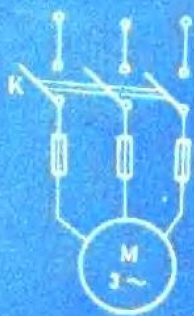
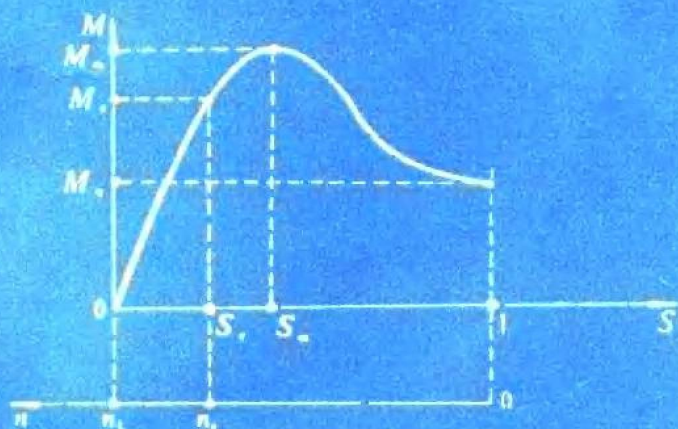


实用电气控制

编著 王学勤 任 艺



上海交通大学出版社

实用电器控制

出版: 上海交通大学出版社
(淮海中路1984弄19号)

发行: 新华书店上海发行所

印刷: 上海市崇文印刷厂

开本: 787×1092(毫米) 1/16

印张: 14.75 插页 2

字数: 358000

版次: 1989年11月 第1版

印次: 1989年12月 第1版

印数: 1—5000

科目: 205—345

ISBN7-313-00579-2/TH·134

定价: 4.75 元



前 言

现代工业的发展打破了各类专业之间的界限，而各门科学之间的结合又产生了巨大的动力，有力地促进了现代工业的发展。因此，现代工业的发展，要求广大科技人员具有相当广泛的知识面。

本书编著的目的，就是为了使搞机械设备等非电专业的设计人员对电气控制技术有一个比较系统的了解，有助于自动化机械设备设计的整体化和合理化。同时，也可作为电气技术人员和电气工人的参考用书。

本书主要介绍电气传动系统控制设备的原理和设计。全书共分为三篇。第一篇讲述以接触器、继电器为主的断续控制系统；第二篇讲述发电机-电动机系统（简称G-M系统）和电机放大机的调速系统（简称JG-M系统）以及可控硅整流装置组成的电动机调速系统（简称KZ-M系统）的连续控制系统；第三篇讲述电气传动系统的设计方法。在内容上力求实用、深入浅出，删除了专业教材过分理论化和潮流化的部分，增加了目前我国工业上广泛使用并正在推广使用的线路、设备数据和设计方法，使读者能在较短的时间内掌握电气控制系统的原理及其设计的一般方法。

书后的附录介绍了一些常用产品及最新产品的规格和设计用表，供读者设计电路及选择电器时参考。

本书作为成人高校机械类非电专业的教材，则重点在于电气的断续控制系统。本书对半导体变流技术及数控、集成电路等技术也作了较为详细的介绍，教学时可酌情删减。

本书由上海交通大学主审，并采用了钱尚孙同志提供的一些工程实践材料，在此表示诚挚的感谢。

本书不当之处敬请指正。

编者

1989年8月

目 录

第一篇 断续控制系统

第一章 实用电气传动及其控制	(3)
§ 1-1 电气传动系统的构成与发展	(3)
§ 1-2 常用电动机的拖动特性及其控制要求	(3)
第二章 实用电气的基本控制电器	(14)
§ 2-1 控制电器的基本结构	(14)
§ 2-2 手动电器	(16)
§ 2-3 接触器	(19)
§ 2-4 热继电器	(23)
§ 2-5 自动空气断路器	(26)
§ 2-6 继电器	(28)
§ 2-7 交流接触器的直流运行	(30)
第三章 实用电气的基本控制线路	(37)
§ 3-1 时间控制线路	(37)
§ 3-2 速度控制线路	(40)
§ 3-3 行程控制线路	(42)
§ 3-4 电流控制线路	(45)
第四章 实用电气的顺序控制	(50)
§ 4-1 步进控制线路	(50)
§ 4-2 程序预选线路	(60)
§ 4-3 基本逻辑	(62)
§ 4-4 顺序控制器	(72)
§ 4-5 计数线路	(76)
第五章 机械设备的电气控制系统(整机举例)	(80)
§ 5-1 CW6163和CM6132型普通车床的电气控制系统	(80)
§ 5-2 T619型卧式镗床的电气控制系统	(85)

第二篇 连续控制系统

第六章 交磁电机放大机的调速系统	(98)
§ 6-1 电气调速系统的主要性能指标	(93)
§ 6-2 发电机—电动机组调速系统的结构和工作原理	(94)
§ 6-3 交磁电机放大机	(97)
§ 6-4 用交磁电机放大机控制的直流发电机—电动机组调速系统	(101)

§ 6-5 交磁机控制的龙门刨床的电气调速系统.....	(108)
第七章 可控硅整流装置及其调速系统.....	(117)
§ 7-1 整流二极管及可控硅元件.....	(117)
§ 7-2 单相可控硅整流电路.....	(120)
§ 7-3 三相可控整流电路.....	(127)
§ 7-4 可控硅整流装置的触发电路.....	(132)
§ 7-5 可控硅一直流电动机调速系统.....	(134)

第三篇 实用电气控制的设计与安装

第八章 主电路的设计与电动机的选择.....	(143)
§ 8-1 电气设计的主要内容和条件.....	(143)
§ 8-2 电气传动型式的选择.....	(144)
§ 8-3 电动机容量的选择.....	(145)
§ 8-4 电气设备的安装.....	(153)
第九章 控制电路的设计.....	(157)
§ 9-1 电气控制方案的选择.....	(157)
§ 9-2 控制电路的设计.....	(158)
§ 9-3 一次电路的设计.....	(162)
§ 9-4 电气原理图的绘制.....	(168)
附录.....	(172)

第一篇 断续控制系统

断续控制系统在生产实际中被广泛采用。所谓断续控制系统，就是由开关元件所组成的起断续作用的控制系统。由于开关元件只有导通和断开两种截然不同的状态，它不能连续反映控制信号的变化，因此它所能实现的控制必然是断续的。

具有导通和断开两种状态的开关元件可以采用继电器、接触器，也可采用晶体管以及数字集成电路等等。本篇介绍的电器控制线路、顺序控制器以及机床数控基本线路都是属于断续控制系统。

电器控制线路主要由按钮、继电器、接触器等组成。其优点是结构简单、造价低廉、抗干扰能力强、调整维护方便。运用它不仅可以实现生产过程自动化，而且还可以实现集中控制和远距离控制，因此电器控制线路是目前工业生产中最基本的控制型式之一。其缺点是工作频率低，触点容易损坏，可靠性差。

顺序控制器是由继电器-接触器控制系统发展而来的。它是六十年代末出现的一种新技术。所谓顺序控制器就是能够根据工艺预先安排好的程序，一步一步顺序地进行工作的自动控制装置。它的优点是：程序可以灵活地改变，通用性强；另外，由于采用晶体管、集成电路等电子元件，其体积大大缩小。其缺点是抗干扰能力差、功率较小，有时成本价格较高。

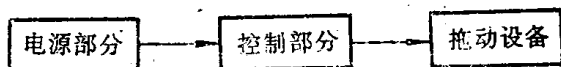
断续控制系统是电力拖动自动控制领域的重要组成部分，它可以大大地提高生产率，减轻劳动强度，提高产品质量。

第一章 实用电气传动及其控制

§ 1-1 电气传动系统的构成与发展

电,是现代工业的命脉。由于电能的生产和转换、传输和分配、使用和控制是十分经济方便的,因此,电能已经成为现代工业动力的主要来源。

实现电能-机械能的转换,除了直接进行能量转换的电磁装置(如电动机、电磁铁等)外,还需要配置一套馈电、保护、控制等装置。这样,它就构成了一个基本的电气传动系统,如图1-1所示。



电源部分主要是由电源开关及电源保护装置构成。它的任务是完成电能量的馈送、切断及对电源和用电设备的保护。

图1-1 电气传动系统

控制部分是整个传动系统的中心。在它的控制指挥下,拖动设备才能按照人们的要求去完成各种复杂的动作。因此,一个电气控制部分的设计是否得当,将会直接影响到整个电气传动系统,以及有关生产机械系统的技术性能与经济性能的指标。

拖动设备是实现电能-机械能转换的关键,也是电源部分和控制部分的最终服务对象。拖动设备的设计和选用,将直接影响到工艺、机械、电气等各方面的技术指标。它在整个生产系统中,尤其在自动化生产系统中,是举足轻重的。

纵观电气传动系统的发展史,不难发现两个发展趋势:首先是动力源(电动机等拖动设备)由少到多,即由原先的用一台电动机通过传动机构去拖动多个工作机构,转变到由每台电动机拖动一个工作机构;其次是控制系统由多到少,由简单到复杂,即用一套控制设备控制一台电机,转变到用一套控制设备同时控制多台电机系统。这就对传动系统提出了更高的要求。如要求提高工作速度与定位精度,要求快速起动、制动及逆转;要求实现很宽范围内的无级调速以及数台电机联锁随动直至整个生产过程的自动化等。与此同时,电气控制系统也经历了从开环的断续控制发展到闭环的连续控制以及计算机控制的自动化系统。

§ 1-2 常用电动机的拖动特性及其控制要求

在电气传动系统中,拖动设备主要是电动机。因而熟悉电动机的拖动特性与控制要求,对电动机的选用和控制回路的设计是十分必要的。由于篇幅的限制,在此仅将常用电动机的拖动特性和使用要点作一介绍。

一、直流电动机

直流电动机按其励磁绕组与电枢绕组的联接方法不同,大致可分为串励、并励与他励三

类，如图1-2所示。其机械特性如图1-3所示。

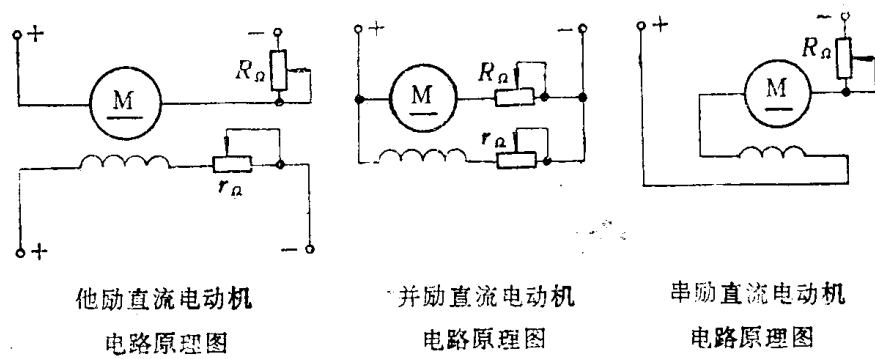
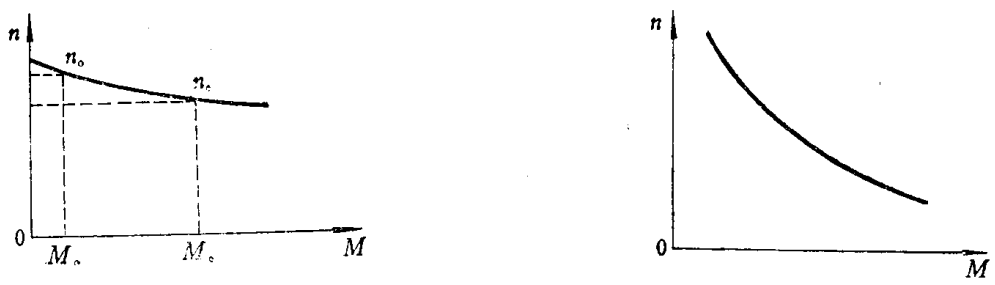


图1-2 直流电动机的电路原理图



他励(并励)直流电动机的机械特性

串励直流电动机的机械特性

图1-3 直流电动机的机械特性

他励（并励）直流电动机的转速 n 随着转矩 M 的增大而降低的趋势较为平坦。此类特性称为“硬特性”，适用于要求转速稳定的机械负载。串励直流电动机的转速 n 随着转矩 M 的增大而急剧下降，机械特性较软。并且当 M 趋近于零，即电动机完全空载时，转速将趋近于无限大，可能导致转子遭到破坏。因此，串励电动机不允许在空载或负载很小的情况下运行，设计选用时应特别注意这一点。

以下就他励直流电动机的起动、调速与制动作一简单的介绍。

(1) 他励直流电动机的起动

电动机的起动必须符合两个要求：第一，要有足够大的起动转矩；第二，起动电流不能超过安全范围。直流电动机起动（运行）的必要条件是：必须保证有磁场，也就是首先通励磁电流，而后再加电枢电压。

a. 直接起动

如图1-4所示。起动瞬间的电流一般可达电枢额定电流的10至20倍，并产生过大的机械转矩，容易损坏电动机及传动机构。一般只能在小容量电机轻载起动时运用。

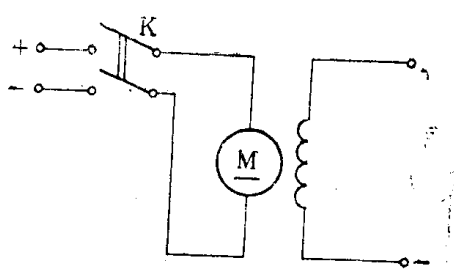


图1-4 他励直流电动机起动接线图

b. 降压起动

如图1-5所示。起动时电压 U 较低，然后逐步升高，使起动电流限制在允许的范围之内。

c. 串电阻起动

如图1-6所示。起动时 K 合上， K_1 、 K_2 打开，起动电阻 R_q 串入电枢回路，随着转速的升高逐步合上 K_1 、 K_2 ，最后全部切除电阻 R_q 。电动机

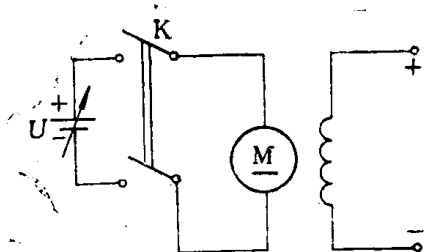


图1-5 他励直流电动机降压起动接线图

就进入正常运行。其起动特性如图1-7所示。其中曲线③为起动时串入电阻 R_s 的电动机的机械特性；曲线②为 K_1 合上后，串入电阻 R_q 的机械特性；曲线①为 K_1 、 K_2 都合上后电动机进入正常运行的机械特性。由此可见，电动机的机械特性随着电阻 R_q （所谓起动电阻）的增加而变软，其起动电

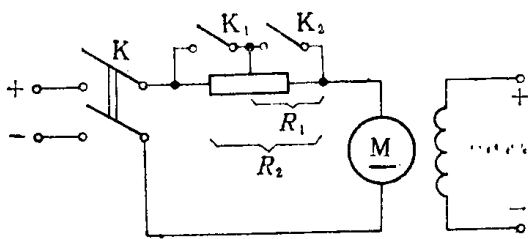


图1-6 串电阻起动接线图

(2) 他励电动机的调速

他励电动机的转速公式为：

$$n = \frac{U - I_a (R_a + R_{pa})}{C_e \phi}$$

$$= \frac{U}{C_e \phi} - \frac{R_a + R_{pa}}{C_e C_m \phi^2} M \quad (1-1)$$

其中， n ——转速；

U ——电枢电源电压；

I_a ——电枢电流；

C_e 、 C_m ——电动机的结构常数；

ϕ ——磁通量；

M ——电磁转矩；

R_a ——电枢电阻；

R_{pa} ——电枢回路的外接电阻。

可以看出，除去电动机的固有参数外，改变 R_{pa} 、 ϕ 和 U 三个外加参数之一，就可以调节转速 n 。

a. 电枢回路串电阻

其接线图与机械特性图与图1-6、图1-7相同。当负载 M_e 不变，而在电枢回路串入电阻 R_q （此时该电阻就不能称为起动电阻，则转称为调速电阻 R_{pa} ）后，工作点将从原来不串电阻（ $R_{pa} = 0$ ）时的A点下移到C点，转速也相应地从 n_e 下降到 n_s 。

这种调速方式的特点是：转速只能在电动机额定转速处往下调；而且轻载时调速不明显，调速后机械特性变软；调速电阻（或称调节电阻） R_{pa} 上的损耗大，经济性差；调速时电流和电磁转矩基本不变。因此，它也属于恒转矩调速。

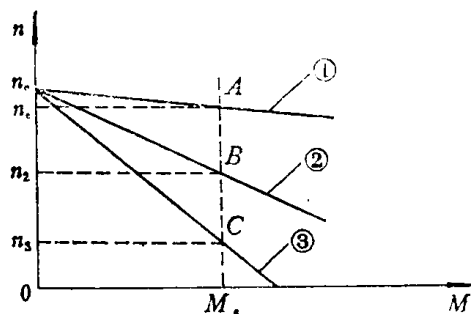


图1-7 电枢串电阻后的机械特性

b. 改变电枢电压

接线原理与图1-5相似。机械特性见图1-8所示。改变电枢电压时，机械特性将上下平移，引起工作点A到C的变化和转速 n_0 到 n_2 的变化。

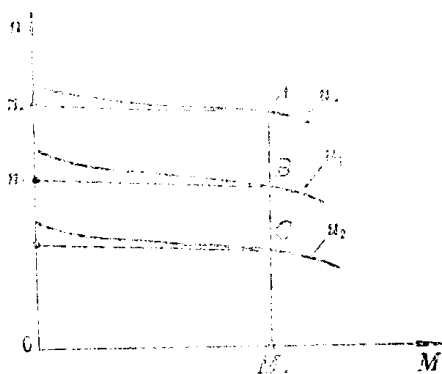


图1-8 直流电动机改变电枢电压时的机械特性

这种调速方法的特点是：转速只能在电动机的额定转速往下调；调速后电动机的机械特性不变，稳定性好；调速范围广，可以达到6:1到8:1，并且可以实现平滑调速；调速时电流和电磁转矩不变。因此，它也是属于恒转矩调速，而且要比串电阻调速优越得多；但需一套专用的可调直流电源设备，投资较高，适用于调速精度要求高和容量较大的电动机。

c. 改变励磁电流

改变了励磁电流，也即引起电动机磁通量 ϕ 的变化。从电动机转速公式中可知，磁通量 ϕ 的减少将引起转速 n 的升高，其机械特性曲线也将基本相应上下平移。

这种调速方法的特点是：转速只能在电动机额定转速处往上调，调速稳定性好；电动机的励磁电流 I_L 较小，在励磁调节电阻上的损耗不大；调速范围可以达到4:1；调速时随着转速增加，转矩将减小，属于恒功率调速。

这种调速方法一般与改变电枢电压调速配合使用，以达到增大调速范围的目的。

表1-1列出了三种调速方法的特点，供设计选用时参考。

表1-1 直流电动机三种调速方法的比较

调 速 方 法	调 节 电 枢 电 压	电 枢 串 接 电 阻	减 弱 励 磁
调 速 方 向	从 n_0 往 下 调 速	从 n_0 往 下 调 速	从 n_0 往 上 调 速
在一般静差率要求下的调速范围	4~8	2~3 (无静差要求时)	一般1.2~2 特殊电机3~4
调速平滑性	好	差	好
调速相对稳定性	好	差	较好
允许输出	恒转矩	恒转矩	恒功率
电能损耗	较小	大	小
设备投资	多	少	较少

(3) 他励直流电动机的制动

电动机的制动，一般要求在不超过电动机允许电流范围的前提下，迅速、平稳地制动，且没有反转的可能。

a. 能耗制动

如图1-9所示电路，到电动机退出运行时，打开电枢电源开关 K_1 后，立即合上开关 K_2 ，将能耗电阻 R_z 接入电枢回路，使电动机进入制动状态。

如图1-10中所示，电动机由原运行特性曲线①中的A点进入能耗制动特性曲线②中的B点，然后沿着曲线②滑移到达O点，电动机停转。电阻 R_z 的选择直接影响到B点的坐标和曲线②的斜率，计算公式为：

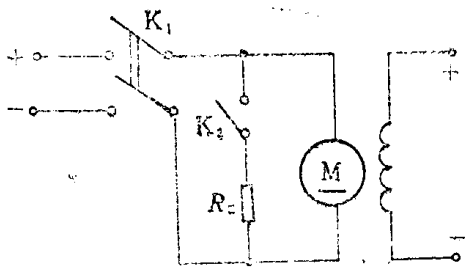


图1-9 直流电动机能耗制动接线图

$$R_z \geq \frac{U_c}{2I_c} - R_a \quad (1-2)$$

优点：制动减速平稳可靠，控制线路简单，便于实现准确停车。

缺点：制动转矩随着转速成正比地减小。制动时间较长。

应用场合：适宜于不要求反转，减速要求平稳的

场合，也可控制位能负载下降的速度。

b. 反接制动

接线图见图1-11所示。打开电源开关 K_1 后，即合上 K_2 ，使电枢两端电压反接。电动机由原机械特性曲线①中 A 点进入 B 点后，就沿着反接制动特性曲线③向下滑移到 C 点时速度为零，转矩却为 $-M'_r$ 。如果制动的目的是为了停车，则必须在转速到达零之前，用控制线路使 K_2 打开，及时脱离电源。否则电动机将要沿着特性曲线③的虚线继续向下滑移，即在 $-M'_r$ 的作用

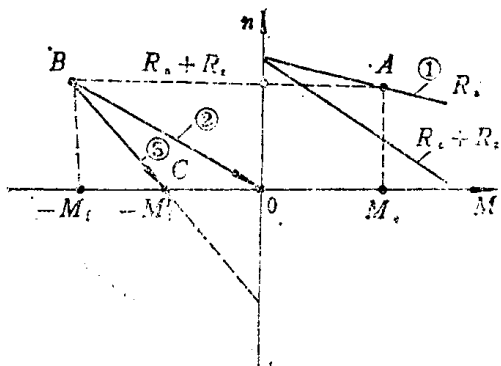


图1-10 直流电动机制动时机械特性

下，传动系统有自行反转的可能性。

优点：制动特性比能耗制动陡得多，其限流电阻

$$R_d \geq \frac{U_c}{I_c} - R_a \quad (1-3)$$

与式(1-2)相比 $R_d \approx 2R_z$ ，说明BC段制动转矩都比较大而稳定，制动作用强烈、迅速。

缺点：电动机停转时，存在反向转矩，有反转可能，需用控制线路使其及时脱离电源。

应用场合：适宜于要求迅速反转、强烈制动的场合。

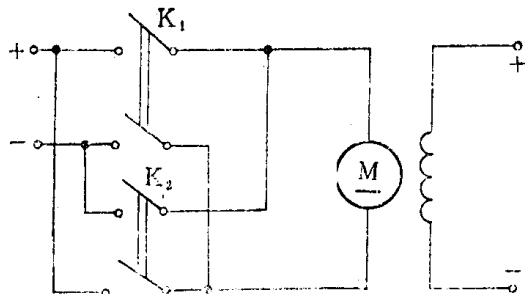


图1-11 直流电动机反接制动接线图

直流电动机有很多优点，如调速性能好、起动转矩大、制动方便等，特别是调速范围广、特性平滑为交流电动机所不及。但其生产成本低、可靠性较差。因此被广泛用于对电动机起动和调速性能要求较高的场合。

二、交流电动机

交流电动机按照转子的转速 n 与定子旋转磁

场的转速 n_1 之间是否一致而分为“同步电动机”与“异步电动机”两大类。

由电工学可知，交流电动机的旋转磁场的转速 n_1 （也称为同步转速），是电流频率 f 及电动机极对数 p 的函数。其公式为：

$$n_1 = \frac{60f}{p} \quad (1-4)$$

异步电动机的转子转速 n 与其定子的旋转磁场转速 n_1 之间存在一个转差 Δn ，通常将转差 Δn 与同步转速 n_1 的比值称为异步电动机的转差率，用 S 表示：

$$S = \frac{\Delta n}{n_1} = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad (1-5)$$

即

$$n = (1-S)n_1 \quad (1-6)$$

当 $n = n_1$ 时， $S = 0$ ；当 $n = 0$ 时， $S = 1$ 。

一般异步电动机的转矩特性曲线 $M = f(S)$ 见图1-12，其中 S 为1时所对应的转矩称为起动转矩 M_q ； S 为 S_m 时所对应的转矩为最大转矩 M_m ； S 为额定转差 S_e 时所对应的转矩为电动机的额定转矩 M_e ；并且当 $S = 0$ 时所对应的转矩 $M = 0$ 。由图1-12所示曲线还可以看出，一般异步电动机的起动转矩 M_q 总是偏低于额定转矩 M_e 。但在实际应用中却是 M_q 略大于 M_e 。其比值一般为1.1~1.8之间。

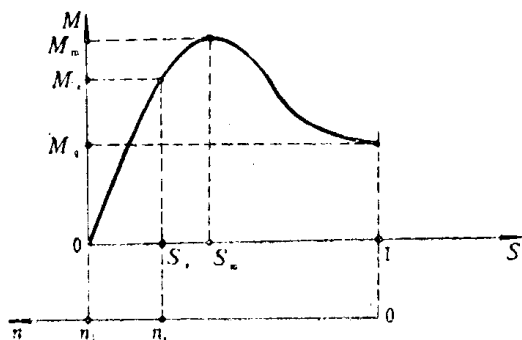


图1-12 异步电动机的转矩特性曲线 $M = f(s)$

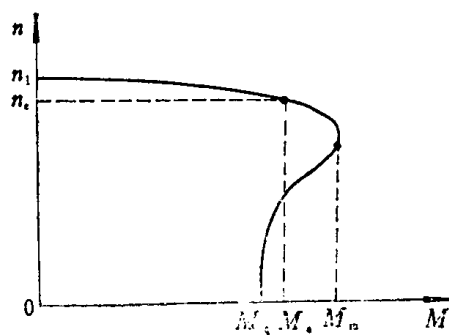


图1-13 异步电动机的机械特性曲线 $n = f(M)$

只要将 $M = f(s)$ 曲线顺时针方向旋转 90° ，再将表示转矩 M 的横轴下移便可得出机械特性曲线 $n = f(M)$ ，如图1-13所示。

下面将三相异步电动机的起动、制动及调速方法作一简单介绍。

(1) 异步电动机的起动

a. 直接起动

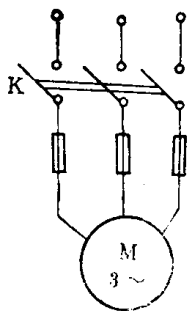


图1-14 异步电动机直接起动接线图

如图1-14所示，其缺点是起动转矩较小，起动电流大，一般可达电动机额定电流的5~7倍。这对电动机本身及公用电网都会产生不良影响。所以一般只适用于小容量、轻载起动的电动机。

b. 降压起动

降压起动可有效地限制起动电流，但起动转矩也随之降低。因此一般只适用于轻载起动的电动机。

自耦变压器的降压起动电路如图1-15所示。

起动操作是先合开关 K_1 ，再将开关 K_2 合在“起动”位置，使定子绕组与自耦变压器低压端接通。待电动机的转速接近额定转速时，将开关 K_2 合在“运转”位置，定子绕组便处于电源的全电压之下，电动机即进入正常运行。

对于定子绕组为三角形连接的电动机，可用星形-三角形起动，如图1-16所示。起动时，先合上 K_1 ，然后将 K_2 合到“起动”位置，使定子绕组连接成星形。待电动机转速接近

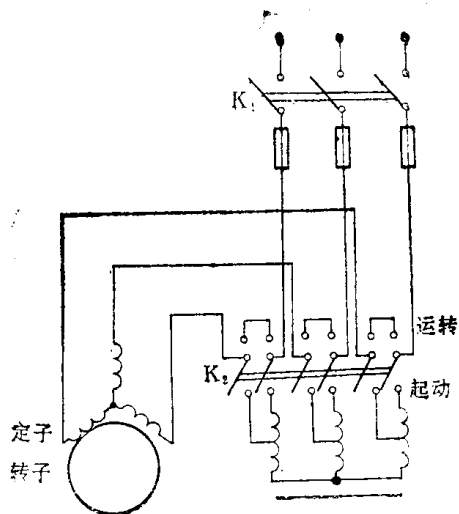


图1-15 自耦变压器降压起动电路

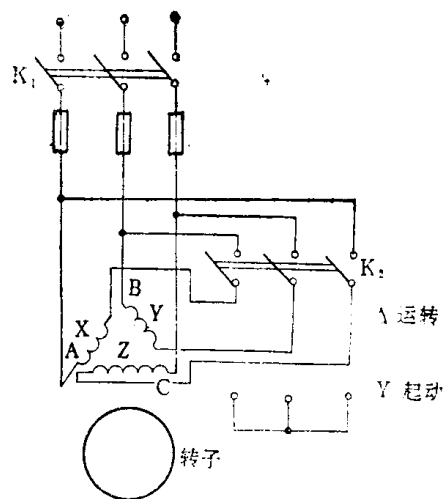


图1-16 星形-三角形换接起动电路

额定转速时，再将开关 K_2 合到“运转”位置，定子绕组便改接成三角形连接，电动机即进入正常运行。采用这种方法的起动电流和起动转矩为三角形接法时的 $\frac{1}{3}$ 。

此外还有延边三角形等起动方法，请读者参阅其他有关资料（如上海科技出版社出版的《电工手册》等）。

c. 绕线型异步电动机的起动

绕线型异步电动机通常采用转子电路中串联变阻器的方法起动，如图1-17所示。起动时，先将电阻调到最大位置后再合上开关 K_1 ，使电动机起动。此时电动机的转矩特性曲线为曲线③，起动转矩为 M'_q ，显然 $M'_q > M_q$ 。随着转速的升高，逐步减小转子电阻，电动机的特性即左移（从曲线③→曲线②→曲线①），如图1-18所示。最后将电阻全部切除，电动机运行在运行特性曲线①上。

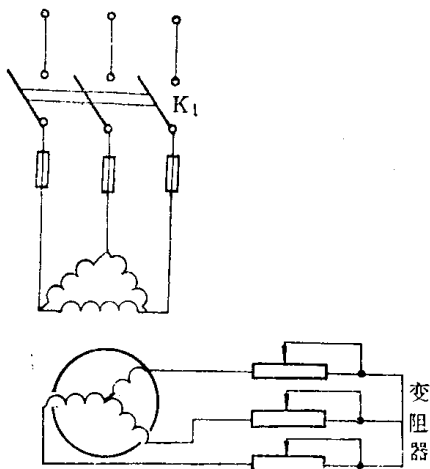


图1-17 绕线型电动机起动线路

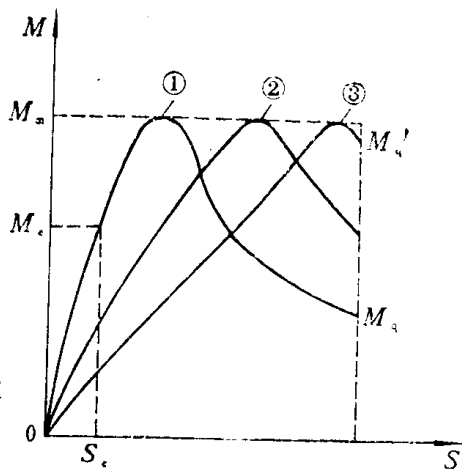


图1-18 绕线型电动机转子串电阻后的转矩特性

也可将变阻器用频敏变阻器代替，它的特点是其阻值能够随着转速升高而自动降低，可以节省控制装置，但起动特性稍差。

绕线型电动机的串电阻起动，降低了起动电流，但增大了起动转矩。因此，绕线型电动机在起重机械等需要高起动转矩的场合中得到了广泛的应用。

（2）异步电动机的调速

a. 改变极对数

这种方法适用于特殊定子绕组结构的多速异步电动机（一般有二、三、四速电动机）。通过改变定子绕组接线来改变定子极对数 p ，从而得到成倍比的几种转速。常用的有恒转矩调速的一个星形改接成二个星形的并联，极对数减小一倍，速度增加一倍，如图1-19（a）；有恒功率调速的一个三角形改接成二个星形的并联，极对数也减小一倍，速度也增加一倍，如图1-19（b）。其机械特性如图1-20（a）、（b）所示。

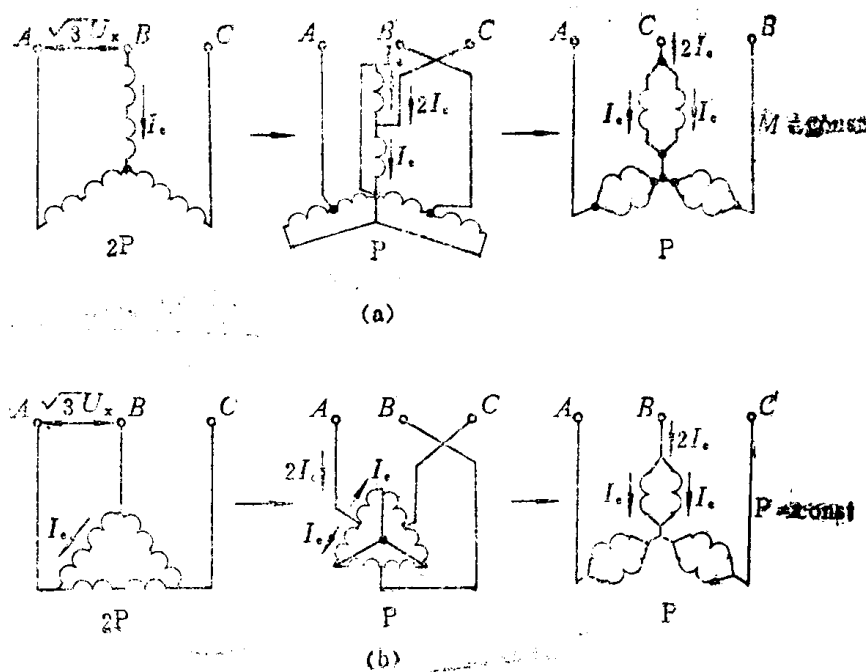


图1-19 常用的两种双速异步电动机三相绕组的改接方法

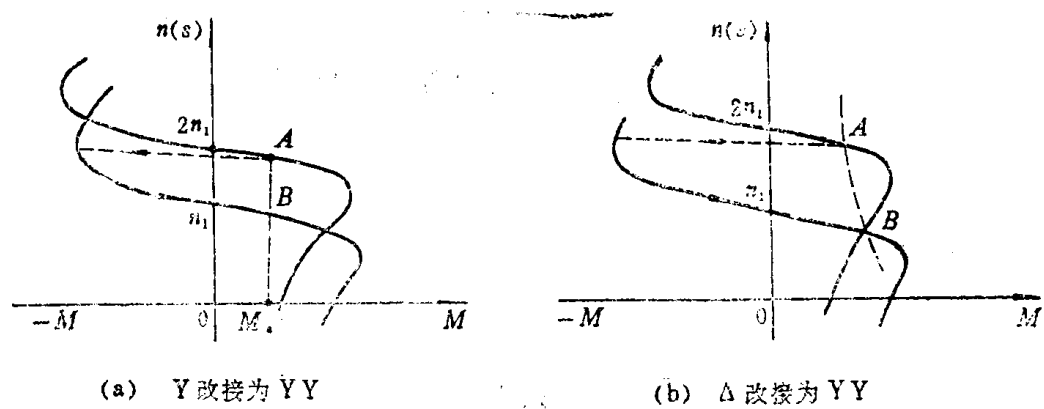


图1-20 异步电动机变极调速的机械特性

b. 变频调速

通过改变电源频率可得到较广范围内的平滑调速。因为变频时，定子绕组相电压按不同频率变化可实现恒转矩或恒功率调速，以适应不同负载的要求。但它需要配备一套频率可变的交流电源装置，此装置技术复杂、费用较高。随着可控硅变频技术的发展，变频调速正在得到一定程度的推广，从而可以从根本上解决笼型转子异步电动机的调速问题。变频调速时异步电动机的机械特性如图1-21所示。

c. 改变转差率的调速

本法适用于绕线型电动机，即改变运行中的电动机的转子回路外接电阻，使其机械特性变

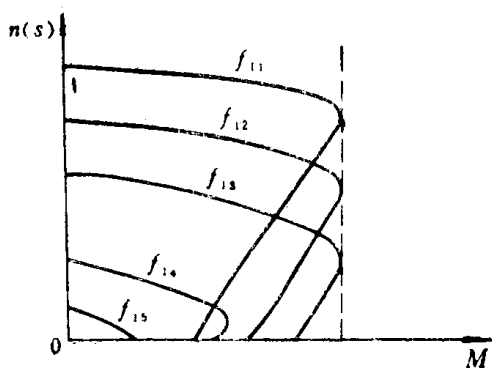


图1-21 异步电动机变频调速时的机械特性

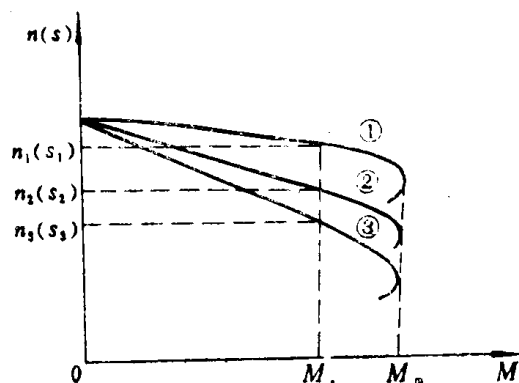


图1-22 绕线型电动机转子串电阻后的机械特性

化,如图1-22所示。对应于同一额定转矩(负载), M 将有不同的特性曲线与其相交的不同点①~③,从而得到不同的电动机转差率 S_1 、 S_2 、 S_3 。而由 S 的定义可知电动机的转速 n 发生了变化。由式(1-6)可知,当 $S=0$ 时, $n=n_1$ (转速为同步转速); $S=1$ 时, $n=0$ (转速为零)。

这种调速(属于恒转矩调速)简单而又平滑,但调速范围不广,转子功耗大,低速时电动机的特性变软。

b. 其他调速方法

异步电动机结构简单、寿命长,但调速性能较差。为适应某些特定要求的调速场合,可选用特殊结构的电动机,如三相整流子电动机、滑差电动机等。关于它们的特性及其调速方法请读者参阅有关书籍。

(3) 异步电动机的制动

a. 反接制动

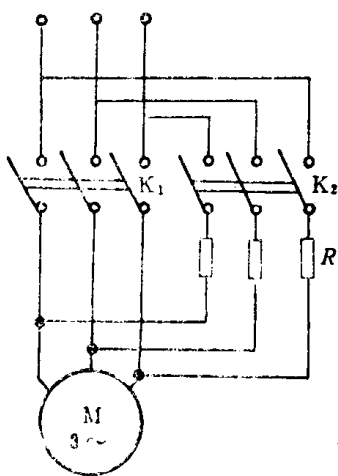


图1-23 异步电动机的反接制动电路图

如图1-23所示。当停机时断开电源开关 K_1 后,迅速合上开关 K_2 ,使电动机得到一个反向转矩(因 K_2 合上后使电动机的三相相序与原来的相序相反),电动机即处制动状态。待电动机将要停转时,及时断开 K_2 ,使停车制动结束。图中的电阻 R 为限制制动电流用。若是绕线型电动机则在转子回路串电阻限流。

特点:制动效果强烈,能耗大。停车时,若不利用控制电器及时将 K_2 打开,电动机将会自行反转。

b. 能耗制动

如图1-24所示。断开电源开关 K_1 后,合上能耗制动开关 K_2 ,将一直流电源接入异步电动机的二相绕组,使其产生直流

的恒定磁场,而转子由于惯性继续按原旋转方向转动。因此而产生转子电流与恒定磁场的作用——制动作用。待电动机完全停后,断开 K_2 。图中电阻 R_1 及转子回路串接电阻 R_2 都起限流作用。

特点:制动平稳,能量消耗小,但其效果不如反接制动强烈。停转后没有反转的可能性。缺点是需要直流电源。

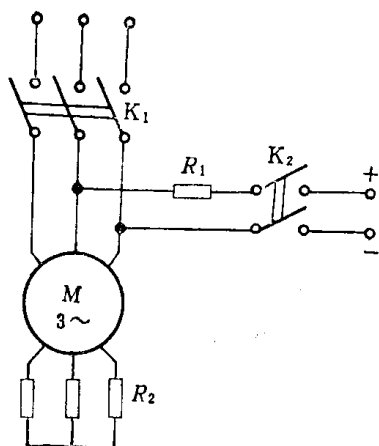


图1-24 异步电动机的能耗制动电路图

异步电动机和各种电动机比较、具有结构简单、制造方便、价格低廉等一系列优点。把它和同容量的直流电动机相比，其重量约为直流电动机的一半，价格仅为直流电动机的三分之一，因此异步电动机在各行业中得到最广泛的应用。但异步电动机不能经济地实现范围较广的平滑调速，又使其的应用受到了一定受制。

本章小结

所谓电动机的拖动特性，无非是起动、调速、制动。常用的拖动电动机有直流和交流。无论是直流电动机还是交流电动机，其起动都有小容量的直接起动和较大容量的降压起动（限制起动电流）。直流电动机调速有额定转速下调的恒转矩调节电压调速和额定转速上调的恒功率调节励磁调速。交流电动机调速有恒转矩和恒功率的变极、变频调速，以及恒转矩的改变转差率调速等。无论是直流电动机还是交流电动机，其制动都有能耗制动和反接制动。

习 题

1. 一台旧的直流电动机铭牌已经剥落，如何确定它是那种直流电动机？
2. 滑线式变阻器（如图1-25所示）的A、B、C三个端点。某同志用A、C两端串联在并励直流电动机的励磁电路里进行调速，有人说这种联接不安全，还应该把A、B两端接在一起。为什么？

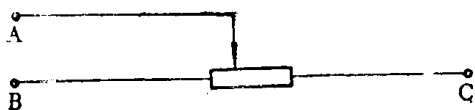


图1-25

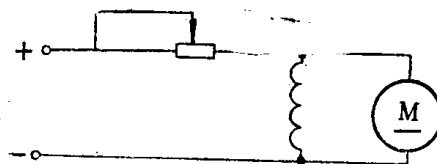


图1-26

3. 若将并励电动机的起动变阻器接成如图1-26所示的电路起动，将会产生什么后果，并说明原因。
4. 从它励（并励）直流电动机的转速公式

$$n = \frac{u - I_a R_a}{C_e \phi}$$

来考虑，除了改变主磁通 ϕ 、电枢电路电阻 R_a 和外加电压 U 外，还可以改变电枢电流 I_a 来进行调速。此种说法正确与否？并说明原因。

5. 直流电动机进行能耗制动时，制动电阻 R_b 的大小对制动时间有什么影响？制动快速