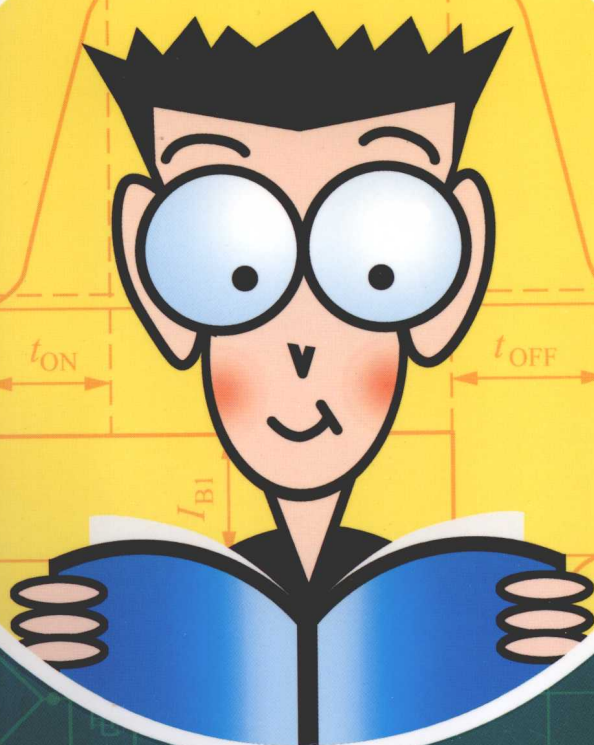


XIAOSUN XUE BIANPIN

小孙学变频 II

张燕宾 张志奇 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

013046916

TN773

57

V2

XIAOSUN XUE BIANPIN

小孙学变频 II

张燕宾 张志奇 编著



TN 773
57 V2



北航

C1652667



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是《小孙学变频》一书的续编,介绍了变频器内部器件和控制特点,主要内容包括电力电子器件及其驱动电路、变频器内部控制电路中的开关电源、采样电路、CPU的外围电路、变频器的维修以及交—直—交电流型变频器和交—交变频器的基本原理等。

本书可作为工矿企业中使用变频器的工程技术人员的工作参考,还可作为大专院校师生们的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

小孙学变频. 2/张燕宾,张志奇编著. —北京:中国电力出版社,2013.2

ISBN 978-7-5123-4052-7

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 029098 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 7 月第一版 2013 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.25 印张 320 千字

印数 0001—3000 册 定价 32.00 元

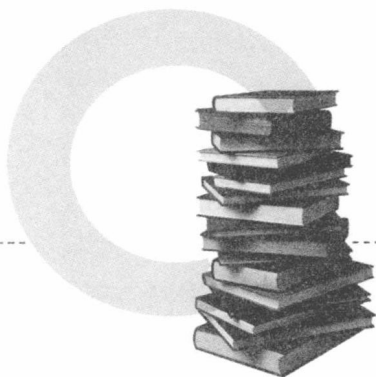
敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言



拙作《小孙学变频》出版后，颇受读者青睐，不少读者希望我用这种形式继续写一点他们想要了解的内容。例如，关于变频器内部控制电路的内容、关于变频器维修方面的内容等，又有读者提出了更多的要求，如能不能把电力电子器件及其驱动电路的内容，甚至希望用这种方式写一点关于电流型变频器和交—交变频器方面的内容，作为一个写作者，本来就是为读者服务的，当然要尽量满足广大读者的要求，于是就有了《小孙学变频 II》。

《小孙学变频》主要介绍了变频器的主电路，变频调速的带负载能力，变频调速系统的加、减速及保护功能，变频调速系统的设计，变频拖动系统的应用，以及各类常用生产机械的变频调速实例。在此学习的基础上，《小孙学变频 II》重点讲述了电力电子器件、IGBT 及其驱动电路、变频器里的开关电源、变频器里的采样与保护、变频器里 CPU 的外围电路、几种特殊变频器、变频器的维修，以及变频器跳闸原因分析等内容。

在写作过程中，我有几点体会：

(1) 有些内容，我在其他的著作中已经写过，这次再写，常常会有所进步，对同一问题的认识，也会更加深入。我想，这大概就是所谓的举一反三吧。

(2) 因为要用学员提问题的方式来写，我必须常常用一种初学者可能产生的疑问来思考问题，其后果是，能够对某些细节讲解得更加透彻。

(3) 在讲解比较复杂的电路时，必须尽可能地进行分解，并力争形象化。

在每一本著作完成之后，总会留下一些遗憾。主要有以下方面：

由于我的美术细胞十分欠缺，加之对电脑作图方面的知识也不足，所以不够活泼；

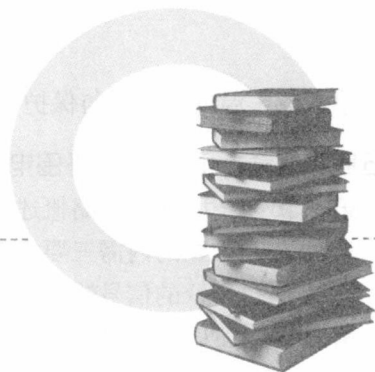
由于内容涉及的面很广，在系统性方面多少显得有点零乱。

除此以外，限于作者水平，错误之处也在所难免，敬请读者们批评指正。

作者



目 录



前言

第一章 电力电子器件	1
第一节 电力二极管.....	1
第二节 晶闸管概述.....	4
第三节 晶闸管的触发电路.....	8
第四节 可关断晶闸管	13
第五节 电力晶体管	15
第六节 电力场效应管	21
第二章 IGBT 及其驱动电路	26
第一节 IGBT 的基本特点	26
第二节 IGBT 对驱动电路的要求	31
第三节 IGBT 的分立元件驱动电路	35
第四节 EXB 驱动模块	37
第五节 其他系列驱动模块	42
第六节 IGBT 智能模块	48
第三章 变频器里的开关电源	51
第一节 从变频器的控制框图说起	51
第二节 开关电源原理和优点	55
第三节 变频器里开关电源的特点	63
第四节 由分立元件构成的振荡电路	67
第五节 集成振荡芯片	71
第六节 开关电源实例分析	78
第四章 变频器里的采样与保护	83
第一节 小信号处理电路	83
第二节 电流的采样	97
第三节 过电流保护.....	102
第四节 过电压的检测与保护	107
第五节 缺相的检测.....	111

第六节 温度的采样与保护	114
第五章 变频器里 CPU 的外围电路	119
第一节 CPU 外围电路概述	119
第二节 CPU 的内需三要素	122
第三节 CPU 的信号输入电路	126
第四节 CPU 的信号输出电路	132
第五节 变频器的显示电路	136
第六章 几种特殊变频器	140
第一节 有源逆变的概念	140
第二节 交一直一交电流型变频器	143
第三节 电流型逆变桥的换流过程	145
第四节 交—交变频器	153
第五节 安川变频器的整流和逆变	158
第七章 变频器的维修	162
第一节 主电路的维修	162
第二节 驱动电路的维修	168
第三节 开关电源的维修	171
第四节 变频器外围电路的故障	176
第五节 变频调速系统的调试	178
第六节 变频器维修实例	185
第八章 变频器跳闸原因分析	190
第一节 代码 OL 跳闸的原因分析	190
第二节 代码 OC 跳闸的原因分析	195
第三节 代码 OV 跳闸的原因分析	201
第四节 代码 LV 跳闸的原因分析	204
第五节 代码 OH 跳闸的原因分析	206
第六节 控制电路的故障跳闸	208
附录 A 变频器中常用电力电子器件的数据	211
附录 B 变频器中常用微电子器件的数据	216
附录 C 变频器常见故障代码示例	220



小孙问：“所谓电力电子器件，是不是指耐压、电流和功率都比较大的电子器件？”

张老师说：“也可以这么理解。你原来熟悉的半导体器件，都是用在低电压、小功率的弱电电路中的。近年来，随着变流技术的飞速发展，半导体器件已经能够应用到高电压、大电流的强电路中了，形成了一门新的学科——电力电子技术。能够应用在电力电路中的半导体器件，就称为电力电子器件。”

第一节 电力二极管



电力二极管的主要特性

张老师说：“电力二极管和普通二极管的结构基本相同，只是 PN 结的面积较大而已。所以，其主要特性也和普通二极管相同。你比较熟悉，就说说吧。”

根据惯例，小孙知道这是要他讲的。所以，事先已经作了准备。

1. 伏安特性

小孙不慌不忙地拿出了图 1-1，然后说：“所谓伏安特性，是指通过二极管 VD 的电流 I_D 和外加电压 U 之间的关系。”

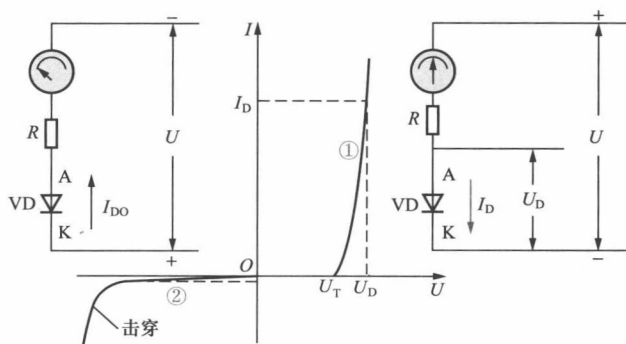


图 1-1 二极管的伏安特性

(1) 正向特性。当二极管两端施加的正向电压小于 U_T 时，电路内没有电流流过， U_T 称为死区电压，或门槛电压，对于硅管， U_T 约为 0.6V。当外加电压逐渐增大时，电流将



迅速增大,如图 1-1 中的曲线①所示。电流 I_D 的大小取决于外电路的电压和电阻,硅管在正向导通时的管压降约为 $0.7V$ 。”

“对于电力二极管,导通时的管压降要高一些,可达 $1\sim 2V$ 呢。”张老师补充说。

(2) 反向特性。小孙接着说:“当二极管两端施加反向电压时,二极管基本上处于截止状态,只有少量的漏电流 I_{DO} , 约只有 $20nA$ 左右,如图 1-1 中的曲线②所示。当反向电压增大到一定程度时,反向电流将急剧增加,二极管将因被击穿而损坏。还要讲其他特性么?”

张老师说:“对于电力二极管来说,因为 PN 结两侧的极板面积较大,且通过的电流也大,所以,结电容的影响不能忽视,如图 1-2 (a) 中的 C 所示。所以有如下特性。

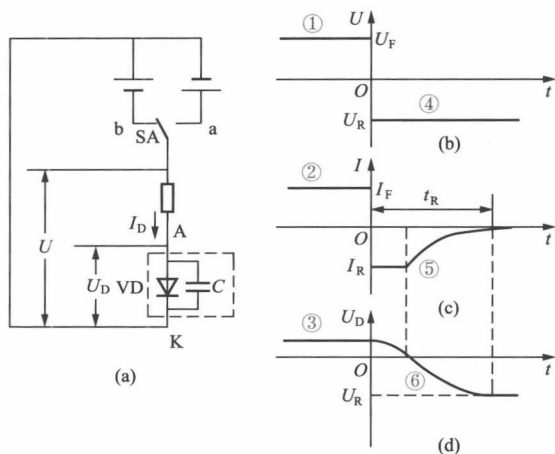


图 1-2 电力二极管的关断特性

(a) 电路; (b) 外加电压; (c) 电流; (d) 管压降

2. 关断特性

(1) 正向导通过程。当图 1-2 中的开关 SA 合到 a 侧时,VD 施加正向电压,如图 1-2 (b) 中的曲线①所示,VD 导通,电路中的电流为 I_F ,如图 1-2 (c) 中的曲线②所示,结电容 C 充电。VD 的管压降如图 1-2 (d) 中的曲线③所示。

(2) 反向关断过程。当把 SA 合到 b 侧时,VD 施加反向电压,如图 1-2 (b) 中的曲线④所示。这时,VD 截止,但反向电压将向结电容充电,所以有反向充电电流,此电流将很快衰减,如图 1-2 (c) 中的曲线⑤所示。VD 的管压降将首先逐渐减小到 0,然后上升到反向电压 U_R 。

这里需要注意的是,当我们在分析关断过程的电流和电压时,二极管和结电容是一个整体的二极管。

我们得到的一个重要结论是,二极管在关断过程中,是存在着反向电流的。二极管存在反向电流的时间 t_R 称为反向恢复时间,如图 1-2 (c) 所示。

关于二极管的主要参数,你应该是比较熟悉的吧。”



二极管的主要参数

1. 额定电流

小孙虽然写下了上述标题,却又提了个问题:“额定电流应该是允许通过的最大电流。可是,书上却说,是在结温不超过允许值的前提下,允许长时间通过的正弦半波电流的平均值。为什么是正弦电流的平均值?又为什么是半波的平均值?”

张老师说:“在低压电子电路中,二极管除了用于整流外,还可以在直流电路里用于

钳位、稳压等场合。而普通的电力二极管却主要用于整流，它在工作过程中通过的是正弦半波电流。”

“可是，我们只知道正弦电流的有效值呀。”小孙说。

“当然会有一个换算关系的，正弦电流的有效值和半波电流的平均值之间的关系是：

$$I_S = 1.57 I_D \quad (1-1)$$

式中 I_S ——正弦电流的有效值，A；

I_D ——半波电流的平均值，A。

例如，二极管的额定电流是 100A，实际可以用到正弦电流为 157A 的电路中。”

2. 反向重复峰值电压

小孙说：“反向重复峰值电压是指二极管允许施加的最大反向电压，用 U_{RRM} 表示。如果外加电压超过了 U_{RRM} ，二极管将被击穿。”

张老师说：“事实上，额定数据中的 U_{RRM} ，只有击穿电压的 2/3。为了留有余地，在实际工作中，常常按实际承受的最大峰值电压的两倍来选择二极管。”

3. 反向恢复时间

小孙说：“上面已经说过，当二极管施加反向电压时，存在反向电流的时间 t_R 称为反向恢复时间，对吧？”

张老师说：“反向恢复时间严格的定义是：当二极管施加反向电压时，其电流从起始点到反向电流衰减到最大反向电流的 10% 所需要的时间。

主要的参数就说到这里吧。下面再介绍一种重要的二极管吧。



开关二极管

开关二极管也叫快恢复二极管。普通二极管的反向恢复时间约为 $25\mu s$ 左右，快恢复二极管的反向恢复时间在 $5\mu s$ 以下，超快恢复二极管的反向恢复时间则低于 $50ns$ 。”

“这种快恢复二极管在整流电路里有什么好处？”小孙问。

张老师说：“当然不是用在普通的整流电路里。但是，在我们以前讨论过变频器的主电路里，逆变管旁边不是要反并联一个二极管吗？而逆变电路的最高工作频率可达 15kHz，在这样高频的电路里工作时，二极管的反向恢复时间必须越短越好。”

小孙的笔记



1. 电力二极管由面积较大的 PN 结构成。
2. 电力二极管在施加正向电压时，电压需超过死区电压才开始导通。导通后的管压降约 1~2V。如施加反向电压，则截止，反向漏电流只有 20nA 左右。
3. 由于电力二极管结电容的作用，在反向截止时，会有反向的充电电流，所以有反向恢复时间。
4. 电力二极管因为主要用于整流，故其额定电流用正弦半波电流的平均值来定义。
5. 开关二极管也叫快恢复二极管，主要特点是反向恢复时间很短，可以用在高频电路里，例如，变频器逆变电路里的反并联二极管，就应该用开关二极管。

第二节 晶 闸 管 概 述

基本结构与原理

根据张老师的要求，小孙事先已经对有关晶闸管的知识进行了预习。他说：“我过去维修过直流电动机的调速设备，对晶闸管多少有些了解。”

1. 基本结构

晶闸管具有四层 PN 结构和三个引出端：阳极 A、阴极 K 和门极（控制极）G，如图 1-3 (a) 所示，其图形符号如图 1-3 (b) 所示。

晶闸管具有三个 PN 结 J1、J2、J3，如图 1-3 (a) 和图 1-3 (c) 所示。其中，J1 和 J3 是正向偏置的，J2 则处于反向偏置状态。

晶闸管可以看成是由两个三极管 VT1 和 VT2 构成，其等效电路如图 1-3 (c) 所示。

2. 基本工作原理

当门极上没有信号 [相当于图 1-3 (c) 中的 S 处于断开状态] 时，因为 J₂ 结是反偏的，所以，晶闸管处于阻断状态。

当门极上加入正向信号 U_G [相当于图 1-3 (c) 中的 S 闭合] 时，VT2 因得到基极电流而导通，VT2 的集电极电流 I_{C2} 是 VT1 的基极电流，因而 VT1 导通。VT1 的集电极电流 I_{C1} 又是 VT2 的基极电流，于是，从阳极到阴极就处于导通状态。

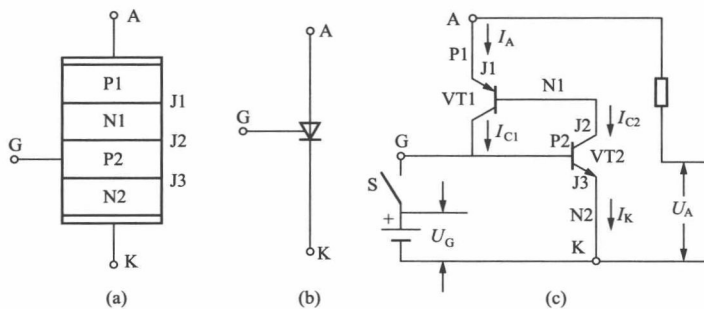


图 1-3 晶闸管的基本结构

(a) 基本结构；(b) 图形符号；(c) 等效电路

如果再撤消门极上的控制信号 [相当于把图 1-3 (c) 中的 S 断开]，则因为 VT1 和 VT2 互相提供基极电流，晶闸管仍处于导通状态。这种现象，称为擎住。

如要关断晶闸管，须将阳极电压 U_A 降到 0，或反向成负电压，使晶闸管的阳极电流小于其维持电流，晶闸管才能截止。



晶闸管的工作特点

1. 在直流电路里的工作特点

晶闸管接在直流电路中的情形如图 1-4 所示, U_C 为电源电压, HL 是负载, VT 是晶闸管, U_A 是管压降。

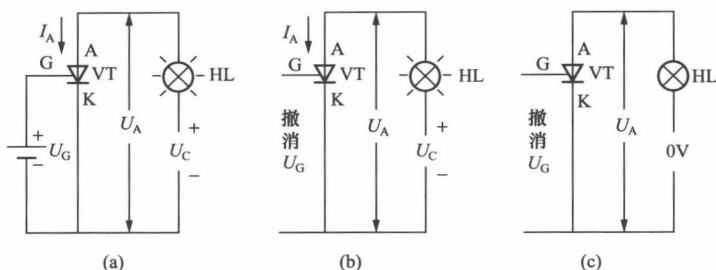


图 1-4 晶闸管在直流电路中的工作特点

(a) 门极加 U_G ; (b) 撤消 U_G ; (c) 再撤消 U_C

当门极与阴极之间加入正电压信号 U_G 时, VT 导通, 如图 1-4 (a) 所示。

当门极与阴极之间撤消 U_G 时, VT 将继续保持导通状态, 如图 1-4 (b) 所示。

如果再撤消 U_C , 则阳极电流为 0A, 晶闸管截止, 如图 1-4 (c) 所示。

2. 在交流电路里的工作特点

假设阳极电路所加的电压 u_C 是正弦电压, 门极 u_G 上施加的是触发脉冲, 如图 1-5 (a) 所示。

如上所述, 晶闸管需在门极上施加足够大的触发信号 u_G , 才开始导通。由于导通之后就不再受触发信号的控制, 所以, 触发信号可以是短暂的脉冲信号。

晶闸管接在交流电路中的情形如图 1-5 所示, u_C 为交流电压, R_L 是负载。

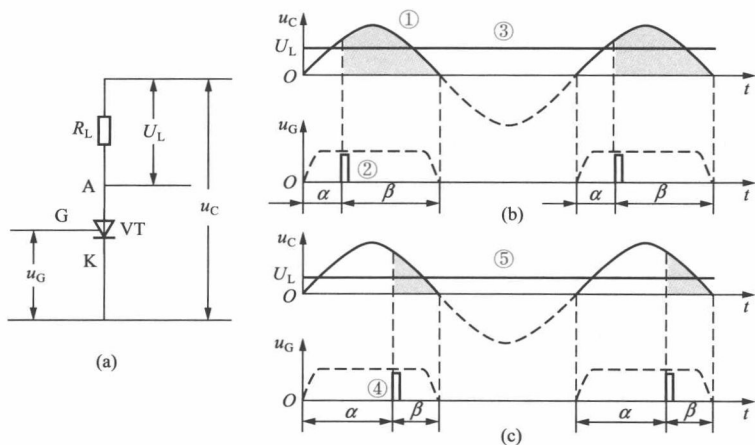


图 1-5 晶闸管工作特点

(a) 晶闸管电路; (b) 移相角小; (c) 移相角大



在 u_c 的正半周, 如在门极与阴极之间加入触发脉冲 u_G , 如图 1-5 (b) 中的曲线②所示, 则 VT 导通, 如图中的曲线①所示; 当 u_c 过 0 时, VT 截止; 在 u_c 的负半周, 由于阳极与阴极之间施加的是反向电压, 故 VT 保持截止状态。

从晶闸管开始承受正向电压, 到出现触发脉冲之间对应的电角度 α 称为移相角, 而和晶闸管在半个周期内导通时间所对应的电角度称为导通角, 用 β 表示。比较图 1-5 (b) 和图 (c) 可知: α 较小时, β 较大, 负载上得到的平均电压 U_L 也较大; 反之, 如增大移相角 α , 则 U_L 较小。

3. 桥式可控整流

(1) 电阻负载。图 1-6 所示是单相桥式整流电路, 整流后的电压波形如图 1-6 (b) 和图 (c) 所示。

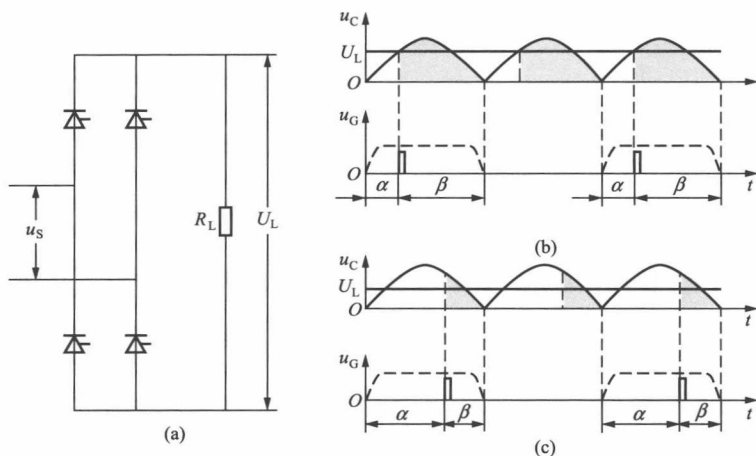


图 1-6 单相桥式可控整流

(a) 桥式整流电路; (b) 移相角小; (c) 移相角大

当移相角较小而导通角较大时, 负载所得到的平均电压较大, 如图 1-6 (b) 所示;

反之, 如移相角较大而导通角较小时, 负载得到的平均电压较小, 如图 1-6 (c) 所示。

所以, 可以得到两个结论:

- 1) 采用晶闸管整流, 可以很方便地调整整流后得到的平均电压;
- 2) 调整平均电压的方法, 是改变移相角的大小。所以, 如何控制触发脉冲, 就是一件十分关键的事情。

您有补充吗?”

(2) 电感负载。张老师说: “你只提到了电阻负载的情况, 如果负载是一个大电感呢?”

负载是大电感的特点是, 当电压过 0 时, 因为电感的自感电动势的作用, 晶闸管 SCR1 并不关断, 电路内将出现反方向的电流, 直到电源电压反向, SCR2 被触发导通时, A 点电位升高, 才迫使 SCR1 关断。

如 $\alpha \leq 90^\circ$, 则负载所得平均电压为 ‘+’, 如图 1-7 (b) 中的曲线①所示;

如 $\alpha \geq 90^\circ$, 则负载所得平均电压为 ‘-’, 如图 1-7 (c) 中的曲线②所示。

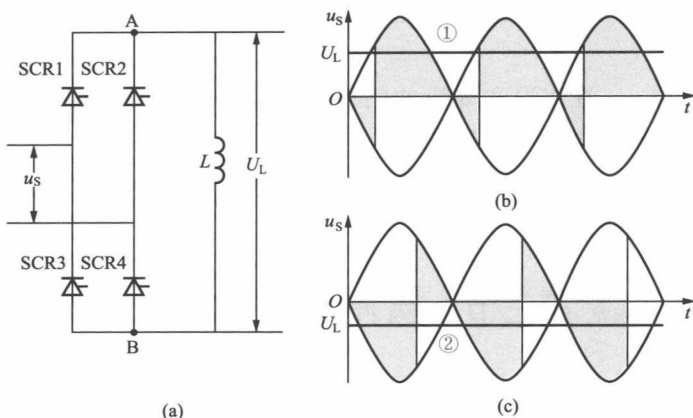


图 1-7 桥式整流带电感负载

(a) 整流电路；(b) 移相角较小；(c) 移相角较大

上述概念和结论十分重要，以后要用到。”

小孙说：“下面该介绍晶闸管的参数了。”



晶闸管的主要参数

1. 电压参数

(1) 断态重复峰值电压 U_{DRM} 。指在门极开路 and 额定结温下，允许重复施加在晶闸管上的正向峰值电压。

(2) 反向重复峰值电压 U_{RRM} 。指在门极开路 and 额定结温下，允许重复施加在晶闸管上的反向峰值电压。

(3) 通态电压 U_{TM} 。指晶闸管在通以两倍额定电流时的瞬时峰值电压（管压降）。

2. 电流参数

(1) 通态平均电流 I_T 。指晶闸管在环境温度为 40°C 和规定的散热条件下，结温不超过额定结温的最大工频正弦半波电流的平均值。和二极管一样，正弦电流的有效值和半波电流的平均值之间的关系是： $I_S = 1.57 I_D$ 。

(2) 维持电流 I_H 。是在晶闸管已经导通的情况下，能够维持其继续导通的最小阳极电流。如阳极电流小于 I_H ，晶闸管将关断。这也是为什么阳极电压等于 0 就能够关断晶闸管的原因。

(3) 擎住电流 I_L 。晶闸管从断态刚转入通态并撤消触发信号后，能够维持导通的最小电流。通常，擎住电流约为维持电流的 2~4 倍。

3. 门极参数

(1) 门极触发电流 I_{GT} 。 I_{GT} 是在允许环境温度下，以及阳极和阴极间施加一定正向电压的前提下，晶闸管从断态到完全开通所必需的门极电流。

(2) 门极触发电压 U_{GT} 。 U_{GT} 是在允许环境温度下，以及阳极和阴极间施加一定正向



电压的前提下,晶闸管从断态到完全开通所必需的最小门极电流。

4. 动态参数

(1) 开通时间 t_{ON} 。在室温和规定的门极触发信号作用下,从门极触发脉冲前沿的 10% 到阳极电流上升到 90% 所需的时间。

(2) 关断时间 t_{OFF} 。从通态电流下降至 0 到晶闸管能够承受规定的断态电压所需的时间。”

第三节 晶闸管的触发电路

小孙问:“上面说过,晶闸管只需在门极上施加足够大的触发信号 u_G , 就可以导通。导通之后就不再受触发信号的控制,所以,触发信号可以是短暂的脉冲信号。它的触发电路实际上也就是产生脉冲的电路,对不对?”

张老师说:“是的,最简单的是利用单结晶体管的触发电路。”

小孙说:“单结晶体管我用过,但对它的结构和原理却记不准了。”

张老师说:“我们作一个简单介绍吧。”



单结晶体管概况

1. 结构和等效电路

单结晶体管的结构如图 1-8 (a) 所示,在 N 型硅片上引出两个电极,分别称为第一基极 B_1 和第二基极 B_2 , 故也称为双基极晶体管,硅片的两个基极之间的电阻为 $3 \sim 10\text{k}\Omega$; 在两个基极中间靠近 B_2 处掺入 P 型杂质,形成 PN 结,并引出电极称为发射极 E。等效电路如图 1-8 (b) 所示,在电路中的符号如图 1-8 (c) 所示。

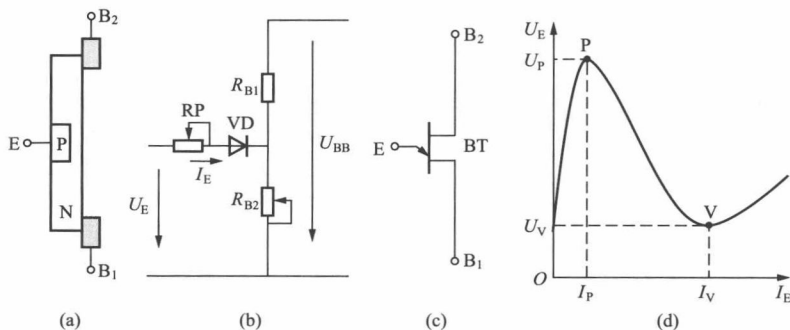


图 1-8 单结晶体管

(a) 结构; (b) 等效电路; (c) 符号; (d) 基本特性

2. 发射极的伏安特性

伏安特性是在 B_1 和 B_2 之间施加固定电压 U_{BB} 的情况下,发射极的电压 U_E 与电流 I_E 之间关系的特性曲线,如图 1-8 (d) 所示。 U_E 刚开始增大时,等效电路里的 VD 尚未导

通,基极电流 I_E 很小;当 U_E 增大到峰值电压 U_P 时出现转折,发射极电流 I_E 迅速增加。随着 I_E 的增大, U_E 反而下降。当 I_E 增加 I_V 到后, U_E 下降到 U_V , I_E 如再增加, U_E 又将上升, U_V 称为谷点电压。”



单结晶体管触发电路

1. 触发脉冲的形成

对于单结晶体管的触发电路,小孙还记得。当张老师拿出了图 1-9 时,他就抢着说:“这个电路我知道,产生触发脉冲的电路如 1-9 (a) 所示,电源电压(图中为 15V)通过电位器 RP 向电容器 C 充电,当充电到 $U_E \geq U_P$ 时,EB1 结导通,电容器 C 通过 EB1 结放电, R_2 上就得到脉冲信号 u_{B1} ,如图 1-9 (b) 所示。

上述过程将无休止地反复进行,故又称为自激振荡。

调节电位器 RP,就调节了 C 的充电速度和到达 $U_E \geq U_P$ 的时刻,也就调节了脉冲与脉冲之间的间隔时间。

对不对?”

张老师说:“还有一个很重要的问题,是:

2. 触发脉冲和主电源的同步

(1) 同步的必要性。图 1-10 (a) 所示是一个利用晶闸管进行半波整流的电路。如果触发脉冲和主电路之间不同步的话,则在主电路电压每次进入正半周后,晶闸管被触发导通的时刻都不相同,整流后的平均电压也都不一样,如图 1-10 (b) 和图 (c) 所示。

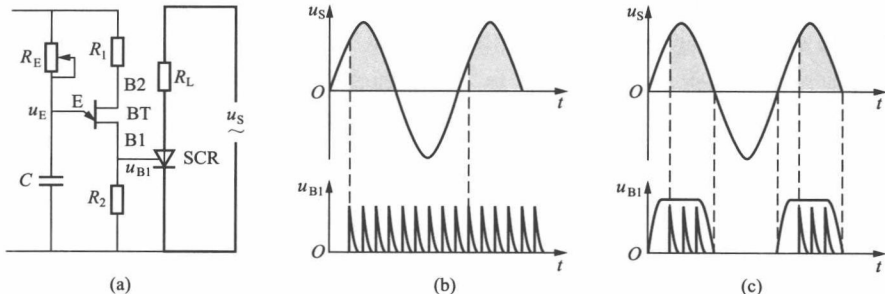


图 1-10 同步的概念

(a) 触发电路; (b) 不同步时; (c) 同步时

所谓同步控制,是使主电路电压进入正半周后,才开始产生触发脉冲,而每次的第一个脉冲和主电压过 O 点之间的时间间隔都相同,从而每半波的平均电压也都相等。



实现同步的电路你还记得吗?”

(2) 同步的实施。小孙说:“要实现同步其实非常简单,只需让触发电路的电源和主电源的频率相同就可以了。在图 1-11 (a) 中,由晶闸管进行半波整流的电源电压 u_s 的波形如曲线①所示,触发电路的电源是经变压器 T1 降压所得,其一次电压就是 u_s , 所以,是和 u_s 同步的,如图 1-11 (b) 中的曲线②所示。”

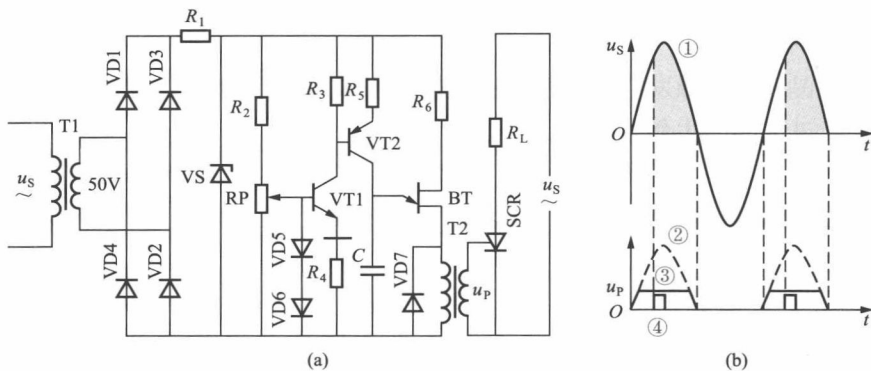


图 1-11 同步的实施

(a) 触发电路; (b) 触发脉冲

(3) 削波的作用。小孙问:“这里有一个稳压管 VS, 会不会把后面电路的电压变成稳定的直流电压了?”

张老师说:“可是, 这里并没有滤波电容啊。所以, 并不影响电压的过 0。稳压管的作用只是把电压的上面部分削平了, 如图 1-11 中的曲线③所示, 称为削波。”

“为什么要削波呢?” 小孙又问。

张老师说:“削波的作用主要有三个: 一是可以扩大移相的范围; 二是使触发脉冲的幅值基本相同; 三是减小了电源电压波动时对移相角的影响。”

下面, 你来分析产生触发脉冲和移相的原理吧。”

(4) 触发脉冲的产生。小孙略思索了一会儿, 说:“产生触发脉冲的核心, 是电容器 C 的充、放电。电容器是通过 R_5 和 VT2 充电的, 调节电位器 RP, 就先后调节了 VT1 和 VT2 的集电极电流, 也就调节了 C 的充电速度, 从而实现了移相。”

为什么现在在中小容量变频器里, 都不用晶闸管作逆变管了呢?” 小孙问。

张老师说:“我们首先来看看用晶闸管作逆变管时, 逆变电路及其效果吧。”

由晶闸管构成的逆变电路如图 1-12 (a) 所示, 二极管 VD1~VD6 用于阻隔电动机的反电动势, U_D 是直流回路的电压, 设平均值为 $U_D=513V$ 。

我们已经知道, 晶闸管在直流电路中不具有自行关断的能力。要想关断已经导通的晶闸管, 必须令晶闸管的阳极和阴极之间的电压为 0, 或加入反向电压。

图 1-12 (a) 的大致工作情形如下:

假设晶闸管 VT1 已经处于导通状态, 这时, A_1 点的电位与直流正端 (P 端) 相同, 而如果 VT3 和 VT5 都处于截止状态的话, 则 B_1 点和 C_1 点都是 0 电位。如要关断 VT1, 必须令 VT3 或 VT5 导通, 今假设 VT3 导通。在 VT3 导通的瞬间, B_1 点的电位突然上

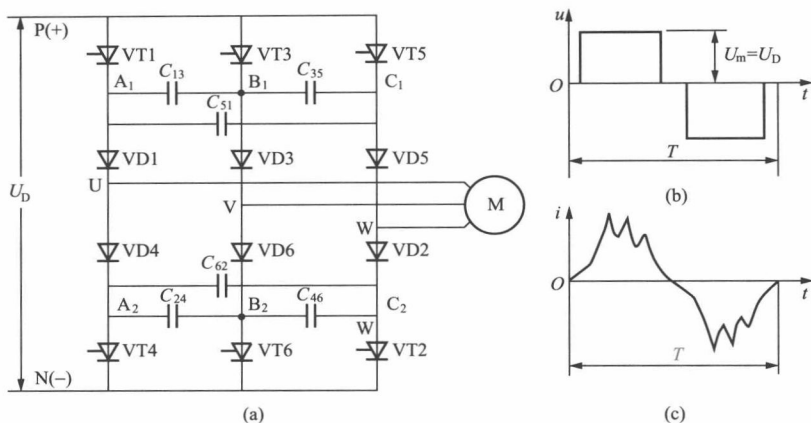


图 1-12 晶闸管逆变电路

(a) 逆变电路; (b) 输出电压波形; (c) 电动机电流波形

升 513V, 由于电容器 C_{13} 两端的电压是不能跃变的, 故 A_1 点的电位也同时上升 513V, 使 VT1 的阴极电位高于阳极电位, 从而迫使 VT1 截止。

由于晶闸管逆变桥是由同一侧的晶闸管相互关断的, 所以, 输出的电压波是矩形波, 如图 1-12 (b) 所示; 而电动机的电流波则如图 1-12 (c) 所示。

晶闸管变频器中, 用于相互关断的电容器要求电压较高、容量也较大, 故价格昂贵。并且在不同的负载电流下, 晶闸管的关断条件也并不一致, 影响了工作的可靠性。除此以外, 输出电压和电流具有很大的谐波成分。所以, 晶闸管虽然使变频调速成为了可能, 首先实现了近百年来人们对于变频调速的企盼。但并未达到普及推广的阶段。”

晶闸管的串并联

1. 晶闸管的串联

(1) 静态时存在问题。小孙问: “两个晶闸管串联时, 它们的电流相同, 两者的管压降也差不多, 应该没什么问题吧?”

张老师说: “两个器件串、并联时, 需要注意的核心问题, 无非是电压和电流的分配问题。晶闸管串联时, 在导通状态下流过同一个电流, 不会发生电流分配不均的问题。至于电压, 主要由负载承担, 也不存在问题。但在阻断状态下, 就存在着电压的分配问题了。在晶闸管的参数里, 不是有‘断态重复峰值电压’和‘反向重复峰值电压’吗? 如果在阻断状态下, 由于电压分配不均, 使其中一个晶闸管承受的电压超过了上述两个参数, 将造成晶闸管的损坏。

在图 1-13 (a) 中, 在正向阻断的情况下, 晶闸管 VT1 时的伏安特性如曲线①所示, 晶闸管 VT2 的伏安特性如曲线②所示。两管串联时, 漏电流 I_{OF} 相等, 而电压分配 U_{F1} 和 U_{F2} 的差异较大; 在反向阻断的情况下, 晶闸管 VT1 时的伏安特性如曲线③所示, 晶闸管 VT2 的伏安特性如曲线④所示。两管串联时的电压分配 U_{R1} 和 U_{R2} 的差异也较大。上述问题存在于晶闸管的状态不发生变化的情况下, 称为静态过程。