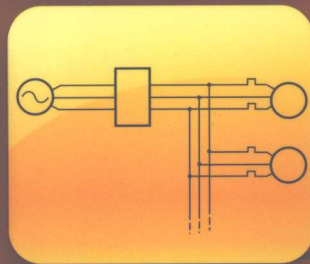
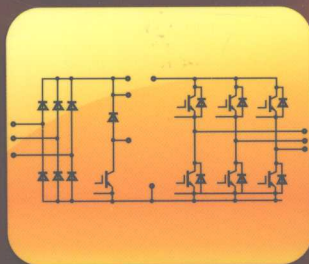
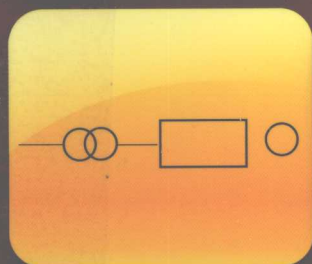
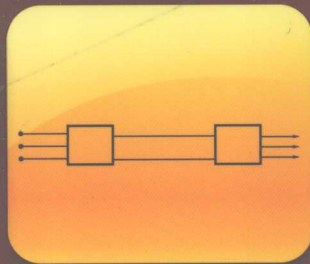
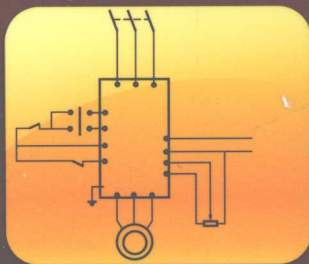
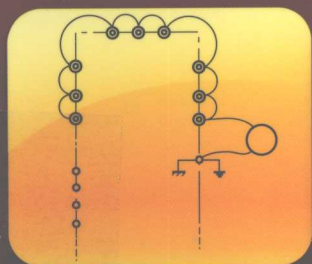


变频器

应用技术及 实例解析

魏连荣 主编



化学工业出版社

BIANPINQI
YINGYONG JISHU
LI JIEXI

TN773/28

2008

变频器应用技术及实例解析

魏连荣 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

变频器应用技术与实例解析

主编 魏连荣

图书在版编目 (CIP) 数据

变频器应用技术与实例解析/魏连荣主编. —北京: 化学工业出版社, 2008. 4

ISBN 978-7-122-02346-9

I. 变… II. 魏… III. 变频器-基本知识 IV. TN773

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 034819 号

责任编辑: 卢小林

装帧设计: 尹琳琳

责任校对: 李 林

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京市彩桥印刷有限责任公司

装 订: 北京顺板装订厂

720mm×1000mm 1/16 印张 11¼ 字数 222 千字 2008 年 6 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 23.00 元

版权所有 违者必究

变频器在各行各业中的应用,已成为改造传统工业、改善工艺流程、提高生产过程自动化水平、提高产品质量、改善生产环境、节约能源、推动技术进步的主要技术手段之一,也是国际上更新换代最快的技术领域之一。工业自动化技术通常使用可程序控制器、通用变频器、智能化仪器仪表和传感器等设备,对生产设备进行自动控制,而通用变频器在其中起着举足轻重的作用。

在控制系统中,通用变频器通过可程序控制器或工业计算机与工厂管理系统相结合,与生产线控制系统及现场设备一起构成一个多级分布式控制系统。通用变频器控制系统是一个技术密集、规模较大、一次性投资较大的项目。目前在市场上的通用变频器品牌、种类越来越多,有近百个品牌,上千个系列,不同公司的产品各有特点,使用起来差异较大,尤其是在设计选型方面,大家面对众多的品牌和功能参数往往难以轻易定论,厂家在售后服务和维修方面也有许多不便和困难。本书将从通用变频器应用技术的角度出发,比较通俗并全面地介绍与变频器相关的各种基础知识、变频器的基本结构和主要功能、变频器周边设备的选择、变频器的安装调试和维修保养、变频器在工厂的典型应用分析及参数设置等内容,以方便广大读者在应用、选型及维护技术方面参考使用。

本书第1、2、3章由魏连荣编写,第4章由魏弢编写,第5章由王爱博编写,第6章由李秀斌编写,全书由魏连荣统稿并担任主编。在编写过程中朱凤芝教授给予了热情的帮助和支持,在此表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在不妥之处,热情欢迎广大读者批评指正。

编者

2008.1

第 1 章 绪论	1
1.1 变频器技术的发展	1
1.2 变频器调速系统的优势	2
1.3 变频器技术的发展动向	5
第 2 章 变频器基础知识	8
2.1 变频器中的半导体开关器件	8
2.2 变频器主电路基本构成	18
2.3 变频器控制电路的基本原理	26
第 3 章 变频器基本结构和主要功能	40
3.1 变频器的基本结构原理	40
3.2 变频器的主要控制功能与设定	53
第 4 章 变频器及周边设备的选择	73
4.1 变频器的选择	73
4.2 变频器的周边设备及连接导线	75
4.3 变压器	78
4.4 线路用断路器和漏电断路器	79
4.5 电磁接触器、过载继电器	80
4.6 电抗器、滤波器	82
4.7 制动电阻	85
4.8 电网电源切换电路	87
4.9 变频器与 PLC 及上位机的连接	87
4.10 产品样本的规格指标	94

第5章 变频器的安装调试和维护保养

103

- 5.1 变频器的安装 103
- 5.2 配线 105
- 5.3 通电前检查 109
- 5.4 试运行 109
- 5.5 变频器的维护保养 114
- 5.6 变频器的特殊异常状态及其对策 121

第6章 变频器应用实例分析

127

- 6.1 变频器在恒压供水系统中的应用 127
- 6.2 变频器在塑料薄膜机械中的应用 133
- 6.3 变频器在通风机械中的应用 138
- 6.4 变频器在卷曲机械中的应用 142
- 6.5 变频器在尿素合成控制系统中的应用 149
- 6.6 变频器在自动配料系统中的应用 151
- 6.7 混合搅拌机的变频调速 156
- 6.8 变频器在聚丙烯造粒机中的应用 157

附录

161

- 附录1 几种典型通用变频器技术规范 161
- 附录2 变频器常用附件的选用 168
- 附录3 变频器典型应用电路 172

参考文献

181

第1章 绪论

1.1 变频器技术的发展

我国变频器应用始于20世纪80年代末,由于变频器的优越性能及节电效果,使用量不断增加,而且,每年以20%的递增量在发展。然而与国外发达国家相比,我国变频器的应用仅为可使用量的15%~20%。与发达国家的70%~80%相比差距还很大。国民经济发展,对电气自动化的要求越来越高,而节能降耗、降低成本也更迫切,因此变频器的市场前景是十分乐观的。

直流电动机拖动和交流电动机拖动先后诞生于19世纪,距今已有100多年的历史,并已成为动力机械的主要驱动装置。但是,由于技术上的原因,在很长一段时期内,占整个电力拖动系统80%左右的不变速拖动系统中,采用的是交流电动机,包括异步电动机和同步电动机,而在需要进行调速控制的拖动系统中则基本上采用的是直流电动机。

(1) 直流电动机由于结构上的原因,存在以下缺点

- ① 需要定期更换电刷和换向器,维护保养困难,寿命较短。
- ② 由于直流电动机存在换向火花,难以应用于存在易燃易爆气体的恶劣环境。

- ③ 结构复杂,难以制造高转速、高电压和大容量的直流电动机。

(2) 交流电动机与直流电动机相比,具有以下优点

- ① 结构简单、坚固、工作可靠、易于维护和保养。
- ② 不存在换向火花,可以应用于存在易燃易爆气体的恶劣环境。
- ③ 容易制造出高转速、高电压和大容量的交流电动机。

因此,很久以来,人们希望在许多场合下能够用可调速的交流电动机来代替直流电动机,并在交流电动机的调速控制方面进行了大量的研究开发工作。但是,交流调速系统的研究开发方面一直未能得到能够令人满意的成果,也因此限制了交流调速系统的推广应用。也正是因为这个原因,在工业生产中大量使用的诸如风机、水泵等需要进行调速控制的电力拖动系统中不得不采用挡板和阀门来调节风速和流量。这种做法不但增加了系统的复杂性,也造成了能源的浪费。

直至20世纪70年代,随着电力电子技术、微电子技术和控制理论的发展,电力半导体器件和微处理器的性能不断提高,变频驱动技术也得到了显著发展。随着各种复杂控制技术在变频器技术中的应用,变频器的性能不断得到

提高,而且应用范围也越来越广。目前变频器不但在传统的电力拖动系统中得到了广泛的应用,而且已经扩展到了工业生产的所有领域,并且在家用电器产品中也得到了广泛应用。

变频器技术是一门综合性的技术,它建立在控制技术、电力电子技术、微电子技术和计算机技术的基础之上,并随着这些基础技术的发展而不断得到发展。

1.2 变频器调速系统的优势

与传统的交流拖动系统相比,利用变频器对交流电动机进行调速控制的交流拖动系统有许多优点,如节能,容易实现对现有电动机的调速控制,可以实现大范围内的高效连续调速控制,容易实现电动机的正反转切换,可以进行高频度的起停运转,可以进行电气制动,可以对电动机进行高速驱动,可以适应各种工作环境,可以用一台变频器对多台电动机进行调速控制,电源功率因数高,所需电源容量小,可以组成高性能的控制系统等。

在许多情况下,使用变频器的目的是节能,尤其是对于在工业中大量使用的风扇、鼓风机和泵类负载来说,通过变频器进行调速控制可以代替传统上利用挡板和阀门进行的风量、流量和扬程的控制,所以节能效果非常明显。

因为以节能为目的的调速运转对电动机的调速范围和精度要求不高,所以通常采用在价格方面比较经济的通用型变频器。变频器调速控制系统具有以下优势。

① 利用变频器实现交流电动机调速控制,可以很方便地实现调速。由于变频器可以看作是一个频率可调的交流电源,对于现有的进行恒速运转的异步电动机来说,只需在电网电源和现有的电动机之间接入变频器和相应设备,就可以利用变频器实现调速控制,而无需对电动机和系统本身进行大的设备改造。

② 利用变频器实现交流电动机调速控制,可得到较宽的调速范围和较高的调速精度。在采用了变频器的交流拖动系统中,异步电动机的调速控制是通过改变变频器的输出频率实现的。因此,在进行调速控制时,可以通过控制变频器的输出频率使电动机工作在转差较小的范围,电动机的调速范围较宽,并可以达到提高运行效率的目的。一般来说,通用型变频器的调速范围可以达到 $1:10$ 以上,而高性能的矢量控制变频器的调速范围可以达到 $1:1000$ 。此外,当采用矢量控制方式的变频器对异步电动机进行调速控制时,还可以直接控制电动机的输出转矩。因此,高性能的矢量控制变频器与变频器专用电动机的组合在控制性能方面可以达到和超过高精度直流伺服电动机的控制性能。

③ 利用变频器实现交流电动机调速控制,很容易实现电动机的正反转切

换。利用普通的电网电源运行的交流拖动系统,为了实现电动机的正反转切换,必须利用开关器件等切换装置对电源进行换相切换。利用变频器进行调速控制时,只需改变变频器内部逆变电路换流器件的开关顺序,即可以达到对输出进行换相的目的,很容易实现电动机的正反转切换而不需要专门设置正反转切换装置。

④ 利用变频器实现交流电动机调速控制,可减小电动机的启动电流。对在电网电源下运行的电动机进行正反转切换时,如果在电动机尚未停止时就进行相序的切换,电动机内将会由于相序的改变而流过大于启动电流的电流,有烧毁电动机的危险,所以通常必须等电动机完全停下来之后才能够进行换相操作。而在采用变频器的交流调速系统中,由于可以通过改变变频器的输出频率使电动机按照斜坡函数的规律进行减速,并在电动机减速至低速范围后再进行相序切换,进行相序切换时电动机的电流可以很小。同样,在电动机的加速过程中可以通过改变变频器的输出频率使电动机按照斜坡函数的规律进行加速,从而达到限制加速电流的目的。因此,在利用变频器进行调速控制时更容易和其他设备一起构成自动控制系统。

⑤ 利用变频器实现交流电动机调速控制,可减小电动机的功率损耗。对于利用普通的电网电源运行的交流拖动系统来说,由于电动机的启动电流较大并存在着与启动时间成正比的功率损耗,所以不能使电动机进行高频度的启停运转。而对于采用了变频器的交流调速系统来说,由于电动机的启停都是在低速区进行而且加减速过程都比较平缓,电动机的功耗和发热较小,可以进行较高频度的启停运转。

变频调速系统,可以用于采用交流拖动系统的传送带和移动工作台等,以达到节能的目的。这是因为,在利用异步电动机进行恒速驱动的传送带以及移动工作台中,电动机通常一直处于工作状态,而采用变频器进行调速控制后,由于可以使电动机进行高频度的启停运转,可以使传送带或移动工作台只是在有货物或工件时运行,而在没有货物或工件时停止运行,从而达到节能的目的。

由于在变频器驱动系统中,电动机的调速控制是通过改变变频器的输出频率进行的,当把变频器的输出频率降至电动机的实际转速所对应的频率以下时,负载的机械能将被转换为电能,并被回馈到变频器。而变频器则可以利用自己的制动回路将这部分能量以热能消耗或回馈给供电电网,并形成电气制动。此外,一些变频器还具有直流制动功能,即在需要进行制动时,可以通过变频器给电动机加上一个直流电压,并利用该电压产生的电流进行制动。

⑥ 利用变频器实现交流电动机调速控制,运行可靠,维护简单。同机械制动相比,电气制动有许多优点,例如体积小,维护简单,可靠性好等。但是也应该注意到,由于在静止状态下电气制动并不能使电动机产生保持转矩,所

以在某些场合还必须采取相应的措施,例如和机械制动器同时使用等。

⑦ 利用变频器实现交流电动机调速,可实现高转速、高电压大电流控制。高速驱动是变频器调速控制的最大优点。这是因为对于直流电动机来说,由于受电刷和换向环等因素的制约,无法进行高速运转。但是,对于异步电动机来说,由于不存在上述制约因素,理论上讲异步电动机的转速可以达到相当高的速度。

由于异步电动机的转速为

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

式中 n ——电动机转速, r/min;

f ——电源频率, Hz;

p ——电动机磁极对数;

s ——转差率。

当用工频电源(50Hz)对异步电动机进行驱动时,二极电动机的最高速度只能达到 3000r/min。为了得到更高转速,必须使用专用的高频电源或使用机械增速装置进行增速。

与此相比,目前高频变频器的输出频率已经可以达到 3000kHz,所以当利用这种高速变频器对二极异步电动机进行驱动时,可以得到高达 180000r/min 的高速。而且随着变频器技术的发展,高频变频器的输出频率也在不断提高,因此进行更高速度的驱动也将成为可能。

此外,与采用机械增速装置的高速驱动系统相比,由于采用高频变频器的高速驱动系统中并不存在异步电动机以外的机械装置,其可靠性更好,而且保养和维修也更加简单。

在变频器调速控制系统中,变频器和电动机是可以分离设置的。因此,通过和各种不同的异步电动机的适当组合,可以得到适用于各种工作环境的交流调速系统,而对变频器本身并没有特殊要求。

例如,对有防爆和防腐蚀要求的环境,只需使用专用电动机,而使用普通的变频器并将其安装在有防爆和防腐蚀要求的环境之外的普通环境中即可。

由于变频器本身对外部来说可以看作是一个可以进行频调压的交流电源,可以用一台变频器同时驱动多台异步电动机或同步电动机,从而达到节约设备投资的目的。而对于直流调速系统来说,则很难做到这一点。

当用一台变频器同时驱动多台电动机时,若驱动对象为同步电动机,所有的电动机将会以同一速度(同步转速)运转,而当驱动对象为容量和负载都不相同的异步电动机时,则由于转差的原因,各电动机之间会存在一定的速度差。

因为变频器是通过交流一直流一交流的电源变换后对异步电动机进行驱动

的,所以电源的功率因数不受电动机功率因数的影响,几乎为定值。

此外,当用电网电源对异步电动机进行驱动时,电动机的启动电流为额定电流的5~6倍,而在采用变频器对异步电动机进行驱动时,由于可以将变频器的输出频率降至很低时启动,电动机的启动电流很小,因而变频器输入端电源的容量也可以比较小。一般来说,变频器输入端电源的容量只需为电动机输出容量的1.5倍左右即可。这也说明变频器也可以同时起到减压启动器的作用。

随着控制理论、交流调速理论和电子技术的发展,变频器技术也得到了充分地重视和发展,目前,由高性能变频器和专用的异步电动机组成的控制系统在性能上已经达到和超过了直流电动机伺服系统。此外,由于异步电动机还具有对环境适应性强,维护简单等许多直流伺服电动机所不具备的优点,所以在许多需要进行高速高精度控制的应用中这种高性能的交流调速系统正在逐步替代直流伺服系统。而且由于高性能的变频器的外部接口功能也非常丰富,可以将其作为自动控制系统中的一个部件使用,构成所需的自动控制系统。

由于变频器具有上述优点,因而在各种领域中得到了广泛的应用。

1.3 变频器技术的发展动向

目前变频驱动的应用已经非常广泛,新型变频器产品不断出现,变频器的性能和可靠性也在不断地完善和提高。总体上讲,目前变频器已经从简单的整流逆变装置进化为集驱动控制、I/O逻辑现场编程、通讯组网连接等为一体,可以适应不同应用场合的过程控制单元,并在工业自动化生产线和许多领域中得到了广泛应用。从市场需求和技术发展趋势来看,今后一段时间内,变频器技术将会在下面几个方面得到进一步的发展。

(1) 大容量和小体积化

大容量化和小体积化将会随着电力半导体器件的发展而不断得到发展。近年来,随着IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor, 隔离门极双极晶体管)、SiCIGBT (Silicon Carbide—Insulated Gate Bipolar Transistor, 碳化硅隔离门极双极晶体管)器件的发展和以IGBT为开关器件的IPM (Intelligent Power Module, 智能功率模块)、ASIPM (Application Specified Intelligent Power Module, 特定用途智能功率模块)、单片IPM等新型功率器件的发展以及制作技术的进步,变频器的容量越来越大,体积越来越小,温升指标下降,耐热性能提高。除了不断推出大容量的新型变频器产品外,许多厂家都在小功率段推出了所谓的“迷你”型产品,满足不同用户的实际需要。

(2) 高性能和多功能化

随着微电子技术和半导体技术的发展,用于变频器的各种半导体器件和传

传感器的性能和可靠性越来越高。而随着高性能 DSP 和 AISC 在变频器中的广泛应用和交流调速理论的不断成熟,各种先进的控制算法的实现成为可能,从而为进一步提高变频器的性能提供了条件。此外,随着信息技术的发展和变频器的进一步推广应用,用户也在不断提出各种新的要求,希望变频器产品能够通过与信息技术的进一步融合而具有更高的性能和更加丰富的功能。这些都将促使变频器的生产厂家不断做出努力,以满足不同用户的实际需要。

(3) 易操作性的提高

随着变频器市场的不断扩大,如何进一步提高变频器的易操作性,使变频器产品能够满足不同应用场合的需要,并使得普通的技术人员甚至非技术人员也能够很快掌握变频器的使用,仍然是变频器生产厂商所必须考虑的问题。虽然目前厂商提供的变频器产品在结构设计上基本上都考虑到了现场安装的要求,并在软件设计上加入了初始启动设置工具,帮助用户根据应用背景选择和设置各种必要的功能和参数,但为了进一步扩大市场和不断争取新的用户,厂商仍然会在丰富变频器功能的同时不断提高变频器的易操作性,新型变频器将更加容易操作和更加容易适合特定的应用背景。

(4) 寿命和可靠性的提高

随着半导体技术的发展和电力电子技术的发展,变频器中所使用的各种元器件的寿命和可靠性都在不断提高,而随着信息技术的不断发展,新型变频器产品中自我诊断和远程诊断功能的进一步充实以及免维护功能的实现,变频器产品的寿命和可靠性将得到进一步的提高。此外,随着交流调速理论和相关技术的不断发展,新的控制方法和驱动方式也将不断出现,从而使变频器的寿命和可靠性得到进一步提高。

(5) 减少对环境的影响

近年来,随着变频器的推广和普及,如何减少变频器的损耗,尤其是大功率变频器对周围环境影响的问题越来越受到重视。例如,目前变频器中内置 AC Reactor (电抗器) 或 DC Choke (扼流圈) 已经非常普遍,这对减小变频器产生的高次谐波对环境的影响起到了重要作用。未来新型的变频器中将会通过先进的控制方法和新的驱动方式减小高次谐波对环境的影响。而各种新技术和新器件的应用,也将进一步减少变频器对所处环境的影响。

(6) 网络化与智能化

尽管当前变频器单独使用的场合仍占多数,但作为工业生产过程中一个重要的执行单元,变频器具有网络化运行的能力将成为工业自动化的趋势。目前许多变频器生产厂商的新产品都已经具有网络连接能力,通过选件形式支持多种现场总线,可以通过 PC 机方便地完成频率设定、参数设置、工作状态给定及在线监测、系统维护、远程诊断等。

在控制系统中,通用变频器通过可编程序控制器或工业计算机与工厂管理

系统相结合,与生产线控制系统及现场设备一起构成一个多级分布式控制系统。从这个现实出发,现在我们讨论交流电动机变频调速技术与计算机控制技术和网络控制技术,尤其是与现场总线及其通信技术紧密联系。

此外,为了满足不同用户的不同需要,新型变频器产品的智能化程度将进一步提高,这主要体现在变频器本身将具有更多的功能供用户选择,而用户则可以根据自己的需要,在变频器所预先设定的多种功能的基础上进行编程,以满足其具体应用的需要。

(7) 同步电动机变频器

在许多情况下,使用变频器进行调速的目的是为了节能。在目前的交流调速系统中,出于对可靠性的考虑,大多数系统使用了异步感应电动机。但是,因为小容量异步电动机的转换效率并不高,因此,从节能的观点来看,采用异步电动机实现交流调速并不是最佳的解决方案。

永磁同步电动机具有电动机是无刷结构,尺寸小,功率因数高、效率高,转子转速严格与电源频率同步,容易实现无速度传感器矢量控制等优点,非常适合于交流调速系统。近年来,随着永磁材料性价比的不断提高,积极利用永磁同步电动机和变频技术改善交流调速系统效率的技术趋势非常明显。一些公司已经专门推出了以节能为目的的同步电动机变频器,并在许多领域得到了广泛应用。

总而言之,未来的变频器产品将朝着高性能、多功能、长寿命、高可靠、易使用、绿色化、智能化的方向发展。变频器将不仅仅是一个简单的交流调速装置,而将成为实现自动化过程的一个重要的处理单元。变频器技术将不断得到提高,而变频器的应用领域亦将不断得到拓展。

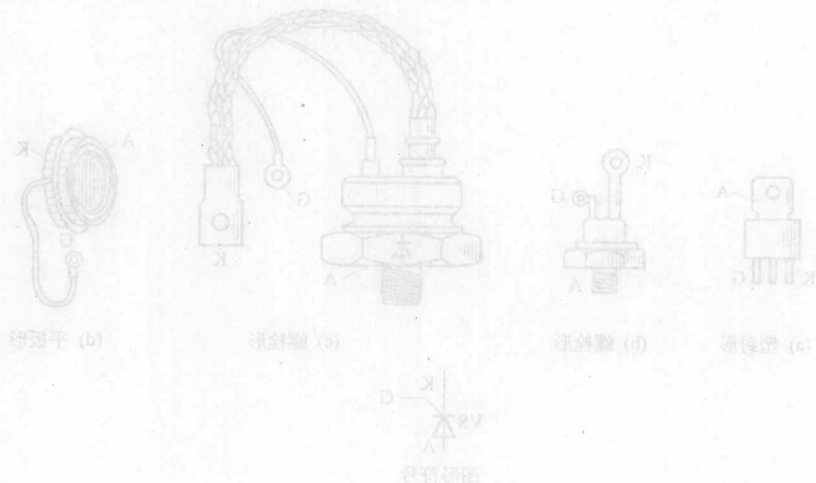


图 1-8 各种类型的同步电动机电刷

第

2

章

变频器基础知识

2.1 变频器中的半导体开关器件

在变频器主电路的整流电路和逆变电路中都要用到半导体开关器件。从某种意义上说,变频器的的发展过程正是半导体开关器件发展过程的反映。变频器市场的发展唤起了对半导体开关器件的需要,而半导体开关器件的发展则进一步推动了变频器市场的发展。目前,用于变频器的半导体开关器件主要有晶闸管、门极可关断晶闸管(GTO)、双极型功率晶体管、绝缘栅双极型晶体管(IGBT)、功率场效应管(功率MOSFET),以及最近几年发展起来的集成模块和智能功率模块IPM(IntelligentPowerModule)等。下面我们将分别对这几种半导体开关器件进行简单介绍。

2.1.1 晶闸管

(1) 普通晶闸管

普通晶闸管如图2-1所示,是一种不具有自我关断能力的电力半导体器件,简称晶闸管。对于晶闸管来说,为了使其进入关断状态,只有从外部切断电流,或者在阳极和阴极之间加上反向电压。而这个在阳极和阴极上加上反向

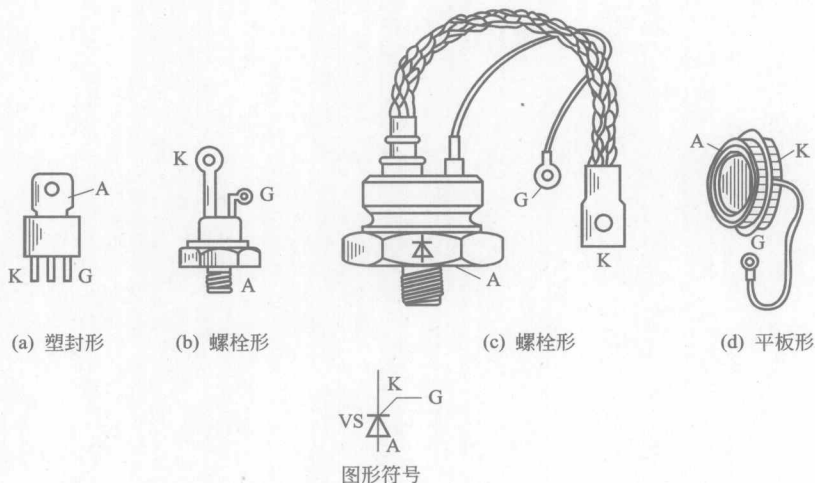


图2-1 晶闸管的外形及符号

电压,促使晶闸管关断的电路称为强迫换流电路。在晶闸管变频器中,由于需要上述强迫换流电路,使得电路变得比较复杂,并提高了变频器的成本。但是,由于从生产工艺和制造技术上来说,大容量(高电压,大电流)的晶闸管器件更容易制造,而且和其他电力半导体器件相比,晶闸管具有更好的耐过电流特性,在 $1000\text{kV}\cdot\text{A}$ 到数千千伏安的大容量变频器中,晶闸管仍然得到了广泛的应用。

(2) 门极可关断晶闸管

门极可关断晶闸管来自英语的 (Gate Turn-Off Thyristor), 通常简称 GTO。门极可关断晶闸管 (GTO) 是一种可以通过门极信号进行开通和关断的晶闸管, 符号如图 2-2 所示。与使用普通晶闸管的装置相比, 使用 GTO 的装置具有以下优点。

- ① 主电路元件少, 结构简单, 体积变小, 成本降低。
- ② 不需要强迫换流装置, 损耗减少。
- ③ 换流是脉冲换流, 噪声小。
- ④ 容易实现脉宽调制控制, 应用范围广。

由于上述原因, GTO 变频器正在逐渐代替普通晶闸管变频器。



图 2-2 门极可关断晶闸管

2.1.2 功率晶体管

(1) 双极型功率晶体管 GTR

双极型功率晶体管符号如图 2-3 所示, 是一种内部采用了达林顿结构的电力半导体器件。它既保留了晶体管的固有特性, 又扩大了容量。利用双极型功率晶体管组成的换流电路具有开关速度快、功耗小等特点, 特别适合于需要较高开关速度的变频器的应用。随着半导体制造技术的发展, 双极型功率晶体管的容量有了很大提高, 而且为了满足变频器装置的需要, 近年来还出现了将两个以上的双极型功率晶体管及其他换流电路所需要的元器件集成在一起的功率模块, 为功率晶体管在变频器中的应用进一步提供了有利条件。由于功率晶体管具有切断基极电流即可切断集电极电流的特性 (自关断能力) 和开关频率高 (可以达到数千赫兹)

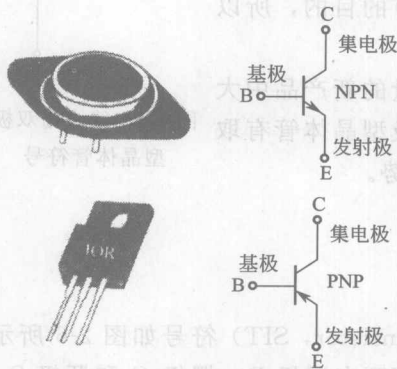


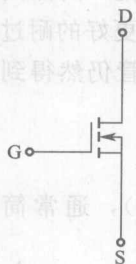
图 2-3 双极型功率晶体管 GTR 符号

的特点, 广泛应用于中小容量的 PWM 变频器。

(2) 功率场效应管

功率场效应管符号如图 2-4 所示, 是 20 世纪 70 年代中期发展起来的一种新型半导体器件。它既具有传统的 MOSFET 的特点, 又吸收了功率晶体管的特点。同双极型功率晶体管相比, 功率场效应管具有开关速度快(快一个数量级), 损耗小, 驱动电流小, 耐过电流和抗干扰能力强, 安全工作区域宽, 无二次击穿现象等优点, 近年来很受重视, 广泛应用于小容量变频器中。它分为结型和绝缘栅型(类似小功率 Field Effect Transistor——FET), 但通常是指绝缘栅型中的 MOS 型(Metal Oxide Semiconductor FET), 简称电力 MOSFET (Power MOSFET), 其特点是: 用栅极电压来控制漏极电流, 驱动电路简单, 需要的驱动功率小, 开关速度快, 工作频率高, 热稳定性优于 GTR, 电流容量小, 耐压低, 一般只适用于功率不超过 10kW 的电力电子装置。

图 2-4 功率场效应管符号



2.1.3 绝缘栅双极晶体管 (IGBT)

绝缘栅双极型晶体管 (IGBT, Isolated Gate Bipolar Transistor) 是目前广泛应用于中小容量变频器中的一种半导体开关器件, 符号如图 2-5 所示。由于它集功率 MOSFET 和功率晶体管的优点于一身, 具有输入阻抗高, 开关速度快, 驱动电路简单和通态电压低, 耐压高等特点, 因此备受欢迎, 发展很快。此外, 因为采用了 IGBT 的 PWM 变频器的载频可以达到 10~15kHz, 从而达到降低电动机运行噪声的目的, 所以广泛应用于低噪声变频器中。

目前变频器的主要厂家推出的中小容量的新产品中大都采用了 IGBT 作为换流器件, 绝缘栅双极型晶体管有取代双极型功率晶体管和功率 MOSFET 的趋势。

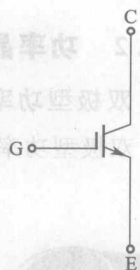


图 2-5 绝缘栅双极型晶体管符号

2.1.4 其他新型电力电子器件

(1) 静电感应晶体管 (SIT)

静电感应晶体管 (Static Induction Transistor, SIT) 符号如图 2-6 所示, 是一种多子导电的单极电压型控制器件。SIT 有漏极 D、栅极 G 和源极 S 三极, 分为 N 沟道和 P 沟道两种。SIT 为常开器件, SIT 具有输出功率大, 输入阻抗高, 开关特性好, 热稳定性好以及抗辐射能力强等优点。SIT 已广泛用于开关电源、超声波功率放大、雷达通信和高频感应加热等方面。现已商品化的 SIT 可工作在 10MHz, 电流达 300A, 电压达 2000V 水平。

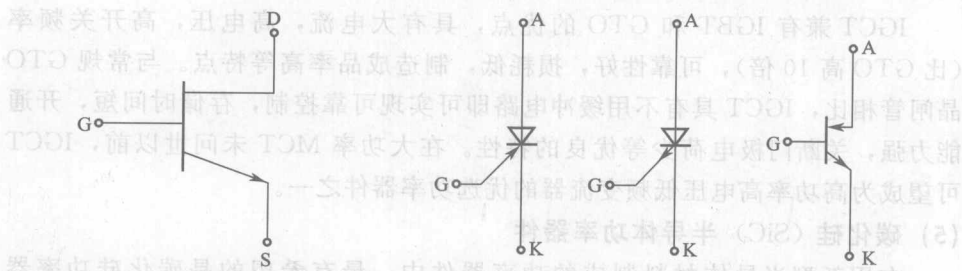


图 2-6 静电感应晶体管符号

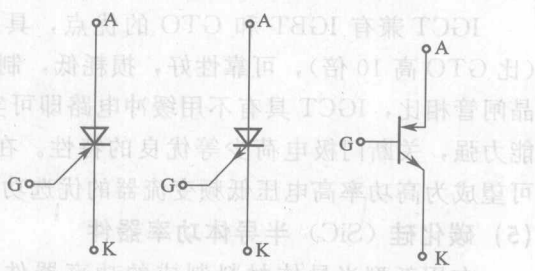


图 2-7 静电感应晶闸管符号

(2) 静电感应晶闸管 (SITH)

静电感应晶闸管 (Static Induction Thyristor, SITH) 的通、断控制机理与 SIT 类似。结构上的差别仅在于 SITH 是在 SIT 结构的基础上增加了一个 PN 结，而在内部多形成了一个三极管，两个三极管构成一个晶闸管而成为静电感应晶闸管，所以 SITH 又称为场控晶闸管 (FCT)，符号如图 2-7 所示。三个电极为阳极 A、阴极 K 和栅极 (门极) G。

(3) MOS 控制晶闸管 (MCT)

MOS 控制晶闸管 (MOS Controlled Thyristor, MCT) 符号如图 2-8 所示，是在晶闸管结构中引进一对 MOSFET 管而构成的，通过这一对 MOSFET 管来控制晶闸管的开通和关断。MCT 的静态特性与晶闸管相似，当正电压加在 MCT 开关管阳极 A、阴极 K 之间时，如果门极 G 相对于阳极 A 加负脉冲电压驱动信号，则 P 沟道的 ON-FET 导电，从而引发 MCT 中晶闸管导通，最终导致 MCT 开通。一旦晶闸管导通后，撤除 ON-FET 的门极控制电压，MCT 继续导通。当门极 G 相对于阳极 A 加正脉冲电压信号时，使 N 沟道的 OFF-FET 管开通，最终导致 MCT 从通态转入断态。

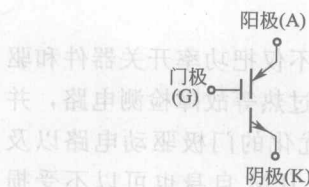


图 2-8 MOS 控制晶闸管符号

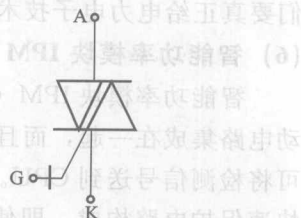


图 2-9 集成门极换流晶闸管符号

(4) 集成门极换流晶闸管 (IGCT)

集成门极换流晶闸管 (IGCT) 符号如图 2-9 所示，是一种新型的大功率复合器件，是把 GTO 芯片与反并联二极管和门极驱动电路集成在一起，再将