



变频器

实用技术与维修精要

李自先 黄哲 汪宝标 编著

变频器实用技术与维修精要

李自先 黄 哲 汪宝标 编著

人民邮电出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

变频器实用技术与维修精要 / 李自先, 黄哲, 汪宝标
编著. —北京: 人民邮电出版社, 2009. 5
ISBN 978-7-115-19324-7

I. 变… II. ①李…②黄…③汪… III. 变频器—维修
IV. TN773

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第192189号

内 容 提 要

本书讲述的是变频器的应用技术和维修方面的内容。全书由实用技术篇和维修精要篇两部分组成。

实用技术篇阐述了通用变频器的基础知识和基本原理, 重点介绍了通用变频器的选型、选容、安装、接线、参数设置和控制方法, 并给出了几种典型的变频器应用实例。维修精要篇详细地讲解了通用变频器的维护、维修方法, 着重阐述了变频器的种种故障现象以及产生的原因和具体维修方法等, 同时还列举了大量的修理实例。

本书可供生产一线的电气工程技术人员以及变频器使用和维修人员阅读, 也可作为上岗职业培训教材以及大中专院校电气、自动化等相关专业的参考用书。

变频器实用技术与维修精要

-
- ◆ 编 著 李自先 黄 哲 汪宝标
责任编辑 姚予疆
执行编辑 王朝辉
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京顺义振华印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 18
字数: 437千字 2009年5月第1版
印数: 1-4000册 2009年5月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-19324-7/TN

定价: 40.00元

读者服务热线: (010)67120142 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

序

我与李自先老师，原本并不相识。毕业于华山脚下西安交通大学的我和长江之滨武汉大学李自先，却因为两位夫人是同乡、同事而相知。

退休之前，彼此多忙，无良机把晤，只听说他上个世纪八十年代是科技弄潮儿，紧跟国际先进水平，开发、研制国产变频器，具体的并不甚了解。

前年，我们闲暇下来，两家相约同去旅游，一路随走随驻惬意得很。当我们在山东一个很不发达的小县城小住时，一件小事，让我对李自先有了新的了解。

那天，老李接一个电话，是要买他的著作《变频器应用维护与修理》一书。老李说他在外地度假，没有带书，可以回去给寄去，问起地址，才知道买书人就在这个僻冷之地。当买书人得知作者就在当地时，一定要登门拜访。推却不得只好应允，来人是某企业设备管理人员，敏而好学，这次一见李老师，便将工作中遇到的疑难问题，统统问了个明白，并邀请李自先暇时到他们厂里看看，具体给些指导。

我虽然对变频器所知有限，却知道新华书店里科技类、电子类、PLC、变频器方面的书是琳琅满目、为数众多的，便好奇地问来人，为何如此青睐此书？他告诉我，变频器方面的书，他已经买了好几本，大多数都是讲原理的，理论方面的内容多，而具体涉及到变频器内部的维护和修理的，这是他知道的第一本。他不无幽默地说，那些著书者都是专家、大学教授，不可能打开变频器去排除故障。我笑谓老李“看来，你这个大学教授荣幸成为合格的高级技工了。”

在交谈中才得知，李自先因为科研成果虽形成产品，小批量生产了，但最后还是被进口货挤掉，心有心结。退休后，自己创办了自动化公司，除承接自动化项目外还从事维修变频器业务，经常直接到企业生产第一线处理一些变频器突发事故。由此积累了丰富的修理经验和具体的修理实例，加上他有研发变频器的理论基础，当教师本来又勤于笔耕，著书就是“十月怀胎，一朝分娩”的事了。

去年，他们夫妇到我居住的西部天山旅游，有乌鲁木齐的教育公司邀请李自先为他们讲课，电话打过来，得知老李就在乌市，立刻马不停蹄地赶过来见面。我问老李：“不管在东部还是在西部，怎么这么巧，你在哪里，哪里就正好有人在找你？”他说不是巧，是变频器的应用面越来越广，应用量越来越大，大家都求知若渴嘛！

近来，李自先在各地讲课，足迹遍及南北，学员来自四面八方各个领域，带来的问题也五花八门丰富多彩，有了这些丰富的原始资料，李自先老师在原有书稿的基础上，对变频器的应用和维修方面进一步补充、丰满，由人民邮电出版社出版《变频器实用技术与维修精要》一书必然会受到求知者、求学者的更大欢迎。

我与李自先相交不长，感他严谨的治学风格、求实的工作作风、不随波逐流的处世态度，遂成莫逆。蒙他约我作序，欣然命笔，有感而发，一气呵成。

愿以此文与李自先老师和天下学子共勉。

前 言

在异步电动机的诸多调速方法中，变频调速方法的性能最好，并可取代直流调速。变频调速方法的调速范围广、稳定性好、可靠性高、节能显著、操作简便，代表了电力拖动的发展方向，因此，变频器被迅速、广泛地应用在各领域、各行业以及人们常用的家用电器之中。更深入地了解变频器，更有效地使用变频器，更好地维护和修理变频器，是相关人员目前的迫切需要。

20世纪80年代中末期，我国出现了变频器研制、开发应用的热潮，许多科研、教学、工程技术人员均投身其中，为我国变频器技术的发展奠定了基础。本书的作者也是当年参加研发的人员之一，多年来一直从事变频器研发和设计工作，于1991年成功研制出具有自主知识产权的国产变频器，并通过了江苏省新产品鉴定，1992年获得无锡市科技进步奖。

如今在变频器应用方面，我国已达到相当高的水平，积累了较为丰富的经验。然而，很多使用变频调速系统的用户对变频器的日常维护意识不强，随着变频器应用的普及，其维修方面的问题也随之出现。目前，变频器的维修队伍正在逐步扩大，其修理水平也迫切需要提高。

几年前，作者从教研岗位上退休，顺应社会的需要，开办了一个变频器技术服务的实体，主要从事变频器应用技术服务、变频器维修以及变频器维修人员培训等工作。这几年的工作中，作者努力地将理论联系实际，积累了很多变频器应用和维修方面的经验，本书就是作者多年来的经验总结。本书在讲解变频器原理和应用的基础上，充实了大量的修理方法、经验和实例，为读者提供了很有实用价值的维护和修理方面的内容。

古人云：“授人以鱼仅供一饭之需，授人以渔受益终身。”这也是我们编写本书的宗旨。区区百余例，完全不能表述变频器维修的全貌，颇有管窥之嫌，但我们并不想仅仅罗列出修理某一变频器的具体方法，而是要贡献给读者一个修理的思路以及分析问题和解决问题的方法，以期达到举一反三、触类旁通的效果。

参与本书编写工作的有李自先、黄哲、汪宝标、周中方、王霞、韩忠等。

由于作者水平有限，书中难免存在着错误和不足之处，敬请广大读者批评指正。

作 者

目 录

上篇 实用技术篇

第 1 章 通用变频器电力电子器件及驱动电路.....3	一、异步电动机的结构..... 28
第 1 节 功率晶体管 GTR (BJT)4	二、异步电动机的基本工作原理..... 28
一、GTR 的特性4	三、异步电动机的转矩和机械特性... 32
二、GTR 的主要参数6	四、异步电动机的制动..... 36
三、GTR 的驱动电路6	五、异步电动机的变频调速 38
四、GTR 的并联使用9	六、变频器专用电动机..... 39
第 2 节 功率场效应晶体管 (MOSFET) 10	第 2 节 脉宽调制技术..... 40
一、MOSFET 的结构..... 10	一、单极性 SPWM 控制方式 40
二、MOSFET 的工作原理..... 11	二、双极性 SPWM 控制方式 41
三、MOSFET 的主要参数..... 11	三、SPWM 的异步调制方式 42
四、MOSFET 的特性..... 12	四、SPWM 的同步调制方式 43
五、MOSFET 的驱动电路..... 13	五、SPWM 的分段同步调制方式 43
第 3 节 绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 14	六、SPWM 模拟电路生成 44
一、IGBT 的结构特点与外形..... 14	七、SPWM 专用芯片生成 45
二、IGBT 的重要参数 15	八、SPWM 微处理器与数字信号 处理器生成 60
三、IGBT 的驱动电路 16	九、SPWM 矢量控制处理器生成 71
四、IGBT 的保护 21	第 3 章 通用变频器的基本原理..... 73
第 4 节 智能功率模块 (IPM) 23	第 1 节 变频器技术的发展..... 73
一、IPM 的主要特点 23	一、变频器在调速系统中的地位 73
二、IPM 的内部基本结构原理图及 接线端子含义 24	二、变频器的发展过程 74
三、IPM 的应用实例 26	三、变频器的发展方向 76
第 2 章 变频调速基础知识 28	第 2 节 变频器的基本知识..... 77
第 1 节 异步电动机的变频调速 28	一、变频器的基本结构 77
	二、变频器的分类 78
	三、交一直一交变频器的基本电路... 81
	四、交一直一交变频器的主回路构成 及工作原理 84
	第 3 节 变频器的控制方式和原理..... 87

一、变频器 U/f 控制方式	87	方法	129
二、变频器转差频率控制方式	92	三、功能数据设置的方法	134
三、变频器矢量控制方式	94	四、主要功能参数的含义	135
四、直接转矩控制方式	103	第5节 通用变频器的控制方法	136
第4节 高压变频器	107	一、键盘面板控制	137
一、多电平逆变器	107	二、外部端子控制	137
二、多重化整流电路	110	三、串行通信接口控制	138
三、单元串联多重化电源式多电平 逆变器高压变频器	111	四、可编程控制器 (PLC) 控制	151
四、变压器耦合输出高压变频器	112	五、比例积分微分调节器 (PID) 控制	152
五、高压变频器对电动机的影响及 相应的措施	113	第6节 通用变频器的制动	153
第4章 通用变频器应用技术	115	一、制动过程中的转矩概念	153
第1节 通用变频器的规格	115	二、制动电阻阻值和容量的计算	155
一、通用变频器的型号	115	三、制动单元的结构原理	155
二、通用变频器的容量	116	第5章 通用变频器的应用实例	157
三、通用变频器输出侧的额定值	116	第1节 变频器恒压供水系统	157
四、通用变频器的输出频率	116	一、变频器恒压供水系统常用的 几种方案	157
五、通用变频器控制特性	117	二、变频器恒压供水系统实例	161
六、通用变频器的保护功能	117	第2节 变频器收卷机恒张力控制 系统	164
七、通用变频器的使用条件	117	一、变频器收卷系统张力控制方案	164
第2节 通用变频器的选用	118	二、金属膜分切变频器收卷机恒张力 控制系统实例	167
一、通用变频器的选型	118	第3节 变频器同步控制系统	168
二、通用变频器容量的选择	118	一、变频器同步控制的常用方案	168
第3节 通用变频器的安装	120	二、玻璃棉板生产设备上的变频器 同步控制	169
一、通用变频器的安装环境	120	第4节 变频器在家电上的应用	178
二、通用变频器的具体安装	121	一、变频冰箱的工作原理与特点	178
三、主电路的接线	123	二、变频空调调速系统	181
四、控制电路的接线	124	下篇 维修精要篇	
五、通用变频器抑制外部干扰的 措施	126	第6章 变频器维护精要	187
六、抑制变频器对外干扰的措施	126	第1节 变频器维护的重要性	187
第4节 通用变频器的操作	127		
一、键盘面板配置	127		
二、键盘面板的操作体系与操作			

一、使用环境对变频器的影响	187	四、开关电源电路	217
二、元器件老化对变频器的影响	188	五、通信接口电路	222
第2节 变频器的日常检查	188	六、外部控制电路	222
第3节 变频器的定期检修	189	第3节 变频器常见故障的分析和处理	223
一、变频器停机全面检修	189	一、功率模块的损坏	223
二、变频器通电试运行检查处理	192	二、无任何显示	226
第7章 变频器调速系统常见故障及处理方法	193	三、有充电显示, 键盘面板无显示	226
第1节 故障报警显示(停机)	193	四、有故障显示	227
一、过电流故障	193	五、无故障显示, 不能正常运行	230
二、过电压故障	193	六、输出电压波动, 电动机运行抖动	232
三、欠电压故障	195	第4节 变频器修理实例	232
四、变频器过热故障	195	一、功率模块损坏(1~11例)	232
第2节 运行异常故障	196	二、操作盘无任何显示(黑屏)(12~18例)	238
一、电动机不能启动	196	三、故障显示(19~38例)	242
二、电动机能启动, 但不能调速	196	四、启动运行过程中出现的故障显示(39~46例)	253
三、电动机加速过程中失速	197	五、运行时出现的故障(47~54例)	256
四、异常故障	197	六、其他故障(55~76例)	260
第3节 变频器干扰故障	199	七、器件的变通(77~82例)	268
一、外界对变频器的干扰	199	八、西门子变频器维修案例(83~88例)	273
二、变频器对周边设备的干扰	199	九、ABB变频器维修案例(89~92例)	274
第8章 变频器的维修精要	202	十、富士变频器维修案例(93~97例)	275
第1节 变频器修理的基本方法	203	十一、丹佛斯变频器维修案例(98~101例)	276
一、变频器修理的理论基础	203	十二、台达变频器维修案例(102~106例)	277
二、修理变频器的主要检测仪器	204	参考文献	279
三、变频器修理的一般方法	205		
四、变频器修理的步骤	206		
第2节 变频器主要电路故障分析和处理	208		
一、主回路	208		
二、驱动电路	212		
三、保护电路	215		

上

上篇 实用技术篇

第 1 章 通用变频器电力电子器件及驱动
电路

第 2 章 变频调速基础知识

第 3 章 通用变频器的基本原理

第 4 章 通用变频器应用技术

第 5 章 通用变频器的应用实例


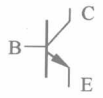
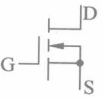
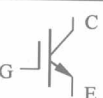
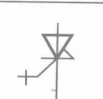
第 1 章 通用变频器电力电子器件及驱动电路

电力电子器件实质上就是大容量、无触点的电流开关，所以也称为电力半导体开关器件。通用变频器主回路中的整流电路和逆变电路就是由电力电子器件构成的。对电力电子器件的基本要求为工作电流大、反向耐压高和开关频率高，同时希望驱动（控制）的信号小（小电流或低电压）。

在通用变频器中，整流电路一般采用整流模块和整流二极管，逆变电路的电力电子器件种类较多。在中小功率通用变频器中，使用最多的是双极型晶体管 BJT（GTR）、绝缘栅双极型晶体管 IGBT 和智能功率模块 IPM 等；在大中功率通用变频器中，使用最多的是门极可关断晶闸管 GTO、集成门极换流晶闸管和绝缘栅双极型晶体管 IGBT 等。

作为通用变频器的基本知识，了解通用变频器中常用的几种电力电子器件的性能及其应用是十分重要的，同时也便于技术人员与维修人员在日常工作中参考。通用变频器常用电力半导体器件见表 1-1。

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、电流及频率范围
门极可关断晶闸管	GTO		电流	最高电压 4 500~6 000V 最大电流 4 000~6 000A 最高频率 1~10kHz
双极型晶体管	BJT (GTR)		电流	最高电压 450~1 400V 最大电流 30~800A 最高频率 10~50kHz
电力场效应晶体管	P-MOSFET		电压	最高电压 1 800~3 300V 最大电流 800~1 200A 最高频率 0.5~200MHz
绝缘栅双极型晶体管	IGBT		电压	最高电压 1 800~3 300V 最大电流 800~1 200A 最高频率 10~50kHz
集成门极换流晶闸管	IGCT		电压 (光控)	最高电压 4 500~6 000V 最大电流 4 000~6 000A 最高频率 20~50kHz
智能功率模块	IPM	将电力电子器件、驱动电路、保护电路、温度检测器件、制动电路、开关器件等集成在一块，其集成内容及功率、型号各智能模块不一		

第1节 功率晶体管 GTR (BJT)

大功率晶体管 GTR 是一种具有发射极 (E)、基极 (B) 和集电极 (C) 3 个极和 2 个 PN 结的半导体器件, 又称双极型晶体管 BJT (BiJunction Transistor)。它的基本特征与一般的 NPN 型晶体管相似, 但扩大了功率容量, 广泛地用在电力电子电路中作导通和关断的器件。

在电力电子应用中, 功率晶体管 GTR 主要工作于开关状态, 要求有较高的开关速度、较大的容量、适当的增益、较小的功耗等, 故 GTR 都采用多个晶体管复合组成的达林顿式大功率晶体管, 以提高电流增益和器件容量。

在通用变频器中使用模块型 GTR, 它将续流二极管、加速二极管、达林顿 GTR 以及散热器放在一起组成 1 个单元、2 个单元、6 个单元。图 1-1 为 2 个单元 GTR 模块, 这样的模块具有体积小、散热均匀、性能价格比高的优点 (当然从维修更换模块的角度, 模块单元越多, 修理成本越高)。

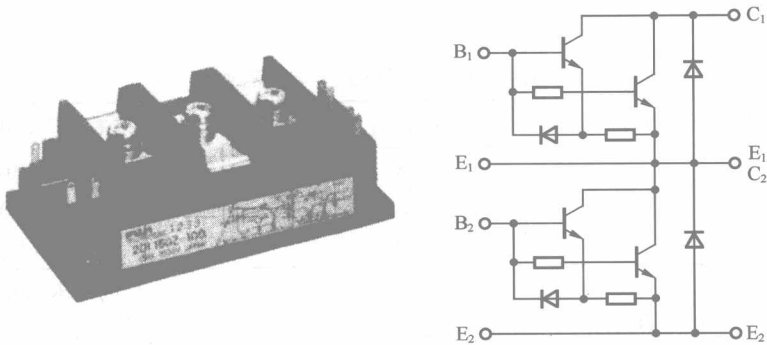


图 1-1 2 个单元 GTR 模块

一、GTR 的特性

晶体管通常接成共发射极电路, NPN 型晶体管的共发射极的连接和伏安特性曲线如图 1-2 所示。其截止区、饱和区和放大区相应于晶体管工作在断态、通态和放大状态。在电力电子电路中, GTR 作为开关器件来使用, 只允许工作在开 (饱和状态) 和关 (截止状态) 2 种状态, 不允许工作在放大状态。因为晶体管内的功耗是 $I_c \cdot U_{ce}$, 饱和状态管压降很小, 截止状态只有很小的漏电流, 所以晶体管功耗也很小, 而在放大区功耗则很大。

图 1-3 为共发射极电路的基极加正脉冲信号后, GTR 由截止状态转为饱和状态的波形, 其集电极电流是 i_c , 集电极压降是 u_{ce} , 此时的动态功耗 P 为

$$P = u_{ce} \cdot i_c$$

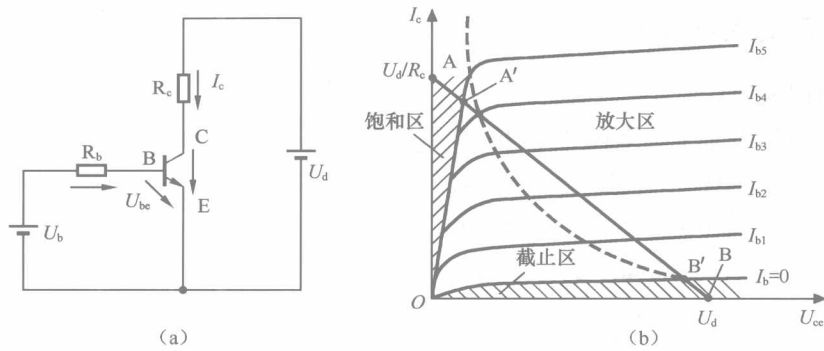


图 1-2 NPN 型晶体管的共发射极连接电路和伏安特性曲线

由于结电容和过剩载流子的存在，集电极电流的变化总是滞后于基极电流的变化，而且波形边缘倾斜。

GTR 由截止到饱和过程所用的时间为开通时间 $t_{gt}(t_{gt}=t_d+t_r)$ 。其中， t_d 对应于发射极的充电过程，在这段时间内 i_c 仍保持截止状态的小电流； t_r 对应于载流子的传输时间，即在接到基极输入信号后经过 t_{gt} 时间，GTR 输出信号才可能达到 $90\%I_{cs}$ （集电极饱和电流）。集电极电压波形在很大程度上取决于负载电流电路。图 1-3 中 P 为晶体管导通过程中内耗的功率变化曲线。

图 1-4 为共发射极电路在饱和状态时基极加负信号、GTR 由导通到关断的变化过程。开始阶段 i_c 不是立即减小，而是要经过 t_s （存储时间），当 i_c 约减到原来的 90% 时， i_c 才开始大幅度减小。从集电极电流减到 $90\%i_c$ 开始直至减到 $10\%i_c$ 所需要的时间称下降时间 t_f ，GTR 由导通状态过渡到关断状态所需的时间称为关断时间 $t_{gq}(t_{gq}=t_s+t_f)$ 。图 1-4 中也表示出了关断过程中的功率损耗 $P=U_{ce} \cdot i_c$ 曲线。从以上两个动态过程中可以看出 P 与时间轴包围的面积为动态能量损耗，它会转化成热能，造成 PN 结发热，管温升高。显然缩短开关过程可降低能耗，增加基极电流对缩短开通时间有效。为减小饱和状态形成的电荷过剩储存，当饱和后应控制基极电流或使用抗饱和电路，使 GTR 导通时处于准饱和状态，这对降低能耗也很有效。

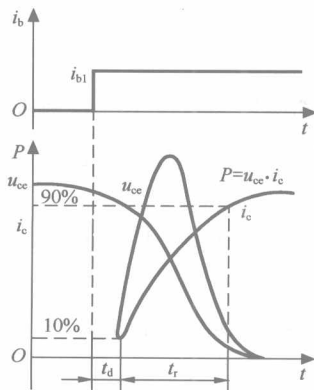


图 1-3 导通过程图

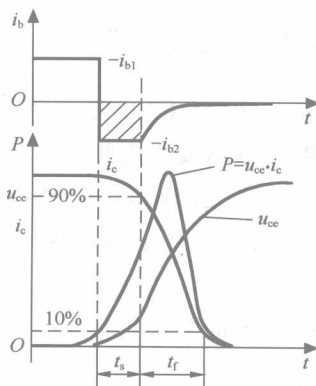


图 1-4 关断过程图

二、GTR 的主要参数

(1) 开路阻断电压 U_{ce0}

开路阻断电压 U_{ce0} 是指基极开路时, 集电极和发射极之间的反向击穿电压。它比其他几种击穿电压都要低, 如图 1-5 所示。开路阻断电压 U_{ce0} 体现了 GTR 的耐压能力。在通用变频器中, 用于 220V 交流电网时, GTR 选用 600V 等级; 用于 380V 交流电网时, GTR 选用 1 200V 等级, 使用时留有一定的余量, 以保证 GTR 安全工作。

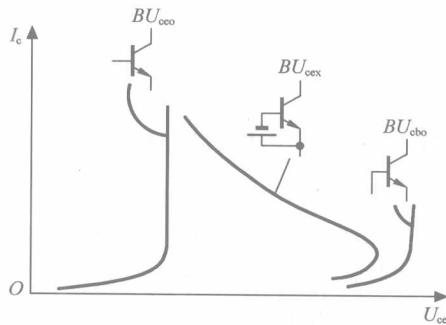


图 1-5 GTR 的击穿特性

(2) 集电极最大持续电流 I_{cm}

当基极正向偏置时, 集电极允许流入的持续导通 (而非脉冲) 的最大电流值, 称为集电极最大持续电流 I_{cm} 。

(3) 电流放大倍数 h_{fe}

电流放大倍数定义为集电极电流与基极电流的比值, 也称为电流增益或电流传输比。

(4) 开关频率 f_m

通常 GTR 的使用说明中未给出开关频率这个参数, 但给出了开通时间 t_{qt} 、存储时间 t_s 和下降时间 t_f 。根据这些数据和 GTR 导通、关断过程的特性可以估算出开关频率。

(5) 最高工作结温 t_m

GTR 结温过高时, 会导致热击穿而损坏。 t_m 是晶体管能正常工作的最高允许结温。

三、GTR 的驱动电路

在实际应用中, GTR 的基极驱动电路种类很多, 但都应该满足以下几点要求。

① GTR 开通时要采用强驱动, 即应有一定的过饱和和前沿较陡的驱动电流, 以缩短开通时间, 减小开通功耗, 过饱和系数一般为 1.5~2。

② GTR 导通后应相应减小驱动电流, 使 GTR 处于准饱和状态, 以降低驱动功耗, 减小存储时间。

③ GTR 关断时要提供较大的反向基极电流, 以迅速抽取基区的剩余载流子, 缩短关断时间, 反向驱动系数一般为 1~2。

④ GTR 关断期间要维持一定的反向偏置电压, 在 GTR 开通前, 反向偏置电压应为 0。

⑤ 对驱动电路应采取措施使主电路和控制电路隔离，同时应设置自动保护，防止 GTR 因过电流而进入线性工作区，以免功耗过大发热而损坏。

GTR 驱动电路按其基极电流的控制方式可分为恒流驱动和比例驱动两大类，理想的基极驱动电路基极电流波形如图 1-6 所示。恒流驱动方式使驱动电路提供的基极电流保持不变，GTR 的饱和深度随负载电流的变化而变化，势必在轻载和空载时使饱和深度增加，存储时间延长，开关频率下降。比例驱动电路使基极电流随集电极电流的变化而自动调整，维持 GTR 的饱和深度基本不变，弥补了恒流驱动的优点，但是，比例驱动电路相对恒流驱动复杂些。下面介绍几种典型的实用驱动电路。

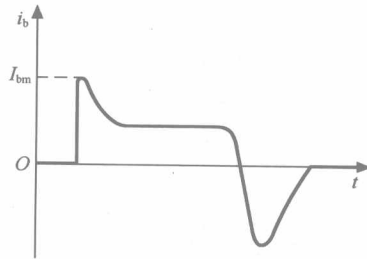


图 1-6 理想的基极驱动电路基极电流波形

(1) 恒流驱动电路

图 1-7 (a) 为较简单的恒流驱动电路。当输入信号 u_i 为低电平时，光电耦合器（简称光耦器）VL 导通，晶体管 VT_1 、 VT_2 截止，在瞬间电容 C 两端电压 U_C 为 0。

GTR 的基极电流 I_{bm} 为：

$$I_{bm} = \frac{V_{cc} - U_{be(on)}}{R_4} \quad (1-1)$$

当电容充电结束后，GTR 的基极电流经过 R_5 ，其值 I_b 为

$$I_b = \frac{V_{cc} - U_{be(on)}}{R_4 + R_5} \quad (1-2)$$

只要保证 $I_b > I_c / \beta$ ，GTR 就可维持在饱和导通状态。这时电容 C 两端的电压 U_C 为

$$U_C = \frac{V_{cc} - U_{be(on)}}{R_4 + R_5} R_5 \quad (1-3)$$

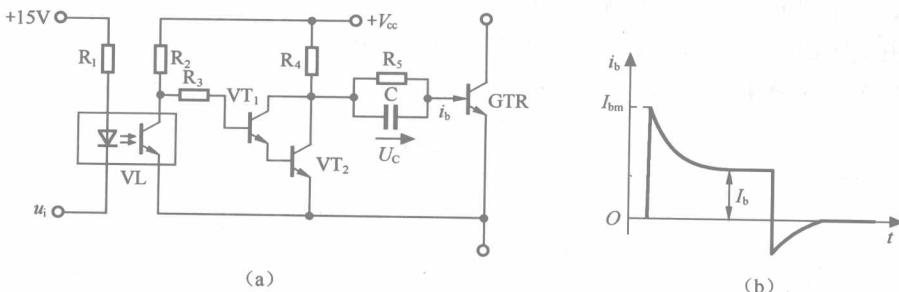


图 1-7 恒流驱动电路及基极电流波形

当 u_i 为高电平时, 光耦合器 VL 截止, 晶体管 VT_1 、 VT_2 导通, 电容 C 放电, U_C 反向加于 GTR 基极-发射极之间, 加速 GTR 关断。

电容 C 在 GTR 导通和关断过程中都起到了加速的作用, 称为加速电容。图 1-7 (b) 所示为有加速电容时的基极电流波形。

(2) 比例驱动电路

图 1-8 所示为比例驱动电路。驱动电路中二极管 VD_2 、 VD_3 和 GTR 组成抗饱和电路。当轻载时, GTR 的饱和深度增加而使饱和压降 U_{ces} 减小, 二极管 VD_2 导通, GTR 基极电流中的一部分流入 GTR 的集电极, 从而减小 GTR 的饱和深度; 当过载或集电极电流增大时, GTR 的 U_{ces} 增加, 原来经 VD_2 旁路的电流又自动回到 GTR 基极, 确保 GTR 始终保持饱和导通状态, 这样可使 GTR 在负载变化时, 饱和深度基本不变。 VT_6 、 R_5 、 C_2 、二极管 VD_4 和 VD_5 以及稳压管 VZ_1 的作用是使 GTR 截止时, 基极-发射极之间获得反向电压, 加速 GTR 的关断。 VZ_1 的稳压值为 $2\sim 3V$, 其反偏压过低, 加速关断不明显, 过高又可能损坏 GTR。

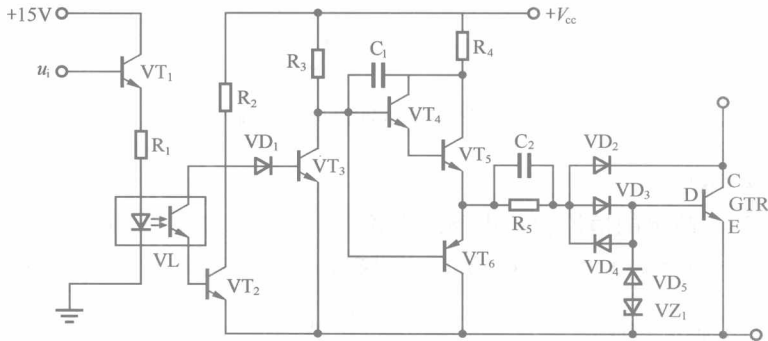


图 1-8 比例驱动电路

当输入信号 u_i 为高电平时, 晶体管 VT_1 、 VT_2 及光耦合器 VL 导通, 晶体管 VT_3 截止, VT_4 和 VT_5 导通, VT_6 截止, GTR 饱和导通。电容 C_2 起加速作用, 当充电结束后 C_2 两端的电压为 U_C 。负载减轻时抗饱和电路作用, 保持 GTR 饱和深度基本不变。

当输入信号 u_i 为低电平时, VT_1 、 VT_2 、VL 截止, VT_3 导通, VT_4 和 VT_5 截止, VT_6 导通, 电容 C_2 通过 VT_6 和稳压管 VZ_1 、二极管 VD_5 使 GTR 提供一定的反偏压, 经过二极管 VD_4 抽取多余载流子以加速截止。

(3) 集成模块驱动电路 (简称驱动模块)

在通用变频器中常见的驱动模块有 EXB356、EXB357、VAA4002、M57215BL 等。下面介绍 EXB357 驱动模块, 表 1-2 为 EXB357 驱动模块的电性能。

表 1-2 EXB357 驱动模块的电性能

名称	符号	最小值	最大值	单位
延迟时间	t_d	—	5.0	μs
上升时间	t_r	—	1.5	μs
存储时间	t_s	—	5.0	μs

