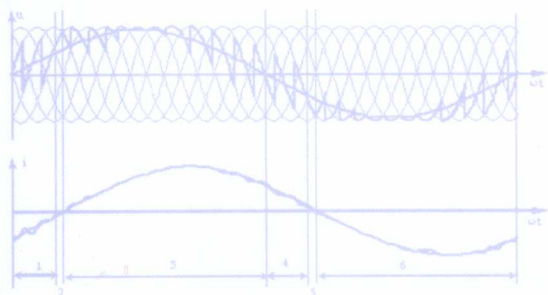


变频器 及其控制技术

肖朋生 张文 王建辉 编著



21 世纪高职高专系列教材

变频器及其控制技术

肖朋生 张 文 王建辉 编著
刘家勋 审



机械工业出版社

本书简要介绍了变频器的工作原理和基本结构。以施耐德 ATV31 变频器为例,详细介绍了其主要功能、参数设置方法、变频器的多种适用电路和成套变频调速电气控制柜的设计方法。

本书所涉及的电路均为生产一线的实用电路,理论知识介绍较少,突出适用性,并介绍了一些在实验室模拟生产工艺的试验方法。特别适合在实验室边讲边练。

本书可以作为高职高专院校和中等职业技术学校的教学用书,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

变频器及其控制技术/肖朋生, 张文, 王建辉编著. —北京: 机械工业出版社, 2008. 2

(21 世纪高职高专系列教材)

ISBN 978-7-111-23089-2

I. 变… II. ①肖…②张…③王… III. 变频器—高等学校: 技术学校—教材 IV. TN773

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 195236 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 祝 伟 责任编辑: 赵丽欣 版式设计: 霍永明

责任校对: 姜 婷 责任印制: 李 妍

北京中兴印刷有限公司印刷

2008 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm • 14.75 印张 • 363 千字

0 001—5 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-23089-2

定价: 23.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
销售服务热线电话: (010)68326294

购书热线电话: (010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010)88379739

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着电子技术的发展,变频调速已在交通运输、石油化工、家用电器、造纸、纺织、印染、军事等领域得到了广泛的应用。

本书共分6章:第1章简要介绍了变频器的工作原理和基本结构;第2章以施耐德ATV31变频器为例,详细介绍了其主要功能和参数设置方法;第3章介绍了变频器的各种电路,并介绍了在实验台进行模拟试验的方法,对学生实践动手能力的培养非常有利;第4章介绍了变频器安装及外围设备的选用;第5章是变频器的应用举例;第6章介绍成套变频调速电气控制柜的设计,详细介绍了变频调速成套设备电气图的设计。本章还可以作为课程设计或集中实训的内容。

本书所有电路图都以工厂实际使用的原理图画出,并标有线号,使学生能看懂实际图样,适应今后工作的需要。

本书各章的内容相对独立,可以根据教学要求适当删减。

本书可以作为高职高专院校和中等职业技术学校的教学用书,同时可作为济南星科电气智能化实验平台的配套教材使用,也可供工程技术人员参考。

由于笔者经验和水平所限,再加上变频技术和PLC技术发展很快,本书难免存在疏漏和错误之处,欢迎读者批评指正。

作 者

目 录

前言	
绪论	1
第1章 通用变频器的基本工作原理	7
1.1 交-直-交变频器的基本工作原理	7
1.1.1 交-直-交变频器的主电路	7
1.1.2 SPWM 控制技术原理	11
1.1.3 通用变频器电压与频率的关系	12
1.2 交-交变频器的工作原理	12
1.2.1 基本工作原理	12
1.2.2 运行方式	14
1.2.3 主电路形式	15
1.3 变频器的分类	16
1.3.1 按变换的环节有无直流分类	17
1.3.2 按直流环节的储能方式分类	17
1.3.3 按控制方式分类	18
1.3.4 按功能分类	19
1.3.5 按用途分类	19
1.4 通用变频器的面板结构	19
1.5 通用变频器的接线端子	21
1.5.1 变频器主端子	21
1.5.2 变频器控制端子	22
本章小结	24
习题	25
第2章 通用变频器的参数设置及功能选择	26
2.1 通用变频器的参数设置	26
2.1.1 变频器参数设置方法	26
2.1.2 常用参数及其设置	27
2.2 变频器的运行与给定方式	28
2.2.1 变频器的操作运行	28
2.2.2 变频器的给定方式	29
2.2.3 实训与练习	30
2.3 变频器的求和输入	33
2.3.1 求和输入的原理	33
2.3.2 求和输入的设置菜单	34
2.3.3 实训与练习	34
2.4 变频器的多段速度控制	35
2.4.1 端子组合与接线	35
2.4.2 参数设置	35
2.4.3 实训与练习	36
2.5 变频器的PI调节功能	38
2.5.1 PI调节器的工作原理	38
2.5.2 变频器的PI调节功能	39
2.5.3 PI调节功能的设置	40
2.5.4 实训与练习	40
2.6 其他常用功能	41
2.6.1 变频器的寸动操作	41
2.6.2 变频器的模拟/逻辑输出	42
2.6.3 变频器的停车模式	42
2.6.4 限位开关功能	43
2.6.5 变频器的内部继电器	44
2.6.6 故障菜单的主要设置	44
2.6.7 显示菜单	45
2.6.8 其他常用参数	45
2.6.9 实训与练习	46
本章小结	50
习题	51
第3章 变频调速控制电路的设计	52
3.1 变频调速控制线路的控制方式及设计方法	52
3.1.1 变频调速控制线路的控制方式	52
3.1.2 控制线路的设计方法	52
3.2 变频器正反转控制线路	54
3.2.1 用低压电器控制	54
3.2.2 直接用PLC控制	55
3.2.3 PLC加低压电器控制	56
3.3 变频器正反转自动循环控制线路	57
3.3.1 用低压电器控制	57
3.3.2 直接用PLC控制	58
3.3.3 PLC加低压电器控制	59
3.4 小车自动往返控制线路	60
3.4.1 用低压电器控制	60
3.4.2 用PLC直接控制	62

3.5 变频器的多段速度控制线路	63	4.4.2 变频器产生的干扰	117
3.5.1 用低压电器控制	64	4.4.3 抑制变频器干扰的措施	118
3.5.2 直接用 PLC 控制	64	4.5 变频调速控制系统的安装	120
3.5.3 PLC 加低压电器控制	65	4.5.1 变频器对安装环境的要求	120
3.5.4 实训与练习	66	4.5.2 安装方法	120
3.6 自动升降速度控制线路	69	4.5.3 变频器的接线方法	121
3.6.1 用低压电器控制	69	4.6 变频器的维护与检查	127
3.6.2 用 PLC 直接控制	70	4.6.1 日常检查	127
3.7 其他控制线路	71	4.6.2 定期检查项目	127
3.7.1 多地点控制	71	4.6.3 零部件的更换	129
3.7.2 顺序控制	71	4.7 变频器的保护与维修	129
3.7.3 延时控制	72	4.7.1 变频器的保护功能	129
3.7.4 工频与变频的转换电路	74	4.7.2 通用变频器故障原因的分析	130
3.8 多电动机同步调速系统	78	本章小结	134
3.8.1 同步信号的获取	78	习题	135
3.8.2 同步信号的处理	79	第 5 章 变频器的应用举例	136
3.8.3 常用的同步方法	80	5.1 交流变频调速在空调中的应用	136
3.8.4 变频器的主电路和控制电路	83	5.1.1 集中变频空调	136
3.9 用步进逻辑公式设计控制线路	86	5.1.2 家用空调	138
3.9.1 基本规定	86	5.2 变频调速在恒压供水系统中的	
3.9.2 程序步	87	应用	140
3.9.3 步进逻辑公式	88	5.2.1 恒压供水的意义	140
3.9.4 步进逻辑公式的使用方法	88	5.2.2 恒压供水的主电路	140
3.9.5 设计举例	93	5.2.3 采用 PID 调节的控制方案	141
本章小结	108	5.3 工业锅炉燃烧过程的变频调速	
习题	108	系统	143
第 4 章 变频器安装及外围设备的		5.3.1 燃煤蒸汽锅炉燃烧过程	143
选用	110	5.3.2 变频调速系统接线原理图	145
4.1 变频器的选用	110	5.3.3 变频器功能设定	146
4.1.1 变频器的标准规格	110	5.4 印染机械多电动机同步调速系统	146
4.1.2 变频器参数的选择	110	5.4.1 变频调速在印染行业中应用	
4.1.3 变频器类型的选择	113	的特点	146
4.2 异步电动机的选择方法	113	5.4.2 印染机械简介	146
4.2.1 电动机容量的选择	113	5.4.3 传感器	147
4.2.2 电动机磁极对数的选择	114	5.4.4 主电路	148
4.2.3 电动机工作频率范围的选择	114	5.4.5 同步控制电路	148
4.2.4 使用变频器传动时电动机		5.4.6 控制电路	149
出现的新问题	114	本章小结	152
4.3 变频器的外围设备及其选择	114	习题	152
4.3.1 常规配件的选择原则	115	第 6 章 成套变频调速电气控制柜的	
4.3.2 专用配件的选择	116	设计	153
4.4 变频器干扰及抑制	117	6.1 概述	153
4.4.1 对变频器的干扰	117		

6.2 电气原理图	155	附录 B Altivar31 变频器参数代码索引 ...	210
6.2.1 控制方案的确定	155	附录 C Altivar31 变频器型号及主要	
6.2.2 图形幅面	156	参数	212
6.2.3 通路标号	156	附录 D 三菱 FR-A500 系列变频器标	
6.2.4 识图坐标	157	准规格与技术规范	214
6.3 安装接线图	164	附录 E 富士 FRENIC5000-G9S、P9S 系列	
6.3.1 柜体的设计	164	变频器标准规格与技术规范	216
6.3.2 接线图的画法	164	附录 F 富士 FRENIC5000G11S、P11S 系列	
6.3.3 接线端子	172	变频器标准规格与技术规范	218
6.4 外部接线图	174	附录 G 塑料绝缘铜线安全载流量	220
6.5 PLC 控制程序	179	附录 H 根据电动机容量选配电器与	
本章小结	182	导线	220
习题	182	附录 I 施耐德 TWDLCAA40DRF 型 PLC	
附录	184	简介	221
附录 A Altivar31 变频器菜单	184		

绪 论

变频器就是将固定频率的交流电变为频率连续可调的交流电的装置。变频器技术随着计算机技术、电力电子技术、微电子技术和自动控制理论的发展而不断发展。变频器的问世,对电气调速领域具有十分重要的意义。交流电动机变频调速技术具有节能、改善生产流程、提高产品质量和易于实现自动控制等许多优势,是国际公认的最有发展前途的调速方式。

通用变频器不仅用于一般性能的节能调速控制,而且已经用于高性能、高转速、大容量调速控制领域。所谓“通用”,是指能与通用的笼型电动机配套使用,能适用于各种不同性质的负载并具有多种可供选择的功能。变频器作为一种智能调速设备,以其多用途、高可靠性和明显的节电效果,已经广泛地应用于各种大型自动化生产线和各类电动机控制上,如造纸、轧钢、印染、电力机车和机械加工等领域。变频器不仅可以单台独立工作,也可以多台分别控制各自不同的被控对象。并可与计算机连接,进行相互通信,采用计算机对变频器网络的集中控制,形成连续生产线的调速控制系统。因此,现在的通用变频器在各行业的应用越来越普及。

1. 变频器技术的发展历程

变频器的主电路都采用电力电子器件作为开关器件,因此,电力电子器件是变频器发展的基础。

第一代以晶闸管为代表的电力电子器件出现于 20 世纪 50 年代。1956 年贝尔实验室发明了晶闸管,1958 年通用电气公司推出商品化产品。晶闸管是电流控制型开关器件,只能通过门极控制其导通而不能控制其关断,故又称为半控器件。由晶闸管组成的变频器工作频率低,应用范围很小。

第二代电力电子器件以电力晶体管(GTR)和门极可关断晶闸管(GTO)为代表,在 20 世纪 60 年代发展起来。它是一种电流型自关断的电力电子器件,可方便地实现变频、逆变和斩波,其开关频率仍然不高,只有 1~5kHz。尽管已经出现了脉宽调制技术,但因载波频率和最小脉宽都受到限制,难以得到较为理想的正弦脉宽调制波形,因而使电动机在变频调速时产生刺耳的噪声,限制了变频器的推广应用。

第三代电力电子器件以双极型绝缘栅晶体管(IGBT)和电力场效应晶体管(MOSFET)为代表,在 20 世纪 70 年代开始应用。它是一种电压(场控)型自关断的电力电子器件,具有在任意时刻用基极(栅极、门极)信号控制导通和关断的功能,开关频率达到了 20kHz 以上,其电压和电流参数均已超过了 GTR,因此变频器中的 IGBT 基本取代了 GTR,低压变频器的容量在 380V 级达到了 540kVA,利用 IGBT 构成的高压(3kV/6kV)变频器最大容量可超过 7000 kVA,为电气设备的高频化、小型化创造了条件。

第四代电力电子器件以出现于 20 世纪 80 年代末的智能化功率集成电路(PIC)和 20 世纪 90 年代的智能功率模块(IPM)为代表,它们实现了开关频率的高速化、低导通电压的高性能化及功率集成电路的大规模化,有过电流、短路、过电压、欠电压和过热等多种保护功能,还可实现再生制动。简单的外部控制电路,使变频器的体积、重量和接线大为减少,

而其功能及可靠性大大提高。

2. 变频器的发展趋势

经过 40 多年的发展, 电力电子技术已经成为一门多学科的边缘技术, 其发展方向是: 高电压大容量化、高频化、组件模块化、小型化、智能化和低成本化。随着 IT 技术的飞速发展和控制理论的创新, 为变频器的发展也创造了条件。变频器的发展趋势呈现以下特点。

(1) 数控化

采用新型计算机控制, 例如日本富士公司生产的 30kW 以上的变频器, 采用两个 16 位 CPU, 一个用于转矩计算, 一个用于数据处理, 实现了转矩限定、转差补偿控制、自动加速减速控制及故障自诊断等。对于 22kW 以下的变频器采用一个 32 位数字信号处理器 (DSP), 提高了计算、检测和响应的速度, 扩充并加强了其处理功能。

(2) 高频化

为适应纺织和精密机械等许多领域的高速要求, 变频器的频率已由过去低于 120Hz, 发展到 400 Hz。目前已提高到 600~1000 Hz, 甚至 3kHz 以上。

(3) 网络智能化

智能化的变频器安装到系统后, 不必进行过多的功能设定, 就可以方便地操作使用, 有明显的工作状态显示, 而且能够实现故障诊断与排除, 甚至可进行部件自动转换。利用互联网可以进行遥控监视, 实现多台变频器按工艺流程联动, 形成最优化的变频器综合管理控制系统。

(4) 高集成化

通过提高集成片技术及采用表面贴片技术, 使变频器的容量体积比得到进一步提高, 增加了产品的可靠性, 并大大减小了体积。

(5) 专门化

根据某一类负载的特性, 有针对性地制造专门化的变频器, 不但有利于对电动机进行经济有效的控制, 而且可以降低制造成本。现在已制造出电梯控制专用变频器、起重机械专用变频器、风机和水泵专用变频器、空调专用变频器、张力控制专用变频器等。

(6) 一体化

变频器将相关的功能部件, 如 PID 调节器、PLC 和通信单元等有选择地集成到内部组成一体化机, 不仅使功能增强, 且减少了外部电路的连接。现在已有变频器和电动机的一体化组合机问世, 从而使整个系统体积更小, 控制更方便。

总之, 变频器技术的发展趋势是朝着智能、高度集成化、功能健全、操作方便、安全可靠、低成本和小型化的方向发展。

3. 我国变频器市场的需求现状

交流电动机结构简单, 价格低廉, 运行控制方便, 在工农业生产中得到了广泛的应用。但在过去相当长的一段时间内, 由于没有变频电源, 异步电动机只能工作在不要求变速或对调速性能要求不高的场合。

变频器的问世为交流电动机的调速提供了条件, 不仅可取代结构复杂、价格昂贵的直流电动机调速, 而且原来由交流电动机拖动的负载实现变频调速后可节省大量的能源。

据 1993 年调查统计, 全国各类电动机装机容量约为 3.5×10^8 kW, 其耗电量约占全国

发电量的 60%。其中大多数电动机长时间处于轻载运行状态。特别是其中装机容量占总装机容量一半以上的风机、泵类负载的电动机, 70% 采用风挡或阀门调节流量, 运行状态较差, 且浪费很多的电能。这些电动机用电量占全国用电量的 31%, 占工业用电量的 50%。若在此类负载上使用变频调速装置, 可节电 30% 左右。

目前, 全国电动机的装机容量约有 $5 \times 10^8 \text{ kW}$, 按一半为风机、泵类负载计算, 有 $2.5 \times 10^8 \text{ kW}$, 如果将其中的 40% 进行变频调速改造, 就可减少容量 $1 \times 10^8 \text{ kW}$, 节能效果相当明显。当前我国已使用的变频器总容量大约为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^7 \text{ kW}$, 因此, 我国有广阔的变频器应用市场。

变频器作为产品在国内销售应用, 已有二十几年的历史, 销售额呈逐年增加趋势, 具有相当好的销售前景。有关资料表明, 我国 2003 年变频器的销售额已突破 30 亿元。目前阻碍变频器推广应用的主要原因仍然是价格偏高, 维修价格昂贵; 其次是一般电气技术人员, 变频器的开发应用还有一定的难度。但随着科学技术的不断发展, 变频器的价格会越来越低, 掌握变频器技术的人员也会越来越多, 变频器全面推广应用的时代已经来临。

4. 变频器的应用

变频调速是目前最理想、最有发展前途的调速方式之一, 在运输业、石油化工、家用电器、造纸、纺织、军事等领域得到了广泛的应用。如超导磁悬浮列车、高速铁路、电动汽车; 变频空调、变频洗衣机、变频微波炉; 军事通信、导航、雷达、宇航设备的小型化电源等。变频器的应用主要在以下几个方面。

(1) 变频器在自动化系统中的应用

变频器内置有 32 位或 16 位的中央处理器, 具有多种逻辑运算和智能控制功能, 输出频率精度高达 $0.1\% \sim 0.01\%$, 还设置有完善的检测、保护环节, 因此在自动化系统中得到广泛的应用。例如, 玻璃工业中的平板玻璃退火炉、玻璃窑搅拌、拉边机、制瓶机; 化纤工业中的卷绕、拉伸、计量、导丝等。

(2) 变频器在节能中的应用

风机、泵类负载采用变频调速后, 节电率可达到 $20\% \sim 60\%$, 节能效果非常可观。以节能为目的变频器的应用, 在近年来发展十分迅速, 目前应用较成功的有恒压供水、各类风机、中央空调和液压泵的变频调速。尤其是恒压供水, 由于使用效果非常好, 现已形成典型成熟的变频控制模式, 广泛应用于消防、喷灌及工农业用水等领域。恒压供水安装、操作非常方便, 不仅节省大量电能, 而且延长了设备的使用寿命。目前一些空调、冰箱等家用电器, 如海尔、海信的变频空调, 采用变频调速技术, 取得了较好的节能效果和经济效益。

(3) 变频器在机械设备控制领域中的应用

使用变频器可以提高生产工艺水平和产品质量, 减少设备的冲击和噪声, 延长设备的使用寿命, 因而广泛应用于起重、传送、挤压和机床等各种机械设备控制领域。采用变频调速控制后, 操作和控制更加方便, 甚至可改变原有的工艺规范, 从而提高了整个设备的功能。例如, 纺织等许多行业用的定型机, 机内温度是靠改变送入热风的多少来调节的。输送热风通常用的是循环风机, 由于风机速度不变, 送入热风的多少只有用风门来调节。如果风门调节失灵或调节不当就会造成定型机失控, 影响产品质量。循环风机高速起动, 传送带与轴承之间磨损非常严重, 使传送带变成了一种易耗品。采用变频调速后, 温度调节可以利用温度传感器, 通过变频器自动调节风机的速度来实现, 提高了产品质量。同时, 变频器可以很方

便地解决风机在低速下的起动问题,减少了传送带与轴承的磨损,延长了设备的寿命。

(4) 变频器在数控机床中的应用

随着生产技术和生产力的发展,要求机器具有更高的精度、更高的效率、更多的品种、更高的自动化程度及可靠性。现代化的数控机床综合了计算机技术、微电子技术等,使机床的自动化程度不断提高。从 20 世纪 70 年代初,以高级车床为中心开始了将数控车床主轴由齿轮有级变速传动变为直流无级调速传动。进入 80 年代后,主轴采用变频调速的方式正在迅速普及。

使用变频器可以使标准电动机直接变速传动,实现主轴的无级调速和正反转控制,同时变频器还可以外接制动电阻,实现电动机快速制动。

(5) 变频器在电梯控制系统中的应用

1982 年,日本三菱电气公司研制出第一台变频器控制的高速电梯,并在两年后把变频器应用于低速电梯。随着应用的不断普及,出现了用于电梯控制的专用变频器。

5. 调速系统及其性能指标

(1) 开环和闭环调速系统

调速即速度调节,是指在电力拖动系统中人为地改变电动机的转速,以满足工作机械的不同转速要求。调速是通过改变电动机的参数或电源电压、频率等方法来改变电动机的机械特性,使得电动机的转速稳定改变。

从调速控制原理上可将调速系统分为开环调速系统和闭环调速系统。开环调速系统如图 0-1 所示,调速是通过改变给定信号,通过控制环节而实现的。开环控制由于不能克服外界扰动带来的速度变化,故不能进行精确的速度控制。



图 0-1 开环速度调节系统

闭环调速系统如图 0-2 所示,由于增加了速度等反馈环节,使系统能有效消除各种干扰影响,使电动机转速不随外界扰动的变化而变化,始终能精确地保持在给定的数值上。

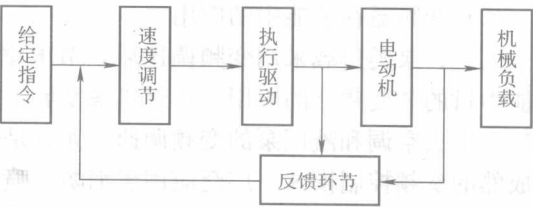


图 0-2 闭环速度调节系统

(2) 调速系统的性能指标

调速系统的性能指标,可衡量调速系统的优劣。常用的性能指标有以下几项。

1) 调速范围

工作机械要求的调速范围,以字母 D 表示。它等于在额定负载下,电动机能提供的最高转速 $n_{\max}$ 和最低转速 $n_{\min}$ 之比,即

$$D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}$$

在多电动机同步调速系统中, $n_{\max}$ 和 $n_{\min}$ 通常指能够进行同步运行的最高速和最低速。

2) 调速的平滑性

调速的平滑性亦称公比。它是用某一个转速 n_i 与能够调到的最邻近的转速 n_{i-1} 之比来评价的,以字母 φ 表示。即

$$\varphi = \frac{n_i}{n_{i-1}}$$

无级调速的平滑性 $\varphi \approx 1$ 。

3) 静差度

静差度即速度的稳定度，以字母 S 表示。它是衡量转速随负载变动程度的静态指标。它表示电动机在某一转速下运行时，机械负载由理想空载变到额定负载所产生的速度降落 Δn_e ，与理想空载转速 n_0 之比，即

$$S = \frac{\Delta n_e}{n_0}$$

4) 调速的经济性

调速的经济指标，一般是根据设备费用、能源损耗、运行及维护费用等综合评价的。

6. 交流电动机的调速控制

众所周知，直流调速系统具有优良的静、动态指标，在很长的一段历史时期内，调速传动领域基本上被直流电动机调速系统所垄断。直流电动机虽有调速性能好的优势，但也有一些固有的难以克服的缺点。如机械式换向带来的弊端，使其事故率高，无法在大容量的调速领域中应用。交流电动机的优点是：其容量、电压、电流和转速的上限不像直流电动机那样受限制，且结构简单、造价低廉、坚固耐用、容易维护。因此，长期以来人们一直努力研究交流电动机的调速问题。

近年来，随着电力半导体器件、计算机技术的发展，交流电动机的速度控制产生了一场深刻的革命。以各种电力半导体器件构成的交流调压调速系统、变频调速系统正在取代着直流电动机调速系统。

(1) 交流电动机的调速原理

由电动机学可知，异步电动机的同步转速，即旋转磁场的转速为

$$n_1 = \frac{60f}{P}$$

式中 n_1 ——同步转速 (r/min)；

f ——定子频率 (即电源频率 Hz)；

P ——磁极对数。

异步电动机的转速为

$$n = (1-s)n_1 = \frac{60f}{P}(1-s)$$

式中 s ——转差率。

从上式可知，要调节异步电动机的转速应从 P 、 s 、 f 三个分量入手，因此，异步电动机的调速方式可分为 3 种，即变极调速、变转差率调速和变频调速。

(2) 交流电动机的调速方式

1) 变极调速

笼型异步电动机可通过改变电动机绕组的接线方式，使电动机从一种极对数变为另一种极对数，从而实现异步电动机的有级调速。变极调速所需设备简单，价格低廉，工作也比较可靠。变极调速电动机的关键在于绕组设计，以最少的绕组抽头和接线达到最好的电动机技

术性能指标。

2) 变转差率调速

对于绕线式异步电动机, 可通过调节串联在转子绕组中的电阻值 (调阻调速)、在转子电路中引入附加的转差电压 (串级调速)、调整电动机定子电压 (调压调速) 以及采用电磁转差离合器 (电磁离合器调速) 改变气隙磁场等方法实现变转差率, 从而对电动机进行无级调速。变转差率调速尽管效率不高, 但在异步电动机调速技术中仍占有重要的地位。

3) 变频调速

通过改变定子绕组供电频率来改变同步转速实现对异步电动机的调速, 在调速过程中从高速到低速都可以保持有限的转差率, 因而具有高效率、宽范围和高精度的调速性能。

在诸多交流调速中, 变频调速的性能最好。变频调速电气传动调速范围大, 静态稳定性好, 运行效率高, 调速范围广。可以认为, 变频调速是异步电动机的一种非常合理和理想的调速方法。

第 1 章 通用变频器的基本工作原理

变频器的功能就是将频率、电压都固定的交流电源变成频率、电压都连续可调的三相交流电源。按照变换环节有无直流环节，变频器可以分为交-交变频器和交-直-交变频器。

1.1 交-直-交变频器的基本工作原理

交-直-交变频器就是先把频率、电压都固定的交流电整流成直流电，再把直流电逆变成频率、电压都连续可调的三相交流电源。由于把直流电逆变成交流电的环节比较容易控制，并且在电动机变频后的特性方面比其他方法具有明显的优势，所以通用变频器一般采用交-直-交变频器。

1.1.1 交-直-交变频器的主电路

交-直-交变频器的主电路如图 1-1 所示，可以分为以下几部分。

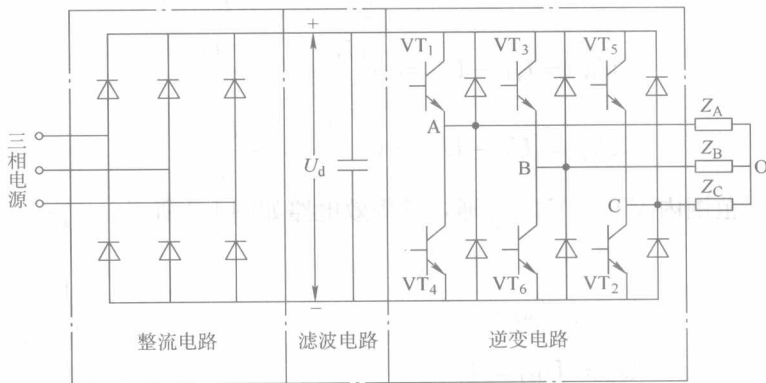


图 1-1 交-直-交变频器的主电路

1. 整流电路——交-直部分

整流电路通常由二极管或晶闸管（俗称可控硅）构成的桥式电路组成。根据输入电源的不同，分为单相桥式整流电路和三相桥式整流电路。我国常用的小功率变频器多数为单相 220V 输入，较大功率的变频器多数为三相 380V（线电压）输入。

由二极管构成的桥式整流电路的输出电压的平均值 U_d 不变，而由晶闸管构成的桥式整流电路的输出电压的平均值 U_d 连续可调。

2. 中间环节——滤波电路

根据储能元件不同，滤波电路可分为电容滤波和电感滤波两种。由于电容两端的电压不能突变，流过电感的电流不能突变，所以用电容滤波就构成电压源型变频器，用电感滤波就构成电流源型变频器。

3. 逆变电路——直-交部分

逆变电路是交-直-交变频器的核心部分,其中6个晶体管按其导通顺序分别用 $VT_1 \sim VT_6$ 表示,与晶体管反向并联的二极管起续流作用。

按每个晶体管的导通电角度又分为 120° 导通型和 180° 导通型两种类型。

(1) 120° 导通型

若把负载 Z 接成Y形(见图1-1),给6个晶体管的基极加上合适的控制电压,使其按图1-4的要求导通,设三相负载完全对称,即 $Z_A = Z_B = Z_C = Z$,并设逆变器的换相在瞬间完成,忽略功率器件的管压降。

在 $0^\circ \sim 60^\circ$ 范围内 VT_1 、 VT_6 导通,其等效电路如图1-2所示。

由图可以求得

$$U_A = U_{AO} = \frac{U_d}{2}$$

$$U_B = U_{BO} = -\frac{U_d}{2}$$

$$U_C = U_{CO} = 0$$

根据 U_A 、 U_B 、 U_C 可以求得各线电压

$$U_{AB} = U_A - U_B = \frac{U_d}{2} - \left(-\frac{U_d}{2}\right) = U_d$$

$$U_{BC} = U_B - U_C = -\frac{U_d}{2} - 0 = -\frac{U_d}{2}$$

$$U_{CA} = U_C - U_A = 0 - \frac{U_d}{2} = -\frac{U_d}{2}$$

在 $60^\circ \sim 120^\circ$ 范围内 VT_1 、 VT_2 导通,其等效电路如图1-3所示。

由图可以求得

$$U_A = U_{AO} = \frac{U_d}{2}$$

$$U_B = U_{BO} = 0$$

$$U_C = U_{CO} = -\frac{U_d}{2}$$

根据 U_A 、 U_B 、 U_C 可以求得各线电压

$$U_{AB} = U_A - U_B = \frac{U_d}{2} - 0 = \frac{U_d}{2}$$

$$U_{BC} = U_B - U_C = 0 - \left(-\frac{U_d}{2}\right) = \frac{U_d}{2}$$

$$U_{CA} = U_C - U_A = -\frac{U_d}{2} - \frac{U_d}{2} = -U_d$$

同理,可以求得其他各范围的相电压和线电压,根据这些电压可以画出相电压和线电压的波形图如图1-4所示。

若把负载 Z 按图1-5接成 Δ 形,6个晶体管仍按上述要求导通,在 $0^\circ \sim 60^\circ$ 范围内 VT_1 、

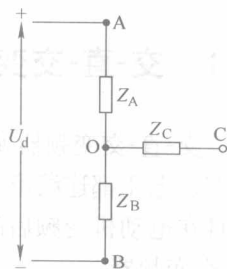


图 1-2 $0^\circ \sim 60^\circ$ 等效电路

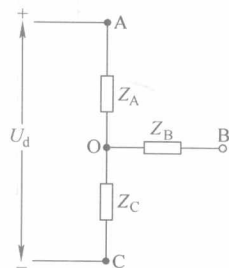


图 1-3 $60^\circ \sim 120^\circ$ 等效电路

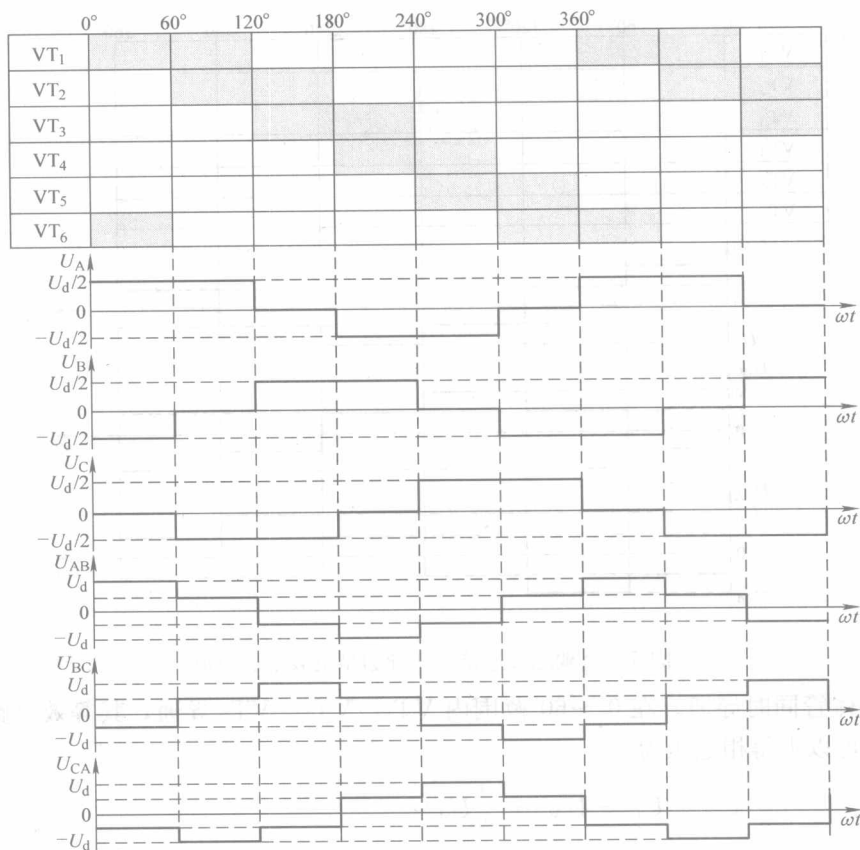


图 1-4 负载Y形连接 120°导通型负载电压波形图

VT₆ 导通，其等效电路如图 1-6 所示。由图可以求得线电压为

$$U_{AB} = U_d$$

$$U_{BC} = U_{CA} = -\frac{U_d}{2}$$

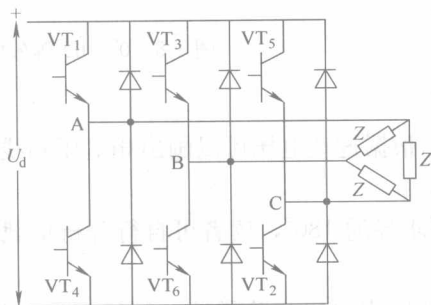


图 1-5 负载△形连接

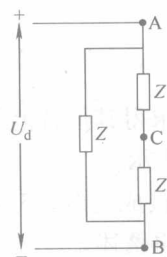


图 1-6 0°~60°等效电路

同理，可以求得其他各范围的线电压，画出线电压的波形如图 1-7 所示。

(2) 180°导通型

若把负载 Z 仍按图 1-1 接成Y形，6 个晶体管按图 1-9 的要求导通 180°，则在各范围内

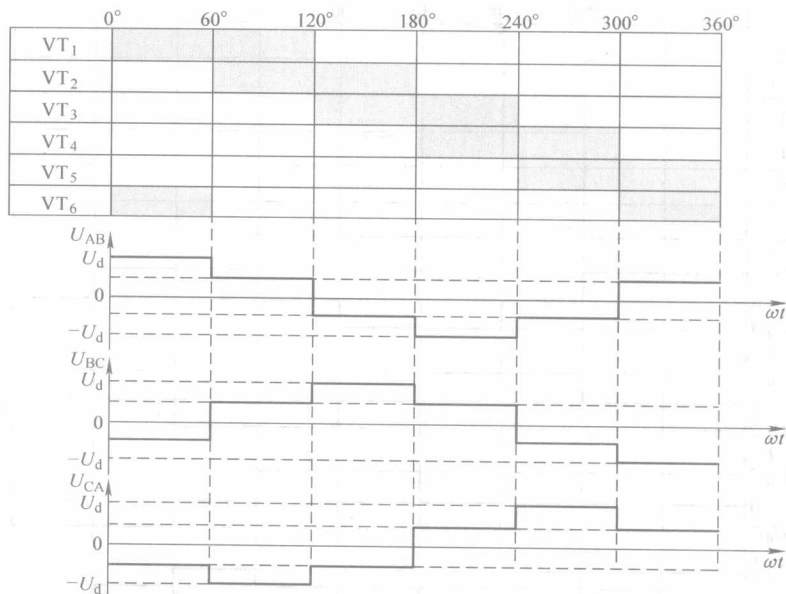


图 1-7 负载 Δ 形连接 120°导通型负载电压波形

都有 3 个晶体管同时导通。在 $0^\circ \sim 60^\circ$ 范围内 VT_1 、 VT_5 、 VT_6 导通，其等效电路如图 1-8 所示。由图可以求得相电压为

$$U_A = U_C = U_{AO} = \frac{1}{3}U_d$$

$$U_B = U_{BO} = -\frac{2}{3}U_d$$

根据 U_A 、 U_B 、 U_C 可以求得各线电压

$$U_{AB} = U_A - U_B = \frac{1}{3}U_d - \left(-\frac{2}{3}U_d\right) = U_d$$

$$U_{BC} = U_B - U_C = -\frac{2}{3}U_d - \frac{1}{3}U_d = -U_d$$

$$U_{CA} = U_C - U_A = \frac{1}{3}U_d - \frac{1}{3}U_d = 0$$

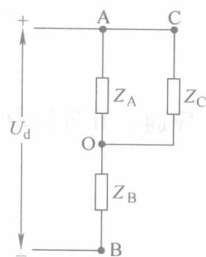


图 1-8 $0^\circ \sim 60^\circ$ 等效电路

同理，可以求得其他各范围的相电压和线电压，根据这些电压可以画出相电压和线电压的波形如图 1-9 所示。

若把负载 Z 接成 Δ 形，6 个晶体管按图 1-5 的要求导通 180° ，读者可自行分析负载两端的电压波形，不再赘述。

由图 1-4、图 1-7 和图 1-9 可以看到，逆变电路的输出电压为阶梯波，虽然不是正弦波，却是彼此相差 120° 的交流电压，即实现了从直流电到交流电的逆变。输出电压的频率取决于逆变器开关器件的切换频率，达到了变频的目的。

实际逆变电路除了基本元件晶体管和续流二极管外，还有保护半导体元件的缓冲电路，晶体管也可以用门极可关断晶闸管代替。