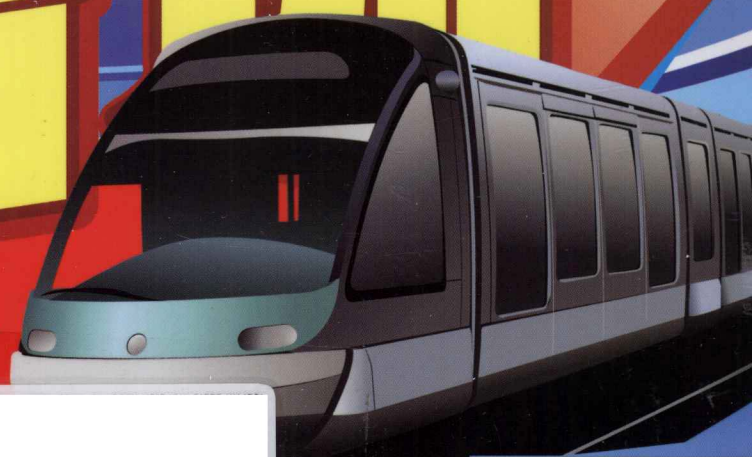


快速培训电气技能丛书

快速 培训



变频器应用与维修技能

- 取材新颖实用，打破传统模式
- 重点难点点拨，夯实理论基础
- 剖析典型实例，提升实践能力

孙余凯 吴鸣山 项绮明 等编著

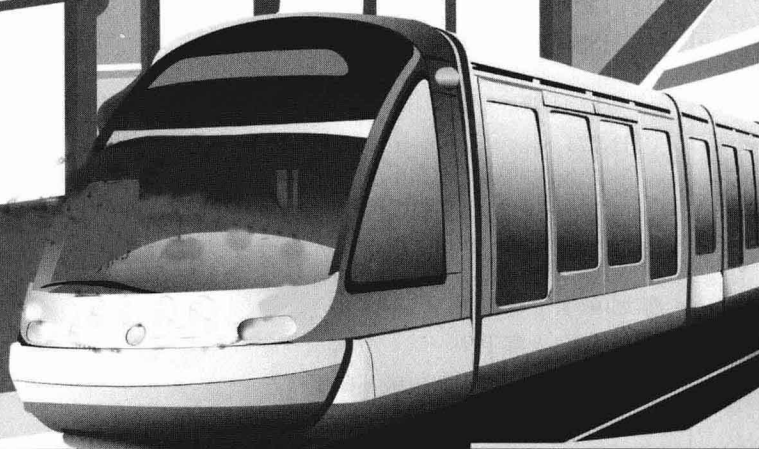


电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

快速培训电气技能丛书

快速 培训



变频器应用与维修技能

孙余凯 吴鸣山 项绮明 等编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书对变频器应用与维修技能做了较全面的讲解,提出了快速培训变频器的方法和措施。内容包括变频器常用开关器件的基础技能,变频器的基本功能知识,变频器主电路的基础技能,选择变频器的基本技能与方法,选择变频系统电动机的基本技能与方法,选择变频器附属部件的基本技能与方法,变频器主要参数的计算方法,变频器正确安装与接线技能、变频器的基本应用技能,变频器在技术改造中的实际应用技能,变频器的正确使用技能,变频器主要参数的测量技能,变频器的保养与维护技能,变频器故障诊断与检测技能,变频器常见故障诊断与维修技能,变频器常用元器件检测技能等。

本书论证严谨,例析精当,既可作为变频器应用与维修在岗人员培训教材,也可作为中、高等职业院校(校)相关学科的辅导教材,还可供变频器应用与维修人员或产品开发及生产技术人员和广大电子爱好者阅读。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

快速培训变频器应用与维修技能 / 孙余凯等编著. —北京: 电子工业出版社, 2012.10

(快速培训电气技能丛书)

ISBN 978-7-121-18039-2

I. ①快… II. ①孙… III. ①变频器—应用—技术培训—教材②变频器—维修—技术培训—教材 IV. ①TN773

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 200773 号

策划编辑: 谭佩香

责任编辑: 鄂卫华

印 刷: 中国电影出版社印刷厂

装 订: 中国电影出版社印刷厂

出版发行: 电子工业出版社出版

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 16 字数: 389 千字

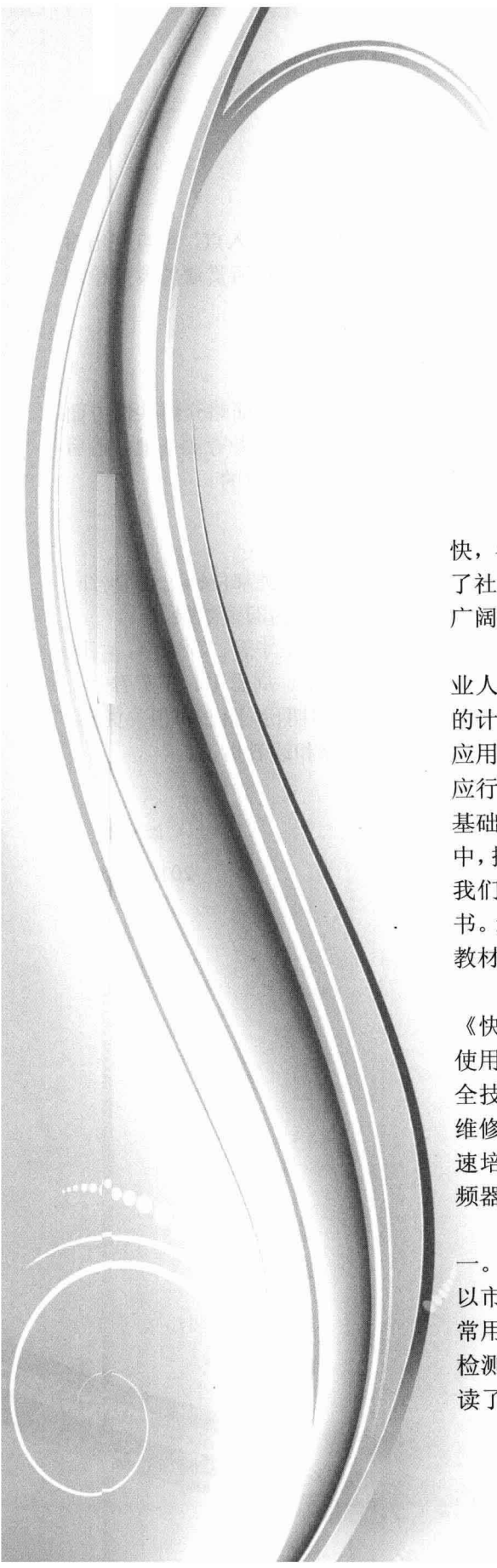
印 次: 2012 年 10 月第 1 次印刷

定 价: 39.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。



前言

随着变频技术的高速发展,城乡建设步伐不断加快,各种电气设备也随之大量增加,变频技术已渗透到了社会的各个层面,为电气行业的从业人员提供了更为广阔的就业前景。

然而,面对电气行业的人才需求,摆在电气行业从业人员面前的首要问题就是如何掌握变频器主要参数的计算方法,如何迅速提升变频器在技术改造中的实际应用,如何尽快掌握变频器主要参数的测量技能,以适应行业发展的需要。为使电气行业的从业人员夯实电气基础知识,提升实际操作技能,在故障诊断与检测技能中,操作更加专业和规范,并能确保人身和设备的安全,我们特别策划和组织编写了这套快速培训电气技能丛书。这是一套非常实用的在岗电气操作人员的技能培训教材及上岗应试的辅导教材。

本套丛书共9本,包括《快速培训电工技术基础》、《快速培训电气电路识图技巧》、《快速培训电气仪表使用与检测技能》、《快速培训电气接地·防雷·防爆安全技能》、《快速培训电气安装技能》、《快速培训电气维修技能》、《快速培训 PLC 控制系统应用技能》、《快速培训数控技术与数控机床维修技能》、《快速培训变频器应用与维修技能》。

《快速培训变频器应用与维修技能》是本套丛书之一。本书以电气行业的国家职业技术考核规范为标准,以市场岗位需求为导向,贴近实际,注重实践。精选了常用开关器件和附属部件为题材,采用基础知识培训与检测技能培训相结合的快速培训的形式,全面系统地解读了电气操作人员必备的基础知识和检测技能。

本书具有以下特色。

1. 取材新颖和实用，理论与实践融会贯通

本书在内容的选取上打破了传统模式，以讲解变频器的基础知识为切入点，重点突出对变频器在技术改造中的讲解，采取不同的方法，检测各种元器件。全书在所贯通的典型检测实例的实测过程中，融汇了作者多年积累的宝贵检测经验。

2. 讲解精细，突出重点和难点

本书在对基础知识的讲解上突出了轻松学的特点，在讲解方法上，先简略介绍共性方面的知识，使读者初步入门；再通过实例，归纳出需重点掌握的知识，使读者夯实基础；最后对知识和技能的难点进行点拨，达到对读者进行知识和技能的快速培训目的。

3. 亮色标注，重点、要点、难点鲜明

本书充分利用采取双色印刷的功能、用鲜亮的颜色，在文和图中关键部位标出让读者应掌握的重点，要点及难点，起到点拨的作用，使读者收到轻松、愉悦的阅读效果。

本书由孙余凯、吴鸣山、项绮明统稿编著，参加编写的人员还有王华君、项宏宇、王国珍、夏立柱、李维才、刘跃、项天任、孙永章、陈芳、吕晨、刘忠德、周志平、王五春等。

本书在编写过程中，参考了大量的国内、外有关电气技术方面的期刊、图书和相关资料，在此表示感谢。由于作者水平有限，书中存在不足之处，诚请专家和读者指正。

编著者

2012年8月

目 录 CONTENTS

第 1 章 变频器常用开关元器件的基础技能	1
1.1 变频器常用的开关元器件类型	1
1.2 变频器常用的电力晶体管	1
1.3 变频器常用场效应管	9
1.4 变频器常用绝缘栅双极晶体管	14
1.5 变频器常用功率模块	17
1.6 变频器常用闸流晶体管	23
第 2 章 变频器的基本功能知识	27
2.1 常用变频器的基本性能与特点	27
2.2 变频器的基本组成与类型	29
2.3 变频器的控制方式的特点与功能	31
2.4 变频器调速系统的启动特性	35
第 3 章 变频器主电路的基础技能	37
3.1 变频器的基本构成与特点	37
3.2 变频器主电路中的逆变电路	39
3.3 变频器直流电源常用滤波电容器	44
3.4 变频器的谐波与抑制方法	44
3.5 变频器整流电路常用电容器和电阻器的使用方法	46
第 4 章 选择变频器的基本技能与方法	49
4.1 变频器选择有关的基本知识	49
4.2 变频器的选型与容量的选择方法	52
4.3 变频器输入与输出侧额定值的选择方法	55
4.4 通用变频器的选择方法	56
4.5 变频器频率与 U/f 线的选择方法	57

第5章 选择变频系统电动机的基本技能与方法.....63

- 5.1 变频器使用的电动机基本知识 63
- 5.2 同步电动机变频调速系统的类型与特点..... 66
- 5.3 变频器配用电机的选择方法 67
- 5.4 选择与电动机配套变频器时其他方面问题的考虑方法..... 72

第6章 选择变频器附属部件的基本技能与方法.....77

- 6.1 变频器输入与输出保护电路元器件的选择..... 77
- 6.2 变频器输入电路中电抗器的选择 79
- 6.3 变频器输出电路中电抗器的选择方法..... 82
- 6.4 变频器输入与输出电路中电源滤波器的选择方法..... 83
- 6.5 变频器使用制动器的选择方法 85
- 6.6 变频器拖动系统的选择方法 87
- 6.7 与变频器冷房装置和电动机连接电缆选择方面的知识..... 88

第7章 变频器主要参数的计算方法.....89

- 7.1 选择变频器所需要的常用参数的计算方法..... 89
- 7.2 变频调速系统电动机的选择方法 91
- 7.3 变频器拖动系统的选择方法 92
- 7.4 安装变频器配电柜与换气装置的选择计算方法..... 93
- 7.5 变频器制动装置选择计算方法 95
- 7.6 变频器各种电量参数的计算方法 96

第8章 变频器正确安装与接线技能.....101

- 8.1 变频器的安装方法 101
- 8.2 变频器的正确接线方法 108
- 8.3 变频调速系统其他电路的接线方法..... 119

第9章 变频器的基本应用技能.....121

- 9.1 变频器应用基本知识 121
- 9.2 变频器基本应用方法 126

第 10 章 变频器在技术改造中的实际应用技能 137

- 10.1 变频器在电动机点动与运行切换方面的实际应用方法..... 137
- 10.2 变频器在起升与自动扶梯类电气设备上的应用..... 138
- 10.3 变频器在风机上的典型应用方法 141
- 10.4 变频器在供水系统方面的典型应用方法..... 143
- 10.5 变频器在空调器上的应用方法 148

第 11 章 变频器的正确使用技能 153

- 11.1 变频器与功能使用有关的基本知识..... 153
- 11.2 变频器外接输出端脚的识别方法..... 155
- 11.3 变频器键盘与外接基本操作功能的使用方法..... 157
- 11.4 变频器外接基本操作功能设置方法..... 160
- 11.5 变频器显示功能的使用方法..... 163
- 11.6 变频器睡眠与唤醒功能设置使用方法..... 166
- 11.7 变频器的频率检测与下垂功能使用方法..... 168
- 11.8 使用变频器时对其转速和温度及灰尘方面需要注意的问题..... 171
- 11.9 变频器的加速功能使用方法..... 172
- 11.10 变频器的减速功能使用方法..... 177
- 11.11 变频器的停机功能的使用方法..... 179
- 11.12 变频器的点动加或减速功能使用方法..... 181
- 11.13 变频器直流制动功能的使用方法..... 182
- 11.14 变频器再启动功能使用方法..... 183
- 11.15 变频器频率设定方面的使用问题..... 184
- 11.16 变频器其他使用方面的问题..... 185

第 12 章 变频器主要参数的测量 187

- 12.1 测量必备的基础知识 187
- 12.2 变频器测量仪表的选择与连接 187
- 12.3 变频器主要电量的测量 189
- 12.4 测量变频器电量时各种仪表正确性分析方法..... 196

第 13 章 变频器的保养与维护技能 199

- 13.1 变频器的保养与维护基本知识 199

13.2	日常保养变频器的基本要求	200
13.3	维护变频器时对周围环境方面应注意的问题.....	201
13.4	变频器的日常保养与维护方法	202
13.5	变频器的定期保养与维护方法	205
13.6	长期不使用变频器的保养与维护方法.....	206
13.7	变频器保养与维护时遇到问题的检查和处理方法.....	207
第 14 章 故障诊断与检测技能		211
14.1	检修变频器常用的询问用户的方法.....	211
14.2	变频器的直观检查方法	213
14.3	变频器故障原理分析法与清洁检查方法.....	214
14.4	变频器故障脱开检查法与整机比较测量方法.....	215
14.5	部件互换比较与功能测试及面板压缩法判断变频器故障的方法.....	216
14.6	变频器的直流电压和直流电流检查判断故障的方法.....	218
14.7	变频器故障的在路与开路电阻测量方法.....	221
14.8	变频器故障元器件替换和并联、短路检查方法.....	223
14.9	变频器故障的温度检查方法	224
14.10	变频器故障的对号入座与重焊检查方法.....	224
14.11	变频器故障的敲击检查与信号寻迹方法.....	225
14.12	变频器故障检修方法归纳总结	226
14.13	变频器故障检修中可能遇到的问题及处理方法.....	226
第 15 章 变频器常见故障诊断与维修技能		231
15.1	变频器可靠性的基本规律与特点	231
15.2	变频器外部故障常见原因与检修方法.....	232
15.3	变频器供电电源常见故障检修方法.....	234
15.4	变频调速系统振动与噪声故障检修方法.....	236
15.5	变频器保护电路动作故障检修方法.....	236
15.6	变频器产生的高次谐波故障检修方法.....	240
15.7	变频器控制电路常见故障检修方法.....	242
15.8	变频系统电动机常见故障检修方法.....	245
参考文献		248

第 1 章 变频器常用开关元器件的基础技能

1.1 变频器常用的开关元器件类型

变频器主电路常用的开关元器件类型较多，根据不同容量的变频器所使用的开关元器件情况说明如下。

1.1.1 低压小容量的变频器常用的开关元器件类型

现在的低压小容量的变频器，普遍采用功率 MOSFET、IGBT（绝缘栅双极型晶体管）与 IPM（智能功率模块）类型的功率开关元器件。

1.1.2 中压、大容量变频器常用的开关元器件类型

现在的中压、大容量变频器，大多采用 GTO（门极可关断晶闸管）、IGCT（集成门极换流晶闸管）SGCT（对称门极换流晶闸管）、IEGT（注入增强栅晶体管）与高压 IGBT 类型功率开关元器件。

1.1.3 变频器常用的开关元器件类型主要特点

由于上述这些新型开关元器件的应用，从而使开关频率不断提高，开关损耗进一步下降，逐步实现了自关断化、模块化、集成化与智能化。

1.2 变频器常用的电力晶体管

1.2.1 变频器常用电力晶体管组成及其特点

电力晶体管又称为大功率晶体管或双极晶体管，简称 GTR 或 BJT，是一种由两个或多个晶体管复合而成的复合型晶体管（达林顿管）。通常多以模块封装方式出现，图 1-1 所示为 GTR 的单复合管模块内部典型电路，图 1-2 所示为 GTR 的双复合管模块内部典型电路。

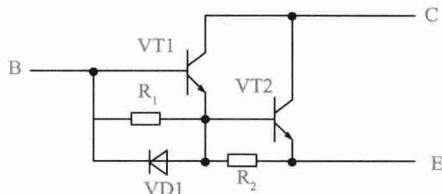


图 1-1 GTR 的单复合管模块内部典型电路

(2) 耐压的计算

单复合管 GTR 中后级晶体管承受的耐压可以由以下公式计算得到

$$U_{CE} = U_C - I_C \cdot R_C$$

式中 U_{CE} ——单复合管 GTR 集电极与发射极之间承受的电压, 单位 V;

U_C ——加到单复合管 GTR 上的电源电压, 单位 V;

I_C ——单复合管 GTR 集电极电流, 单位 A;

R_C ——单复合管 GTR 集电极上的负载电阻, 单位 Ω 。

2. 变频器中使用的电力晶体管的截止状态

当加到单复合管 GTR 基极上的电流等于 0 时, GTR 进入截止状态, 其等效电路如图 1-4 所示。此时

$$I_C \approx 0 \text{ A (只有极小的泄漏电流)}$$

$$U_{CE} \approx U_C \text{ (C 与 E 之间承受电源的全电压)}$$

3. 变频器中使用的电力晶体管的饱和导通状态

当 $I_B > U_C / R_C$ 时, 单复合管 GTR 进入饱和导通状态, 其等效电路如图 1-5 所示。图中的虚线等效于连接短路线。

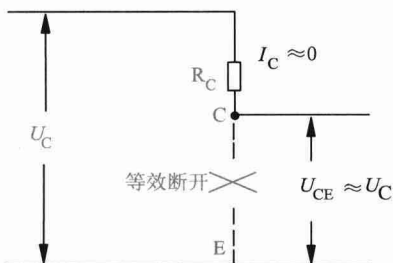


图 1-4 单复合管 GTR 截止状态时的等效电路示意图

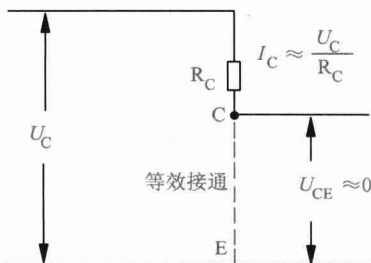


图 1-5 单复合管 GTR 饱和导通状态时的等效电路示意图

(1) GTR 的管压

单复合管 GTR 的管压降近似于 0 V (实际约在 2~3 V 之间), 即

$$U_{CE} \approx 0 \text{ V}$$

(2) GTR 的集电极电流

单复合管 GTR 的集电极电流基本取决于欧姆定律, 即

$$I_C \approx U_C / R_C$$

1.2.3 变频器常用电力晶体管的工作参数

1. 电力晶体管截止状态下的击穿电压

电力晶体管在截止状态下的击穿电压的含义为在截止状态下, 可以引起集电极与发射



极之间击穿的最小电压。在基极开路时,该参数采用 U_{CEO} 表示;在基极与发射极之间反向偏置时,采用 U_{CEX} 表示,在大多数情况下, $U_{CEO} \approx U_{CEX}$, 两者数值基本相等。在 380 V 等级的变频器中使用的 GTR 电力晶体管,通常可以选用 $U_{CEO}=1200\text{ V}$ 的。

2. 电力晶体管截止状态下的漏电流

电力晶体管在截止状态下漏电流的含义为:从集电极流向发射极的电流。在基极开路时,该参数采用 I_{CEO} 表示;在基极与发射极之间反向偏置时,采用 I_{CEX} 表示。

3. 电力晶体管饱和和导通状态下的集电极最大电流

电力晶体管在饱和和导通状态下集电极最大电流的含义为:在饱和和导通状态时,流过集电极中的最大允许电流,通常采用 I_{CM} 来表示。

4. 电力晶体管饱和和导通状态下的饱和电压降

电力晶体管在饱和和导通状态下饱和电压降的含义为:在饱和和导通状态时,集电极与发射极之间的电压降,通常采用 U_{CES} 来表示。

5. GTR 电力晶体管开关过程中的开通时间

GTR 电力晶体管开通时间的含义为:在基极通入正向信号电流 I_{B1} (GTR 第一级管子的基极电流)时起,到集电极电流上升到饱和电流的 90% ($0.9I_{CS}$) 所需要的时间,通常采用 t_{ON} 表示,如图 1-6 所示。

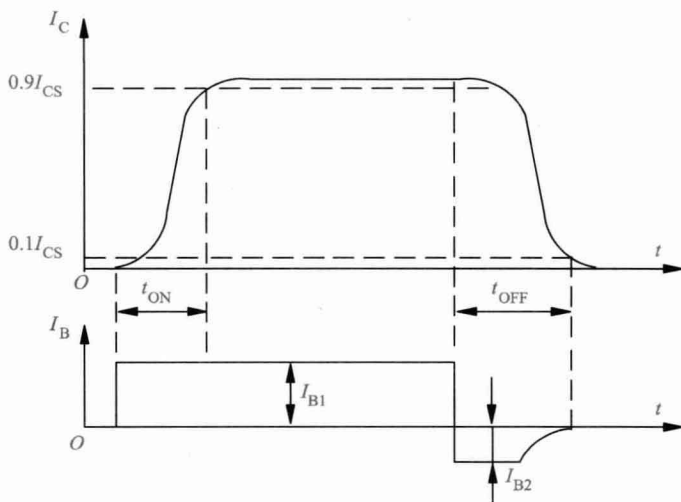


图 1-6 GTR 电力晶体管开通时间曲线示意图

6. GTR 电力晶体管开关过程中的关断时间

(1) 关断时间

GTR 电力晶体管关断时间的含义为:从基极电流消失(或加入反馈基极电流 I_{B2})时起,到集电极电流下降到饱和电流的 10% (即 $0.1 I_{CS}$) 所需要的时间,通常采用 t_{OFF} 表示,如图 1-6 所示。

(2) 需要说明的问题

GTR 电力晶体管开通时间与关断时间的大小, 会直接影响到脉宽调制时的载波频率。使用 GTR 时的上限载波频率为 2 kHz, 实际使用的载波频率则在 1.5 kHz 以下。

7. GTR 模块的额定功率比其电压和电流的乘积小

为了便于说明和理解, 以某一款 $U_{CEO}=1200\text{ V}$ 、 $I_{CM}=300\text{ A}$ 的电力晶体管 GTR 为例, 其额定功率只有 $P_C=2\text{ kW}$ 。但如果按照电压与电流的乘积计算, 则:

$$P_C=1200 \times 300=360000=360\text{ kW}$$

(1) 差别的原因

由此可见, 两者的相差很大, 究其原因, 主要是由于变频器中使用的 GTR 模块, 是作为开关器件来使用的, 也就是说, GTR 模块中的晶体管电路仅使用了其饱和导通与截止两种工作状态。

(2) 原理分析

GTR 模块中的晶体管电路在截止状态时, 由于泄漏电流极小, GTR 消耗的功率微不足道。而在饱和导通状态时, GTR 的饱和导通电压降不足 5 V, 如果就按照 5 V 来计算, 当电流为 300 A 时, 功耗则约为

$$P_C=5 \times 300=1500=1.5\text{ kW}$$

由此可见, GTR 模块的额定功率是在其内部晶体管饱和导通状态的基础上, 再适当增加一定的余量来确定的。

1.2.4 变频器常用电力晶体管驱动应用电路

1. GTR 基极驱动电路的基本构成

在变频器中, 用于驱动控制电力晶体管 GTR 的基极电路的典型结构如图 1-7 所示。图中的 VT3 即为电力晶体管, 其前面的电路即为基极驱动控制电路, 由集成电路驱动电路 EXB359 与普通晶体管 VT1、VT2 为核心构成。该电路的最大特点是尽量缩短 GTR 的导通与关断时间。其输出的控制信号波形如图 1-8 所示。

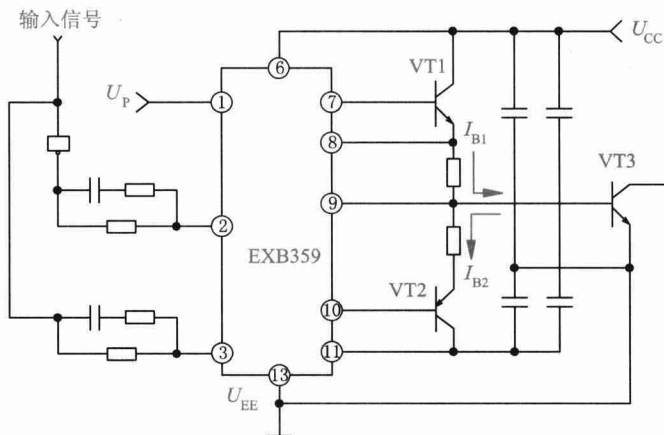


图 1-7 GTR 的基极控制电路的典型结构示意图

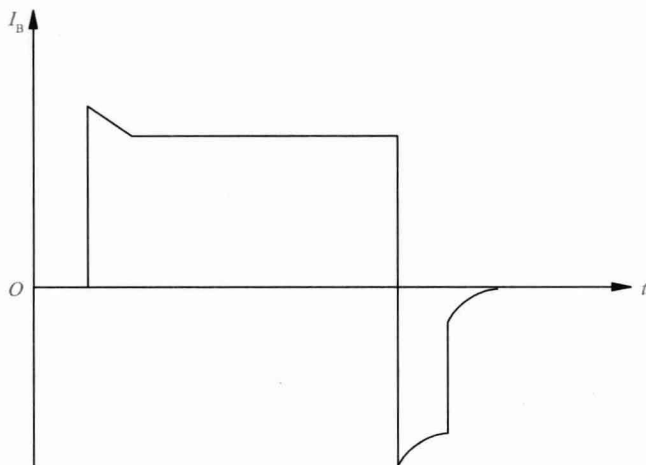


图 1-8 GTR 的基极控制电路输出波形示意图

2. 电力晶体管基极驱动电路中 GTR 的工作特点

(1) 截止→饱和

为了保证晶体管尽快进入饱和状态,开始导通时的基极电流较大;当晶体管已经进入饱和状态时,为了便于在切换时容易退出饱和状态,故电路采用了适当减小基极电流的方法,来减轻饱和深度。

(2) 饱和→截止

为了保证晶体管尽快进入截止状态,电路中的基极(b)与发射极(e)之间采用了反向配置方式。在基极与发射极之间刚开始加入反向电压时,基区里过剩的载流子被迅速抽出,故有较大的反向电流。

(3) 保护电路

由于晶体管 VT1 与 VT2 基极与发射极之间的反向击穿电压 U_{CBO} 较低(通常小于 6 V),为了防止在反向配置时被击穿,通常都在其基极与发射极之间连接有保护电阻器或二极管等,这些元件一般集成在集成电路内,以图 1-7 电路为例。如为分立元器件驱动电路,则保护元件直接连接在晶体管的基极与发射极之间。

(4) 电路元件作用

在图 1-7 电路中,晶体管 VT1 与 VT2 构成了集成电路外接的互补驱动电路,其中的 VT1 用于向电力晶体管 GTR(即 VT3)提供正向的驱动电流,VT2 用于向 VT3 提供反向驱动电流。

3. 电力晶体管的缓冲电路的基本构成

在变频器中,电力晶体管的缓冲电路典型结构如图 1-9 所示。该电路的主要作用是减小电力晶体管 GTR 从饱和转变为截止时,集电极与发射极之间的电压变化率。

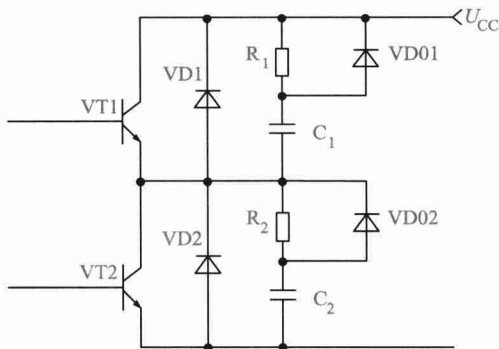


图 1-9 电力晶体管 GTR 的缓冲电路典型结构

4. 电力晶体管缓冲电路中 GTR 的工作原理

在变频器中，电力晶体管的缓冲电路典型结构如图 1-9 所示，由 VT1 与 VT2 各组成一路缓冲电路，两组电路的工作原理基本相同。下面以 VT1 组成的这一组电路为例来说明缓冲电路的工作原理。

(1) VT1 饱和→截止

当 VT1 管从饱和状态转变为截止状态时，其集电极与发射极之间的电压将由近似于 0 V 迅速上升为 U_{CC} (≈ 513 V)，这样高的电压变化率会使后级的电力晶体管损坏。

为了减小上述的电压变化率，图 1-9 电路中设置了缓冲电容器 C_1 ，利用该电容器上的电压不会突变的特点，来减缓 U_{CE} 的上升率。

(2) VT1 截止→饱和

在 VT1 管截止期间， C_1 电容器上的电压被充到近似于 513 V。一旦 VT1 管重又转变为饱和导通状态时， C_1 上的约 513 V 电压将直接对 VT1 管放电，由此会形成较大的冲击电流，足以导致后级的电力晶体管 GTR 损坏。

为了减小上述的放电冲击电流，图 1-9 所示电路在放电回路中设置了限流电阻器 R_1 。不过，由于限流电阻器 R_1 的接入，会直接影响 C_1 电容器减缓 U_{CE} 上升率的作用，为了解决这一矛盾，电路中又设置了一个 VD01 二极管与 R_1 电阻器并联。由于二极管具有钳位作用，故当 VT1 由饱和转变为截止状态时， C_1 电容器减缓电压变化率的作用不会受到影响；而当 VT1 从截止转变为饱和导通状态时， C_1 电容器的放电电流就会被 R_1 电阻器减弱。

(3) 需要说明的问题

图 1-9 所示仅是缓冲的电路一种基本应用方式，实际的缓冲电路常在此基础上进行了许多改进或补充，这里不再赘述。

5. 采用 GTR 作为逆变器的变频器的特点

采用 GTR 作为变频器逆变器的典型应用电路如图 1-10 所示，该电路的特点主要有以下几个方面。

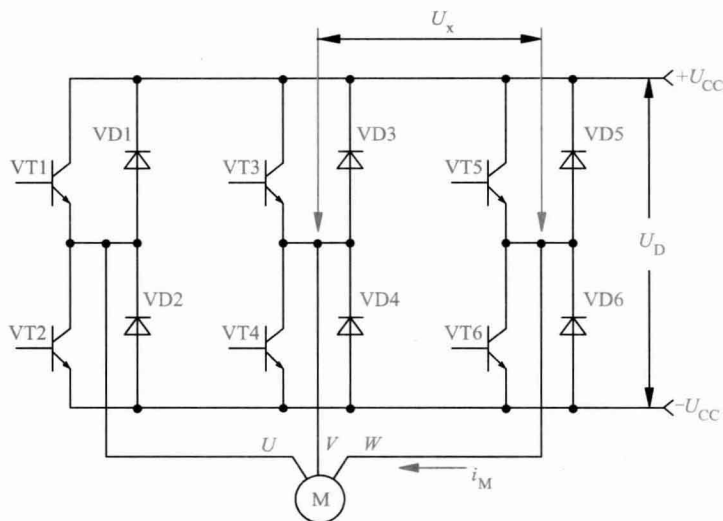


图 1-10 采用 GTR 作为变频器逆变器的典型应用电路

(1) 输出电压

由于可以采用脉宽调制的方法, 故 GTR 作为变频器逆变器的输出电压为幅值等于直流电压的强脉冲序列, 如图 1-11 所示。

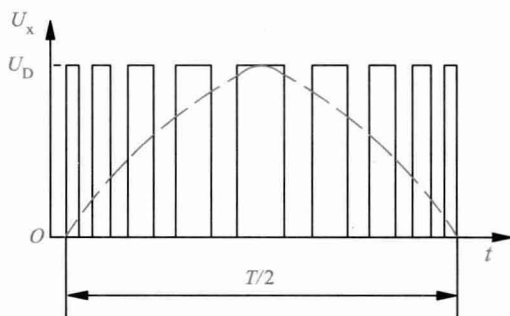


图 1-11 GTR 作为变频器逆变器的输出电压波形示意图

(2) 载波频率

由于电力晶体管 GTR 的导通与关断时间均较长, 故允许的载波频率较低, 大部分变频器的上限载波频率约在 1.2~1.5 kHz 范围内。

(3) 电流波形

由于 GTR 作为变频器逆变器的载波频率较低, 故电流的高次谐波成分较大, 如图 1-12 所示。这些高次谐波电流就会在硅钢片中形成涡流, 并使硅钢片相互之间产生电磁力而振动; 同时, 由于载波频率处于人耳声音较为敏感的区域, 故可以听到电动机发出的较强的电磁噪声。

(4) 输出转矩

由于 GTR 作为变频器逆变器的输出电流中高次谐波成分较大, 故在 50 Hz 频率时电动机轴上的输出转矩与工频运行时相比, 将略有减小。