

数控机床

伺服驱动系统的设计与应用

孙莹 著

SHUKONG JICHUANG

SIFU QUDONG XITONG DE SHEJI YU YINGYONG



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

数控机床伺服驱动系统的 设计与应用

孙莹 著

西南交通大学出版社

内 容 简 介

本书在深入研究现代交流伺服控制理论及应用的基础上,全面、系统地论述了数控机床伺服驱动系统的关键技术、工作原理、结构和基本类型,展示了数控机床伺服控制技术的最新进展和研究成果。同时,分析了目前国内外数控领域中广泛应用的知名企业典型的产品及应用,并以加工中心和数控车床伺服驱动系统设计两个实例,系统地介绍了数控机床伺服驱动系统的设计方法与应用。

本书力求为工程技术人员和高等院校师生提供一本关于数控机床伺服驱动系统设计与应用的实用性技术参考资料和设计手册。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床伺服驱动系统的设计与应用 / 孙莹著. —
成都:西南交通大学出版社,2014.4
ISBN 978-7-5643-2975-4

I. ①数… II. ①孙… III. ①数控机床—伺服系统—
驱动机构—研究 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第046574号

数控机床伺服驱动系统的设计与应用

孙 莹 著

*

责任编辑 王 旻

特邀编辑 郝 博

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

四川省成都市金牛区交大路146号 邮政编码:610031

发行部电话:028-87600564

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸:170 mm × 230 mm 印张:12.25

字数:220千字

2014年4月第1版 2014年4月第1次印刷

ISBN 978-7-5643-2975-4

定价:48.00元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话:028-87600562

前 言

随着计算机技术、微电子技术、现代控制技术、传感器及检测技术、信息处理技术、网络技术和精密制造技术等多学科领域的发展，数控技术已成为现代制造系统中不可或缺的基础技术，其水平的高低反映了一个国家制造业的现代化水平。数控技术及装备已成为关系国家战略和体现国家综合国力的重要基础性产业。

在电力自动化控制的发展过程中，交、直流伺服驱动系统作为运动控制系统研究的两个重要技术已广泛应用于各个行业，两者相互竞争，相互促进。近几年，随着电机技术、现代电力电子技术、控制技术及计算机技术等的高速发展，交流伺服驱动系统在高精度、高性能的驱动系统中全面取代直流伺服系统，成了现代伺服驱动系统的一个发展趋势。

为了推广交流伺服控制在数控机床中的应用，帮助工程技术人员较全面、系统地了解 and 掌握数控机床伺服驱动系统的最新技术、设计和应用，作者依据行业发展现状及个人多年的科研工作成绩，撰写了《数控机床伺服驱动系统的设计与应用》。

本书较全面、系统地研究了数控机床伺服驱动系统的关键技术、工作原理、结构和基本类型，阐述了数控机床伺服驱动系统的设计原则，分析了目前国内外数控领域中广泛应用的知名企业典型产品及应用，并以加工中心和数控车床伺服驱动系统设计两个实例，系统地介绍了数控机床伺服驱动系统的设计方法与应用。

本书在编写过程中参阅了广州数控、华中数控、德国西门子数控和日本发那科数控的技术资料，得到了许多专家和同行的支持与帮助，在此表示衷心的感谢。

由于数控技术的发展日新月异，以及作者对国内外相关研究资料的收集有限，书中难免有疏漏之处，恳请广大读者与专家批评指正。

作 者

2014 年 1 月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 数控机床伺服驱动系统的概述	1
1.2 数控机床伺服驱动系统的发展概况	2
1.3 数控机床伺服驱动系统的发展趋势	3
1.4 数控机床伺服驱动产品的行业现状	4
第 2 章 数控机床交流伺服驱动的关键技术	6
2.1 交流电机调速原理	6
2.2 交流电机变频调速系统	7
2.3 正弦波脉宽调制技术 (SPWM)	12
2.4 电力半导体器件	15
2.5 矢量控制技术	18
第 3 章 驱动电机及特性	23
3.1 交流永磁同步电机	23
3.2 直线电机	39
3.3 交流主轴伺服电机	47
3.4 交流电主轴	57
第 4 章 数控机床进给伺服驱动系统	62
4.1 概 述	62
4.2 交流伺服驱动器	65
4.3 进给伺服驱动系统的设计与计算	72
4.4 典型交流伺服驱动器	87
第 5 章 数控机床主轴驱动系统	119
5.1 概 述	119
5.2 交流主轴伺服驱动器	122
5.3 典型交流主轴伺服驱动器	125

第 6 章 位置检测装置	136
6.1 概 述	136
6.2 旋转变压器	138
6.3 光电编码器	142
6.4 光栅尺	149
第 7 章 数控机床伺服驱动系统的设计实例	154
7.1 加工中心伺服驱动系统的设计	154
7.2 数控车床伺服驱动系统的设计	172
参考文献	190

第 1 章 绪 论

1.1 数控机床伺服驱动系统的概述

数控机床伺服驱动系统是以机床移动部件的位置和速度为控制量的电气自动控制系统。伺服驱动系统接收数控装置发出的位移、速度指令，经变换、放大、调整后，由电机和机械传动机构驱动机床坐标轴、主轴等，带动工作台及刀架，跟随指令运动，并保证动作的快速和准确，通过轴的联动使刀具相对工件产生各种复杂的机械运动，从而加工出形状复杂的工件。数控机床伺服驱动系统按机床中传动机械的不同分为进给伺服驱动系统和主轴伺服驱动系统。数控机床的精度和速度等重要性能指标往往取决于伺服驱动系统的性能。

数控机床伺服驱动系统一般由驱动装置、检测装置和驱动电机 3 部分组成，如图 1.1 所示。其中伺服驱动装置由控制调节器和电力变换装置组成。控制调节器在半闭环和全闭环伺服驱动系统中，根据数控装置的指令信号（即速度给定值和位置给定值）和实际输出信号的误差来调节控制量，使实际输出量跟随指令信号的变化而变化。电力变换装置将固定频率和幅值的三相（或单相）交流电源变换为受控于调节器输出控制量的可变三相（或单相）交流电源，实现电机速度、角位移和转矩控制，从而驱动运动部件按指令要求完成相应的运动。检测装置用于在半闭环和全闭环伺服驱动系统中，为驱动装置的控制调节器提供反馈控制量，如运动部件的位置、速度和电机转子相位等。

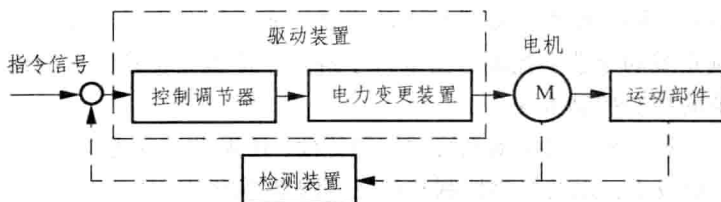


图 1.1 数控机床伺服驱动系统结构框图

20 世纪 60 年代，最早的伺服驱动系统是以直流电机作为主要执行部件，

称为直流伺服系统。直流伺服系统虽有优良的调速性能，但由于在结构上采用了易磨损的电刷和换向器，一方面需要经常维护，另一方面限制了电机的最高转速。此外，直流电机结构复杂、制造困难、材料消耗大，因此，制造成本较高。20世纪70年代末，随着现代电机技术、现代电力电子技术、微电子技术、控制技术及计算机技术等技术的快速发展，先前困扰着交流伺服系统的电机控制复杂、调速性能差等问题取得了突破性的进展，使得交流伺服系统也取得了快速发展，再加之交流伺服电机与直流电机相比，由于无换向器，故克服了直流电机结构上的缺点，因此，交流伺服系统在高精度、高性能的伺服驱动系统和中小功率的伺服驱动系统中成为了主流。

交流伺服驱动系统的性能与直流伺服驱动系统相当，并具有以下优点：

- (1) 系统在极低速度时仍能平滑地运转，而且具有很快的速度响应。
- (2) 在高速区仍然具有较好的转矩特性，即电机的输出特性“硬度”好。
- (3) 具有很高的转矩/惯量比，可实现系统的快速启动和制动。
- (4) 采用高精度的反馈装置，实现高精度的位置控制。
- (5) 采用全数字控制技术和大规模专用集成电路，使系统的结构紧凑、体积小、可靠性高。
- (6) 可以将电机的噪声和振动抑制到最低。

1.2 数控机床伺服驱动系统的发展概况

20世纪70年代，随着对交流伺服驱动系统性能要求的提高，G. R. Slemon等人提出了交流永磁同步电机的设计方法。伴随现代永磁同步电机的出现，基于传统电机模型与经典控制理论的方波永磁同步电机伺服驱动系统和基于开环磁链控制的 V/f 变频调速系统，得以广泛应用。但这些控制系统都难以达到良好的伺服特性。随着微型计算机技术的发展，永磁同步电机动态解耦数学模型的矢量控制系统的全数字控制方法取得了进步，使得矢量控制成为现代交流伺服驱动系统的核心控制方法。

人们为了进一步提高驱动系统的控制特性，还提出了自适应控制、变结构控制和参数辨识技术，以及模糊控制和神经网络等控制方法。20世纪90年代，R. B. Sepe 首次在转速控制器中采用自校正控制。随后，台湾大学刘天华等人将鲁棒控制理论应用于永磁同步电机伺服驱动。N. Matsui, J. H. Lang 等人将自适

应控制技术应用于永磁同步电机伺服驱动, B. K. Bose 等人将人工智能技术应用于电气传动领域。实践证明, 各种鲁棒控制理论和自适应控制技术能够使控制系统在模型和参数变化时保持良好的控制性能; 滑模变结构控制由于其特殊的“切换”控制方式与电机调速系统中逆变器的“开关”模式相似, 使控制系统具有良好的鲁棒性。参数辨识技术是通过电机参数变化进行在线辨识, 从而对系统进行控制, 也能提高控制系统的鲁棒性。基于人工智能的专家系统(Expert System)、基于模糊集合理论(Fuzzy Logic)的模糊控制和基于人工神经网络(Artificial Neural Network)的神经网络控制三大技术, 实现了伺服驱动系统的智能化控制。这些先进技术的应用, 使交流伺服系统的性能得以更飞速提升。

高性能伺服控制依赖高精度的位置反馈装置。目前普遍使用的方法是在永磁同步电机的转子上安装机械式传感器。传感器的安装增加了电机转动惯量、体积和成本, 使电路复杂, 系统易受干扰, 降低了可靠性, 为此出现了无速度传感器交流伺服控制系统(Sensorless Control)。此系统采用一些直观的方法, 实现速度和转子位置的估计。如通过计算定子磁链矢量的空间位置或定子相电感来估算电机转子位置。同时, 现代控制、辨识技术的发展, 为我们提供了许多可行的观测器构造方法来估计控制过程中的状态变量或参数。主要的观测器有: 全阶状态观测器、自适应观测器、变结构观测器、卡尔曼滤波器等。这些观测器具有动态性能好、稳定性强、参数敏感性弱等特点。不过现在具有实用性的产品中, 采用无速度传感器技术只能达到大约 1:100 的调速比, 可以用在一些低档的对位置和速度精度要求不高的伺服控制场合中。相信, 随着数字信号处理器 DSP 技术的发展, 各种具有优良性能的速度观测器能够在无速度传感器矢量控制系统中广泛运用, 提高系统的控制性能。

1.3 数控机床伺服驱动系统的发展趋势

随着科学技术的迅猛发展, 数控机床伺服驱动系统正朝着更高更新的领域进军。国外品牌近 5 年更新换代一次, 新的功率器件或模块 2~2.5 年更新一次, 新的软件算法则日新月异, 产品的生命周期越来越短。

1. 高速、高精、高性能化

新型伺服产品采用精度更高的编码器(每转百万脉冲级), 采样精度更高和速度更快的 DSP, 无齿槽效应的高性能电机, 以及应用自适应、人工智能等各

种现代控制策略的应用，促进了伺服驱动系统的性能加速提高。

2. 通用化

通用型驱动器配置有大量的参数和丰富的菜单功能，便于用户在不改变硬件配置的条件下，设置不同的控制方案，驱动不同类型的电机，适应不同的传感器类型。

3. 智能化

新型伺服产品除具备参数记忆、故障自诊断和分析功能外，还具有负载惯量测定、自动增益调整、自动辨识电机参数、测定编码器零位，以及自动抑制振动等功能。同时，将电子齿轮、电子凸轮、同步跟踪、插补运动等控制功能和驱动结合在一起，使驱动器智能化程度更高。

4. 网络化

随着机器安全标准的不断发展，新型伺服产品引入了预测性维护技术，使得人们可以通过 Internet 及时了解重要技术参数的动态趋势，并采取预防性措施。

5. 小型化和大型化

交流伺服电机不仅积极向更小型的方向发展，如 20 mm，28 mm，35 mm 外径，同时也在发展更大功率和尺寸的机种。目前，500 kW 的交流永磁伺服电机已问世，体现了伺服产品的向两极化发展的趋势，以适应更广泛的应用环境。

综上所述，随着超高速切削、超精密加工、网络制造等技术的发展，数控机床伺服驱动系统也将朝着高性能、高速度、通用化、智能型、模块化、网络化和两极化趋势发展，以满足更多用户的要求。

1.4 数控机床伺服驱动产品的行业现状

在数控机床交流伺服研究领域中，日本、美国和欧洲的研究一直走在世界前列。日本安川公司在 20 世纪 80 年代中期成功研制出世界上第一台交流伺服驱动器，随后日本发拉科、三菱、松下等公司先后推出各自的产品。目前国外

品牌占据了我国交流伺服市场 85% 左右的份额,其中日本品牌凭借较好的性价比、可靠性和本地化生产的优势,占据了超过 50% 的最大市场份额;欧美品牌在高端设备和生产线上比较有竞争力,以高性能、高价格,全套自动化解决方案作为卖点,市场占有率大约在 35%。我国从 20 世纪 70 年代开始跟踪开发交流伺服系统,80 年代之后进入工业领域,但仅停留在小批量、高价格、应用面狭窄的状态,技术水平难以满足工业需要。2000 年之后,制造业的快速发展为交流伺服产品提供了越来越大的市场空间,国内开始推出自主品牌的交流伺服产品,如华中数控、广州数控、南京埃斯顿等。如今国产交流伺服产品在经济型数控机床上得到广泛应用,但在中高档数控机床上应用仍面临困难,国产品牌在性能、质量、技术储备、生产能力和资本实力等方面都存在很多不足。国产品牌面临巨大的挑战,除了持续投入研发之外,还需要在竞争策略方面走差异化路线,任重而道远。

本书将以国内的华中数控、广州数控和国外的德国西门子、日本发那科等知名品牌为例,介绍数控机床伺服驱动系统的典型产品及其应用。

第 2 章 数控机床交流伺服驱动的关键技术

2.1 交流电机调速原理

根据电机学基本理论可得，交流电机的同步转速公式：

$$n_r = n_s = \frac{60f_1}{p} \quad (2.1)$$

式中 n_r ——旋转磁场的转速，即同步转速；

n_s ——转子转速；

f_1 ——供电电源的频率；

p ——电机磁极对数。

由式(2.1)可知，若平滑地改变定子供电电源的频率 f_1 ，则可以平滑地改变电机的转速，这就是交流电机变频调速的基本原理。变频调速是一种理想的调速方法，其效率和功率因数都很高。

根据电机学基本理论可得，交流电机的电动势方程、转矩方程分别如下：

$$U_1 \approx E_1 = 4.44f_1N_1K_1\phi_m \quad (2.2)$$

$$M_m = C_M\Phi_m I_a \cos\alpha_2 \quad (2.3)$$

式中 U_1 ——定子每相相电压；

E_1 ——定子每相绕组感应电动势；

N_1 ——定子每相绕组匝数；

K_1 ——定子每相绕组匝数系数；

Φ_m ——每极气隙磁通量；

M_m ——电机电磁转矩；

I_a ——转子电枢电流；

α_2 ——转子电枢电流的相位角。

由式(2.2)、(2.3)可知,变频调速过程中,在电压 U_1 不变的情况下,若增加电源频率 f_1 ,定子磁通量 Φ_m 会减小,但也导致电机输出电磁转矩 M_m 下降,使电机的利用率变差,电机的最大转矩也将降低。若减小电源频率 f_1 ,定子磁通量 Φ_m 会增加,此时,定子电流又上升,导致铁损增加。而且电机的磁通容量与电机的铁心大小有关,通常在设计时已达到了最大值,因此当磁通量饱和时,会造成实际磁通量增加不上去,从而引起电流波形畸变,反而削弱电磁转矩。因此,在变频调速的同时,应该保证电压 U_1 随之变化,即满足 U_1/f_1 为定值,以确保磁通量 Φ_m 近似不变,也就是所谓的恒压频比变频调速,简称 V/f 变频调速。

交流电机恒压频比变频调速特性如图2.1所示。 U_1 的最大值不能超过定子额定电压,此时对应的电源频率 f_1 为额定频率,转速 n 为额定转速。在基频以下调速时,为了保持电机的负载能力,应保持磁通量 Φ_m 不变,此时在降低频率 f_1 的同时应降低电压 U_1 ,属于“恒转矩调速”。在基频以上调速时,当频率 f_1 大于额定频率,由于电压 U_1 不能超过额定值,这将迫使磁通量 Φ_m 与频率 f_1 成反比变化,这相当于直流电机的弱磁升速的情况,属于“恒功率调速”。在变频调速控制中,当频率 f_1 很低时,由于定子阻抗不能忽略,将导致电压 U_1 下降,为此应人为提高电压 U_1 ,用以补偿定子阻抗的压降。

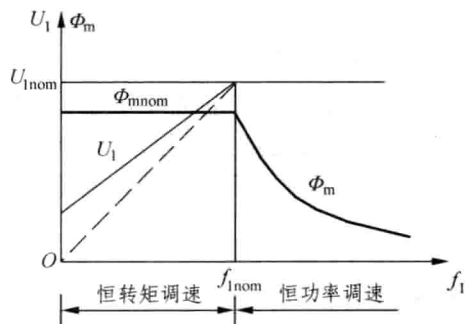


图 2.1 交流电机变频调速特性

2.2 交流电机变频调速系统

要进行交流电机的调速,就必须改变电机的电压与频率。实现交流电机变频调速的控制装置常称为变频器。通常希望变频器具有通用性,即同一装置可以对不同生产厂家、不同参数的同规格电机进行调速控制,但变

变频器的控制对象必须建立在实际电机的数学模型基础上,因此,目前市场上的变频调速控制装置分为通用型与专用型两类。通用型变频调速控制装置常称为“变频器”,由于变频器所控制的是通用感应电机,设计者无法预知最终控制对象的各种参数,控制系统必须对电机模型进行大量的简化与近似处理,因此,其调速范围较小、调速精度也较差。专用型变频器是针对配套的电机研发的调速控制装置,其调速范围宽、控制精确度高,而且能实现位置的精准控制,广泛应用于数控机床驱动系统,通常称这种专用型变频器为交流伺服驱动器。

变频调速控制装置有多种方式,但为了对电压的幅值、波形和频率进行有效控制,大多使用交-直-交变频调速方式,即先将交流转换为直流(整流),然后再将直流转换为所需要的交流(逆变)。交-直-交变频调速系统一般由整流电路和逆变电路两部分组成。

2.2.1 整流电路

1. 整流电路的基本类型

整流电路的作用是将交流输入转变为直流输出。由于电网电流额定频率一般为 50 Hz 或 60 Hz,它对电力电子器件的工作频率要求不高,为此,通常采用二极管或晶闸管作为整流元件。

根据电路结构不同,变频器的整流电路可分为单相桥式和三相桥式整流电路。根据控制形式的不同,整流电路又可分为“不可控制整流电路”和“可控制整流电路”。不可控制整流通常选用二极管作为整流元件,可控制整流则选用晶闸管作为整流元件。

2. 三相桥式整流电路

三相桥式整流电路是将三相交流电源转变为直流输出的电路。其电路和整流输出波形如图 2.2 所示。电路中整流管的通断取决于三相电源输入的相对值,有 6 次换相过程。

设三相电源分别为:

$$u_a = \sqrt{2}U \sin \omega t$$

$$u_b = \sqrt{2}U \sin(\omega t - 2\pi/3)$$

$$u_c = \sqrt{2}U \sin(\omega t - 4\pi/3)$$

则三相线电压分别为：

$$u_{ab} = \sqrt{6}U \sin(\omega t + \pi/6)$$

$$u_{ba} = \sqrt{6}U \sin(\omega t - \pi/2)$$

$$u_{ca} = \sqrt{6}U \sin(\omega t - 7\pi/6)$$

三相桥式整流的换相总是对应于电压差最大的两个整流管优先导通，如在 $0 \sim 6\pi$ 范围内，正向电压最大为 u_c ，反向电压最大为 u_b ，因此， V_3 和 V_5 管导通，整流输出电压为 $U_d = u_{cb}$ 。以此类推，整流电路的输出波形如图 2.2 (b) 所示，根据面积相等原则，整流输出的直流平均电压 U_d 的计算如下：

$$U_d = 6 \times \frac{1}{2\pi} \int_{\pi/6}^{\pi/2} \sqrt{6} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right) dt = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U \left[-\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right) \right]_{\pi/6}^{\pi/2} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U \approx 2.34U$$

因电源线电压 $U_1 = \sqrt{3}U$ ，所以有 $U_d = 1.35U_1$ 。对于三相 AC 380 V 供电的整流电路，整流后的直流电压约为 510 V，若经大电容滤波后电压提高 1.2 ~ 1.4 倍，直流母线电压可达 600 ~ 700 V。

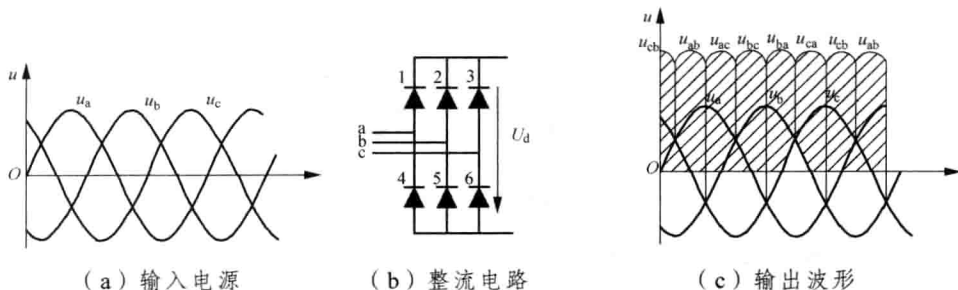


图 2.2 三相桥式整流

2.2.2 逆变电路

逆变电路是通过对功率管的通断控制，将直流电压转变为幅值、频率可变的交流电。逆变电路的结构如图 2.3 所示，主要由 6 个功率管组成。当功率管按照特定的顺序依次导通时，在电机定子绕组中产生交流电流，使转子以固定的方向运转。功率管的通断须根据电机转子的位置有序控制，为此，在交流电机的转子上安装有位置检测装置。

从电机运行原理可知，通过改变功率管的通断顺序（即电流相序）改变电机的转向。如电机正转时，功率管的导通顺序为 $VT_1/VT_6 \rightarrow VT_6/VT_2 \rightarrow$

$VT_2/VT_4 \rightarrow VT_4/VT_3 \rightarrow VT_3/VT_5 \rightarrow VT_5/VT_1 \rightarrow VT_1/VT_6$, 电机的反转时, 功率管的导通顺序则为 $VT_4/VT_2 \rightarrow VT_2/VT_6 \rightarrow VT_6/VT_1 \rightarrow VT_1/VT_5 \rightarrow VT_5/VT_3 \rightarrow VT_3/VT_4 \rightarrow VT_4/VT_2$ 。

根据逆变电路的控制方式不同, 逆变电路有电流控制型、电压控制型和 PWM 控制型 3 种类型。

1. 电流控制型逆变电路

电流控制型逆变电路如图 2.3 所示, 是在直流母线上串联大电感量的平波电抗器, 整流电路相当于输出电流幅值保持不变的电流源。电流源的输出通过逆变功率管的开关作用, 以方波的形式供给电机。电流控制型逆变电路通过调节整流晶体管的触发角来调节电流源的输出电流 I_d 的大小, 实现对电机输出转矩的控制。这种逆变电路通常用于定子电流为方波的大型交流同步电机的控制。

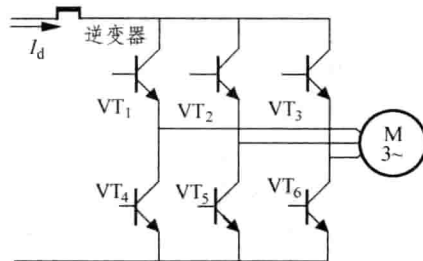


图 2.3 电流控制型逆变电路

电流控制型逆变电路在换流的瞬间感性负载电流不能突变, 将产生浪涌电压。因此, 在高压、大电流控制时, 应在逆变电路输出回路增加浪涌电压吸收器。电流控制型逆变电路的最大特点是电机制动的制动能量可通过控制功率管触发角返回到电网, 实现回馈制动。

2. 电压控制型逆变电路

电压控制型逆变电路如图 2.4 所示, 是在直流母线上并联大容量的滤波电容, 整流电路相当于输出电压幅值保持不变的电压源。直流电压通过逆变功率管的开关作用, 以方波的形式供给电机。电压控制型逆变电路同样是通过调节整流晶体管的触发角来调节电压 U_d 的大小, 从而控制电机的电枢电压。

电压控制型逆变电路的直流母线电容不能进行反向充电, 因此无法实现回馈制动, 通常采用能耗制动消耗电机制动时返回至直流母线上的能量, 为此, 在逆变电路的功率管上并联续流二极管。

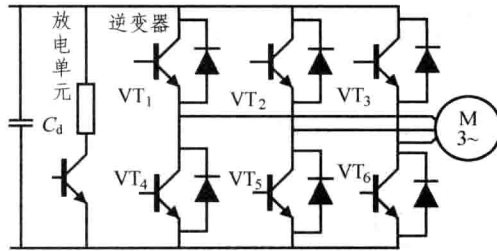


图 2.4 电压控制型逆变电路

3. PWM 控制型逆变电路

脉宽调制技术 (PWM) 是一种通过电力电子器件的通断将直流转换为一定形状脉冲序列的技术。如图 2.5 所示, 将每半个周期内输出电压的矩形波分割为 N 等分, 并用 N 个面积相等的窄脉冲与之等效, 如果窄脉冲的幅值保持不变, 可以通过改变窄脉冲的宽度来改变矩形波的幅值, 这就是 PWM 技术的基本原理。

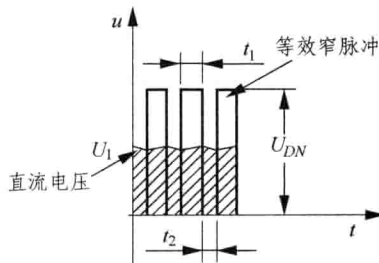


图 2.5 直流调制波形

PWM 控制型逆变电路与传统的晶闸管逆变方式相比具有如下特点:

(1) 系统结构简单、响应速度快。PWM 控制型只需对逆变电路进行控制, 便可实现电压和频率的同时改变, 因此, 电源电路可采用不可控整流电路, 这样, 不仅系统的结构更简单, 而且系统的响应速度也快。

(2) 调速性能好。PWM 控制型逆变电路输出的是远高于电机运行频率的高频窄脉冲, 大大降低了输出电压中的谐波分量, 因此, 改善了电机的低速性能, 扩大了调速范围。

因此, PWM 控制型逆变电路以开关频率高, 功率损耗小, 动态响应快等优点, 广泛应用于中、小型机电设备, 特别是数控机床的伺服驱动系统。