

(第二版)

BIANPINTIAOSU

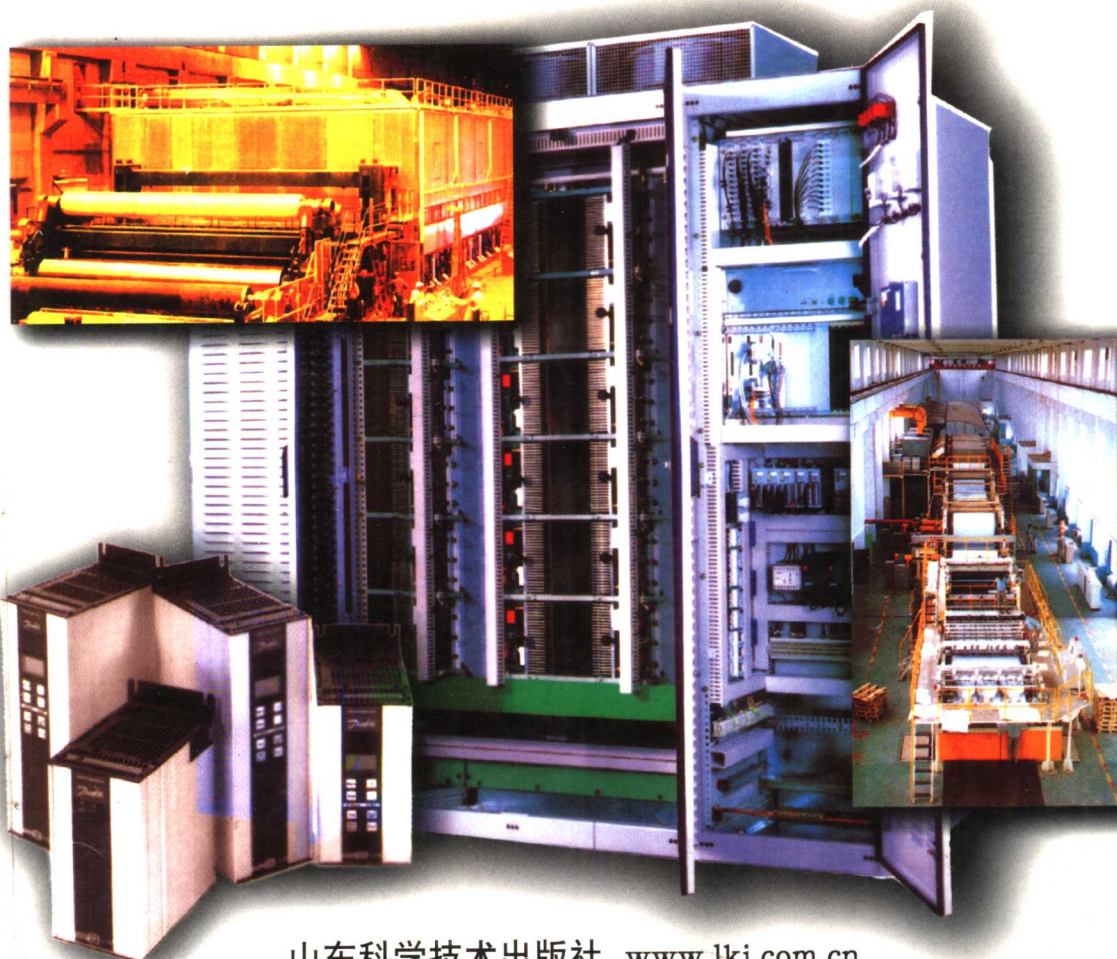
变频

KONGZHIXITONG

22099

调速控制系统 的设计与维护

曾 毅 王效良 吴 皓 张朝平 编著



山东科学技术出版社 www.lkj.com.cn

73.266
597(-2)

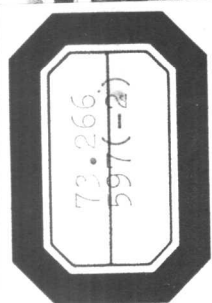
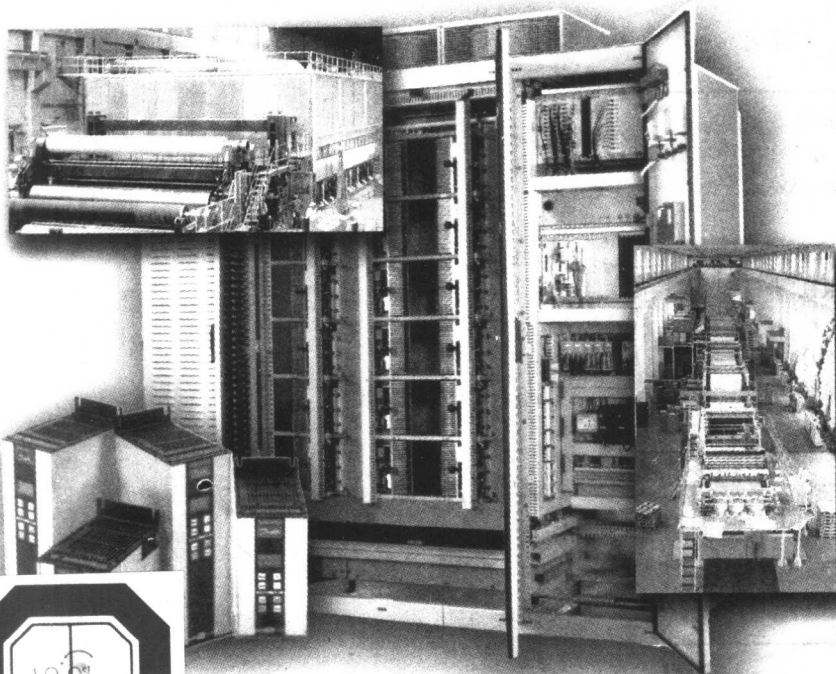
90

变频

(第二版)

调速控制系统 的设计与维护

曾 毅 王效良 吴 皓 张朝平 编著



R3094/02

山东科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

变频调速控制系统的设计与维护/曾毅等编著. - 济南:
山东科学技术出版社, 2002(第二版)

ISBN 7-5331-2506-1

I.变… II.曾… III.①变频调速-控制系统-系统设计 ②变频调速-控制系统-维修 IV.TM921.51

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 37802 号

**变频调速控制
系统的设计与维护
(第二版)**

曾毅 王效良 编著
吴皓 张朝平

出版者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市玉函路 16 号

邮编: 250002 电话: (0531) 2065109

网址: www.lkj.com.cn

电子邮件: sdkj@jn-public.sd.cninfo.net

发行者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市玉函路 16 号

邮编: 250002 电话: (0531) 2020432

印刷者: 山东新华印刷厂潍坊厂

地址: 潍坊市潍州路 753 号

邮编: 261008 电话: (0536) 8236911

开本: 787mm × 1092mm 1/16

印张: 20.75

字数: 462 千

版次: 2002 年 1 月第 2 版第 4 次印刷

印数: 8001—12000

ISBN 7-5331-2506-1

TN·67

定价: 29.00 元

第一版前言

通用变频器的使用已经在各行业得到了普及。如何设计好、维护好由通用变频器所组成的控制系统，是从事工业自动化专业的工程技术人员面临的实际问题。

本书是作者多年来从事通用变频器控制系统设计与维护的教学和科研工作的总结。它介绍了交流调速自动控制系统设计的基础知识，着重讲述了通用变频器的工作原理及控制系统的构造方法；从实际工程出发，既介绍了单机控制系统的组成，又介绍了多机同步传动变频器网络控制系统的组成知识；针对不同的生产工艺要求，对通用变频器的应用方法、注意事项和维修方法，通过应用实例都做了详细介绍。

本书共分6章。第1章简单介绍BJT（GTR）和IGBT在通用变频器中的应用知识及它们的驱动电路；第2章介绍通用变频器的最新发展、工作原理及控制方式；第3章介绍通用变频器的参数设定方法及功能选择，包括用串行通讯方式设置通用变频器的参数；第4章讲述了交流调速控制系统的设计方法，着重讲解了控制系统的设计、构造原理及维护方法；第5章通过一些具体的成功应用实例，讲解如何根据控制系统的基本构造原理，设计出一个实用的交流调速控制系统，包括工程项目的技术要点和多机同步传动变频器网络控制系统的组成等知识；第6章介绍几种通用变频器常见故障排除过程及维修方法。

为了便于设计与维修交流调速控制系统，本书还在附录部分收录了部分国内外常见通用变频器的功能码表和控制端子配置图。

本书既可作为工业自动专业学生的专业教材，又可作为工程技术人员、大专院校师生的实用参考书，也可供变频器维修人员作培训教材使用。

由于笔者学识水平有限，再加上交流调速技术近年来几乎达到了日新月异的地步，所以在交流调速控制系统设计与维护方法和程序编制上，存在不当之处在所难免，殷切希望读者批评指正。

作 者

1999年4月

第二版前言

本书自1999年9月出版发行后,受到了广大读者的普遍欢迎,尤其是深受电气工程技术人员的青睐,已多次重印。本书具有较强的实用性和较高的学术价值,对工农业生产和现代化商场宾馆的设备设计与维护都有一定的指导意义,所以在2000年12月荣获了山东省教委科学技术进步二等奖。

由于变频调速技术的迅速发展,需要对原书部分内容进行充实和更新,修订版将更贴近新老读者。在第1章中,加强了IGCT和IPM的内容;在第2章中,增加了“高压变频器主电路结构及其控制特点”一节;在第3章中,根据变频器通讯软件版本的升级换代情况修订了“§3—4”节的内容;在第4章中,充实了“步进逻辑公式法”的应用实例,增加了多电机驱动方法;在第5章中,增加了变频器在旋转门上的应用实例、变频器在消防水泵上的应用实例和高压变频器应用实例;在第6章中,按变频器出现问题的类别进行了重新编排,并且增加了一些维修实例;在附录4和附录5中,根据电力电子器件和变频器的发展情况也作了适当的修订。

此书在编著过程中,得到了许多专家与同行们的指导和帮助。

首先感谢山东大学科苑公司朱海群、济南军区某部丁国营和山东大学奥太自动化工程公司马思乐先生等,是他们给予了作者许多变频调速控制工程的实践机会;感谢烟台万华聚氨酯股份有限公司吕隆壮、龙口发电厂刘副京、山东大学材料学院碳纤维研究所蔡华苏、泰安碳纤维有限责任公司张复涛先生等,是他们给作者提供了优良的实验条件和场所。尽管张明和孙晓军先生因另有其他任务未能参加第二版的编写工作,但是,他们为作者无私提供了一些变频器维修过程记录。没有他们的大力支持和协助,就不可能有此书中的丰富内容。为此,谨向上述单位、专家表示深切的谢意。

新版中如有不当之处,敬请读者批评指正。来信请寄:济南市山东大学(南校区)控制科学与工程学院(邮编250061,电话0531—2955081—5573)。

作 者

2002年1月

目 录

绪言	1
第 1 章 常用电力半导体器件及其应用	3
§ 1-1 双极晶体管 BJT (GTR)	4
一、BJT (GTR) 的外形与等效电路	4
二、BJT (GTR) 的主要参数	5
三、BJT (GTR) 的选择方法	6
四、BJT (GTR) 的驱动电路模块	6
五、BJT (GTR) 的并联方法及注意事项	7
六、BJT (GTR) 的保护方法	9
§ 1-2 绝缘栅双极晶体管 (IGBT)	11
一、IGBT 的外形与特点	12
二、IGBT 的主要参数及特性的测量方法	13
三、对 IGBT 驱动电路的基本要求	14
四、IGBT 驱动模块的工作原理及特点	16
五、IGBT 模块的过流保护	34
§ 1-3 其他电力半导体器件	37
一、集成门极换流晶闸管 IGCT	37
二、功率场效应晶体管 (MOSFET)	40
三、IGBT 智能模块 (IPM)	41
§ 1-4 BJT (GTR) 和 IGBT 的缓冲电路	45
一、缓冲电路的作用与类型	45
二、IGBT 的缓冲电路	46
参考文献	48
第 2 章 通用变频器的工作原理	49
§ 2-1 通用变频器的发展概况	49
一、通用变频器的发展过程	49
二、通用变频器技术的发展展望	51
§ 2-2 通用变频器的基本工作原理	52
一、变频器的基本控制方式	52
二、SPWM 控制技术原理	54
§ 2-3 通用变频器的基本结构	61
一、变频器的基本外形结构	61

二、变频器的类别	62
三、变频器的额定值和频率指标	64
四、变频器的主电路	65
§ 2-4 三相 SPWM 专用集成电路及其应用	67
一、MA818 及其应用	68
二、HEF4752 及其应用	77
三、SLE4520 及其应用	80
§ 2-5 通用变频器的控制电路原理图	87
一、V/f 控制通用变频器	87
二、矢量控制的变频变压通用变频器	93
§ 2-6 高压变频器主电路结构及其控制特点	101
一、高压变频器需要解决的主要问题	101
二、多电平电压源型逆变器	102
三、多电平逆变器的空间电压矢量 PWM 控制技术	107
四、高压大功率变频器的整流电路	111
五、高压变频器对电机的影响及防治措施	112
参考文献	114
第 3 章 通用变频器的参数设定及功能选择	115
§ 3-1 通过操作面板设定和选择变频器的参数与功能	115
一、通用变频器运行频率的设定方法	115
二、通用变频器运行频率范围的设定及有关的功能	116
三、通用变频器频率设定应用举例	117
§ 3-2 通用变频器的制动方法与功能选择	126
一、变频调速控制系统制动的目的	126
二、通用变频器采用的制动方法	126
§ 3-3 通用变频器的控制方式及开闭环控制的选择	131
一、矢量控制的选择与设定	131
二、V/f 控制方式及开闭环控制的选择设定原则	131
§ 3-4 用微机设置通用变频器的参数和功能	133
一、接口与标准转换	133
二、系统的硬件连接	134
三、系统的通讯原理	134
四、通讯软件的初始化与操作界面	137
五、运行监测和故障自诊断	142
六、通讯软件的安装与使用简介	143
参考文献	147
第 4 章 由通用变频器组成的调速系统	149
§ 4-1 电气控制线路的设计方法	149

一、功能添加法	149
二、步进逻辑公式法	154
三、电气控制线路设计应用举例	156
§ 4-2 恒值控制系统的形成方法	162
一、系统的抑制能力	163
二、抑制定理与反馈定理	164
三、应用举例	165
§ 4-3 由通用变频器组成的调速系统	168
一、变频调速控制系统的设计方法	168
二、异步电动机的选择方法	171
三、变频器的选择方法	172
四、特殊电动机对于变频器的要求	172
五、调速系统的并联运行方法	175
六、多电机的同步驱动方法	176
§ 4-4 变频器的外围设备及其选择	177
一、常规配件的选择原则	177
二、逆变器对外产生的干扰与抑制措施	179
三、全波整流器对功率因数的影响及其改善措施	181
§ 4-5 通用变频器的安装与调试	182
一、通用变频器的安装	182
二、由通用变频器所组成的调速系统的调试	185
§ 4-6 通用变频器的维护及故障处理	187
一、通用变频器的维护	187
二、通用变频器故障原因的分析	188
三、通用变频器的故障处理及维修方法	189
参考文献	192
第 5 章 通用变频器的应用实例	194
§ 5-1 通用变频器在旋转门控制上的应用	194
一、控制系统原理结构	194
二、主要技术环节	196
三、安装调试的注意事项	198
§ 5-2 硅胶自动添加变频调速控制系统	199
一、设计目的	199
二、控制系统原理、结构	199
三、控制系统组成	200
四、控制系统设计的注意事项	204
§ 5-3 通用变频器在龙门铣床上的应用	204
一、X2010A 工作台进给机构改造前的状况	204

二、龙门铣床工作台电力拖动控制系统的工艺要求	204
三、控制系统的构造	207
四、控制系统改造应注意的问题	209
§ 5-4 通用变频器在恒压供水方面的应用	209
一、恒压供水的意义	209
二、两种恒压供水主体方案的比较	210
三、用于恒值系统的控制方案	210
四、恒压供水变频调速控制系统设计要点	210
五、恒压供水变频调速控制系统应用举例之一	211
六、恒压供水变频调速控制系统应用举例之二	214
§ 5-5 通用变频器在三连冷轧成型机上的应用	215
一、三连冷轧成型机生产工艺及对电力拖动系统的要求	215
二、电力拖动控制系统的组成	217
三、系统设计及调试时应注意的事项	217
§ 5-6 碳纤维生产线变频同步控制系统	218
一、工艺概况与电力拖动控制的要求	219
二、碳纤维牵引电力拖动控制系统的硬件配置	220
三、碳纤维同步传动模糊控制器的设计思想	222
四、碳纤维同步传动控制系统开环控制程序清单	223
五、设计碳纤维同步传动控制系统的注意事项	223
六、提高碳纤维同步传动控制系统通讯效率的方法	223
§ 5-7 通用变频器在轧花机方面的应用	227
一、MY-121 型锯齿轧花机工作原理简介	228
二、问题的提出	228
三、轧花机变频调速模糊控制系统	229
四、系统的主要特点	232
五、系统的关键技术	233
§ 5-8 通用变频器在浆染联合机上的应用	233
一、系统概述	233
二、控制系统组成	233
三、可编程序控制器部分	235
四、该控制系统设计的缺陷及注意事项	235
§ 5-9 高压变频器在燃煤锅炉风机上的应用	236
一、问题的提出	236
二、高压大容量变频器组成方式的选择	236
三、SIMOVERT A 系列变频器控制方式与主回路结构	237
四、炉膛负压变频调速自动控制系统	239
五、调试时注意事项	240

六、高一低—高变频器节能效果	240
七、SIMOVERT MV 系列变频器主回路结构与控制方式	241
第 6 章 通用变频器常见故障的维修方法及实例	243
§ 6-1 变频器有故障显示,但实际上并没有发生此故障	243
一、故障检测元件或故障信息处理系统出问题	243
二、“故障”元件周围的器件、导线和焊盘受损或接触不良或受电磁干扰	246
§ 6-2 变频器通电后无故障显示,但不能工作	248
一、端子控制信号没有或没有送入频率输入端	248
二、操作面板失效	249
§ 6-3 变频器除充电指示灯有显示外,无其他任何显示	249
一、开关电源的起振条件损失	249
二、在开关电源内起开关作用的大功率开关管损坏	250
§ 6-4 变频器通电后无任何显示	251
一、电解电容年久失效	251
二、电动机绝缘过早老化	252
三、热敏电阻和冷却风机工作不正常	253
四、变频器工作环境恶劣或该损坏元件的控制电路出故障	254
§ 6-5 其他故障类型	257
一、FVR110G7-4EX 富士变频器因蒸汽泄漏引起短路损坏	257
二、FVR110G7-4EX 富士变频器因机内落入螺钉短路损坏	257
三、MF-7.5k-380V SANKEN 变频器由于铁粉粘附造成主回路短路损坏	258
四、MF-7.5k-380V SANKEN 变频器主控板与底板打火造成损坏	258
五、MF-7.5k-380V SANKEN 变频器主控板短路损坏	259
六、SVS-252C SANKEN 变频器因漏入溶化的冷冻液后造成机内短路而损坏	260
七、VF5120HG-10 (东洋电机产品) 变频器因雷电损坏	261
八、790kW UR-I 型电流型变频调速器的维修	261
参考文献	263
附录 1 常用电机电器图形符号	264
附录 2 色环电阻的阻值读取方法	265
附录 3 异步电动机调速方案比较表	266
附录 4 通用变频器常用器件表	267
一、GTR (BJT) 模块	267
二、IGBT 模块	268
三、IPM 模块	275
四、整流桥模块	277
五、电解电容	279
六、驱动电路模块	279

七、光耦及快速熔断器	280
附录 5 部分国内外通用变频器功能码汇编	281
一、中国南普 NPC92 系列通用变频器	281
二、西门子 MICRO MASTER/MIDI MASTER 系列通用变频器	282
三、富士 FVR - G7S 系列通用变频器	286
四、三星 SAMCO - i 系列通用变频器	291
五、富士 FRN - G9S/P9S 系列通用变频器	294
六、日立 J300 系列通用变频器	298
七、三菱公司 FR - A240 系列通用变频器	300
八、安川公司 VS - 616PC5/P5 系列通用变频器	304
九、ABB 公司 ACS600 系列通用变频器	308
附录 6 通用变频器的结构图	317
参考文献	320

绪 言

随着微机技术的日新月异、现代电力电子技术的迅速发展和现代调速控制理论的长足进步,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、大容量调速控制方面。变频器作为一种智能调速“元件”,以其多用途、高可靠性和明显的节电效果迅速广泛地应用于各种大型自动化生产线和各类电机控制上,如造纸、轧钢、印染和机械加工等生产线。变频器不仅可以单台工作,也可多台分别控制各自的被控对象,并相互串连,与计算机进行通讯,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,如图0—1所示。因此,现在的通用变频器在各

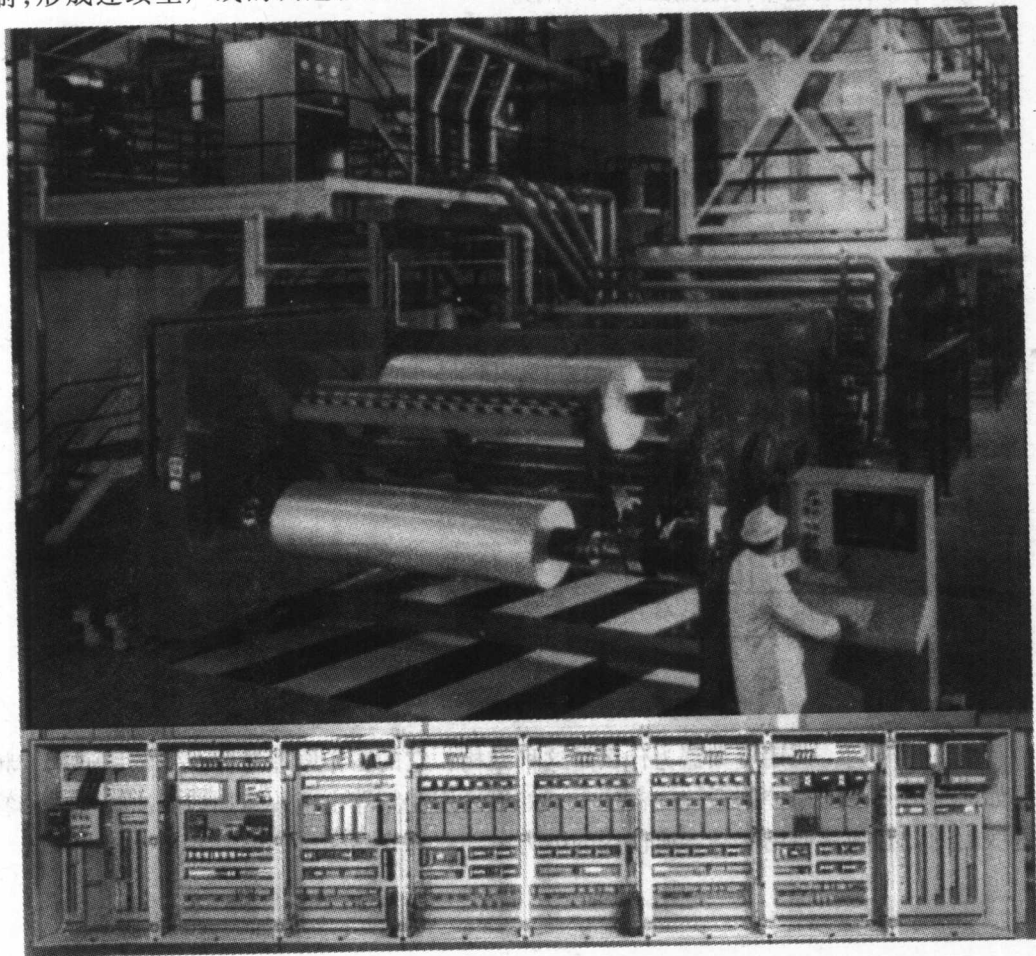


图 0—1 变频器网络同步传动控制系统的控制柜和现场一角

行业得到了普及。所谓“通用”，是指能与通用的鼠笼电动机配套使用，能适用各种不同性质的负载并具有多种可供选择的功能。通用变频器是组成调速控制系统的主要部件，如图 0—2 所示。

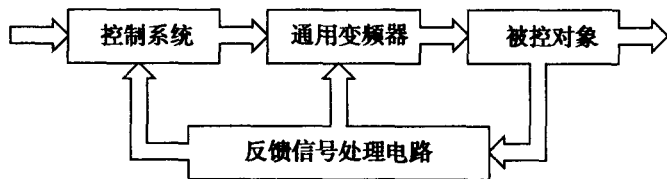


图 0—2 典型调速控制系统示意图

由交流异步电动机的基本原理可知，转差功率 $P_s = SP_M$ ，与转差率 S 成正比。从能量转换的角度看，通用变频器的调速类型属于转差功率不变型，因此在种类繁多的调速类型中它的效率最高。它的结构形式主要由应用最广的交—直—交变压变频方式构成。通用变频器的基本构成如图 0—3 所示。

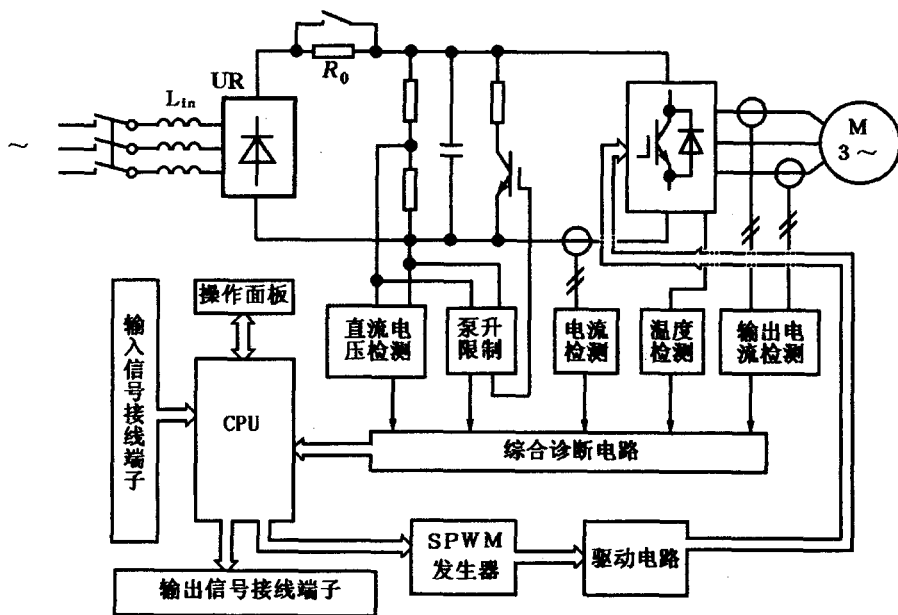


图 0—3 通用变频器的基本结构

也许你要问，通用变频器为什么是这种结构？它的工作原理是什么？利用通用变频器如何构造一个调速控制系统呢？还有，如果通用变频器出现故障如何解决呢？要回答这些问题就必须从通用变频器所使用的电力电子器件开始探讨。

第 1 章 常用电力半导体器件及其应用

变频器的功能是将频率、电压都固定的交流电变换成频率、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等方面比其他方法具有明显的优势，所以通用变频器采用了先把频率、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，即交—直—交方式，如图 1—1 所示。

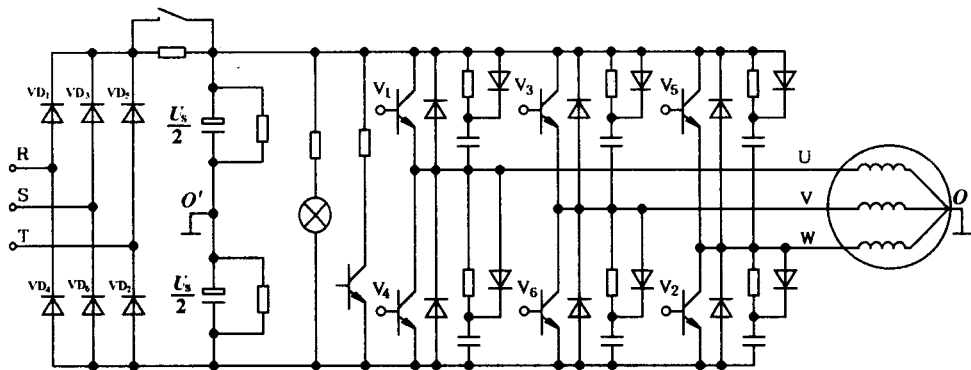


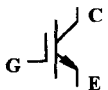
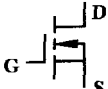
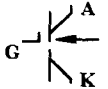
图 1—1 交—直—交变频器主电路原理图

图中，电力半导体器件 $V_1 \sim V_6$ 是变频器的关键器件，在中小功率通用变频器中使用最多的是双极晶体管（BJT）和绝缘栅双极晶体管（IGBT）两种，在大中功率通用变频器中使用最多的是集成门极换流晶闸管（IGCT）、GTO 及 IGBT 三种。其他常用电力半导体器件见表 1—1。要想知道变频器的工作原理，首先应该了解变频器的核心器件电力半导体器件的一些基础知识。如果你对电力半导体器件基础知识比较熟，可直接阅读下一章。

表 1—1 通用变频器常用电力半导体器件

名 称	文字符号	图形符号	控制方式	最高电压、电流及频率
双极型晶体管	BJT (GTR)		电流	最高电压 450 ~ 1400V 最大电流 30 ~ 800A 最高频率 10k ~ 50kHz

(续表)

名 称	文字符号	图形符号	控制方式	最高电压、电流及频率
门极判断 晶闸管	GTO		电流	最高电压 4500 ~ 6000V 最大电流 4000 ~ 6000A 最高频率 1k ~ 10kHz
绝缘 双极型晶体管	IGBT		电压	最高电压 1800 ~ 3300V 最大电流 800 ~ 1200A 最高频率 10k ~ 50kHz
集成门极 换流晶闸管	IGCT		电压 (光控)	最高电压 4500 ~ 6000V 最大电流 4000 ~ 6000A 最高频率 20k ~ 50kHz
电力场效应 晶体管	P - MOSFET		电压	最高电压 50 ~ 1000V 最大电流 100 ~ 200A 最高频率 500k ~ 200MHz
静电感应 晶体管	SIT		电压	最高电压 50 ~ 1500V 最大电流 10 ~ 200A 最高频率 30M ~ 200MHz
双极型静电 感应晶闸管	SITH		电压	最高电压 500 ~ 4500V 最大电流 400 ~ 2200A 最高频率 40k ~ 100kHz
MOS 控制 晶闸管	MCT		电压	最高电压 450 ~ 3000V 最大电流 400 ~ 1000A 最高频率 100k ~ 1MHz

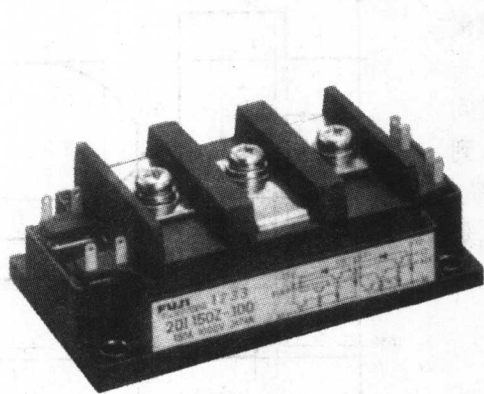
§ 1—1 双极晶体管 BJT (GTR)

双极晶体管 BJT 也称巨型晶体管 (Giant Transistor), 是一种高反压晶体管。它具有自关断能力, 并有开关时间短、饱和压降低和安全工作区宽等优点。由于 BJT 实现了高频化、模块化、廉价化, 因此被广泛用于交流电机调速、不停电电源和中频电源等电力变流装置中, 并且在中小功率 (600kVA 以下) 应用方面取代了传统的晶闸管。

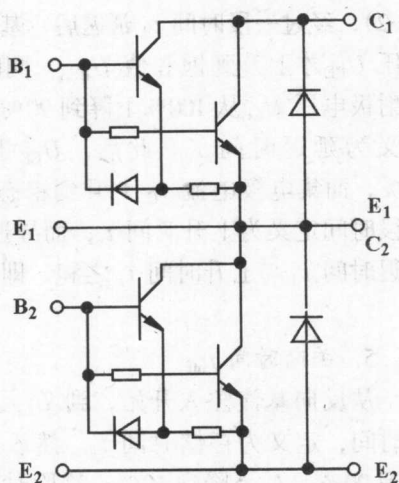
一、BJT (GTR) 的外形与等效电路

用在通用变频器中的双极晶体管 BJT (GTR) 是模块型结构。这种模块型电力晶体管的三个极与散热片隔离, 因此散热片上不会带电。使用模块型电力晶体管的变频器, 其散热更容易、更均匀, 结构也更趋于合理。模块型电力晶体管的内部结构一般都是达林顿晶体管, 其容量范围从 450V/30A ~ 1400V/800A 不等。为了使用上的方便, 使装置

集成度更高、体积更小,根据变频器的工作特点,在晶体管旁还并联了一个反向连接的续流二极管。又根据逆变桥的特点,常做成二单元模块(图 1—1—1)。对于小容量变频器,一般使用六单元模块(即六个单元做在一起的模块)。



(A)



(B)

图 1—1—1 二单元双极晶体管 BJT (GTR) 模块

(A) 模块外形 (B) 等效电路

二、BJT (GTR) 的主要参数

在 BJT 模块上都标有 BJT 的主要参数。例如:二单元、集电极最大持续电流 200A、通用型、开路阻断电压 1000V 的 BJT 模块,在模块的标签上表示为 2DI200D—100。如果有一个模块的标签为 2DI150Z—120,则说明该模块为二单元、集电极最大持续电流 150A、宽安全工作区型、开路阻断电压为 1200V 的 BJT。下面简单介绍 BJT 的一些经常使用的参数及定义。

1. 开路阻断电压 U_{CEO}

开路阻断电压体现了 BJT 的耐压能力,经常使用的一种定义是:基极开路时,集电极—发射极间能承受的电压值为开路阻断电压 U_{CEO} 。开路阻断电压值反映了 BJT 的最大耐压能力。在通用变频器中,用于 380V 交流电网时,最好使用 1200V 电压等级的 BJT 模块。

2. 集电极最大持续电流 I_{CM}

当基极正向偏置时集电极能流入的最大电流。

3. 电流增益 h_{FE}

集电极电流与基极电流的比值称为电流增益,有时也称为电流放大倍数或电流传输比,即

$$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B}$$

4. 开通时间 t_{on}

假设基极电流为正阶跃信号 I_{B1} 时(图 1—1—2), 经过一段时间 t_d 延迟后, 基极—发射极电压 U_{BE} 才上升到饱和值 U_{BES} , 同时集电极—发射极电压 U_{CE} 从 100% 下降到 90%, 这段时间定义为延迟时间 t_d 。此后, U_{CE} 迅速下降到 10%, 而集电极电流 I_C 上升到稳态值的 90%, 这段时间定义为上升时间 t_r , 而导通时间 t_{on} 是延迟时间 t_d 与上升时间 t_r 之和, 即: $t_{on} = t_d + t_r$ 。

5. 关断时间 t_{off}

从反向基流注入开始, 到 U_{CE} 上升到 10% 的时间, 定义为存储时间 t_s 。然后 U_{CE} 继续上升到 90%, I_C 下降到 10%, 这段时间定义为下降时间 t_f 。而 BJT 的关断时间 t_{off} 是这两部分时间之和, 即: $t_{off} = t_s + t_f$ (见图 1—1—2)。一般 BJT 模块的饱和压降为 1.5~3V, 存储时间和电流下降时间的典型值分别为 1.5 μ s 和 3 μ s。

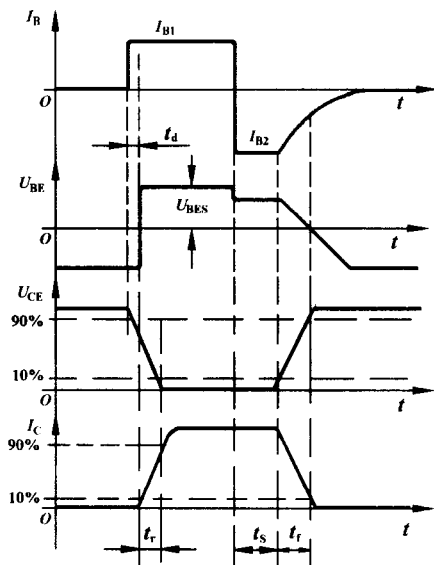


图 1—1—2 GTR 的开关时间

三、BJT (GTR) 的选择方法

BJT 模块在老型号的通用变频器中经常可以见到。由于 BJT 存在着固有的二次击穿, (所谓二次击穿, 是指管子在强大的电场作用下, 由于发射结电荷的聚集效应, 使集电极电流集中在反向偏置的集电结的很小范围内, 其结果将产生过热点, 由于负温度系数的特性, 局部过热将加剧电流的集中, 以致最后烧坏管子。) 且其安全工作区受各项参数影响而变化, 以及热容量小、过流能力低等问题, 目前在通用变频器中 BJT 已逐步被 IGBT 所替代。但在维修变频器时还要考虑 BJT 的选择问题。

1. U_{CEO} 选择方法

U_{CEO} 通常按电源线电压 U_L 峰值的 2 倍来选择。

$$U_{CEO} \geq 2\sqrt{2} U_L$$

2. I_{CM} 选择方法

按额定电流 I_N 峰值的 2 倍进行选择。

$$I_{CM} \geq 2\sqrt{2} I_N$$

四、BJT (GTR) 的驱动电路模块

1. BJT (GTR) 对驱动电路的要求