

变压器特性测试仪*

支长义 卢 宜 邱求元

(郑州工学院计自系)

摘 要: 本文介绍了单片机变压器特性测试仪的软硬件结构。文中阐述了功率测量中的时分分割乘法器的原理及自动进行温度、电压、电流、频率及互感器引起的角差校正的方法。实际运行结果表明该仪器具有精度高, 能耗小, 性能稳定等优点。

关键词: 单片机, 时分分割乘法器, 补偿, 测试仪, 变压器特性

中图分类号: TP20

目前国内变压器特性测试仍在常规仪表试验台上进行。尽管近年随着计算机的普及和发展, 国内已研制出几种微机测试系统, 但仍没有跳出在通用微机系统上扩充 A/D 同时或分时采样电压电流然后把它们乘起来计算功率。由于采集速度的限制, 这些系统只适用于小型变压器(空载功率因数大于 0.05)的特性测试。对于大型变压器误差大甚至无法测量。另外, 这样的测试系统构成复杂,

体积大, 操作不便, 价格贵。本文所介绍的变压器特性测试仪正是在上述背景下研制而成。它采用价格低廉的单片机和时分分割乘法器技术, 使该测试仪可以精密地测试任何低功率因数的大型变压器的特性。针对变压器特性测试而设计的软硬件可以自动进行量程变换, 控制电压电流的升降, 自动测试显示打印报表。对测量结果自动作温度、电压、电流、频率及互感器相差修正。对元器件的温度漂移及互感器引起的角差自动作校正补偿。测试结果是真正电流与电压的乘积, 所以不象指针式仪表那样再作正弦畸变的修正。

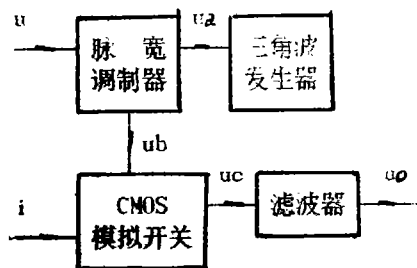


图1 时分分割乘法器结构图

1 时分分割模拟乘法器的原理及结构

时分分割乘法器是功率、电能测量中的关键部件, 它的性能将决定整个仪器的精度。它是把相乘两路信号按一定时间间隔 Δt 进行分割, 当 Δt 很小时, 可将其间的输入信号看作不变, 乘法器在每一个 Δt 内, 将两个信号相乘, 得到一个积, 然后将积取平均值, 该值即为乘积的瞬时值。通过滤波及压频变换电路得到对应的频率; 通过对频率信号计数(即积分)得到功率值。图1是时分分割乘法器的原理结构图。首先电压信号与三角波信号一起

* 收稿日期: 1994-06-26

加至脉冲宽度调整器上。该调整器的输出是占空比随输入电压信号的幅度变化的脉冲方波。该方波信号又被加至 CMOS 开关, 控制开关的开启与关断。电流信号流过该开关。因此, 流过开关的电流信号被调宽信号调制, 从而得到了幅度随输入电流变化, 而宽度随输入电压变化的脉动电流信号, 此信号经滤波得到该电流的平均值, 实现了电压信号与电流信号的相乘。

脉宽调制器是把电压 u 与三角波调制成占空比随输入电压信号的幅度变化的脉冲方波, 去控制 CMOS 模拟开关。图 2 示意性地画出了时分割乘法器的波形图。图 2 中, 在 T_1 期间流过该开关的宽度正比于输入电压 u , 幅度正比于输入电流 i 的瞬时电流波形。

当三角波的频率远远高于被测信号的频率时, 在三角波一个周期内可以近似认为 u 为恒定值。那么我们可以近似得到:

$$T_2 = (1 - Ku)T / 2 \quad (1)$$

$$T_1 = (1 + Ku)T / 2 \quad (2)$$

其中 $T = T_2 + T_1$; $K = 2 / V_{ref}$, V_{ref} 为三角波的峰峰值。

图 2 阴影部分可以近似看作矩形, 那么乘法器的输出为:

$$P = (T_1 - T_2)i / (T_1 + T_2) = Kui$$

$$= KU_m I_m \sin \omega t \sin(\omega t + \phi) = KUI(\cos \phi - \cos(2\omega t + \phi)) \quad (3)$$

对(3)式代表瞬时功率在一个周期内进行积分, 便可得到平均功率 P :

$$P = \int_0^T p dt / T = KUI \int_0^T (\cos \phi - \cos(2\omega t + \phi)) dt / T = KUI \cos \phi \quad (4)$$

通过上述推导表明, 时分割乘法器的输出信号正比于输入的有功功率。

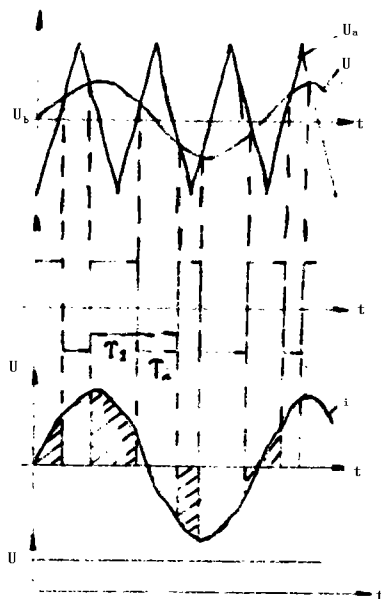


图2 时分割乘法器各点波形图

2 校正补偿方法

该测试仪对测量结果自动作温度、电压、电流、频率、互感器角差及由温度引起的元器件漂移进行修正。

2.1 变压器空载特性测试时的电压、电流、频率校正

变压器空载特性测试, 是从变压器任意一侧的绕组施加正弦波额定频率的额定电压, 在其它绕组开路的情况下测量其空载损耗和空载电流的大小。空载性能测试的主要目的是: 测量铁芯中的空载电流 I_0 和空载损耗 P_0 ; 发现磁路中的局部或整体缺陷。当施加电源的电压和频率与额定的条件不相符合时, 自动按下式进行校正。

$$P_o = P_{om} f U_e^2 (f + f_e) / (U f)^2 \quad I_{or}^2 \% = 100 \sqrt{I_{ox}^2 + I_2 o r} / I_e$$

$$\text{对于三相变压器} \quad I_{ox} = \sqrt{I_{om}^2 - (P_{om} / U)^2 / 3}$$

$$I_{or} = P_{om} f_e (f + f_e) / (1.732 U f^2)$$

其中 P_{om} 为损耗实测值; f 为实际电源频率; f_e 为额定频率; U_e 为额定电压; U 为施加电压; I_{om} 为空载电流实测值; I_e 为额定电流。

2.2 变压器负载特性测试时温度、电压、电流、频率校正

变压器负载特性测试, 是使额定电流大的一侧绕组短路, 另一侧绕组处于额定分接头位置, 并施加额定频率的额定电流; 测量负载损耗 P_{k75} 和阻抗电压 $U_{k75} \%$ 。负载特性测试的主要目的是: 标定变压器的并联运行条件及检查变压器在结构或制造上的缺陷。当施加电源的电压、频率及测试时的环境温度与额定的条件不相符合时, 自动按下式进行校正。

$$P_{k75} = [(P_{kt} - P_{rt})(0.4f_e + 0.6f)f_e / f^2 + K P_{rt} I_e^2] / I^2$$

$$U_{k75} \% = (I_e / I) \sqrt{(100 U_{kt} / U_e)^2 + [(K f_e)^2 - f^2] P_{kt} / (10 S_e f^2)}$$

$$P_{rt} = K_1 (r_1 I_{1e}^2 + r_2 I_{2e}^2) \text{ (单相变压器)} \quad P_{rt} = 1.5 K_1 (r_1 I_{1e}^2 + r_2 I_{2e}^2) \text{ (三相变压器)}$$

$$K_1 = (235 + t_2) / (235 + t_1) \quad K = 310 / (235 + t_2) \text{ (铜绕组变压器)}$$

$$K_1 = (225 + t_2) / (225 + t_1) \quad K = 300 / (225 + t_2) \text{ (铝绕组变压器)}$$

其中 P_{kt} 为 $t_2^\circ\text{C}$ 下测得的负载损耗; r_1 为原边线电阻; r_2 为付边相电阻; S_e 为变压器的额定容量; t_1 为测试电阻时的温度; t_2 为当前测试特性时的温度。

3 硬件结构

该测试仪以 8031 芯片为核心, 配备键盘电路、输入输出电路、显示电路、升降压、安全检测及时分割乘法器电路。其结构原理图如图 3 所示。

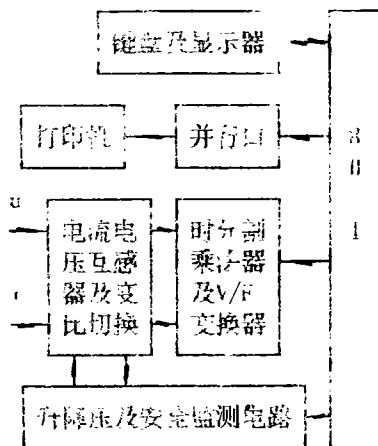


图3 硬件结构原理图

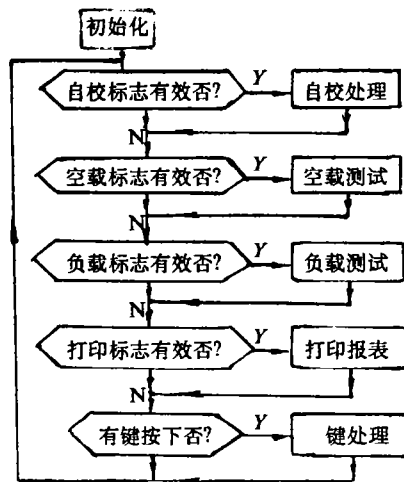


图4 程序框图

4 软件结构

该测试仪软件采用模块化设计技术。层次清晰, 结构明了, 处理快, 其程序流程图如图 4 所示。整个程序分为键盘处理程序模块、自校模块、空载测试模块、负载测试模块、打印报表模块及中断测试模块。

5 结束语

本文所述变压器测试仪经过一年多的使用表明性能稳定可靠, 线性性好, 精度高(0.05%)。系统结构简单, 经济实用。时分割乘法器的使用克服了非同步或非同时采样不能测量大型变压器特性的问题。自校克服了元器件漂移和变压器角差对测量精度的影响。对测量结果自动进行温度、电压、电流及频率修正有效地克服了人工修正造成的人为误差。提高了测量结果的可信度。

参 考 文 献

- 1 何立民编. MCS-51 系列单片机应用系统设计系统配置与接口技术. 北京航空航天大学出版社. 1990
- 2 陈粤初编. 单片机应用系统设计与实践. 北京航空航天大学出版社. 1992
- 3 沈阳变压器厂编. 变压器试验. 机械工业出版社. 1987

Measuring Meter for Transformer Performance

Zhi Changyi Lu Yi Qiu Qiuyuan

(Dept. of Computer and Automation, Zhengzhou Institute of Technology)

Abstract: The hardware and software structure of measuring meter for transformer performance controlled by single chip micro-computer is introduced in this paper. The principle of time-division multiplier which widely uses in power measuring is proposed. The compensation method for temperature, voltage, current, frequency and angle error caused by transformer is given. experimental results show that the meter possesses high accuracy, small power dissipation and performance stability.

Keywords: single chip microcomputer time-division multiplier compensatin measuring meter transformer performance