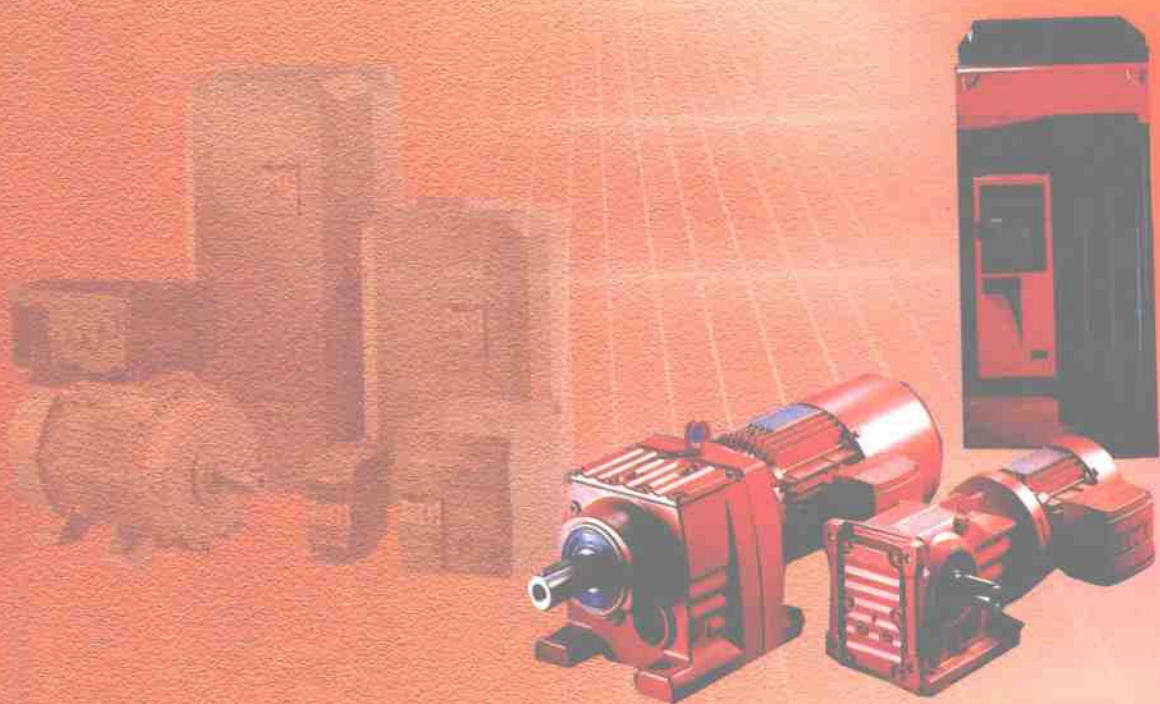


变频器的 应用与维护

(第二版)

张 淼 冯垛生 编著



华南理工大学出版社

变频器的应用与维护

(第二版)

张 森 冯堃生 编著

华南理工大学出版社

·广州·

内 容 简 介

本书第一篇介绍变频器的原理、运行与维护。在变频器原理的章节中重点介绍了近几年发展比较快的矢量控制技术和计算机控制、通信技术。阐述的重点为通用变频器,介绍了 PWM 整流技术的工作原理及其实现方法,还特别介绍了 20 世纪 90 年代末兴起的交流伺服控制变频器、家用变频空调器、高压变频器、太阳能发电变频器等,以满足不同层次读者的需求。此外,还分析了变频器在运行中发生的特殊故障(如噪声、浪湧电压、漏电流)的消除方法和目前常见的国内外变频器产品的特点。

本书第二篇阐述变频器的应用,用 18 个变频器应用项目的实例来说明应用的效果。所提供的试验、运行数据翔实具体,有很大的参考价值。

本书可作为从事电气控制方面工作的工程技术人员的岗位培训教材和参考书;也可作为大专院校机械电子工程、电气工程及自动化专业选修课教材。

图书在版编目(CIP)数据

变频器的应用与维护/张森,冯堉生编著.—2 版.—广州:华南理工大学出版社,2009.1
ISBN 978-7-5623-2728-8

I. 变… II. ①张… ②冯… III. 变频器-基本知识 IV. TN773

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 208944 号

总 发 行: 华南理工大学出版社(广州五山华南理工大学 17 号楼,邮编 510640)

营销部电话: 020-87113487 87110964 87111048 (传真)

E-mail: z2ch@scut.edu.cn http: //www. scutpress. com. cn

责任编辑: 詹志青

印 刷 者: 广州市穗彩印厂

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 18.5 字数: 460 千

版 次: 2009 年 1 月第 2 版 2009 年 1 月第 6 次印刷

印 数: 20 001~23 000 册

定 价: 32.00 元

版权所有 盗版必究

前 言

本书分为变频器的原理·运行·维护和变频器的应用两篇。第一篇共10章,在阐述变频器原理的章节中,重点为新型全控器件和变频器的控制。特别详细地阐述近年来发展较快的矢量控制变频器、数控机床驱动用的伺服控制变频器、家用变频空调器和太阳能发电专用变频器等。在变频器运行·维护章节中,以1999年富士电机最新FR-5000变频器的说明书版本为例,详细介绍了其运行、保护、故障诊断等功能。第二篇共有4章,将变频器的应用分为节能、自动化、省力化、提高产品质量四大类,并以国内厂家的18个应用实例进行解剖。选用材料翔实,数据图表完全、具体,对读者来说具有很大的参考价值。

本书是进入新世纪后,国内出版的第一本关于变频器应用的新书,为充分反映近年国内外变频技术动态以飨读者,本书在编写时尽量引用1998—2000年的文献资料,具体表现在:

①介绍了最新出品的开关器件,如第四代IGBT模块、能直接向电网反馈能量的可控整流-逆变模块、超高压GCT元件等。

②介绍了变频器的最新品种,如日本安川电机的节能型变频器、太阳能发电用的功率型变频器、变频空调专用变频器等。

③介绍了日本富士电机1999年新产品矢量控制变频器,具有在线自检测、整定电机参数功能、变频器和PLC及上位微机通信功能等。

④介绍了有代表性并有影响的国内变频器制造厂“华为电气”和“佳灵电气”的新产品。

本书编写的分工如下:第4章的4.3节和第7章的7.4、7.5节由张森副教授编写;其余全部章节由冯垛生教授编写,全书由冯垛生教授定稿。

本书部分科研成果得到广东省自然科学基金资助。在本书编写过程中参阅和利用了国内外大量文献资料,特别是第二篇的变频器应用项目充实和丰富了本书的内容,在此谨向原作者致以诚挚的谢意。

由于作者学识水平有限,书中难免有错漏之处,殷切期望读者指正。

编著者

2001年5月

第2版前言

本书第1版于2002年出版。自出版以来,一直受到有关读者广泛的欢迎,并被用作变频器选择、应用的主要参考书和相关课程的教材。近年来,变频调速技术发展较快,为了更好地适应变频调速应用的需要,我们对第1版的内容进行了部分的调整、补充,部分章节进行了重写,使全书的内容更完整、更系统,同时,反映了变频调速新技术。

本次修订继续保留了原版的特色,突出了变频器的基本概念、基本原理和变频器使用的基本常识。本书内容仍分为变频器的原理·运行·维护和变频器的应用两篇,鉴于目前变频器生产厂家较多,删减了第1版第8章以富士电机FR-5000变频器为例介绍的变频器操作部分,增加了三相开关整流及其实现部分内容。本书内容理论联系实际,选用材料翔实,数据图表完全具体,对读者具有很大的参考价值。

本书编写分工如下:第4章和附录由张森教授编写;第7章和第9章由冯垛生教授、张森教授编写;其余章节由冯垛生教授编写,全书由张森教授定稿。

本书在编写和修订过程中参阅和利用了国内外大量文献资料,充实和丰富了本书的内容,在此谨向原作者致以诚挚的感谢。

由于编者学识有限,虽在修订过程中花了不少精力,但仍难免有不妥之处,恳请广大读者予以指正。

编 者

2008年8月

目 录

第一篇 变频器的原理·运行·维护

1 概论	3
1.1 什么是变频器	3
1.1.1 直流和交流	3
1.1.2 整流和逆变	3
1.1.3 变频器的组成	5
1.2 变频器的技术发展简史	6
1.2.1 电力电子器件更新	7
1.2.2 控制策略的发展	7
1.2.3 功能综合化	8
1.3 变频器的基本类型	8
1.3.1 按变换频率的方法分	8
1.3.2 按主电路工作方式分	9
1.3.3 按变频器调压方法的不同分	10
1.3.4 按工作原理分类	11
1.3.5 按照用途分类	11
1.4 电力电子和微处理器的进步是变频器发展的动力	13
1.4.1 控制手段的发展	13
1.4.2 微机控制面临的问题和解决途径	13
1.4.3 微机控制的新进展	13
2 电动机及其特性	15
2.1 异步电动机	15
2.1.1 结构和工作原理	15
2.1.2 异步电动机变频调速	16
2.1.3 异步电动机的等效电路	16
2.1.4 异步电动机的机械特性	17
2.2 同步电动机	18
2.2.1 结构和工作原理	18
2.2.2 同步电动机变频调速	18
2.3 直流无刷电动机	19
2.3.1 结构	19
2.3.2 工作原理	20
2.3.3 运行特性和调速原理	21

2.4 负载换相同步电动机(可控硅电动机)	22
2.4.1 结构	22
2.4.2 工作原理	23
2.4.3 机械特性和调速	24
3 电力电子器件	27
3.1 概述	27
3.2 晶闸管(SCR)	28
3.3 门极可关断晶闸管(GTO)	29
3.4 双极晶体管(BJT)	30
3.4.1 结构	30
3.4.2 BJT的主要参数	31
3.4.3 BJT的驱动电路	32
3.5 功率场效应晶体管(MOSFET)	33
3.5.1 结构和工作原理	33
3.5.2 MOSFET的主要参数	34
3.5.3 使用注意事项	34
3.6 绝缘栅双极晶体管(IGBT)	34
3.6.1 结构	34
3.6.2 IGBT的主要参数	35
3.6.3 IGBT的驱动电路	36
3.6.4 IGBT的选用	37
3.7 其他新型电力电子器件	38
3.7.1 静电感应晶体管(SIT)	38
3.7.2 MOS型晶闸管(MCT)	38
3.7.3 逆阻断型GCT晶闸管	39
3.8 智能电力电子模块(IPM)	41
3.8.1 IPM的结构	41
3.8.2 IPM的特点	42
3.8.3 IPM的选用	42
3.8.4 带PWM整流器的IPM模块	44
3.8.5 变频式家电用超小型DIP-IPM	44
3.9 全控型电力电子器件的比较	47
3.9.1 电压电流的比较	47
3.9.2 性能的比较	47
4 变频器的整流器	48
4.1 概述	48
4.2 不可控整流器	49
4.3 可控整流器	49
4.3.1 晶闸管整流器	49

4.3.2 带斩波器的二极管整流器	50
4.3.3 PWM 整流器	50
5 变频器的中间电路	59
5.1 滤波环节	59
5.1.1 电压型变频器	59
5.1.2 电流型变频器	60
5.1.3 电压型变频器和电流型变频器的比较	61
5.2 动力制动环节	62
5.2.1 动力制动单元	62
5.2.2 DC 制动	63
5.2.3 制动电阻计算举例	63
6 逆变器	64
6.1 六脉波方波逆变器	64
6.1.1 180°导通型逆变器	64
6.1.2 120°导通型逆变器	65
6.2 SPWM 逆变器	66
6.2.1 PAM 控制和 PWM 控制的比较	66
6.2.2 SPWM 原理	67
6.3 SPWM 波形成的方法	70
6.3.1 自然采样法	70
6.3.2 SPWM 专用集成芯片	71
6.4 电流跟踪控制的 PWM 逆变器	71
6.5 采用电压空间矢量控制的 PWM 逆变器	72
6.5.1 电压空间矢量	72
6.5.2 PWM 逆变器供电时异步电动机的电压空间矢量	73
6.5.3 PWM 波形的产生	74
7 变频器的控制	76
7.1 VVVF 控制 (恒 U/f 控制)	76
7.1.1 恒 U/f 控制原理	76
7.1.2 恒转矩调速变频器	77
7.1.3 恒功率调速变频器	78
7.1.4 电压型 U/f 控制变频器的构成	79
7.1.5 利用磁通闭环控制, 改善 U/f 控制性能	80
7.2 SF 控制 (转差频率控制)	81
7.2.1 转差频率控制的基本概念	81
7.2.2 SF 控制规律	82
7.2.3 SF 控制变频器的系统结构	82
7.3 VC 控制 (矢量控制)	83
7.3.1 VC 控制的原理和应用范围	83

7.3.2	坐标变换	88
7.3.3	转差型变频器的结构和工作原理	91
7.3.4	无速度传感器矢量控制变频器简介	93
7.4	变频器的单片机控制	96
7.4.1	87C196MC 微机控制系统设计	97
7.4.2	SPWM 波的形成	99
7.4.3	87C196MC 微机控制系统硬件设计	100
7.4.4	微机控制系统软件设计	101
7.5	变频器的 DSP 控制	101
7.6	变频器的通信控制	105
7.6.1	PLC 与变频器相连	105
7.6.2	PC 机通过 RS485 与变频器相连	108
7.6.3	PC 机通过现场总线与变频器相连	119
7.7	变频器参数的自检测和自校正	121
7.7.1	参数自检测概述	121
7.7.2	电动机参数离线自设定	122
7.7.3	电动机参数在线自校正	126
7.8	自动能耗最优控制 (AEO)	127
7.8.1	变频器的节能运行	127
7.8.2	AEO 控制	128
7.8.3	带 AEO 变频器节能效果分析	129
7.9	PWM 整流变频调速器的实现	130
8	变频器的维护	133
8.1	维修和检测	133
8.1.1	日常检查	133
8.1.2	定期检查	133
8.1.3	根据维护信息判断元器件的寿命	133
8.1.4	检测	134
8.2	故障诊断	136
8.2.1	故障的显示与复位	136
8.2.2	故障诊断	137
8.2.3	外界因素对变频器的不利影响及其防止对策	138
8.3	变频器的电磁噪声及其对策	139
8.3.1	变频器产生的电磁噪声及其抑制方法	140
8.3.2	变频器抗噪声元件的配置	146
8.3.3	变频器产生的高次谐波及其抑制技术	146
8.3.4	变频器运行中漏电流和浪涌电压的抑制	149
9	特殊用途的变频器	155
9.1	交流伺服系统用的变频器	155

9.1.1 机电一体化产品的概念	155
9.1.2 数控机床和伺服驱动技术	155
9.1.3 交流伺服电动机与直流伺服电动机的比较	156
9.1.4 交流伺服系统的构成及工作原理	158
9.1.5 方波电流型 BDCM (无刷直流电动机) 交流伺服系统举例	159
9.1.6 三相 PMSM 交流伺服系统	161
9.1.7 AC 伺服驱动系统的动态结构	166
9.2 电梯专用变频器	167
9.2.1 高速电梯用变频器	167
9.2.2 中速电梯变频器	169
9.2.3 超高速电梯变频器	170
9.2.4 低速家用电梯变频器	171
9.3 空调专用变频器	172
9.3.1 变频空调器的结构和特点	172
9.3.2 变频空调的实际效果	174
9.4 高压变频器	175
9.4.1 高压变频器的不同方案	175
9.4.2 高压变频器产品介绍	179
9.5 太阳能发电专用变频器	182
9.5.1 太阳能电池与系统并联的电压型 PWM 逆变器	183
9.5.2 采用升降压功率型 PWM 逆变器	191

第二篇 变频器的应用

10 变频器在节能方面的应用	197
10.1 节能原理	197
10.1.1 挡板控制与转速控制	197
10.1.2 阀门控制与转速控制	199
10.2 风机泵类负荷对变频器提出的要求	200
10.2.1 工频电源到变频器的切换控制	201
10.2.2 变频器到工频电源的切换控制	201
10.2.3 风机泵类负载用的 U/f 曲线模式	201
10.2.4 瞬停再启动控制	202
10.3 变频器在轧钢厂供水系统中的应用实例	203
10.3.1 工艺对控制提出的要求	203
10.3.2 变频器选型	204
10.3.3 变频器的原理接线图	205
10.3.4 运行与操作	206
10.3.5 使用时应注意的事项	206
10.3.6 水泵变频调速运行的经济分析	207

10.4 高压变频器在火力发电厂灰浆泵系统中的应用实例	207
10.4.1 灰浆泵改为变频调速前存在的问题	207
10.4.2 变频器、电动机、灰浆泵的技术规格	208
10.4.3 变频器简介	208
10.4.4 变频调速的优点	210
10.4.5 调试及运行	210
10.4.6 变频调速应用前后的经济效益比较	210
10.5 华为电气 TD2100 供水专用变频器	211
10.5.1 用户密码设定	211
10.5.2 8 种供水模式选择	211
10.5.3 6 段定时压力给定设置	213
10.5.4 休眠泵控制功能	213
10.5.5 定时轮换控制	214
10.5.6 排污泵控制功能	214
10.5.7 进水池液位检测及控制	214
10.5.8 故障自动电话拨号	215
11 变频器在自动化系统中的应用	216
11.1 永磁同步电动机变频调速在化纤、玻璃行业中的应用	216
11.1.1 永磁同步电动机变频调速在化纤工业中的应用	216
11.1.2 永磁同步电动机变频调速在玻璃工业中的应用	217
11.2 SF 控制变频恒压供水系统	218
11.2.1 水泵电气传动调速方案的选择	218
11.2.2 SF 系统的构成及工作原理	218
11.2.3 异步电动机 SF 控制的变频调速系统	219
11.2.4 实测节电效果	220
11.3 电弧炉变频调速自动加料系统	220
11.3.1 50 吨大功率电弧炉加料工艺要求	220
11.3.2 微机控制变频调速配料系统	221
11.3.3 效果分析	222
11.4 可编程控制器和变频器在电梯控制中的应用	222
11.4.1 PLC 用于电梯控制的特点	222
11.4.2 PLC—VVVF 变频电梯框图	223
11.4.3 G7 变频器在电梯拖动控制中所起的作用	223
11.4.4 电梯的加/减速和制动控制	224
11.4.5 节能效果分析	225
11.5 变频器在卷取机上的应用	225
11.5.1 卷取机在各种行业中的应用	225
11.5.2 卷取机的张力控制方案	226
11.5.3 卷取机的电气自动控制	228

12 变频器在省力化方面的应用	230
12.1 变频器在 125t 桥式起重机上的应用	230
12.1.1 起重机对变频器控制提出的要求	230
12.1.2 变频调速系统框图说明	230
12.1.3 变频器制动单元选择	231
12.1.4 变频器和 PLC 的配合	231
12.1.5 试验结果	232
12.2 变频器在港机设备中的应用	233
12.2.1 港机设备的特点	234
12.2.2 港机设备中变频器的选型	234
12.2.3 变频器及其周边设备的容量设计	235
12.3 变频器在自动仓库中的应用	237
12.3.1 码垛机对调速系统提出的要求	237
12.3.2 码垛机中变频器的选用	238
13 变频器在提高产品质量方面的应用	242
13.1 变频器在金属拉丝机上的应用	242
13.1.1 活套式拉丝机对电力拖动提出的要求	242
13.1.2 变频器用于拉丝机拖动	242
13.1.3 同步设计	243
13.1.4 运行效果	244
13.1.5 经济效益分析	244
13.2 变频器在磨床上的应用	245
13.2.1 改造前的磨床主轴调速系统	245
13.2.2 调速系统的改造	245
13.2.3 改造效果	246
13.3 变频器在高速电主轴上的应用	246
13.3.1 高频变频器用于高速电主轴	246
13.3.2 高频变频器的容量选择	247
13.3.3 变频器在高速电主轴上应用的其他问题	248
13.3.4 高频变频器在电主轴上的应用前景	248
13.4 变频器在聚丙烯造粒机中的应用	248
13.4.1 造粒机工艺流程	248
13.4.2 控制系统的构成及控制原理	249
13.4.3 变频器的应用介绍	250
13.4.4 特性实测	251
13.5 变频器在制药中的应用	251
13.5.1 制药设备利用变频调速进行改造	251
13.5.2 制药发酵过程分析	252
13.5.3 制药厂其他设备应用变频器的前景	252

13.6 变频器在食品机械上的应用	253
13.6.1 混合搅拌机的变频调速	253
13.6.2 奶油制作机的变频调速	255
13.6.3 鱼片制作机的变频调速	256
13.7 变频器在煮漂机上的应用	259
13.7.1 煮漂机设备概况	259
13.7.2 采用变频器改造旧系统	260
13.7.3 应用变频器改造的效果	260
附录 A 新一代国内外部分变频器主要特点概述	261
A.1 通用变频器的基本功能	261
A.2 A-B 系列变频器	262
A.3 西门子变频器	270
A.4 三菱通用变频器	273
A.5 富士变频器	275
A.6 日立变频器	277
A.7 国产变频器概述	277
A.8 佳灵变频器	279
A.9 科姆龙变频器	280
参考文献	282

第一篇

变频器的原理·运行·维护

1 概 论

1.1 什么是变频器

1.1.1 直流和交流

众所周知,电气分为直流和交流两大类。日常使用的干电池、蓄电池提供的是直流电,而由发电厂提供给一般家庭或工厂使用的电力(俗称“商用电源”或“市电”)是交流电。

由图 1-1(a)可见,直流电源的特点是电压恒定且极性不变化,通过干电池、蓄电池和太阳能电池产生直流提供电力。与此不同的是如图 1-1(b)所示的电源称为交流电,其特点是电压的极性周期性地变化。我们把每秒钟极性改变的次数称为频率,频率的单位为 Hz(赫兹)。例如,中国的额定频率为 50 Hz,国外如日本、美国的额定频率为 60 Hz。

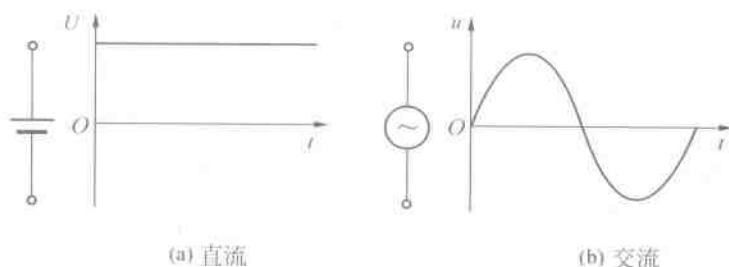


图 1-1 直流和交流

代表交流电源的商用电源分为单相交流和三相交流,主要是由发电机(汽轮机或水轮机)产生。我们日常所接触到的商品的生产和运输,大部分是采用商用电源,即交流供电,应用直流电源的相对比较少。此外,耗电量占有份额较少的家庭供电采用单相交流,耗电量大的工业企业和宾馆则采用三相交流供电。

1.1.2 整流和逆变

一般家用或工厂电气设备,多采用交流电源,但在这些设备的控制部分,也少不了要用直流。至于电视机、录音机、计算机等电子设备,它们的主要元器件,如 IC 电路、晶体管、显像管等,必须用直流供电。此外,工业上的电解、电镀用电量特别大,是直流供电的大户。

把交流变为直流称为整流。电解或电镀厂必须配备的整流装置,通称整流器。一般情况用二极管即可进行整流,二极管是半导体元件中的一种,其特点是只能让一个方向的电流通过,故又称为整流元件,如图 1-2 所示。

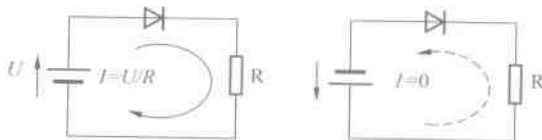


图 1-2 二极管单向通电示意图

最常用的整流电路是“单相桥式整流电路”，其电路接线和工作原理如图 1-3 所示。交流电压 u 为正的期间，二极管 V_1 、 V_2 处于导通状态（记为 ON），在负荷电阻 R 上加正电压 u ， $e_d = +u$ ；而当 u 为负时， V_3 、 V_4 导通；在负荷电阻 R 上加负电压， $e_d = -u$ 。由于桥式接法使平均电压 e_d 成为直流电压， R 上流过直流电流。

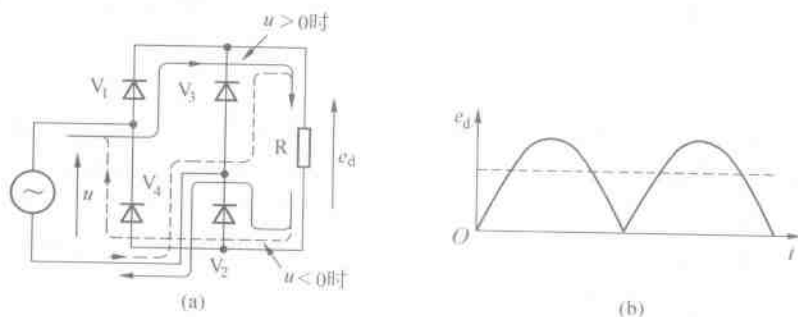


图 1-3 单相桥式整流电路

由图可见， e_d 是单一方向的整流电压，但存在较大的脉动电流。在很多情况下，这种脉动会对运行造成不良影响，必须增设滤波电路才能得到平滑的直流。

把直流变为交流电力的变换称为逆变，用于逆变的装置称为逆变器（Inverter）。逆变器是变频器的核心部件，其电路和原理如图 1-4 所示。

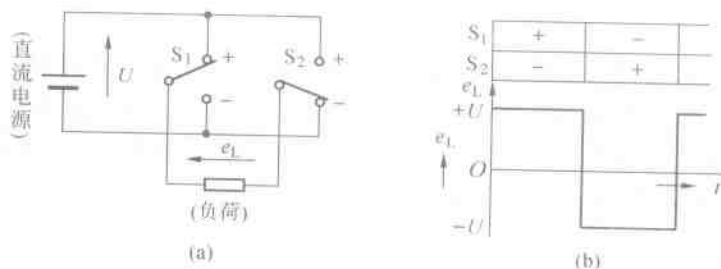


图 1-4 逆变器电路和原理

图中开关 S_1 和 S_2 可以任意接向 + 侧或 - 侧。如果像图 1-4(b) 所示控制 S_1 和 S_2 的动作，则对于负荷上的电压 e_L 为矩形波的交流电压。该交流电压的频率取决于开关的切换速度。设开关正负切换一个周期的时间为 T ，则 $f = \frac{1}{T}$ ， T 越大， f 越低，可以自由进行控制。

现在把图 1-4 的原理性电路进行实用化，把机械式的开关 S_1 、 S_2 用高速的电子开关