

# 异步电动机M—S曲线动态 微分法的微机测试

郭志善 张有顺

(计算机与自动化系)

## 提 要

异步电动机的M—S曲线是反映电机运行性能的重要特性曲线。采用动态微分法测取这一曲线具有测试简便,速度快,省时省电等优点。将这一方法发展为微机测试,可使其更加实用,便于推广。文中主要介绍动态微分法微机测试M—S曲线的原理、线路,软硬件设计的特点,给出了测试总框图及测试举例。

**关键词:** M—S曲线, 动态微分法, 硬件电路, 软件设计说明。

异步电动机的机械特性曲线(简称M—S曲线)是反映异步电动机运行性能的重要特性曲线。该曲线的测试,人们提出了种种方案,但有的测试方案不能测取整条曲线;有的方案设备复杂,耗时耗能;也有的数据处理繁琐,测试精度较低。动态微分法是诸多方案中比较理想的一种测试方法,若将这种测试方案配合微型计算机进行,将取得省时、省能、装置简单、测试方便、适于大力推广的效果。

本文主要介绍动态微分法测试的基本原理及采用Z80单板机进行M—S曲线测试的系统软硬件设计和测试结果。

## 一、测 试 原 理

动态微分法的最大优点是被测电动机无需带机械负载,M—S曲线在电机空载起动过程和自由停车过程中进行测试。

### 1. 根据电力拖动系统运动方程

$$M - M_z = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} \quad (1)$$

电动机空载时,  $M_z = M_0$ , 上式为

$$M = M_0 + \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} \quad (2)$$

在电机空载起动过程中, 惯性转矩

$$M_I = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} \quad (3)$$

在电机自由停车过程中, 空载转矩

$$M_0 = - \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} \quad (4)$$

综上所述,只要测取电机空载起动过程的 $M_1 = f(s)$ 曲线和自由停车过程的 $M_0 = f(s)$ 曲线,然后将它们进行迭加即可得到异步电动机的 $M = f(s)$ 曲线

## 2. 关于转速 $n$ 和转矩 $M$ 的测取

欲在电机动态过程中测取 $M-S$ 曲线各点的静态转速 $n$ 和转矩 $M$ 值,必然采用传感器和A/D转换将非电的 $n$ 和 $M$ 这一对物理量转换为数字信号,然后再对这些数字信号进行计算和处理。

我们用直流测速发电机作为速度传感器装在被测电机轴上,这样将转速信号转化为模拟信号,该信号电压与转速的关系为

$$u_n = c_e \phi n \quad (5)$$

尔后设计一个由电阻 $R$ 和电容 $c$ 组成的微分电路,对转速电信号进行微分,从而获得加速度 $dn/dt$ 的电信号,如图1所示。根据式(3)可知,该信号反映了转矩 $M$ 信号的大小。

3. 为了实现对 $M-S$ 曲线的微机动态测试,上述转速与转矩的模拟信号 $u_n$ 和 $u_m$ 经放大或衰减后,利用A/D转换装置变为数字信号,尔后送Z80微机进行计算和处理,最后经打印机打印 $S$ 和 $M$ 数据,根据这些数据可以绘出完整的 $M-S$ 曲线。异步电机 $M-S$ 曲线动态微分法的微机测试原理如图2所示。

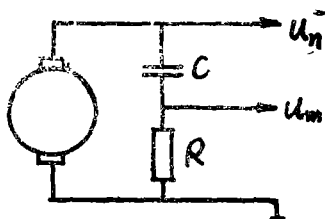


图1

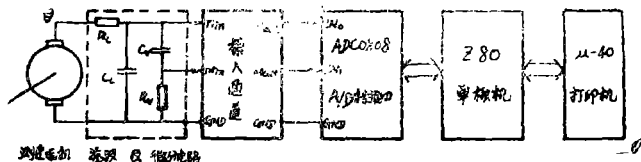


图2

## 二、测试线路及硬件电路

### 1. 滤波及微分电路参数选择

当采用直流测速发电机作为测速元件时,其换向器的脉冲电压使发电机输出电压出现纹波,这些谐波需采用滤波电路滤掉。此外,由被测电机内谐波磁场产生的附加谐波转矩也会在转矩曲线中引起波峰与凹谷,这些附加转矩的信号必须忠实反映出来,不能被衰减或滤掉。因此滤波参数 $R_L$ 和 $C_L$ 的选取应同时兼顾上述两方面的要求。根据有关资料,一般可按下式选用。

$$R_L C_L \approx 0.028 t_{st} \quad (6)$$

式中 $t_{st}$ —被测电机的起动过程时间,单位为秒。

微分电路参数 $R_V$ 和 $C_V$ 的选取对测试结果影响较大。若微分时间常数较小,测试精度较高。但若 $R_V C_V$ 太小时,纹波较大,也影响测试质量。一般可按下式选用

$$R_V C_V = (0.005 \sim 0.02) t_{st} \quad (7)$$

### 2. 转矩转速信号的模入通道

从微分电路输出的模拟电信号 $u_n$ 、 $u_m$ 的幅值大小变化较大,一般不能满足A/D转换器要

求的0—5伏电压范围, 因此应采用模入通道对信号进行放大或衰减。此外, 考虑到A/D转换器只能接受正信号的电压输入, 故通道电路中设置有半波整流电路, 以滤去负信号电压。对于转速信号 $u_n$ , 一般幅值较大, 需进行衰减; 对于转矩信号 $u_m$ , 一般幅值较小, 需进行放大。

### 3. A/D模数转换器

该转换器可采用型号为ADC0808或0809芯片。这是一种单片八路八位逐次比较式A/D转换器, 其典型转换时间为100 $\mu$ s左右。本测试系统只使用八路模拟通道中的两路。

### 4. 接口与外设的连接

具有计算机常识的人都知道, 计算机的外部设备是通过接口与计算机打交道的。本微机测试系统采用了Z80单板机, 其外部设备有微型打印机和A/D转换器两种。Z80单板机内只有一个供与外设相连接的PIO接口, 故需扩展一片PIO接口。该系统的连接如图3所示:

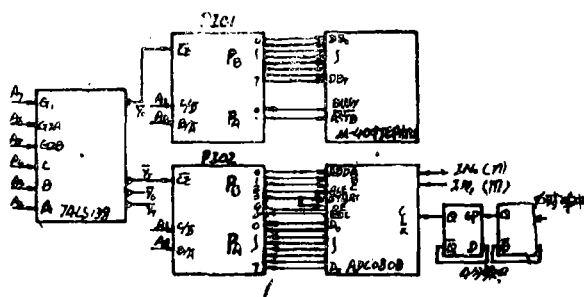


图3

机内PI01通过机内74LS138译码器的 $\overline{y_0}$ 作片选信号, 扩展PI02是利用机内138译码器空余的 $\overline{y_6}$ 作片选信号。两片PI0的口A与口B的口地址见表1。

表1. PIO接口地址

	A <sub>7</sub>	A <sub>6</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>0</sub>	口地址
PI01	1	0	0	0	0	0	0	0	A数据口80 H
	1	0	0	0	0	0	0	1	B数据口81 H
	1	0	0	0	0	0	1	0	A控制口82 H
	1	0	0	0	0	0	1	1	B控制口83 H
PI02	1	0	0	1	0	1	0	0	A数据口94 H
	1	0	0	1	0	1	0	1	B数据口95 H
	1	0	0	1	0	1	1	0	A控制口96 H
	1	0	0	1	0	1	1	1	B控制口97 H

本系统中, 打印机与PIO1接口相连接, B口工作于八位二进制数据输出, A口工作于位控方式; A/D转换器与PIO2接口相连接, A口工作于八位二进制数据输入, B口工作于位控方式。

## 三、软件设计

1. 采用动态微分法进行M—S曲线的微机测试过程分为两个阶段: 第一阶段为异步电机的空载起动过程, 它从电机转速为0开始, 到电机为稳定空载转速时为止; 第二阶段从稳定

空载转速时断电机电源开始,到电机自由停转为止。两个阶段之间可以有短暂的间歇。程序设计的主要任务之一就是要实现电机这一过程的M—S曲线测试。图4中的箭头表示了测试的全过程。在第一阶段,测试转速 $n$ 和转矩 $M$ 的值,并找出最小转矩 $M_{\min}$ 和最大转矩 $M_{\max}$ 值。

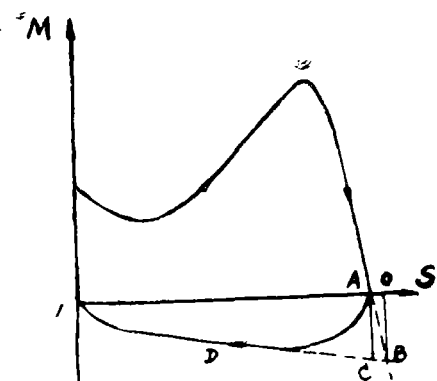


图4

2.关于采样步长的选取,应考虑以下几点:1)由于M—S曲线的非线性,采样步长应尽可能小,以满足曲线绘制的精度要求;2)要满足测取最小转矩 $M_{\min}$ 和最大转矩 $M_{\max}$ 精度的要求;3)从动态过程测取静态曲线的角度考虑,采样步长不宜太小;4)采样步长应考虑模数转换及计算机的运行速度。

根据理论分析和实验结果,我们认为采样密度以150~200组左右为宜。

实践表明,异步电机的空载起动时间不应小于(2~3)秒。以JO<sub>2</sub>42—4型2.8千瓦异步电机的动态微分测试为例,降压空载起动时间选定为3.5秒,自由停车时间为5.5秒。按采样密度为200组计算,测试第一阶段的采样允许时间为0.035秒,第二阶段为0.055秒。在整个测试系统中,数据采样、转换及处理的时间决定于测速发电机的电磁时间常数 $T_F$ ,滤波、微分电路的时间常数 $T_{LV}$ ,模入通道的时间常数 $T_m$ ,0808型A/D转换器的时间常数 $T_{AD}$ 和Z80单板机的基本指令周期 $T_z$ 等。据上述时间常数和实际测试过程的分析表明,实际的采样时间远小于采样允许时间,因此采样密度确定为(150~200)组是合理的。

3.A/D转换器每次只能进行一种信号的模—数转换,本测试每次采样有 $n$ 和 $M$ 两个量,故采用每次先进行 $n$ 的模—数转换,再进行 $M$ 的模—数转换。由于0808型A/D转换器和Z80单板机的信号处理速度极快,故认为顺次转换所得的 $n$ 和 $M$ 为前时转换所得。

4.关于 $M_{\min}$ 和 $M_{\max}$ 的查找方法。

根据前述电机测试过程的特点,在程序设计中采用先查找最小转矩 $M_{\min}$ ,然后查找最大转矩 $M_{\max}$ 的方法。查找时,在内存中设MMIN单元,并予置一个最大数,将采样值与予置数进行比较,若采样值小于予置数则取而代之,然后依次用本次采样值与MMIN单元的数进行比较,直到找出最小转矩为止。查找 $M_{\max}$ 的方法与前类似,在内存中设MMAX单元,开始予置一个最小数,将采样值与其比较,大者取而代之,如此反复,直到找出最大转矩为止。

5.程序中需编制关于转差率 $S$ 的计算子程序。为简化程序考虑,采用定点运算方式。从电机学中知道,异步电机的同步转速为

$$n_0 = \frac{60f}{p} \quad (8)$$

根据我国的电网频率为50赫兹,不同极对数的电机同步转速如表2所示。

表 2

极 对 数 P	1	2	3	4	5
同步转速 $n_0$ (转/分)	3000	1500	1000	750	600

当异步电机运行于电动状态情况下, 转差率 $S$ 在 $0 \sim 1$ 的范围内变化, 因此可将 $S$ 的计算进行简化。以4极电机为例,  $n_0 = 1500$ 转/分:

$$S = \frac{n_0 - n_i}{n_0} = \frac{1500 - n_i}{1500} = \frac{(1500 - n_i) \times 10 \times 2}{3} \times 10^{-4}$$

编制程序时, 先将 $S$ 扩大 $10^4$ 倍, 这样既解决了计算中的小数点问题, 又避免了进行除数为1500的除法。

综上所述, 考虑到不同极数电机的通用性,  $S$ 的计算公式采用下式

$$S = \frac{(n_0 - n_i) \times 10 \times P}{3} \quad (9)$$

式中 $n_0$ 为实际测试电机的同步转速, 单位为转/分;

$n_i$ 为测试时的实际采样转速;

$P$ 为实际测试电机的极对数。

计算结束以后进行打印时, 再将 $S$ 的小数点复原即可。

6. 整个测试全部采用自动控制。开始时, 由单板机发出电源合闸指令, 电机反向起动, 经过几秒钟, 发出正向起动指令, 电源改变相序; 当电机过零正向起动瞬间, 发出测试开始指令; 第一阶段测试结束时, 发延时指令后, 接着发出电机断电指令, 进入第二阶段测试; 当第二阶段结束电机停转时发测试结束指令, 由单板机计算转差率 $S$ ; 最后起动打印机, 打印出关于测试的 $S$ 和 $M$ 的数据表格及 $M_{min}$ 、 $M_{max}$ 数值。

动态微分法的M—S曲线微机测试总流程见图5

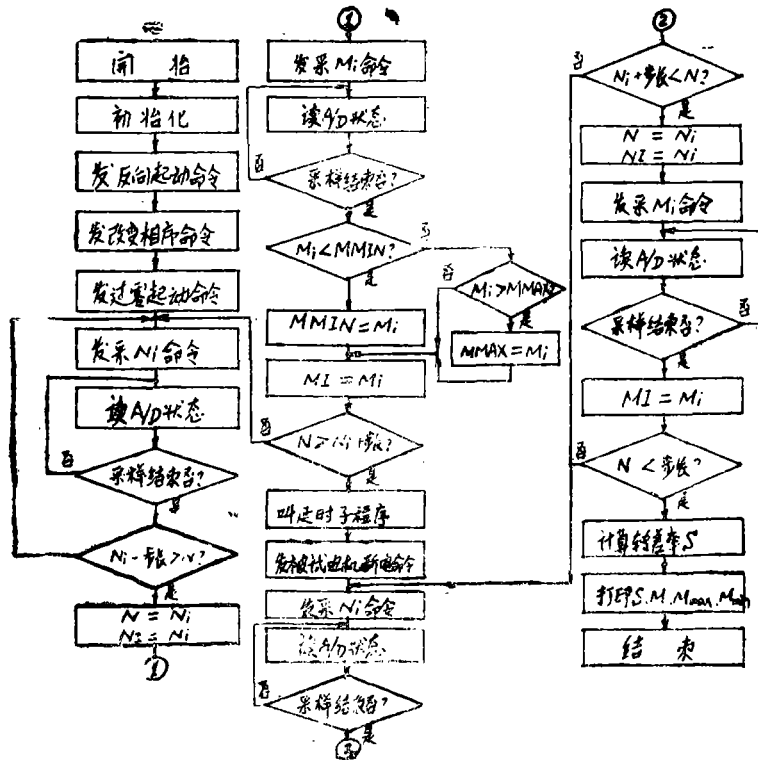


图5

## 四、几个问题的说明

1. 实验结果表明, 异步电动机的空载起动时间对测试结果影响很大。据有关文献介绍和我们的实践, 这一时间不应小于(2—3)秒。但一般小型异步电动机, 实际起动时间远远小于2秒。为了延长电机起动时间, 可采用两种办法。一是在电机轴上装配一个加大惯性的飞轮; 一是让异步电机在降低电压下起动。从测试方法来看, 后一种较为简便。但需要指出, 降压起动测得的M—S曲线不是电机额定电压下的曲线; 为此应将降压下测得的转矩M'值按下式进行折算:

$$M = \left( \frac{U_N}{U} \right)^2 M' \quad (10)$$

式中 $U_N$ 为电机的额定电压,  $U$ 为起动时的实际电压。

### 2. 转矩M和转速n的标定方法

为了测得转矩M和n的实际值, 必须先对M和n进行定标。其方法是先对被试电机进行一次空载试验, 测取被试电机的空载输入功率 $P_{10}$ , 减去电机空载时的铜耗 $P_{Cu10}$ 和铁耗 $P_{Fe}$ , 求得电机的空载机械功率, 按下式计算空载转矩 $M_0$ :

$$M_0 = \frac{P_{10} - (P_{Cu10} + P_{Fe})}{\Omega} \quad (11)$$

在图4中, 将测得的曲线由A点沿直线部分延长, 再将实际测得的空载停车曲线D的直线部分延长, 二延长线的交点B即为该电机的同步速 $n_0$ , 其横坐标轴上的对应点即转差率 $S=0$ , 据此可标定电机的转速或转差率。由A点作垂线交DB线上于C点, 则线段 $\overline{AC}$ 的长度即式(11)计算的空载转矩 $M_0$ 。据此可以标定转矩M值。

3. 由于采样、转换、处理等不可避免地存在着惯性, 因此电机开始起动瞬间的转矩值无法反映。为此测试试验应使电机开始处于反向运转状态, 然后改变电源相序使电机迅速制动, 当电机从静止开始正向起动瞬间开始微机测试。

表3

S	M
0043	1521
0250	4563
0453	6621
0640	7710
0867	8599
1013	8785
1210	9117
1563	8991
2397	8178
3067	7239
3820	6469
4507	5917
5456	5223
6787	4998
7525	4065
8234	3582
8888	3068
9052	3626
9536	4170
9980	4020

Mmin: 3068  
Mmax: 9117

## 五、测试举例

采用上述测试方法对一台JO<sub>2</sub>51—2三相异步电动机的M—S曲线进行了测试。表3中列出了打印机打出的M和S的二十组测试数组以及最小转矩 $M_{min}$ 值和最大转矩 $M_{max}$ 值。

## 六、结 束 语

利用微机实现动态微分法的异步电机M—S曲线测试是一项新技术, 它大大提高了电机测试水平, 因此值得大力推广。

这项测试技术仍可进一步发展, 例如滤波微分电路可用软件实现其功能以减少硬件电路; 在编制程序时考虑两个阶段的M—S曲线的迭加等。

由于测试是在降低电压情况下进行的, 低压时电机磁路的饱和程度与额定电压时差别很大, 因此仅仅在测试结果中简单地采用  $(\frac{U_N}{U})^2$  对转矩M进行折算将影响测试的精度, 对此问题应作进一步探讨。

### 参 考 文 献

- [1] 任仲岳主编 《电机电工的微机测试》 上海交大出版社
- [2] 何秀伟主编 《电机测试技术》 机械工业出版社
- [3] 周明德编 《微机原理及应用》 清华大学出版社

## MICROCOMPUTER MEASURE INDUCTION MOTOR M—SCHARACTE RISTIC WITH DYNAMIC DIFFERENTIATION

Guo Zhishan    Zhang Youshun  
(Computer and Automation Department)

### Abstract

The Induction motor M—S characteristic is a esseneial characteristic with operating properey of the motor. Measure of this characteristic by dynamic differentiation have advantages of measure way easiest, rapid speed, economy of time and electricity, and so on. The way is developed the measure by microcomputer, can apply good and diverge easiest. The article introduces principle, circuits, charaters of the soft and hard—ware design with dynamic dlfferentiation M—S characteristic by microcomputer measure, a s well offers whole framing picture of the measure and example with it.

**Key worde,** M—S characterstic, dynamic diffentiation, hard—ware circuit, instruction of soft—ware design.