

一种防震性能好的仪表用转换器

——转角力矩式电动机

须 龙 涛

摘 要

本文首先对作为仪表元件的力矩电机的工作原理进行分析,说明本文所论的力矩电机是一种将电流转换为力矩的转换器,又是一种动铁式电磁驱动器。

进而对力矩电机的传递函数进行了推导,并得到结果:力矩马达是一惯性加积分环节。对自制力矩电机的机械特性和调节特性进行了测试。试制和实测表明,转角力矩式电动机除机械特性和调节特性具有线性或近似线性的关系外,因其无噪声、低功耗、无自身温升及抗震性能好而获得了较广泛的应用。

一、原理与特点简述

力矩电机是众多的控制微电机中的一员,是一种低速转动驱动负载的电动机,输入功率较小而输出力矩较大。其结构原理如图1所示。在两极靴所形成的圆柱形空间内装有绕轴4

旋转的永久磁钢转子3,且它们均置于圆柱形罩盒6内,盒内充满高粘度硅油。当控制绕组7内有直流信号输入时,使极靴形成N、S极,并与转子的N、S极相吸或相斥,使转子顺转或反转。因磁路在不饱和状态下工作,电磁场强度近似与信号电流成比例。转子的转角及其方向,取决于控制绕组内电流信号的大小和方向。一般,力矩电机的输出轴上既可连有指针又可连有补偿滑线电阻等类的触点,构成电机的负载。所以,力矩电机是一个将电流转换成力矩(或转角位移)的转换器,又是一个动铁式电磁驱动器。

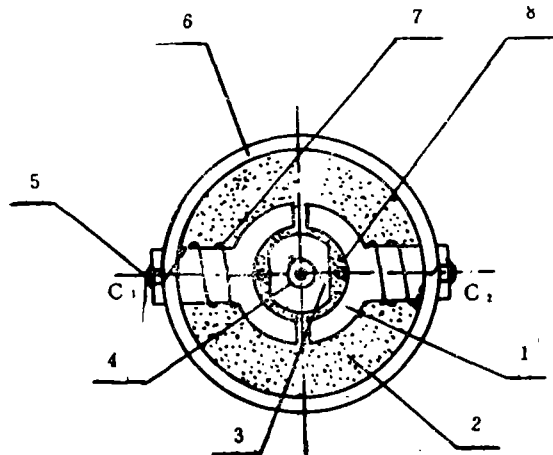


图1 力矩电机结构原理示意

- | | | |
|----------|-------|----------|
| 1-极靴 | 2-硅油 | 3-永久磁钢转子 |
| 4-输出轴 | 5-接线端 | 6-罩盒 |
| 7-输入控制绕组 | 8-限位销 | |

从结构原理上可以看出,这里是直流双极永磁式、低转速、大转矩力矩电

机，它与市售的多极永磁式直流力矩电机和多极式交流力矩电机是不同的。

由我们的试制和实测表明，转角力矩电机除机械特性和调节特性具有线性或近似线性外，尚有如下特点：1) 电机无减速齿轮，无噪声，缩短了传动链；2) 无励磁绕组的功率消耗和发热升温；3) 结构简单紧凑、成本较低；4) 马达机壳内充填高粘度硅油起阻尼作用，同时具有良好抗震性能。它适用于振动现场或机器设备和车辆上安装，同时对安装倾斜度等无需限制，且不会影响仪表指示与调节精度。

二、力矩马达的传递函数

把角速度 ω 看成是信号电流 I 和力矩电机转矩 M_g 的函数，即

$$\omega = f(I, M_g)$$

$$\text{取偏微分: } \Delta\omega = \frac{\partial\omega}{\partial I} \Delta I - \frac{\partial\omega}{\partial M_g} \Delta M_g \quad (1)$$

由马达转矩方程

$$J \frac{\partial\omega}{\partial t} = M_g - M_c = M_J \quad (N \cdot m)$$

式中： J ——系统的转动惯量（惯性矩），（ $kg \cdot m^2$ ）；

M_c ——负载力矩（负载阻转矩）及摩擦力矩之和，近似认为是常数；

M_J ——加速转矩，它使拖动系统加速。

$$\text{故有} \quad J \frac{d\Delta\omega}{dt} = \Delta M_g \quad (2)$$

将式(2)代入式(1)得：

$$J \frac{d\Delta\omega}{dt} \cdot \frac{\partial\omega}{\partial M_g} + \Delta\omega = \frac{\partial\omega}{\partial I} \cdot \Delta I$$

令 $\frac{d}{dt} = S$ ， $J \frac{\partial\omega}{\partial M_g} = T$ （时间常数）， $\frac{\partial\omega}{\partial I} = K$ （静态放大系数），则得

$$(TS + 1) \Delta\omega = K \Delta I$$

$$\text{但} \quad \Delta\omega = \frac{d}{dt} \Delta\varphi = S \Delta\varphi$$

$$\text{最后得} \quad \frac{\Delta\varphi}{\Delta I} = \frac{K}{S(TS + 1)} \quad (3)$$

由此看出，力矩马达是一惯性加积分环节。

三、力矩马达样机试验及数据整理

测试系统如图 2 所示。

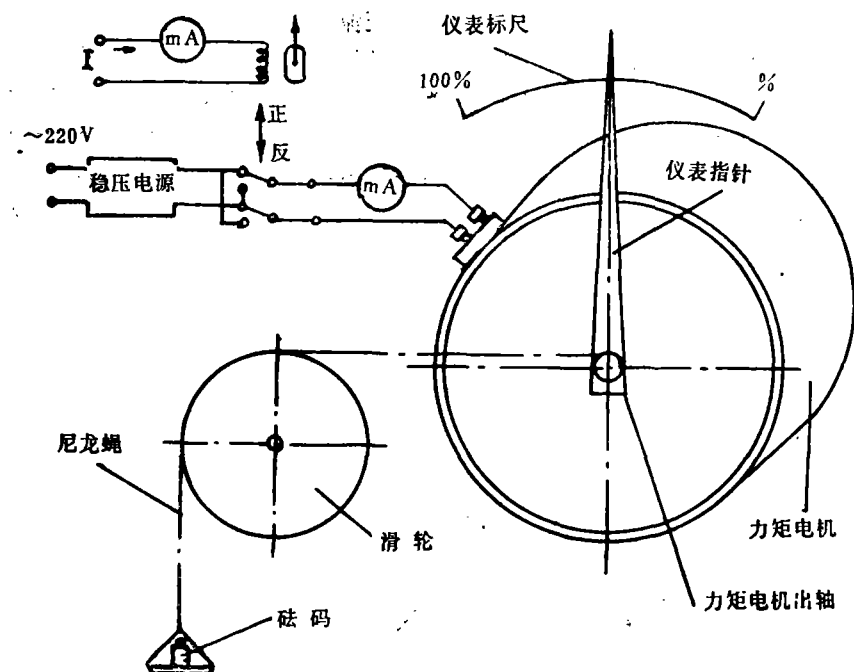


图 2 测试系统示意图

测试方法及步骤:

1. 将已加工好的 $\phi 25$ 厚 14 宽 20 的铝镍钴 V 类磁钢制成的转子曝于空气中退磁, 然后组装成力矩马达。

2. 用晶体管稳压电源给力矩马达控制线圈加直流电流信号, 同时将标准砝码用尼龙细绳通过滑轮与力矩马达的输出轴相连, 砝码重量 G 与力臂 (即滑轮圆盘半径) r 的乘积即为力矩 M_g (注: 做力矩测试时马达内不装硅油; 控制线圈数据为 $\phi 0.18$ mm, 并联 2×3000 匝)。

3. 在未施加信号电流下, 先测定 M_c 和 J , 数据如表 1 所列。

表 1 M_c 及 J 测定数据

数据名称 \ 测位	仪表标尺起始点	标尺中间点	标尺中间点	平均值
G (gf)	39.5	16.5	19.5	0.247 (N)
M_c (gf·cm)	93.8	39.2	46.3	5.86×10^{-3} (N·m)
J (g·cm ²)	0.227	0.0948	0.112	1.45×10^{-8} (Kg·m ²)
r (mm)	23.75	23.75	23.75	0.02375 (m)

4. 在施加不同信号电流下, 测量与一定砝码重量 G 相应的全行程时间 (注: 全行程转角 $\Delta\varphi = 55^\circ$, $V = 55^\circ/t$, degree/s; $\omega = v/57.3t = 55^\circ/57.3t$, rad/s), 即可整理得到相应的 M_g 和 ω 值, 数据如表 2 所列。

表 2 测定数据及整理换算

I (mA)	G (gf)	G (N)	t (s)	M _g (gf · cm)	M _g × 10 ⁻³ (N · m)	V (degree/s)	ω × 10 ⁻² (rad/s)
50	19.5	0.191	32	46.3	4.54	1.72	3
50	24.5	0.240	41.6	58.2	5.71	1.32	2.3
80	19.5	0.191	9.2	46.3	4.54	5.98	10.4
80	24.5	0.240	10.8	58.2	5.71	5.09	8.9
80	29.5	0.289	12.6	70	6.87	4.36	7.6
100	19.5	0.191	6.5	46.3	4.54	8.46	14.8
100	24.5	0.240	7.5	58.2	5.71	7.34	12.8
100	29.5	0.289	8	70	6.87	6.88	12.0
100	39.5	0.387	9.9	93.6	9.20	5.56	9.7
100	49.5	0.486	14	117.6	11.54	3.93	6.9
140	24.5	0.240	4	58.2	5.71	13.75	24
140	34.5	0.338	4.5	81.8	8.02	12.21	21.3
140	44.5	0.437	5.2	105.6	10.36	10.57	18.4
140	49.5	0.486	6	117.6	11.54	9.16	16
140	59.5	0.584	7	141.1	13.84	7.86	13.7
140	79.5	0.780	11.1	188.9	18.53	4.96	8.6
140	99.5	0.976	33	236.1	23.16	1.67	2.9
170	69.5	0.682	5.2	165	16.19	10.57	18.4
170	99.5	0.976	9	236.1	23.16	6.12	10.7
170	109.5	1.074	11	260	25.51	5	8.7
170	29.5	0.289	3.3	70	6.87	16.67	29.1
170	39.5	0.387	3.7	93.8	9.20	14.85	25.9
170	49.5	0.486	3.8	117.6	11.54	14.46	25.2
200	39.5	0.387	2.7	93.8	9.20	20.4	35.6
200	49.5	0.486	3	117.6	11.54	18.33	32
200	79.5	0.780	4.4	188.9	18.53	12.5	21.8
200	99.5	0.976	6.2	236.1	23.16	8.88	15.5
200	109.5	1.074	6.4	260	25.51	8.6	15.0

由以上数据,可作出力矩电机的机械特性和调节特性,如图 3 和图 4 所示。因由式 (1),

当 $\frac{\partial \omega}{\partial M_g} \Big|_{I=\text{const}}$ 时,通过测试可得 $\omega = f(M_g)$ 为一组曲线;同样,当 $\frac{\partial \omega}{\partial I} \Big|_{M_g=\text{const}}$ 时,通过测试可得到 $\omega = f(I)$ 为一组曲线。测试表明这两组曲线均为近似直线的特性。即当在同样的输入电流下,随着转矩的增加,其转速成比例地下降,是为机械特性;而在转矩不变的情况下,其转速随控制电流信号的增加而增加,是为调节特性。

因此,式 (3) 中的 T 和 K 便可从图 3 和图 4 由作图法求斜率而近似得到,

当 $I = 100 \text{ mA}$ 时,求曲线 $\omega = f(M_g)$ 的斜率,便是

$$\frac{\partial \omega}{\partial M_g} = \frac{14.8 \times 10^{-2}}{-12 \times 10^{-3}} = -0.123 \text{ rad/N} \cdot \text{m} \cdot \text{S}$$

同样,当 $M_g = 23.16 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}$ 时,求曲线 $\omega = f(I)$ 的斜率,便是

$$\frac{\partial \omega}{\partial I} = \frac{14.4 \times 10^{-2}}{62} = 2.32 \times 10^{-3} \text{ rad/S} \cdot \text{mA}$$

因此 $T = J \cdot \frac{\partial \omega}{\partial M_g} = 1.45 \times 10^{-8} \times (-0.123) = -0.178 \times 10^{-8}$

最后可得

$$\frac{\Delta \varphi}{\Delta I} = \frac{K}{S(TS+1)} = \frac{2.32 \times 10^{-3}}{S(1-0.178 \times 10^{-8} S)}$$

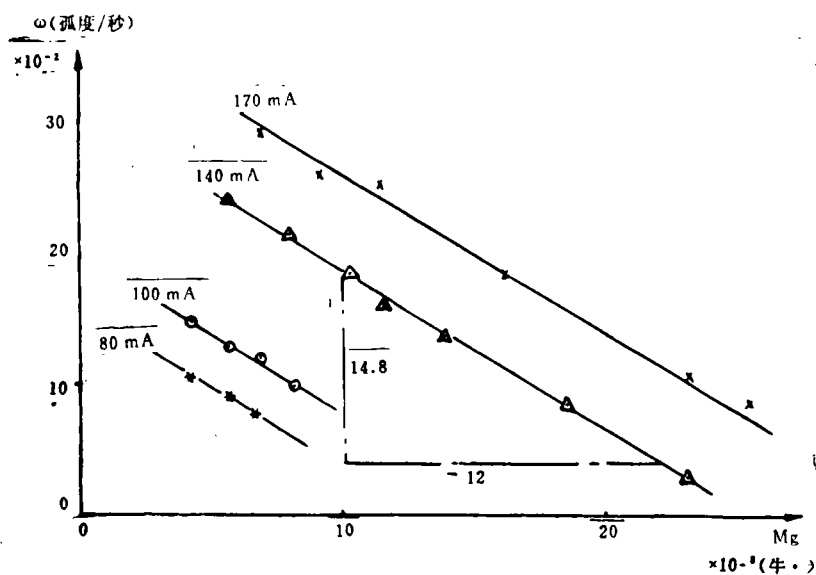


图3 机械特性 $\omega = f(M_g)$

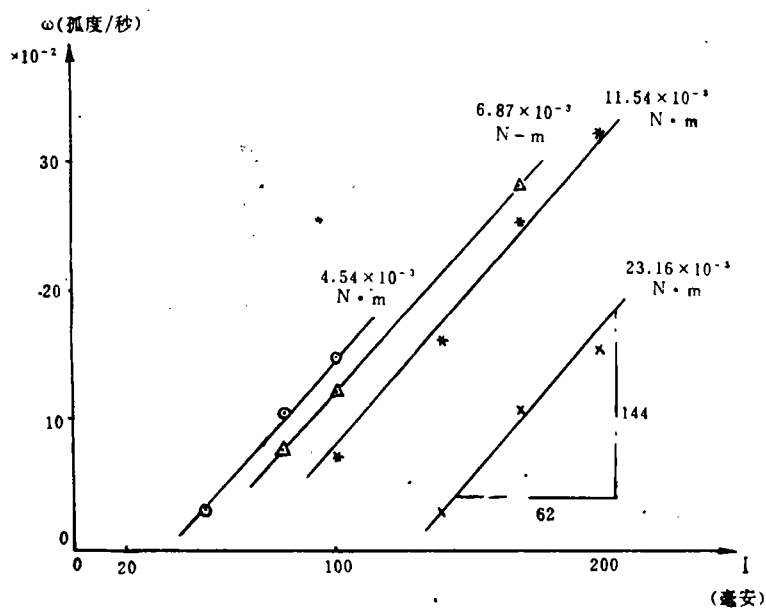


图4 调节特性 $\omega = f(I)$

参 考 文 献

- 〔1〕 东南大学 西安交通大学主编, 理论力学(下册), 人民教育出版社, 1979 年版。
- 〔2〕 合肥工业大学 顾绳谷主编, 电机及拖动基础(上册), 机械工业出版社, 1980 年版。
- 〔3〕 姚纪文主编, 自动控制元件及其线路, 国防工业出版社, 1980 年版。

A High Shake Proof Performance Translator Using Instrumentation——Torque Motor

Xu Longtao

ABSTRACT

At first, this paper has analysed fundamental theory of torque motor using instrumentation component, showing that torque motor is described in the paper is a translator that electric current turn into torque, is a moving iron type electro-magnetic driver.

Next, transfer function of torque motor is developed in the paper, reach the conclusion that torque motor is a inertial plus integral link.

It is tested that mechanical characteristics and regulating characteristics of the self-made torque motor. Trial manufacture and real test showing that the torque motor is used widely, because it has no noise, no temperature rise, low power loss, and high shake proof performance.