



目 录

第一章 电力驱动及机械基础	1
第一节 电动机	1
第二节 电力电子基础技术	11
第三节 机械基础知识	18
复习题	28
第二章 电扶梯、站台门维修常用仪表、量具、工具	29
第一节 电气测量仪器仪表	29
第二节 电扶梯常用工量具	40
复习题	44
第三章 电扶梯系统构造	45
第一节 电扶梯系统概述	45
第二节 电扶梯的构造	45
复习题	82
第四章 电扶梯设备安装、操作与维修	83
第一节 电扶梯技术要求	83
第二节 电扶梯安装	89
第三节 电扶梯操作	117
第四节 电扶梯维护保养	122
第五节 电扶梯故障处理	152
复习题	184
第五章 站台门设备安装、操作与维修	185
第一节 站台门系统技术特点及组成原理	185
第二节 站台门系统测试与安装	207
第三节 站台门系统运行及维修管理	222
第四节 站台门系统故障处理	241
复习题	265
参考文献	266

第一章 电力驱动及机械基础

培训目标

现代门梯设备是典型的机电一体化产品,要求相应岗位技术人员对机电基础知识有着较深入的了解。通过本章学习,可使学员获得有关交直流电动机应用技术、电力电子技术以及机械应用技术的相关基础知识。要求学员掌握交直流电动机的结构及基本工作原理,了解交直流电动机启动、制动及调速的常用方法;了解常用电力电子器件的特点;了解直流逆变电路的结构及基本原理;了解交流电动机变频调速系统的基本结构及原理;了解常见机械传动机构的原理及应用特点;了解机械摩擦、磨损的特点及润滑方法。

第一节 电动机

一、直流电动机

(一)直流电动机结构及原理

在电力驱动系统中,直流发电机是将机械能转换为直流电能的旋转发电机,而直流电动机则是将直流电能转换成机械能的旋转电动机。相比交流电动机,直流电动机具有许多优点,如过载能力强,启动转矩大,制动转矩大;且其调速性能优异,调速范围广,调速平滑性好,调速损耗小。但直流电动机也存在结构复杂,成本较高,可靠性稍差的缺点,使它的应用受到较大限制。

1. 直流电动机的构造

直流电动机主要由磁极、电枢、换向器(整流子)三个部分组成,如图 1-1 所示。

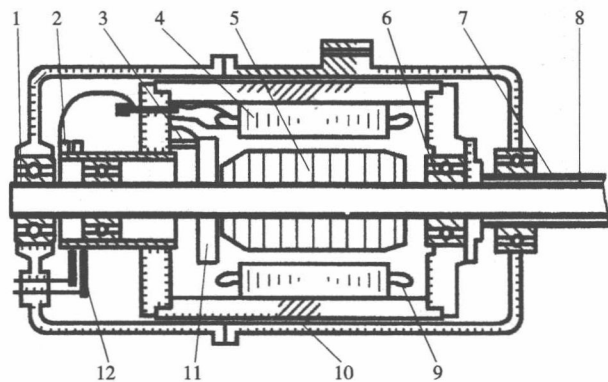


图 1-1 直流电动机结构简图

- 1—转子轴承;2—滑环;3—换向器电刷;4—磁系统;5—电枢;6—磁系统轴承;
7—外轴;8—内轴;9—磁绕组;10—壳体;11—换向器;12—滑环电刷



(1) 磁极

磁极用来在电动机中产生磁场,可分成极心和极掌两部分。极心上放置励磁绕组,极掌的作用是在电动机气隙中产生适当分布的磁感应强度,并用来固定励磁绕组。磁极由硅钢片叠成,固定在机座上。机座也是磁路的一部分,通常用铸钢制成。在小型直流电动机中,也有用永久磁铁作为磁极的。

(2) 电枢

电枢是电动机中产生感应电动势的部分,直流电动机的电枢是旋转的。电枢铁芯呈圆柱状,由硅钢片叠成,表面冲有槽,槽中放电枢绕组。

(3) 换向器(整流子)

换向器是直流电动机中的一种特殊装置,由楔形铜片组成,铜片间用云母垫片(或某种塑料垫片)绝缘。在换向器的表面用弹簧压着固定的电刷,使转动的电枢绕组得以同外电路连接起来。

2. 直流电动机的工作原理

图 1-2 所示是一个最简单的直流电动机模型。在一对静止的磁极 N 和 S 之间,装设一个可以绕 Z-Z' 轴转动的圆柱形铁芯,在其上面装有矩形线圈 *abcd*,这个转动的部分通常称为电枢。线圈的两端 *a* 和 *d* 分别接到换向片的两个半圆形铜环 1 和 2 上。换向片 1 和 2 之间彼此绝缘,被安装在同一根轴上,可随电枢一起转动。A 和 B 是两个固定不动的碳质电刷,和换向片之间采用滑动接触,以便将来自直流电源的电流通过电刷和换向片导入电枢线圈之中。

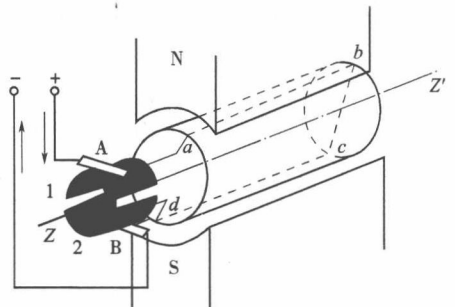


图 1-2 直流电动机的模型

当电刷 A 和 B 分别与直流电源的正极和负极接通时,电流从电刷 A 流入,而从电刷 B 流出。这时线圈中的电流方向是从 *a* 流向 *b*,再从 *c* 流向 *d*。由于载导体在磁场中要受到电磁力,其方向可据左手定则决定。当电枢在图 1-3(a) 所示的位置时,线圈 *ab* 边的电流从 *a* 流向 *b*,用 \otimes 表示,*cd* 边的电流从 *c* 流向 *d*,用 \odot 表示。根据左手定则可以判断出 *ab* 及 *cd* 边受力的方向如图 1-3(a) 所示,从而在电枢上将产生逆时针方向的转矩,使电枢按逆时针方向转动起来。

当电枢转到如图 1-3(b) 所示位置时,与线圈 *ab* 边连接的换向片 1 跟电刷 B 接触,而与线圈 *cd* 边连接的换向片 2 跟电刷 A 接触。此时,线圈内的电流方向改为从 *d* 流向 *c*,再从 *b* 流向 *a*,根据类似的方法可判断出电枢受到的电磁转矩仍为逆时针方向,故电枢还将按逆时针方向继续旋转。由此可见,换向片和电刷在直流电动机中起着改变电枢线圈中电流方向的关键作用。

3. 直流电动机的励磁方式

直流电动机在进行能量转换时,须以气隙中的磁场作为媒介。除了采用磁钢制成主磁极的永磁式直流电动机外,直流电动机一般均采用在励磁绕组中通以励磁电流来产生磁场。励磁绕组取得励磁电流的方式称为励磁方式,励磁方式对电动机的性能有很大的影响。根据励磁方式的不同,直流电动机可区分为他励直流电动机、并励直流电动机、串励直流电动机和复励直流电动机,各种励磁方式的接线如图 1-4 所示。

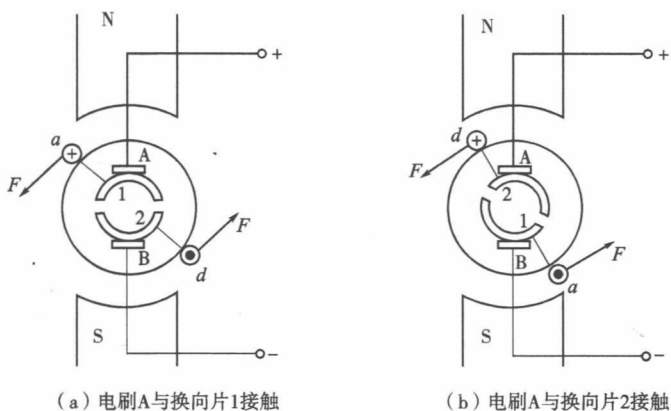


图 1-3 换向器在直流电动机中的作用

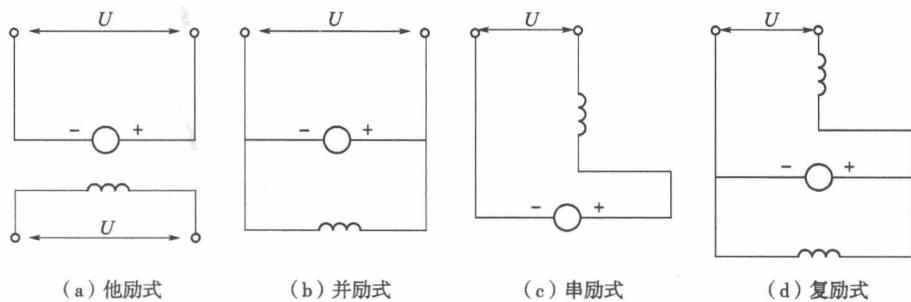


图 1-4 直流电动机各种励磁方式接线图

(二) 直流电动机的启动

1. 启动的要求

直流电动机启动之初,其转速较小 $n \approx 0$,电枢电动势也较小 $E_a = C_e n \Phi \approx 0$,故电枢电压约为额定电压 $U = U_N - E_a \approx U_N$ 。考虑到启动时电枢电阻 R_a 也很小,则启动电流 $I_s = U/R_a$ 将会很大,可达额定电流的 10~20 倍。过大的启动电流将使换向器性能恶化,产生严重的火花;此外,与电枢电流成正比的电磁转矩 $T_s = C_T \Phi I_s$ 过大,将对生产机械产生很大的冲击力。因此,直流电机启动时,需限制启动电流的大小。

2. 启动的方法

(1) 电枢回路串电阻启动

启动过程的机械特性如图 1-5 所示。相对于启动电流 I_{s1} 的启动转矩为 T_{s1} ,因 $T_{s1} > T_L$ (电动机轴负载转矩),电动机开始启动。工作点由启动点沿电枢总电阻为 R_{s1} 的人为特性上升,电枢电动势随之增大,电枢电流和电磁转矩则相应减小。当转速升至 n_1 时,启动电流和启动转矩下降至 I_{s2} 和 T_{s2} (图 1-5 中 A 点)。为了保持启动过程中电流和转矩有较大的值,以加速启动过程,此时闭合继电器 KM 的触头 KM_1 ,切除 r_1 ,这时的电流 I_{s2} 称为切换电流。当 r_1 断开后,电枢回路总电阻变为 $R_{s2} = R_a + r_2 + r_3$ 。由于机械惯性,转速和电枢电动势不能突变,电枢电阻减小将使电枢电流和电磁转矩增大,电动机的机械特性由图 1-5(b) 中曲线 1 上的 A 点平移到曲线 2 上的

B点。随后依次断启动电阻 r_2 、 r_3 ，电动机的工作点将由 B、D 变化至 F 点，最后稳定运行在自然机械特性的 G 点，电动机的启动过程结束。

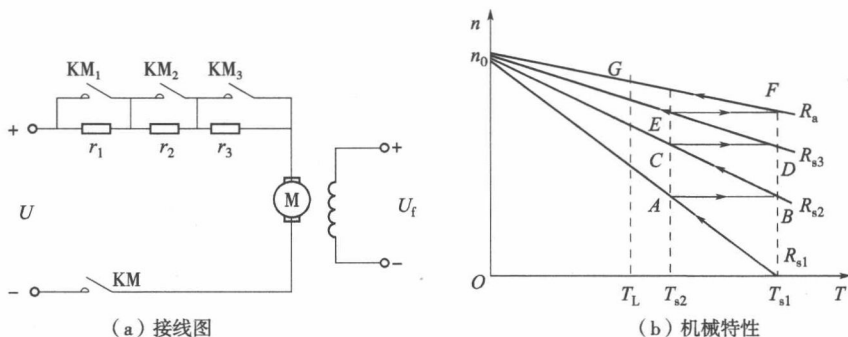


图 1-5 电枢回路串电阻启动

(2) 降压启动

当他励直流电动机的电枢回路由专用的可调压直流电源供电时，可以采用降压启动的方法，启动电流将随电枢电压降低而成正比地减小。启动过程的机械特性如图 1-6 所示。启动前应先调好励磁，然后把电源电压由低向高调节，当最低电压所对应的人为特性上的启动转矩 $T_{s1} > T_L$ 时，电动机就开始启动。启动后，随着转速上升，可相应提高电压 ($U_1 > U_2 > U_3$)，以获得需要的加速转矩，电动机将按图 1-6 中 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow e \rightarrow f$ 的顺序加速，最终到达稳定的工作点 f ，相应转速升高为 n_A 。

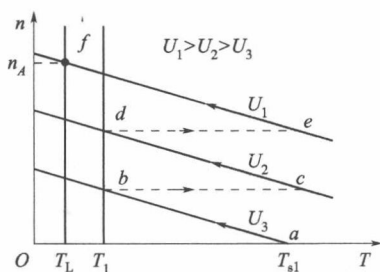


图 1-6 降压启动的机械特性

(三) 直流电动机的调速

根据直流电动机的转速公式 ($n = \frac{U}{C_e \Phi}$)，改变电动机的供电电压 U 和励磁磁通 Φ 均可改变电动机的转速。

直流电动机常见调速方法有电枢串电阻调速、降低电枢电压调速及减弱磁通调速。

1. 电枢串电阻调速

(1) 原理：在电枢中串入电阻，如图 1-7 所示。使 Δn 上升、 n_0 不变，即电动机的特性曲线变陡，在相同力矩下， n 下降。

(2) 特点：调速方法简单，但只适应于低于额定转速范围内的调速，且机械特性变软，转速稳定性较差，电阻上的功率损耗也较大。

(3) 适用场合：适用于调速性能要求不高的中、小型电动机。

2. 降低电枢电压调速

(1) 原理：由转速特性方程可知，电枢电压 U 随 n_0 变化，但斜率不变，所以调速特性是一组平行曲线，如图 1-8 所示。

(2) 特点：电压调节时，不允许超过 U_N (额定电压)，而 n 与 U 成正比，所以调速只能向下调；可得到平滑、无级调速；调速幅度较大。

(3) 适用场合：对调速性能要求较高的设备，如造纸机、轧钢机等。

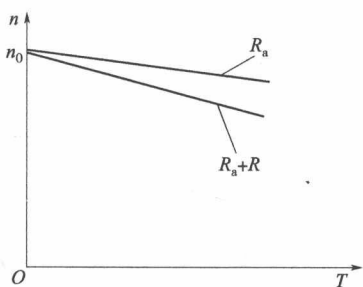


图 1-7 电枢串电阻调速

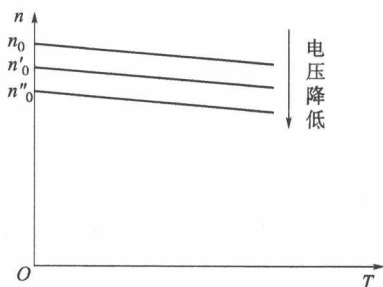


图 1-8 降低电枢电压调速

3. 减弱磁通调速

(1)原理:机械特性曲线如图 1-9 所示。由转速公式知,在 U 一定的情况下,改变 Φ 可改变 n 。故若在励磁回路中串入电阻 R_f ,改变 R_f 大小即可调节励磁电流,从而改变 Φ 及 n 的大小。

(2)特点:调速平滑,可做到无级调速,但只能向上调,受机械强度所限, n 不能太高;励磁电流比电枢电流小得多,故调节控制方便。

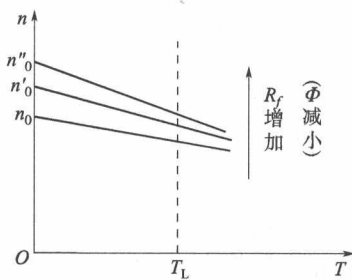


图 1-9 减弱磁通调速机械特性曲线

(3)适用场合:只适用于在高于额定转速的范围内调节。

(四)直流电动机的制动

直流电动机的制动方式主要有机械制动和电气制动。电气制动又可细分为能耗制动、反接制动及回馈制动。

1. 能耗制动

能耗制动接线图如图 1-10 所示。

制动时,电枢从电源断开,接到电阻上。这时由于惯性电枢仍保持原方向运动,感应电动势方向也不变,电动机变成发电机,电磁转矩与转向相反,起制动作用。这种制动方式实际是将储存在系统中的动能转换成电能,消耗在制动电阻上,故称之为能耗制动。

能耗制动的机械特性是一条电枢电压为零、电枢串电阻的人为机械特性。改变制动电阻的大小,可以得到不同斜率的特性曲线。 R_z 越小,特性曲线的斜率越小,曲线就越平,制动转矩就越大,制动作用也越强。

2. 反接制动

反接制动可以分为电枢反接制动及倒拉反接制动,下面主要分析一下电枢反接制动,如图 1-11 所示。

制动时加到电枢绕组两端的电压极性与电动机正转时相反。因旋转方向未变,磁场方向未变,感应电动势方向也不变。这时电枢电流与正转时相反,由于磁通方向未变,因此电磁转矩改变方向,产生制动作用。这种因电枢两端电压极性的改变而产生的制动,称为电枢反接制动。

电枢反接制动的最初瞬时,作用在电枢回路的电压 $U + E_a \approx 2U$,故须在电枢电压反接的同时在电枢回路中串入制动电阻 R_z ,以限制过大的制动电流。



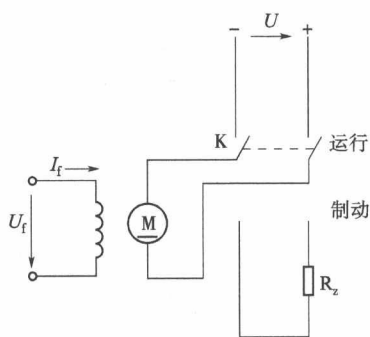


图 1-10 能耗制动接线图

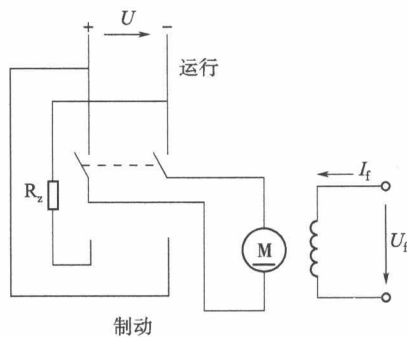


图 1-11 电枢反接制动接线图

3. 回馈制动

电动机运行时,由于某种原因,如用电动机驱动机车下坡,可能使电动机的转速高于理想空载转速,此时 $n > n_0$, 并使得 $E_a > U$, 电枢电流反向,因磁通方向未变,则电磁转矩随之反向,对电动机起到制动作用。在电动状态时电枢电流从电网流向电动机;而在制动时,电枢电流则从电枢流向电网,因而称为回馈制动。

回馈制动时, $n > n_0$, I_a 和 T 均为负值,所以其机械特性曲线是电动状态的机械特性曲线向第二象限的延伸。

二、交流电动机

(一)交流电动机的结构及原理

1. 三相异步电动机的结构

三相异步电动机的种类很多,但其基本结构相似,均由定子和转子这两大基本部件组成,此外,还有端盖、轴承、接线盒、吊环等其他附件,其结构如图 1-12 所示。

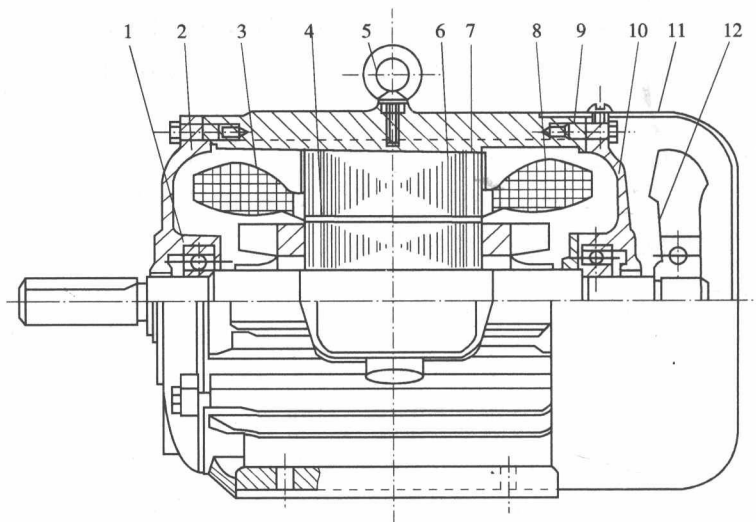


图 1-12 封闭式三相笼形异步电动机结构

1—轴承;2—前端盖;3—转轴;4—接线盒;5—吊环;6—定子铁芯;7—转子;
8—定子绕组;9—机座;10—后端盖;11—风罩;12—风扇

(1) 定子

定子用来产生旋转磁场。三相异步电动机的定子一般由外壳、定子铁芯、定子绕组等部分组成。

①外壳：包括机座、端盖、轴承盖、接线盒及吊环等部件。

②定子铁芯：由表面涂有绝缘漆的薄硅钢片叠压而成。由于硅钢片较薄而且片与片之间是绝缘的，可以减少由于交变磁通引起的铁芯涡流损耗。铁芯内圆有均匀分布的凹槽，用来嵌放定子绕组。

③定子绕组：由三个彼此独立的绕组组成，每个绕组又由若干线圈连接而成，通入三相对称电流时就会产生旋转磁场。三相绕组的每个绕组即为一相，每个绕组在空间上相差 120° 电角度。三相绕组的六个出线端都引至接线盒上，首端分别标为 U_1 、 V_1 、 W_1 ，末端分别标为 U_2 、 V_2 、 W_2 。

(2) 转子

①转子铁芯：一般由硅钢片叠压而成，套在转轴上，作用类似定子铁芯，一方面作为磁路的一部分，另一方面用来安放转子绕组。

②转子绕组：分为绕线形与笼形两种，据此可区分为绕线转子异步电动机与笼形转子异步电动机。

③其他部分：包括端盖、风扇等。端盖除了起保护作用外，在端盖上还装有轴承，用以支撑转子轴。风扇则用来冷却电动机。

2. 三相异步电动机的转动原理

三相异步电动机旋转的基本原理是由于其磁路中存在旋转磁场，如图 1-13 所示为三相异步电动机定子绕组旋转磁场示意图。三相对称绕组 U-X、V-Y、W-Z 的线圈嵌放在定子铁芯槽内，假设每相绕组仅由一个线圈组成，其头或尾在空间互差 120° ，构成对称三相绕组。

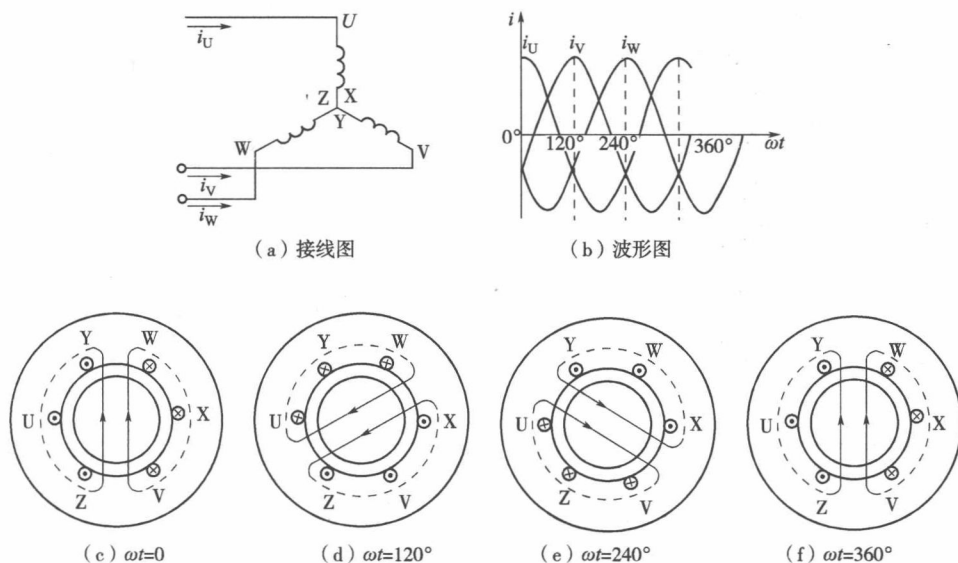


图 1-13 三相异步电动机定子绕组分布和旋转磁场



在图 1-13 中,将三相绕组的末端 X、Y、Z 接在一起形成星形联结,绕组的首端 U、V、W 分别接到三相电源上。并规定:各绕组中电流的正方向是从绕组的首端(U、V、W)流出、末端(X、Y、Z)流入,反之则为电流的负方向,并用符号⊙表示电流流出,⊗表示电流流入。

当 $\omega t=0^\circ$ 时, $i_U=I_m$, $i_V=i_W=-0.5I_m$, 故 UX 绕组电流为正值,从 U 流出,从 X 流入;而 VY 和 WZ 绕组电流为负值,从 V 和 W 流入,从 Y 和 Z 流出,如图 1-13(c) 所示。根据右手螺旋法则,可知这三个线圈的电流产生的合成磁场的磁力线如图 1-13(c) 所示,上方相当于磁极 S,下方相当于磁极 N。若用 p 表示产生的磁极对数,则显然有 $p=1$ 。

同理可确定当电度角 $\omega t=120^\circ、240^\circ、360^\circ$ 时,三个线圈的电流产生的合成磁场分别如图 1-13(d)、图 1-13(e)、图 1-13(f) 所示。可见,三相绕组电流合成的磁场是一个大小不变、具有一定转速的旋转磁场。当磁极对数 $p=1$ 时,若电流变化电角度为 360° ,则合成磁场也将在空间中旋转 360° 。该旋转磁场切割转子绕组,从而在闭合的转子绕组中产生感应电流。转子电流与旋转磁场相互作用产生电磁力,进而在电机转轴上形成电磁转矩,驱动电动机旋转。

旋转磁场的磁极对数 p 与定子绕组的安排有关。通过将绕组在空间适当分布,也可产生两对、三对等多磁极对数的旋转磁场。可以推断,当供给三相电动机电流的频率发生变化时,将改变磁场的旋转速度;当供给三相电动机电流的相序变化时,将改变磁场的旋转方向。

3. 转差率

异步电动机的转差率(s)可表示为:

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad (1-1)$$

式中 n_1 —— 旋转磁场同步转速;

n —— 转子转速。

转差率是异步电动机的一个基本参数,对分析和计算异步电动机的运行状态及其机械特性有着重要的意义。通常三相异步电动机的额定转速与同步转速相近,其在额定负载时的转差率为 $1\% \sim 9\%$ 。

(二) 三相异步电动机的启动

三相异步电动机在启动过程中,起动电流很大,通常可达到额定值的 $4 \sim 7$ 倍。这将直接导致电网电压波动及电动机绕组发热,长期使用还会加速绝缘老化。

1. 笼形异步电动机的直接启动

直接启动又称为全压启动。对于由公用变压器供电的低压电动机,单台功率低于 14 kW 时可采用全压启动。

2. 笼形异步电动机的减压启动

减压启动的方法有以下几种:

(1) 自耦变压器(也称为补偿器)减压启动

① 电源供给电动机的启动电流为直接启动时的 $1/K$, 电压降为 $1/K$, 转矩降为 $1/K^2$, 如图 1-14 所示。

② 通常自耦变压器二次侧有 $2 \sim 3$ 组抽头, 电压为一次电压的 $80\%、65\%$ 或 $80\%、60\%、40\%$ 。

③优点是星形联结或三角形联结都可使用。缺点是设备体积与投资均较大。

(2) 星形—三角形(Y— Δ)降压启动

①星形启动,三角形运行,如图 1-15 所示。

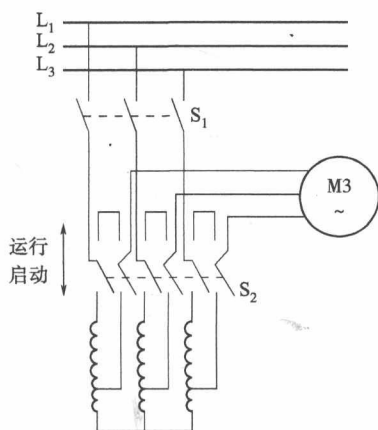


图 1-14 笼形异步电动机用补偿启动电路

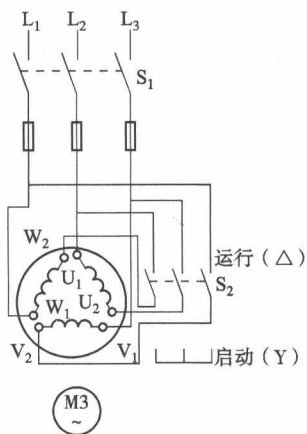


图 1-15 星形—三角形(Y— Δ)启动电路

②启动电流为直接启动电流的 $1/3$ 。

③优点是所需设备简单、价格低,因而得到了较广泛采用。但只适用于正常运行时为 Δ 联结的电动机。Y 系列电动机,凡功率在 4 kW 及以上的电动机正常运行时都采用 Δ 联结。

(3) 延边三角形启动

定子绕组共有 9 个抽头,如图 1-16 所示。启动时绕组 1、2、3 接通,运行时 4、5、6 接通,从而降低了启动电流。

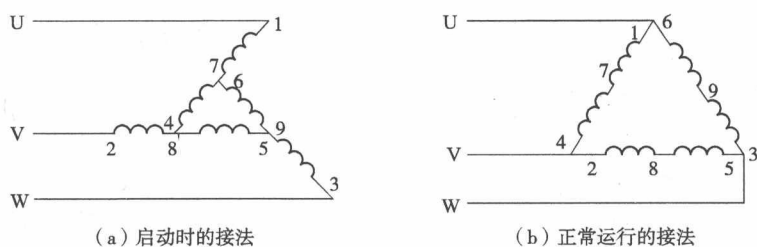


图 1-16 延边三角形启动与正常运行时的接法

(4) 串电阻(或电抗)减压启动

由于电阻上有热能的损耗,如采用电抗器,则体积和成本又较大,因此本方法目前很少采用。

(三) 三相异步电动机的制动

常用的制动方法有电气制动和机械制动。

1. 电气制动

电气制动包括反接制动、能耗制动等。

(1) 反接制动

其优点是停车迅速,电路简单,如图 1-17 所示。缺点是能量损耗较大,在制动过

程中有较大的冲击力。只适用于微小功率电动机。

(2) 能耗制动

它又称为动力制动,其电路如图 1-18 所示。制动时,通过接入直流电源,使电动机制动。这种制动能量消耗小,制动平稳。适用于小功率电动机。

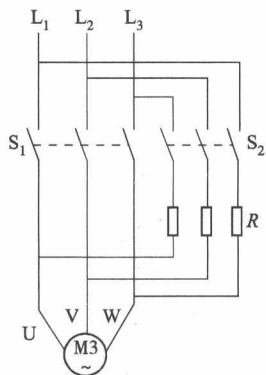


图 1-17 三相异步电动机的反接制动电路

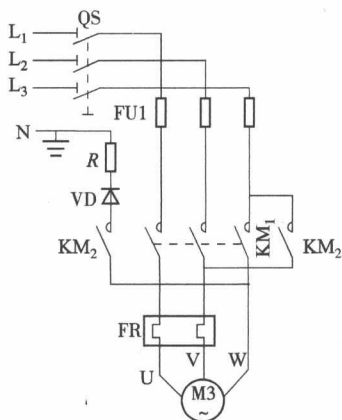


图 1-18 三相异步电动机的能耗制动

2. 机械制动

电磁制动器的结构如图 1-19 所示。其工作原理是:未通电时,闸瓦在弹簧的作用下把轴抱紧,通电时,电磁铁把闸瓦吸开,轴可以转动。

(四) 三相异步电动机的调速

影响交流三相异步电动机速度的参数有:转差率 s 、极对数 p 及电源频率 f 。其转速 n 可表示为:

$$n = \frac{60f}{p} \times (1-s) \quad (1-2)$$

因此,三相异步电动机的调速方法可采用以下三类:

(1) 改变定子绕组的磁极对数。采用这种调速方法的电动机称为多速电动机。最常见的是双速电动机。绕组接线如图 1-20、图 1-21 所示。

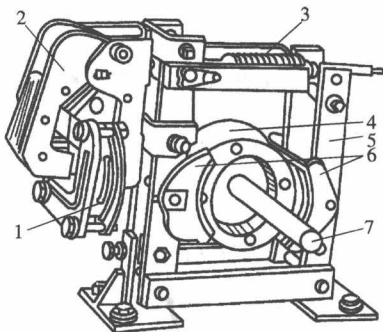
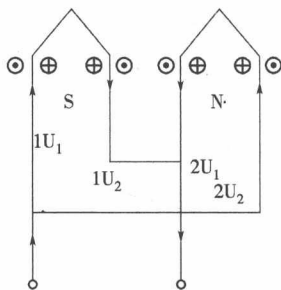
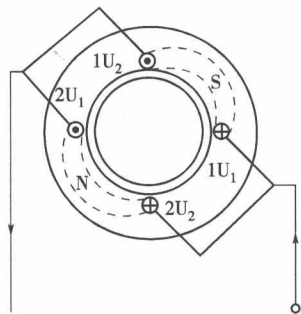


图 1-19 电磁铁制动器的结构

1—电磁线圈;2—铁芯;3—弹簧;4—闸轮;
5—杠杆;6—闸瓦;7—轴



(a) (b)

图 1-20 $p=1$ 时的一相绕组接法(少极接法)

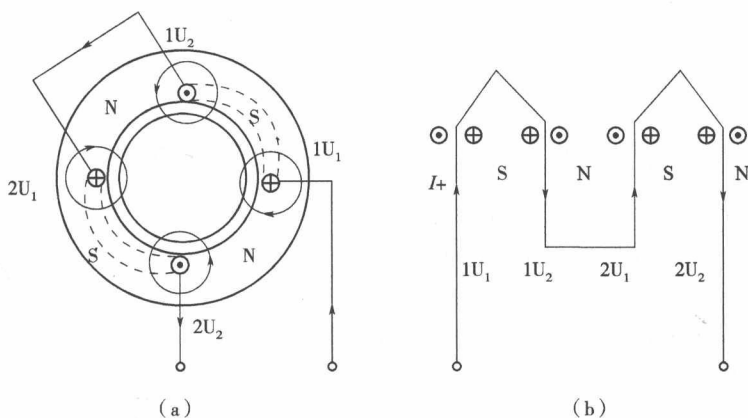


图 1-21 $p=2$ 时的一相绕组接法(多极接法)

(2) 改变转差率 s 。此法多用于绕线转子异步电动机。只要在转子电路中接入调速电阻或对定子电路调压,可得到平滑调速。这种方法广泛适用于起重设备中。

(3) 变频调速。变频调速的主要优点是能平滑地调节电动机的转速,且调速范围广泛、效率高。当采用变频调速时,一般希望维持磁通不变,以便保持转矩不变,这就要求定子电压随着改变。这种能够同时调节频率和电压的调速方式,称为 VVVF 变压变频调速。

第二节 电力电子基础技术

一、电力电子技术的发展

利用半导体电力开关器件组成各种电力变换电路,实现电能的变换和控制,被称为电力电子技术。通常认为,1957 年美国通用电气公司研制出第一个晶闸管标志着电力电子技术的诞生。

晶闸管可通过对门极的控制使其导通,但无法控制其关断,因而属于半控型器件。晶闸管的关断通常依靠电网电压等外部条件来实现。对晶闸管电路的控制方式主要采用相位控制方式。

20 世纪 70 年代后期开始出现多种全控型器件,主要以门极可关断晶闸管(GTO)、电力双极型晶体管(BJT)和电力场效应晶体管(MOSFET)为代表。全控型器件的特点是:通过对门极(基极、栅极)的控制,既可使其导通,又可使其关断,开关速度普遍高于晶闸管。全控型器件的主要控制方式为脉冲宽度调制(PWM)方式。

20 世纪 80 年代后期出现的复合型器件以绝缘栅极双极型晶体管(IGBT)为代表,IGBT 是电力场效应晶体管(MOSFET)和电力双极型晶体管(BJT)的复合。它集中了 MOSFET 驱动功率小、开关速度快以及 BJT 通态压降小、载流能力大的优点,使之成为现代电力电子技术的主导器件。





二、逆变电路

(一) 逆变的分类

1. 有源逆变

将逆变电路的交流端接到交流电网上,把直流电逆变成同频率的交流电反送到电网中去,称为有源逆变。常用于直流电动机的可逆调速、绕线形异步电动机的串级调速、高压直流输电和太阳能发电等方面。

2. 无源逆变

逆变电路的交流端不与电网连接,即将直流电逆变成某一频率或可变频率的交流电直接供给负载,称为无源逆变。在交流电动机变频调速、感应加热、UPS 电源等方面应用十分广泛,是构成电力电子技术的重要内容。

(二) 逆变电路作用及原理

1. 逆变电路的用途

(1) 变频变压电源(VVVF),主要用于交流电动机调速。

(2) 恒频恒压电源(CVCF),其典型代表为不间断电源(UPS)、航空机载电源、机车照明等。

(3) 感应加热电源,如中频电源、高频电源等。

2. 逆变电路的工作原理

单相桥式逆变电路的工作原理如图 1-22 所示。

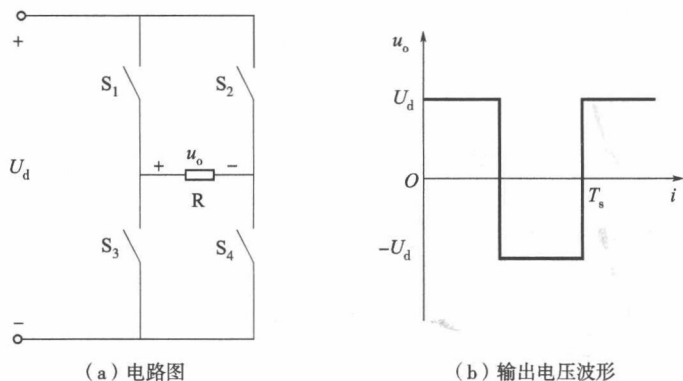


图 1-22 单相桥式逆变电路的工作原理

U_d 为输入直流电压, R 为逆变器的输出负载。当开关 S_1 、 S_4 闭合, S_2 、 S_3 断开时, 逆变器输出电压 $U_o = U_d$; 当开关 S_1 、 S_4 断开, S_2 、 S_3 闭合时, 输出电压 $U_o = -U_d$ 。故若以频率 f_s 交替切换开关 S_1 、 S_4 和 S_2 、 S_3 , 则可在电阻 R 上获得如图 1-22b 所示的交流电压波形, 其周期 $T_s = 1/f_s$, 这样就将直流电压 U_d 变换成了交流电压 u_o 。 u_o 含有大量高次谐波, 如果想得到正弦波电压, 则可通过滤波器滤波实现。图 1-22(a) 中的主电路开关为 $S_1 \sim S_4$, 它们是各种半导体开关器件的一种理想模型, 实际逆变电路中常用的开关器件有: 快速晶闸管、可关断晶闸管、功率晶体管、电力场效应晶体管和绝缘栅晶体管等。

三、变频电路

交流电动机的同步转速可表示为：

$$n = 60f(1-s)/p$$

式中 n ——异步电动机的转速, r/min;

f ——异步电动机的频率, Hz;

s ——电动机转差率;

p ——电动机磁极对数。

可见, 转速 n 与频率 f 成正比, 故只须改变频率, 即可改变电动机的转速。

从结构上看, 变频电路可分为直接变频器和间接变频器两类。间接变频器又称为交—直—交变频器, 它先将工频交流电源用整流器变成直流, 然后再用逆变器将直流变换为电压频率可控的交流。直接变频器则又称交—交变频器, 它将工频交流直接变换为可控频率的交流, 没有中间直流环节。

(一) 交—交变频电路

1. 单相输出交—交变频电路

(1) 电路结构

如图 1-23 所示为单相输出交—交变频电路, 它由具有相同特征的两组晶闸管整流电路反并联而成。

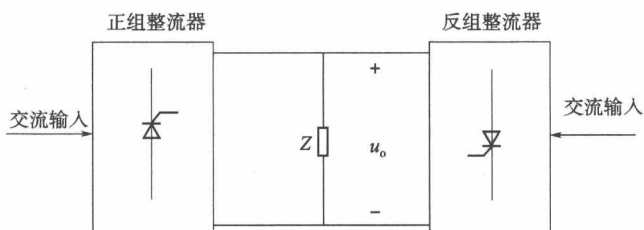


图 1-23 单相输出交—交变频电路

(2) 工作原理

单相交流输入时交—交变频电路的波形如图 1-24 所示。正组整流器工作时, 反组整流器被封锁, 负载端输出电压为上正下负; 反组整流器工作时, 正组整流器被封锁, 负载端输出电压为上负下正。以低于电源的频率切换正、反组整流器的工作状态, 在负载端就可获得交变的输出电压。

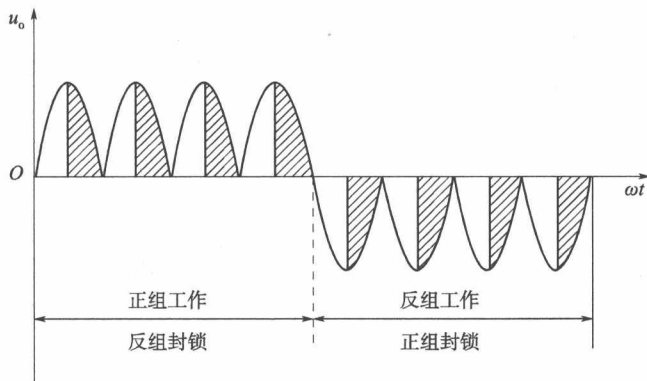


图 1-24 单相交流输入时交—交变频电路的波形



为防止两组晶闸管桥同时导通,晶闸管的导通与关断控制电路必须采用无环流控制方式。

该电路在每一周期内控制角 α 固定不变,故输出电压为含有大量谐波的矩形波,如图 1-24 所示,对电动机的工作造成很不利的影响。若按正弦规律对 α 进行调制,则可使输出电压的波形接近正弦波,相应的交—交变频电路波形如图 1-25 所示。

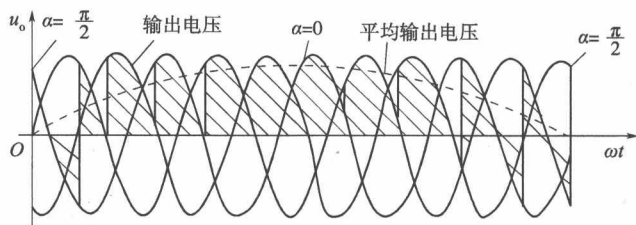


图 1-25 交—交变频电路的波形(α 正弦变化)

(3) 交—交变频电路的工作过程(电感性负载)

对于电感性负载,输出电压超前于电流,其输出电压和电流波形如图 1-26 所示,每个周期可以分为六个阶段。

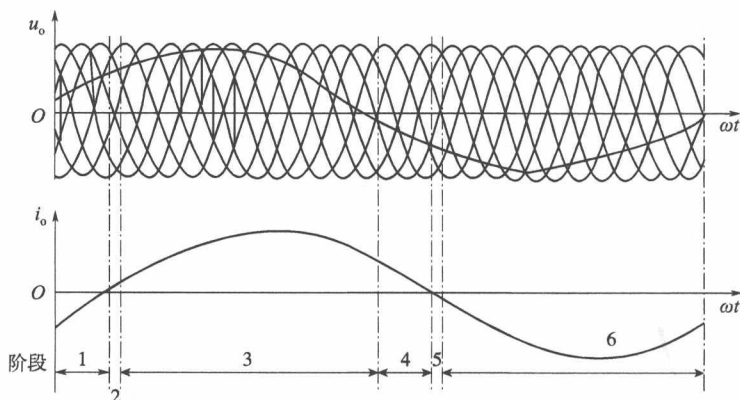


图 1-26 交—交变频电路电感性负载时的输出电压和电流波形

① 第一阶段:输出电压过零, $u_o > 0$, $i_o < 0$,反组整流器工作在有源逆变状态,正组整流器被封锁。

② 第二阶段:电流过零,为无环流死区。

③ 第三阶段: $u_o > 0$, $i_o > 0$ 。正组整流器工作在整流状态,反组整流器被封锁。

④ 第四阶段: $u_o < 0$, $i_o > 0$ 。正组整流器工作在有源逆变状态,反组整流器仍被封锁。

⑤ 第五阶段:电流过零,为无环流死区。

⑥ 第六阶段: $u_o < 0$, $i_o < 0$,反组整流器工作在整流状态,正组整流器被封锁。

2. 三相输出交—交变频电路

交—交变频电路主要用于交流调速系统中,故实际使用的往往是三相交—交变频电路,它由三组输出电压相位各差 120° 的单相交—交变频电路组成。电路接线形式主要有公共交流母线进线方式和输出星形联结方式。如图 1-27 所示为三相交—交变频电路工作原理接线图。

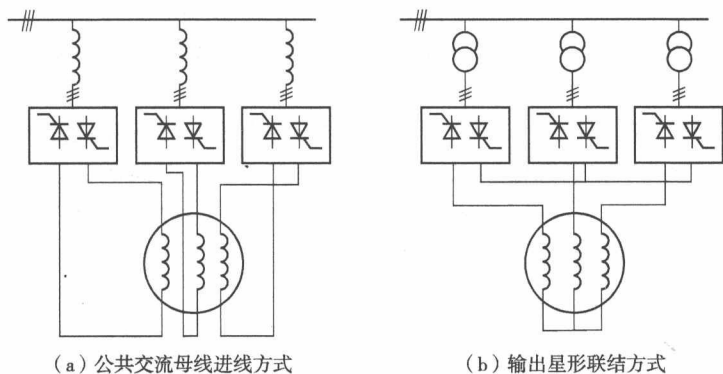


图 1-27 三相交—交变频电路工作原理接线图

3. 交—交变频电路特点

(1) 交—交变频电路输出频率上限的限制

输出频率升高时,输出电压一个周期内电网电压的段数就会减少,所含的谐波分量就要增加,从而使输出电压波形产生畸变。一般情况下,若交流电路采用六脉冲的三相桥式电路时,最高输出频率不应高于电网频率的 $1/3 \sim 1/2$ 。即若电网频率为 50 Hz,则交—交变频电路的输出频率上限约为 20 Hz。

(2) 交—交变频电路的优缺点

①优点:只有一次变流,且使用电网换相,提高了变流效率;可方便地实现四象限工作;低频时输出波形近似正弦波。

②缺点:线路复杂,使用的晶闸管数目较多;受电网频率的限制,输出频率偏低;采用相控方式,功率因数偏低。

基于以上特点,交—交变频电路主要应用于 500 kW 或 1 000 kW 以上,转速在 600 r/min 以下的大功率、低转速的交流调速装置。

(二) 交—直—交变频电路

1. 交—直—交变频器的控制方式

(1) $U/f=C$ 的正弦脉宽调制(SPWM)控制方式

其特点是控制电路结构简单,成本较低,机械特性硬度也较好,能够满足一般传动的平滑调速要求。但是,这种控制方式在低频时输出较低,使输出最大转矩减小。此外,还存在以下不足:动态转矩能力和静态调速性能不尽如人意,控制曲线会随负载的变化而变化,转矩响应慢,电动机转矩利用率不高,低速时因定子电阻和逆变器死区效应的存在而导致性能下降、稳定性变差等。

(2) 电压空间矢量(SVPWM)控制方式

它是逼近电动机气隙的理想圆形旋转磁场轨迹为目的进行控制的。同时,实践中引入频率补偿,以消除速度控制的误差;通过反馈估算磁链幅值,消除低速时定子电阻的影响;将输出电压、电流闭环,以提高动态的精度和稳定度。但由于控制电路环节较多,且没有引入转矩的调节,所以系统性能没有得到根本改善。

(3) 矢量控制(VC)方式

矢量控制变频调速的做法是:首先将异步电动机在三相坐标系下的定子电流 I_U 、 I_V 和 I_W 等效成两相静止坐标系下的交流电流 I_{U1} 和 I_{V1} ;再通过转子磁场定向旋转变



换,等效成同步旋转坐标系下的直流电流 I_{m1} 和 I_{t1} 。 I_{m1} 相当于直流电动机的励磁电流, I_{t1} 相当于与转矩成正比的电枢电流,然后模拟直流电动机的控制方法,求得直流电动机的控制量,再经过相应的坐标反变换,实现对异步电动机的控制。其实质是将交流电动机等效为直流电动机,分别对速度、磁场两个分量进行独立控制。

实际应用中,由于转子磁链难以准确观测,控制特性受电动机参数的影响较大,且所用矢量旋转变换算法较复杂,使得实际控制效果难以达到理想结果。

(4)直接转矩控制(DTC)方式

直接转矩控制变频技术在很大程度上解决了上述矢量控制的不足,并以新颖的控制思想、简洁明了的系统结构、优良的动静态性能得到了迅速发展。直接转矩控制直接在定子坐标系下分析交流电动机的数学模型,控制电动机的磁链和转矩。它不需要将交流电动机等效为直流电动机,因而省去了矢量旋转变换中的许多复杂计算;且无需模仿直流电动机的控制方法,故也不必为解耦而简化交流电动机的数学模型。

2. 交—直—交变频器的构成

交—直—交变频器多了一个中间直流环节,但其输出交流电的频率是任意的。变频器依据直流环节中所使用的储能元件可细分为两种类型。如果采用电容器作为储能元件,称为电压源型变频器;如果采用电抗器作为储能元件,则称为电流源型变频器,目前使用较多的是电压源型变频器。

如图 1-28 所示为交—直—交变频器的基本构成框图,图 1-29 所示为典型的电压源型变频器电路图。



图 1-28 交—直—交变频器的基本构成框图

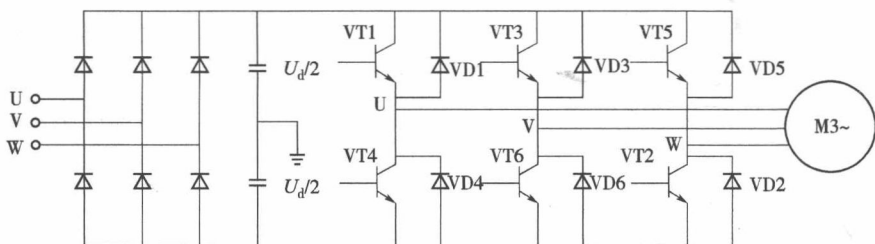


图 1-29 典型的电压源型变频器电路图

3. 变频器参数设置

常用变频器在使用中,是否能满足传动系统要求,变频器参数设置十分重要,若设置不正确则会导致变频器无法正常工作。变频器出厂时,厂家对每个参数都会预设一个出厂(缺省)值。一般缺省值无法完全满足大多数传动系统的要求,所以用户在正确使用变频器之前,要求对变频器参数做如下设置: