

Technology
实用技术

小型直流电机 控制电路 设计

〔日〕晶体管技术编辑部 编译
马 杰



科学出版社

小型直流电机 控制电路设计

〔日〕晶体管技术编辑部 编

马杰 译

科学出版社

北 京

图字：01-2012-0417 号

内 容 简 介

本书主要介绍小型直流电机的基本特性、设计方法及应用实例。主要内容包括电机与控制电路的基本特性、直流电机控制电路的设计、无电刷直流电机控制电路的设计、无传感器直流电机的驱动法、反馈控制电路的设计、30W 级直流电机控制电路的设计实例、步进电机与驱动电路的种类和特点、微步驱动电路的实验、旋转检测传感器的使用方法等。在本书的第 3 部分,还给出了与直流电机有关的专业名词的解释,对于读者理解书中的内容有很大的帮助。

本书内容实用性强、结构清晰合理、言简意赅,对实际操作有很强的指导性和借鉴意义。

本书适合各大大专院校电子、电工等相关专业的师生参考阅读,同时适合作为广大电气从业技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

小型直流电机控制电路设计/(日)晶体管技术编辑部编;马杰译. —北京:科学出版社,2012

ISBN 978-7-03-034443-4

I. 小… II. ①晶…②马… III. 小型电机-直流电机-控制电路-电路设计 IV. TM301.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 105944 号

责任编辑:孙力维 杨 凯 / 责任制作:董立颖 魏 谨

责任印制:赵德静/封面设计:卢雪娇

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京九天志诚印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 7 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2012 年 7 月第一次印刷 印张: 17 3/4 插页 2

印数: 1—5 000 字数: 357 000

定 价: 38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

目 录

第 1 部分 电机与控制电路的基本知识 1

第 1 章 电机与控制电路的基本特性 3

1.1 速度控制电路、位置控制电路、转矩控制电路的特征 3

1.2 电机的种类与控制电路的特征 9

1.3 电机的三个基本特性 13

附 录 按相应目的选用控制器及电机的方法 17

第 2 部分 电机控制电路的设计 35

第 2 章 直流电机控制电路的设计 37

2.1 直流电机的定义与种类 37

2.2 有电刷直流电机的构造及工作原理 40

2.3 直流电机的等效电路与基本特性 41

2.4 有电刷直流电机的控制 45

2.5 有电刷直流电机的参数 49

第 3 章 无电刷直流电机控制电路的设计 54

3.1 3 相无电刷直流电机的构造 54

3.1.1 构造与驱动方法 54

3.2 测定 3 相无电刷直流电机的特性 57

3.2.1 概 述 57

3.2.2 M63006FP 的构成及其基本功能 58

3.2.3 测定结果 60

3.3 脉冲宽度调制电机驱动电路的省电化	63
3.3.1 脉冲宽度调制驱动电机的原理	64
3.3.2 3相无电刷直流电机的脉冲宽度调制电路的实际工作情况及设计时的注意要点	65
3.3.3 省电化的考虑	68
3.3.4 小 结	70
第4章 无传感器直流电机的驱动法	71
4.1 无传感器直流电机	71
4.1.1 无传感器直流电机的特点	71
4.1.2 3相无传感器直流电机驱动电路的方框图	72
4.2 3相无传感器直流电机的构造及工作原理	73
4.2.1 如何检测出转子的位置	73
4.2.2 检测转子位置的原理	74
4.3 如何可靠驱动无传感器直流电机	76
4.3.1 要使电机从停止状态启动	76
4.3.2 驱动时序信号的编制方法	78
4.4 如何检测出脉冲宽度调制驱动时的过0点	79
4.4.1 脉冲宽度调制驱动时的问题	79
4.4.2 解决方法	80
4.4.3 实测波形	81
附 录 降低电机旋转噪声	82
第5章 反馈控制电路的设计	85
5.1 用人的动作理解反馈控制	85
5.1.1 人的身体与电机控制电路的对照	85
5.1.2 开环控制与闭环控制	86
5.1.3 如何实现稳定、高精度的反馈控制	86
5.2 直流电机伺服系统的种类	87
5.2.1 直流电机伺服系统各部分的功能	87
5.2.2 直流电机伺服系统的种类及特点	87

5.3	反馈技术的基础	88
5.3.1	方框图	88
5.3.2	反馈电路的传递函数	88
5.3.3	GH 的大小与反馈电路的工作	89
5.4	传递函数的基础	89
5.4.1	系统的传递函数是两个简单传递函数的组合	89
5.4.2	频率特性	90
5.5	直流电机伺服系统的设计示例	92
5.5.1	电路组成	92
5.5.2	决定电路稳定性的开环传递函数	93
5.5.3	电机与测速发电机合并的传递函数 $M(j\omega)$	94
5.5.4	电机驱动器的增益 K_d	96
5.5.5	频率-电压变换电路的传递函数 $H(j\omega)$	97
5.5.6	画出 $G(j\omega)$ 的伯德图	99
5.5.7	小 结	102
第 6 章	30W 级直流电机控制电路的设计实例	103
6.1	系统设计	103
6.1.1	设计参数	103
6.1.2	设计速度控制电路	104
6.2	各组成电路及元件	106
6.2.1	电机驱动电路	106
6.2.2	使用直流电机 DSE48BE25-153	109
6.2.3	脉冲宽度调制电路	109
6.2.4	停顿时间电路	109
6.2.5	速度检测电路	110
6.2.6	速度及电流控制电路	111
6.2.7	电源电路的补充说明	112
6.3	参数与元器件的选定	112
6.3.1	系统的响应频率带宽	112
6.3.2	电流环路的传递函数及电路参数	113

6.3.3	速度环路的传递函数及电路参数	118
6.3.4	大功率场效应管的参数确定	120
6.4	系统工作的确认及调整	121
6.4.1	接通控制系统的电源	121
6.4.2	接通大功率场效应管驱动部分	122
6.4.3	接通电源驱动部分的电源	123
6.5	测定特性	123
6.5.1	开环特性	123
6.5.2	阶跃响应	124
6.5.3	转速-转矩特性	125
6.6	实际设计时的一点忠告	127
6.6.1	不知道负载惯性时的最佳设计法	127
6.6.2	设计举例	128
第7章	步进电机与驱动电路的种类和特点	129
7.1	步进电机所用材料及适用场所	129
7.1.1	步进电机适合用在什么地方	129
7.1.2	步进电机的特点	130
7.1.3	步进电机的种类	131
7.2	工作原理	132
7.2.1	概 述	132
7.2.2	实际的动作	133
7.3	驱动电路的工作	134
7.3.1	分配电路	134
7.3.2	励磁电路	138
7.3.3	电源电路及控制电路	141
7.4	定电压驱动器与斩波驱动器的实验	141
7.4.1	实验电路的设计	142
7.4.2	特性评价	148

第 8 章 微步驱动电路的实验	150
8.1 微步驱动的工作原理	150
8.1.1 什么是微步驱动	150
8.1.2 把 1 个步进角细分化的方法	150
8.2 微步驱动的实验	152
8.2.1 制作实验电路	152
8.2.2 实验电路的细节	152
8.2.3 特 性	155
8.3 其他机种的微步驱动特性	157
8.3.1 实验条件	157
8.3.2 实验结果	158
8.4 微步驱动时的角度精度	158
8.4.1 微步驱动时的定位精度	158
8.4.2 小 结	160
附 录 可靠的步进电机选择方法	161
 第 9 章 旋转检测传感器的使用方法	164
9.1 测速发电机	164
9.1.1 概 述	164
9.1.2 测速发电机的种类	165
9.1.3 工作原理	168
9.1.4 基本工作电路	169
9.1.5 应用实例	170
9.2 旋转编码器	172
9.2.1 概 述	172
9.2.2 编码器的种类	172
9.2.3 基本工作电路	175
9.2.4 实际应用示例	180
9.3 电位器	181
9.3.1 概 述	181
9.3.2 电位器的种类	181

9.3.3 电位器的工作原理	183
9.3.4 基本工作电路	184
9.3.5 实际安装示例	184
附 录 使用运算放大器设计比例积分控制电路	185

第3部分 对解读本书有帮助的直流电机词汇 ... 189

第 **1** 部分

电机与控制电路的 基本知识

第 1 章

电机与控制电路的基本特性

机电控制电路设计的第 1 步

熊坂 伊久男

日常生活中使用最多、最方便的能源就是电。电能是以交流和直流两种形态供应。交流电有商用电源 100V 和工业用电源 200V；直流电有干电池或蓄电池等。把电能变换成转矩(旋转的力量)或转速机械能的是电动机。

在机械能中,随着对速度、位置或转矩的要求不同,所使用的电机控制电路和电机种类也各异。下面首先按照使用目的,来说明控制电路的不同。

1.1 速度控制电路、位置控制电路、转矩控制电路的特征

在机械装置中,电机和电机控制电路可进行以下控制(图 1.1)。

- ① 使速度或转速变化的速度控制。
- ② 调整旋转力量的转矩控制。
- ③ 移动到目的位置的位置控制。

图 1.2 示出了各控制电路的基本构成。由图 1.2 可知,这几种控制电路的基本结构相同。如图 1.3 所示,市场上销售的很多电机控制电路都可以应对多种控制要求,只要切换适合该用途的反馈回路即可。

下面介绍各控制电路的特征。

1. 速度控制

速度控制有以下两个目的：

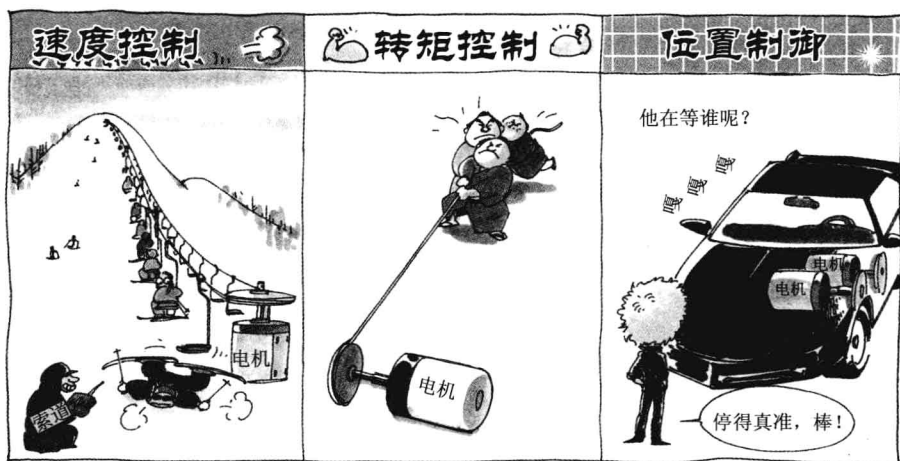


图 1.1 速度控制、转矩控制及位置控制

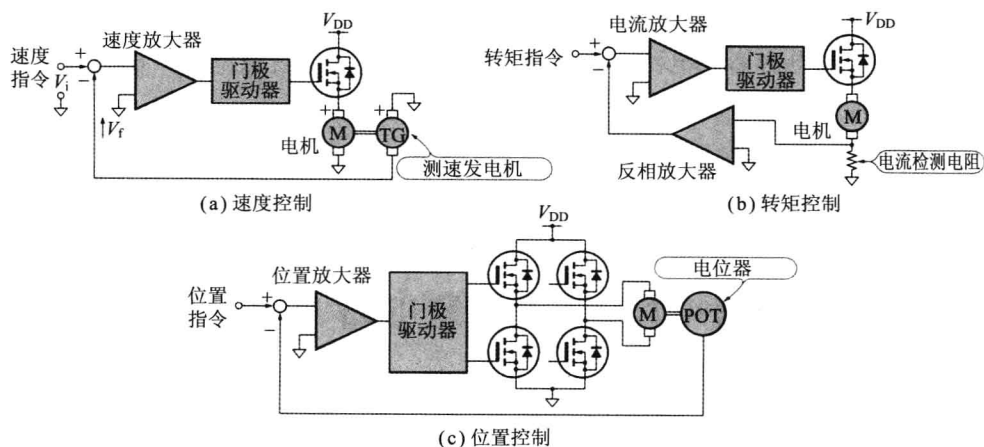


图 1.2 各种电机控制电路系统的方框图

- ① 可以改变电机的转速。
- ② 即使受到负载变动的影响,也能保持速度为一定值。

速度控制分为以下 3 种方法:

- ① 开环电压控制。
- ② 闭环控制。这是一种将速度传感器装在负载上的反馈控制方法,如图 1.4(a)所示。

③ 半闭环控制。这是一种将速度传感器直接装在电机轴上的反馈控制方法,如图 1.4(b)所示。

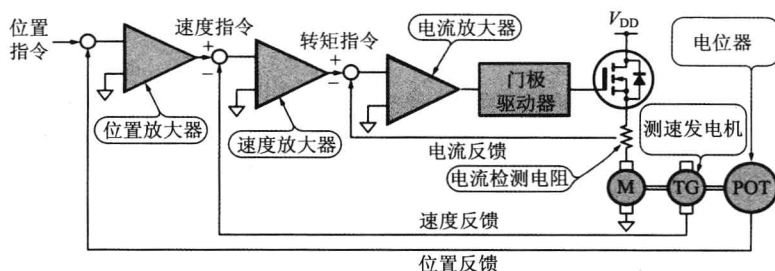


图 1.3 速度控制、转矩控制、位置控制兼用的控制系统

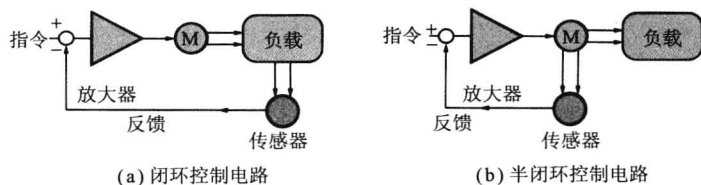


图 1.4 闭环控制电路与半闭环控制电路的区别

下面介绍开环控制电路及反馈控制电路的特点。

1) 开环控制电路的特点

图 1.5(a) 示出了开环电压控制直流电机的负载特性。图中电机的供给电压 E 下降时 ($E_1 \rightarrow E_3$)，转速特性曲线向原点平行移动，即空载转速 N 和启动转矩 T 都与 E 成比例下降。尤其在低速驱动时 ($E = E_3$)，因启动转矩太小 ($T = T_3$)，控制电路有时不能输出电机的额定转矩，即开环电压控制的电路非常简单，但不适用于宽范围的速度控制。

2) 反馈控制电路的特点

图 1.5(b) 所示是由检测转速的测速发电机 (照片 1.1) 反馈速度控制电路

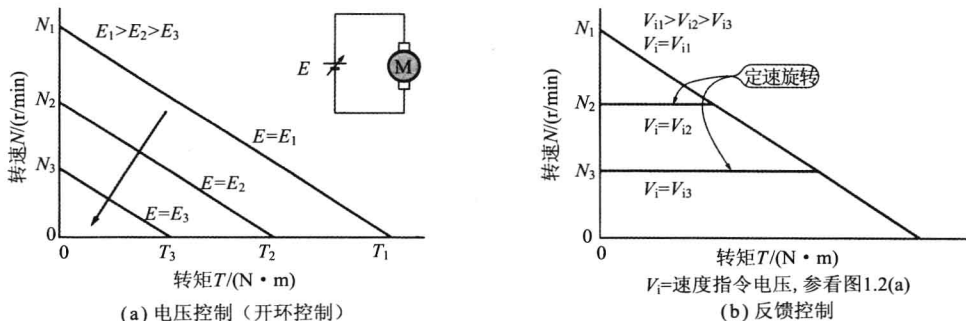
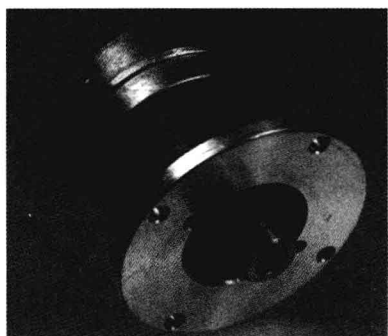


图 1.5 开环控制电路与反馈控制电路的转矩-转速特性 (负载特性)

驱动的直流电机负载特性。在改变速度指令电压时,显示出高速(N_1)→中速(N_2)→低速(N_3)的特性变化。



速度传感器是将永磁型直流电机当作发电机使用,发出速度反馈电压信号。为了使运算放大器工作,绕组设计为电机最高转速时产生10V直流电压。

照片 1.1 用于检测直流伺服电机转速的传感器:测速发电机

[T0, 直流 3V/(kr/min)][泽村电气工业(株)]

由图 1.2(a)可知,反馈控制电路使得速度指令电压值 V_i 与转速检测值(测速发电机输出的电压) V_f 相等。

● 专 栏 ●

■ 转 矩

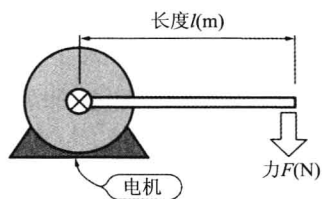


图 1.6 转矩的定义

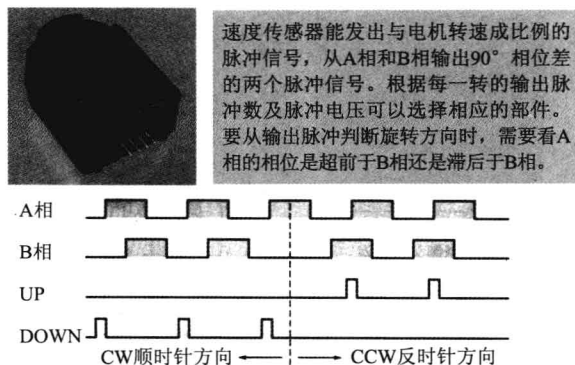
电机是一种旋转机器,其速度用转速 N (r/min) 表示;旋转的力量用转矩 T ($N \cdot m$) 表示,如图 1.6 所示。图中的转矩是以电机的输出轴为支点,在长度是 l (m) 的杠杆端部有力 F (N) 发生时,转矩用 $T = lF$ 表示。假定力的方向与杠杆垂直,即作用在 90° 方向。

如果启动时需要大转矩,则需提高供给电机的电压,以保持转速一定。

高速时转速 N_1 与电压控制[图 1.5(a)]时的转速 N_1 有同样特性,其理由是供给电机的电压最大,即上升到电源的电压时,反馈控制不起作用了。换言之,需要的转矩太大,但电源无法供应超过本身的电压。

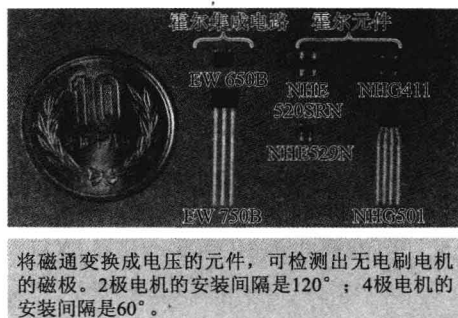
在用来检测速度的传感器中,常常使用测速发电机(照片 1.1)、编码器(照片 1.2)、霍尔集成电路与霍尔元件(照片 1.3)等。此外在永磁型直流电机中,还会采用利用感应电压的无传感器型来代替速度传感器。

1.1 速度控制电路、位置控制电路、转矩控制电路的特征



照片 1.2 用于检测转速的传感器:编码器 HEDS-5500A12

(500 脉冲/转,TTL 兼容)[Avago Technologies(株)]



照片 1.3 用于检测无电刷电机磁极的传感器:霍尔集成电路[旭化成电子(株)]

与霍尔元件「日本 SERAMIC(株)」

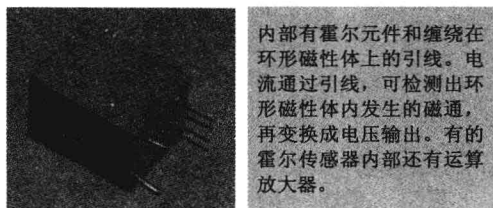
2. 转矩控制

转矩控制的目的是控制电机启动时的旋转力。例如,拧紧螺钉的机器人需要把旋转力(转矩)调节到适合螺钉的大小和材质,还有磁带录像机的电机控制电路,当磁带卷变粗时如果不降低转矩就会拉断磁带,因此需要调节合适的旋转力(转矩)。

在转矩控制里也有开环控制及使用电流检测传感器的闭环控制。由后面章节提到的式(1.2)可知,直流电机的转矩与电枢电流有比例关系,因此要实现反馈控制,就必须检测电机的电枢电流。检测电流的传感器使用霍尔传感器(照片1.4)或电阻器(照片1.5)等。

3. 位置控制

位置控制的目的是将物体移动到目的位置,移动完成后停止。位置控制包



照片 1.4 用于检测电流的传感器:霍尔传感器 SMC-10-PD

($V_{out} = \pm 4V$, $I_f = \pm 10A$)[LUX 工业(株)]

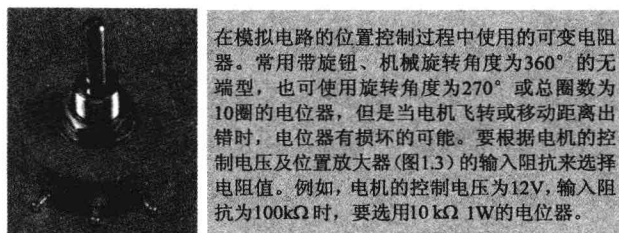


照片 1.5 用于检测电流的传感器:电阻器 3XXL0.05Ω

(0.05Ω, 3W)[(株)磐城无线研究所]

括开环控制和闭环控制,用于开环位置控制的电机就是步进电机。步进电机能根据控制用输入脉冲信号的数量来控制旋转角度,所以不需要反馈。但因没有位置反馈,一旦发生失调,旋转角(即位置)会产生误差。失调是指步进电机脱离了“每一个控制信号脉冲旋转一个步进角”的规律,特别是在超出电机驱动能力的强转矩或给予高速脉冲时发生。

在闭环位置控制方法中,有使用电位器(照片 1.6)的模拟定位方式及使用编码器的数字定位方式。



照片 1.6 用于检测位置的传感器:电位器 JP-30

(10kΩ, 360°, 无端型)[日本电产 COPAL 电子(株)]