

三相异步电动机工作特性在线测试方法

孙俊杰 王建平 熊秀忠

(中国农业大学 信息与电气工程学院,北京 100083)

摘要 为解决传统方法不能在带负载情况下直接测试三相异步电动机工作特性的问题,提出一种利用圆图法理论在线测试三相异步电动机工作特性的新方法。设计了测试系统的软硬件结构,采用荷兰 Philips 公司生产的 80C51 系列单片机 80C552 芯片作为 CPU,除 80C552 基本系统外,还有采样保持、整形滤波、显示和打印电路,软件部分用 C51 语言编写。该方法的试验结果与在相同条件下采用经典试验方法得到的结果基本一致,误差在国家标准规定的范围内。试验结果证明该测试方法不仅可靠,而且简便、快捷、节省时间和人力。

关键词 三相异步电动机;在线测试;工作特性;圆图法理论

中图分类号 TP 274.5; TM 343.2

文章编号 1007-4333(2003)06-0058-04

文献标识码 A

Research on method for on line testing the working characteristics of three-phase induction motor

Sun Junjie, Wang Jianping, Xiong Xiuzhong

(College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract In order to solve the problem of which the working characteristics can not be tested directly, a new method of testing working characteristics of three-phase induction motor on line on the base of theory of round chart was developed. This system was realized by 80C51 technology. It use chip 80C552 as CPU and is composed of sampling and holding, filter wave, display and print circuits other than the system of 80C552. The software is compiled by C51. The results of the new experimentations was compared with the results of traditional experimentations at the same condition and the error was within the confines of Chinese standard. It has been proved that this new method was credible and convenient.

Key words three-phase induction motor; testing on line; working characteristics; theory of round chart

三相异步电动机工作特性的测试方法有很多种,目前国内外通常采用负载试验法,以及测功仪、转矩转速测试仪(PY1)^[1]等测试三相异步电动机的输出功率、效率、功率因数和输出转矩等工作特性。这些方法都不能在带负载情况下直接测试电动机的输出功率并得到电动机的在线工作特性,且步骤繁琐,测试时间长,需大量的人力和物力。现代工业化大生产的发展要求节约能源、节省时间、减少人力浪费,因此有必要找到一种简便、快捷,可在在线条件下对异步电动机进行测试的方法。笔者查阅了大量的国内外资料,没有发现在线测试三相异步电动机工作特性的方法。为此,依据国家标准 GB1032—

85^[2]和圆图法^[3]理论,提出一种三相异步电动机工作特性的在线测试方法——在线圆图法。

1 理论依据

当三相异步电动机定子端电压和频率保持不变时,电机的参数(各种电阻和电抗)可看作常数,因此定子电流相量 I 的末端轨迹是一个圆。圆图法理论的根据来自电动机形等效电路,若取形等效电路中的校正系数

$$k = 1 + \frac{z_1}{z_m}$$

则得到准确的圆图;若形等效电路中的校正系数

收稿日期:2003-05-21

作者简介:孙俊杰,硕士研究生;王建平,副教授,主要从事自动化检测与控制、数字化奶牛场控制技术的研究

近似地用实数

$$= 1 + \frac{x_1}{x_m}$$

代替,则得到较准确的圆图;若认为 $\sigma = 1$,则得到简化圆图。其中 z_1, z_m 和 x_1, x_m 分别为定子漏阻抗、励磁阻抗和定子漏电抗、励磁电抗。

图 1 示出电压、电流向量图。设电压相量 u 、电流相量 i 与 α 轴的夹角分别为 α_u 和 α_i , u 与 i 间的夹角为功率因数角 φ 。当电压和电流为正弦变化时,可得到有功功率

$$P = (3/2) (u_i + u i) =$$

$$3 (U \cos \alpha_u \cdot I \cos \alpha_i + U \sin \alpha_u \cdot I \sin \alpha_i) = 3 UI \cos \varphi \quad (1)$$

同理可得到无功功率

$$q = (3/2) (u i - u i) =$$

$$3 (U \sin \alpha_u \cdot I \cos \alpha_i - U \cos \alpha_u \cdot I \sin \alpha_i) = 3 UI \sin \varphi$$

式中: U, I 为电压和电流相量的有效值, α_u, α_i 和 i, i 分别是 α 坐标系下电压、电流在 α 和 β 方向上的分量。可见,对于任何一个三相电路,只要给出三相电压、电流和功率因数角的瞬时值,即可算出瞬时功率。

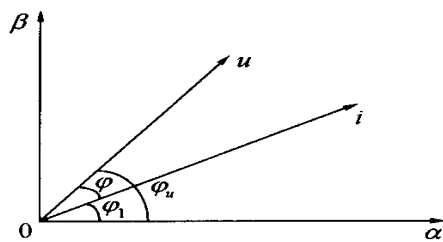


图 1 电压和电流相量图

Fig. 1 Vector chart of voltage and current

一般来说,交流信号的平均功率可表示为

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) i(t) dt \quad (2)$$

式中 T 为信号周期。根据积分理论, P 可以用公式

$$P_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i i_i \quad (3)$$

近似表示。式中 u_i, i_i 分别为电压、电流的采样值。 N 为信号周期 T 内的采样次数。一般来说, N 越大,式(3)就越接近于式(2),即

$$\lim_N P_1 = P$$

依据一定的采样规则,取较少的采样次数 N ,利用式(1)仍可得到准确的功率测量值。此外,这种算法不要求 N 次采样在一个信号周期 T 内进行,若取较

大的采样时间间隔仍可得到准确的结果。从电压和电流的采样结果中取 3 个点确定一个圆,该圆上转差率 $s = 0$ 与 $s = 1$ 之间的点必然是电动机的负载工作点。根据异步电动机的基本方程式及其相量图和等效电路,可以确定电动机的在线工作特性。

2 测试方法的实现

2.1 测试系统的硬件设计

该系统由 80C552 基本系统、信号输入、显示、键盘和打印部分组成。80C552 是荷兰 Philips 公司生产的增强型 80C51 单片机,指令与 80C51 单片机完全兼容,有 6 个 I/O 口,内部集成有 A/D 转换器。选用 80C552 作为此系统的 CPU,不用扩展 A/D 转换器和 I/O 口。由于电机的供电电压和电流值都比较大,为了将被测电压和电流转换为符合单片机输入要求的信号,必须选用合适的传感器。本系统选用 TA1420-04 型超立式穿芯交流电流互感器和 DVDF001 型超小精密交流电压电流通用互感器。TA1420-04 和 DVDF001 都具有电压隔离能力强,精度高,采样范围宽,机械和耐环境性能好,印刷电路板直接焊接安装等特点。TA1420-04 将电机运行时的大电流转换为 0~50 mA, DVDF001 将电机输入端 220 V 相电压转换为 0~5 V, 0~50 mA 电流和 0~5 V 电压均满足单片机的输入要求。本测试系统硬件设计的难点包括相角的测量、处理输入信号的采样保持、整形滤波电路。测试系统的工作流程见图 2。

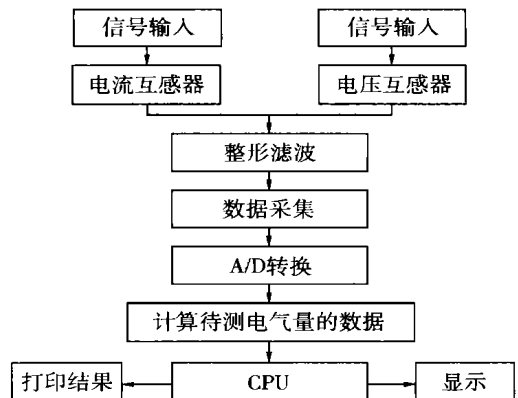


图 2 测试系统工作流程图

Fig. 2 Flow chart of the test system

2.1.1 相角测量电路

该测试方法必须测到电压、电流以及电压和电流之间的相位角 3 个参数,难点在相角的测量上。

相角的测量方法比较多,本系统采用的相角测量电路见图 3。由电压互感器取得的电压信号 u_{CA} 和由电流互感器取得的电流信号 i_B 均由比较器转换成相应的方波信号。电压方波信号经 G1 门反相后作为测量 $T/2$ 脉冲时间的门控脉冲加至 G3 门输入端,由或非门 G2 得到的 u_{CA} 与 i_B 同时为负的正极性方波脉冲作为测量时间的门控制脉冲加至 G4 门输入端。因 ALE 脉冲频率在 80C552 执行非 MOVX 类指令时是稳定的,且为晶振频率的 $1/6$,故

计数脉冲使用 80C552 的 ALE 脉冲四频后获得。80C552 内部定时器/计数器 T0 和 T1 对 G3 和 G4 门输出脉冲进行计数,P3.0 检测 u_{CA} 电压过零点。当 u_{CA} 从正到负过零点时,2 个计数器 T0 和 T1 同时开始计数;当 u_{CA} 由负到正过零点时, u_{CA} 则由 1 变成 0,计数器 T0 和 T1 同时停止计数。设 T0 计数值为 N ,T1 计数值为 n ,则所测相角

$$= 90 \times \frac{(N - n) - n}{N} = 90 \frac{N - 2 \times n}{N}$$

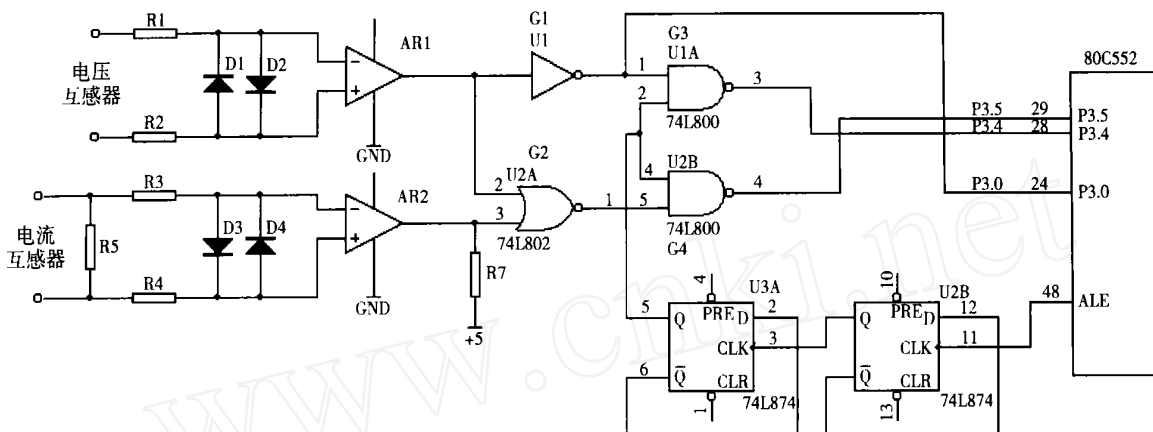


图 3 相角测量电路

Fig. 3 Phase angle measuring circuit

根据 值,利用查表程序,即可查到功率因数数值。

2.1.2 整流滤波电路

由于直流采样的精度比交流采样的精度高,为了保证 A/D 转换的高精度,设计了半波整流电路。三相交流电压、电流经过半波整流后变成直流电压、电流,采样在整流后的直流阶段进行。整流电路中选用了精度高、超低噪声的集成运算放大器 OP27G。

三相异步电动机的准确信号应为 50 Hz 的电压、电流信号,而从三相工频电源进入三相异步电动机的电流、电压信号中混有干扰信号(主要是高频信号),为避免这些高频信号对信号采集的干扰,在采样电路中设计了 RC 带通滤波电路,其中心频率为 50 Hz。

2.1.3 采样保持电路

要保证采样信号与原始信号一致,必须对 3 路电压及 3 路电流信号进行同步采样。80C552 单片机 A/D 转换速度为 50 个机器周期,当晶振频率为 12 MHz 时,转换时间为 $25 \mu s$,6 路转换则需 $150 \mu s$,6 路信号的转换必然存在着相移或相位差,使进入

80C552 的实际信号不是同一时刻采样的值。为了消除采样相位误差,在输入电路中加入了采样保持电路,对 6 路输入信号同步采样,同时保持锁定,然后由 80C552 单片机逐路进行 A/D 转换。本测试系统选用 LF398 作为采样保持器,LF398 的采样时间为 $4 \mu s$,最大采样误差为 0.01%,采样精度达到 12 bit,输入电压 5 V,补偿电压 2 mV。本系统的采样频率为 300 Hz,采样时间 $30 \mu s$ 。输入信号经过整流滤波、采样保持 3 个环节后,电压 $< 5 V$,电流 $< 1.2 mA$,符合 80C552 A/D 转换的要求,可以启动 A/D 转换。

2.2 测试系统的软件设计

本系统的软件用 C51 语言编写,采用模块化设计,整个程序由主程序和各模块组成。模块程序包括采样、报警、A/D 转换、显示、打印和圆图算法等,其中关键模块是圆图法算法程序,该算法的程序流程见图 4。相位角 的二进制整数放在 31H 中,小数部分在 30H 中,符号在 33H 中,00H 表示阻性或感性,80H 表示容性, 的十进制结果在 32H 中, \cos 在 34H 和 35H 中。

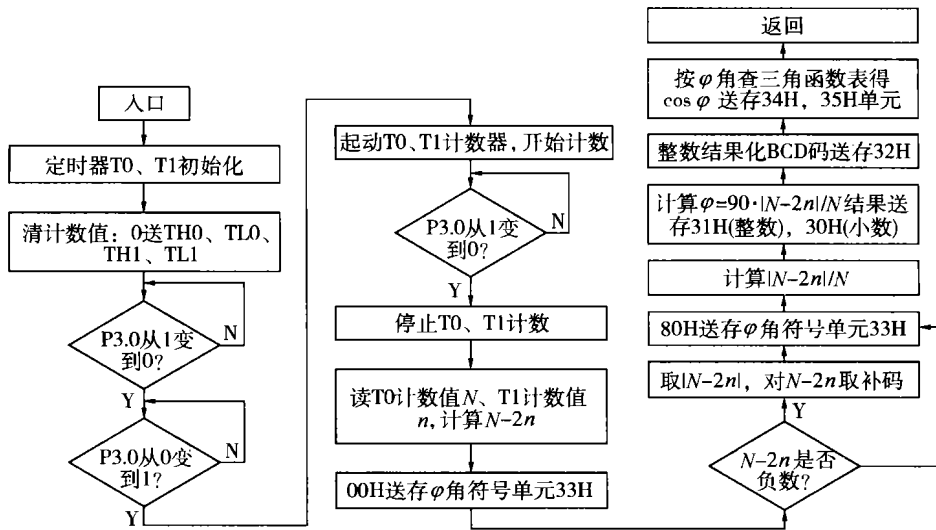


图 4 圆图算法程序流程图

Fig. 4 Flow of round chart arithmetic program

3 试验结果

运用圆图法对电动机的工作特性进行了大量的在线测试试验, 测试结果的精度和准确度与传统试

验的测试结果相比误差在 0.1% 以内, 符合国家标准 GB1032—85 规定, 证明圆图法测试结果的准确度是可信的。限于篇幅, 本文中仅给出圆图法和经典试验的效率、转差率和功率因数对比图 (图 5)。

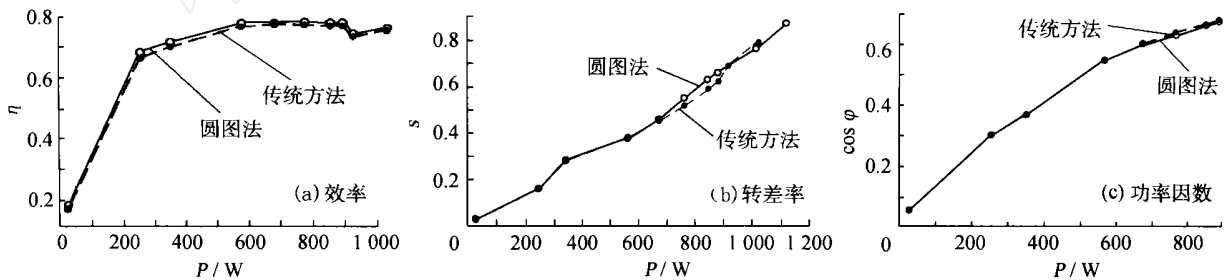


图 5 圆图法与传统方法试验结果比较

Fig. 5 Comparison between round chart and traditional method

4 结束语

采用在线圆图法实现了三相异步电动机工作特性的在线测试, 且测试结果与在相同条件下采用传统试验方法得到的结果基本一致, 误差在国家标准规定的范围内。目前还在做进一步的努力, 尽量减小测量误差, 把该测试系统完善成为一个成熟的产品。

参考文献

- [1] 机械工程手册, 电机工程手册编辑委员会. 电机工程手册 3(第 2 版) [M]. 北京: 机械工业出版社, 1996. 1-120 ~ 126
- [2] GB1032—85, 三相异步电动机试验方法[S]
- [3] 许实章. 电机学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1989. 367 ~ 381