频率被测信号经大容量无极性电容耦合到两个 LM311 比较器的输入端, 为能够测量较低的频率, 应选择较大容量的电容, 选样 1 000  $\mu\text{F}$ ; 图 2 中信号 A 与 89C52 的定时/计数输入端 C/T1 连接, 作为频率测试用。6 位 LED 轮流显示“频率”和“相位”的测量结果。实际使用表明, 该仪器在输入信号频率为几 Hz 到几十 kHz 范围均能很好地工作, 用高级别仪表校正, 相位测量误差不超过 0.05°, 该精度完全满足一般电气测量和高等学校教学实验的要求。

## 5 结论

(1) 测量相位差角的方法适合于较大频率范围的输入信号, 只要整形电路能够输出较好的方波, 滤波电路能够输出较平稳的直流电压,  $V/f$  变换的输出是一串反映相位差的脉冲列。

(2) 对相位差可能出现的整个范围  $\pm(0\sim180^\circ)$  均能测量, 理论上不存在测试死角。

(3) 测量分辨率高, 且测量分辨率与频率无关。对任何频率的信号, 分辨率均可小于 0.036°。这为提高测量精度创造了条件。

### 参考文献:

- [1] 赖寿宏. 微型计算机控制技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [2] 沙占友. 新型特种集成电源及应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1998.