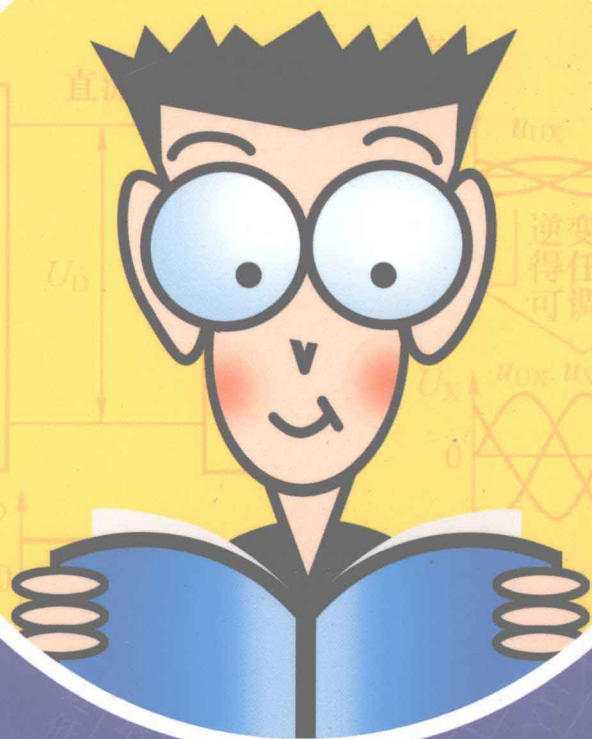


XIAOSUN XUE BIANPIN

小孙学变频

张燕宾 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

XIAOSUN XUE BIANPIN

小孙学变频

张燕宾 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书以谈话的方式介绍变频器的主电路、变频调速系统的带负载能力、变频器的主要功能、变频调速系统的设计与应用,以及各类生产机械的变频调速实例等。

本书为各工矿企业从事变频器应用的电气工程师们解答了变频调速系统在使用过程中常见的各种现象。形式新颖,分析透彻,深入浅出,可读性很强。

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/张燕宾编著. —北京:中国电力出版社, 2010.9

ISBN 978-7-5123-0719-3

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 147255 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 1 月第一版 2011 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20.76 印张 471 千字

印数 0001—3000 册 定价 42.00 元

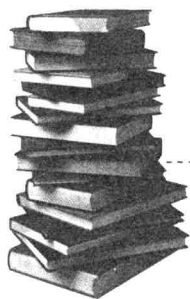
敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

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



我目前正在做着两件事情：一是应出版社之邀，撰写关于变频器应用方面的书，以及应多家杂志社之邀，撰写稿件；二是应某培训中心之邀，主讲关于变频器的讲座。

在做这两件事情的过程中，有两件事情常常困扰着我：

一、因为我对于所讲内容已经滚瓜烂熟了，有很多我感到十分简单的问题，而学员同志们的思路却没有跟上来，有时甚至还南辕北辙，理解到相反的方向去了。

二、学员同志们提出的某些小问题本也是挺有意思的，但要写进书里，却连一个小标题都够不上，难以穿插进去。

我想到了采用谈话的方式。

20世纪50年代，我曾经在长春教过两届技工学校的学生。在教第二届的时候，学校推行了“谈话法教学”，就是由教师把要讲的内容细划成许多小问题，通过和学生谈话的方式，逐步引导。这种教学方式，有很多优点：首先是能够循序渐进，由浅入深，逐步深入；其次是在课堂上把学生的积极性调动起来了，注意力都比较集中；此外，能够“扫除死角”，就是说，某些本来是一带而过的内容，也必须清清楚楚地讲深讲透。

效果如何呢？20世纪90年代以后，我常常有机会到长春故地重游，每次到长春，该班的学生们总要团聚一次。于是听到了两则令我激动不已的故事：

其一，1989年12月15日，国家总理李鹏同志亲自为全国211位高级技师颁发证书。在211位高级技师中，该班学生就占了两席。

其二，有几位学生被分配到白城市电机厂工作。当年，白城市电机厂新添置了一台龙门刨床，它的控制系统在当时来说，算得上是相当复杂的了。那时，全白城市找不到一位能够调试龙门刨床的师傅。而我的教学内容中，最复杂的实例，就是龙门刨床。那几位学生于是就自告奋勇地要求调试，厂里当然不放心。但后来实在找不到人了，也只好让他们试试。没想到，他们经过两个星期的努力，居然调试成功了。这件事肯定要归功于谈话法教学！

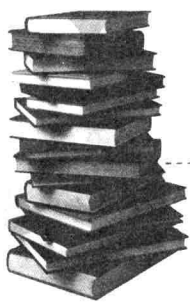
因为龙门刨床里涉及的方面很多，我还依稀记得，有些问题，我自己也不甚了了。但因为是谈话法教学，学生们如果没弄明白是要问的。所以我在备课时就不得不对每一个细小问题都捋得清清楚楚地。结果是，非但学生受益，我自己后来在进行龙门刨床的变频调速改造时，也就得心应手了。

除此以外，我在承接工程项目过程中，或在解答读者咨询问题的过程中，常常有一些自己独特的，属于创造性的处理方法，有的甚至做成了产品，如强力制动器、温差控制器等。过去，由于某种原因，不便发表。现在，已经不再有约束，故全部公之于众。

本人已经年逾古稀，每天工作的有效时间不多。又被多家出版社和杂志社的编辑们所“包围”，“债台”高筑。故所写作品，难以精雕细刻，每次写完后，常有不如意之处。又限于水平，错误之处，在所难免。敬请读者们批评指正。

本书在编写过程中，深圳蓝海华腾公司的邱文渊董事长、广州珠峰电气公司的刘秋辉总经理、成都森兰变频器公司的何建波总经理、北京中交紫光科技公司的刘力军高级工程师、深圳艾默生网络能源公司的孟耀权高级工程师、广州华南富世工控技术公司的赵成灿高级工程师以及深圳英威腾电气公司的曾维日经理等曾就相关内容进行了认真的审核，特在此致谢！

目 录



前言	
第一章 变频器的主电路	1
第一节 交一直变换电路.....	2
第二节 逆变电路.....	9
第三节 变频器的逆变器件——IGBT 管	14
第四节 变频器的输出电压	21
第五节 变频器的输出电流	31
第六节 变频器的输入电流	33
第二章 变频调速系统的带负载能力	43
第一节 异步电动机的旋转原理与机械特性	43
第二节 异步电动机的低频带载能力	52
第三节 关于 U/f 线的讨论	59
第四节 机械特性的调整	66
第五节 机械特性的改善	68
第六节 电动机的有效转矩曲线	74
第七节 生产机械的机械特性及变频调速要点	81
第八节 拖动系统的传动机构	86
第三章 变频调速系统的加、减速及保护功能	94
第一节 几种启动方式的比较	94
第二节 变频器的加速与启动	97
第三节 变频调速系统的减速与停机.....	105
第四节 制动电阻与制动单元.....	109
第五节 直流制动.....	119
第六节 变频器的保护功能.....	124
第四章 变频调速系统的设计	135
第一节 变频器的选择.....	135
第二节 变频器主电路的外围设备.....	144
第三节 变频器的模拟量输入控制.....	152



第四节	变频器的开关量输入控制	157
第五节	变频器的输出控制端子	162
第六节	变频调速系统的抗干扰	167
第五章	变频拖动系统的应用	173
第一节	变频拖动系统的基本规律	173
第二节	变频拖动系统的节能运行	176
第三节	特殊电动机的变频调速	187
第四节	变频调速系统取代其他调速系统	192
第五节	变频调速系统的闭环控制	202
第六节	变频与工频的切换控制功能	215
第六章	各类生产机械的变频调速实例	220
第一节	猪舍排气扇的变频调速	220
第二节	冷风机的变频调速	224
第三节	中央空调冷却泵的变频调速	227
第四节	排水泵的变频调速	233
第五节	车间恒压供水	237
第六节	小区恒压供水	239
第七节	带式输煤机的变频调速	242
第八节	提升机的变频调速	247
第九节	印染机的变频调速	253
第十节	塑料卷绕机的变频调速	258
第十一节	精密车床的变频调速	264
第十二节	龙门刨床刨台的变频调速	269
附录	本书所用变频器简介	283
附录 A	珠峰 DLT 系列	283
附录 B	艾默生 EV1000 系列	286
附录 C	森兰 SB70 系列	288
附录 D	英威腾 CHF100 系列变频器	291
附录 E	台达 VFD-B 变频器	295
附录 F	西门子 MM430 系列	298
附录 G	ABB ACS800 系列	301
附录 H	三菱 FR-A540 系列变频器	304
附录 I	明电 VT230S 系列变频器	308
附录 J	蓝海华腾 V6-H 系列	311
附录 K	富士 MEGA (G1S) 系列	315
附录 L	安川 CIMR-G7 系列变频器	318



小孙是蓝天公司的电气工程师，多年来从事电子设备的维修工作。近几年来，各种设备里应用的变频器越来越多，小孙被安排来专门从事变频器的调试和维护。

这一天，小孙从仓库里领出了一台变频器，打算配用到鼓风机上。按照规定，应先通电测试一下。谁知一通电，就发现冒烟，立刻切断了电源。把盖打开后，发现有一个电阻很烫。小孙想，在开盖情况下再通电观察一次。这一回，电阻倒是不冒烟了，但不一会儿，变频器便因欠电压而跳闸了。用万用表一量，那个电阻已经烧断了。

经人介绍，小孙找到了一位退休老高工张老师。

“你们那台变频器在仓库里存放了多长时间？”听完了小孙的情况介绍后，张老师问。

“大约一年多一点。”

“我知道了。”张老师胸有成竹地说。“在分析电阻冒烟的原因之前，先要弄清楚变频器里整流滤波电路的特点。”

“老师，我不大明白，变频器的中间为什么要加进一个直流电路呢？”

“好吧，我们就先从交一直交变频器的基本结构讲起。”张老师拿了一张纸，不紧不慢地画出了交一直交变频器的框图，如图 1-1 所示，然后说：

“你瞧，电网的电压和频率是固定的。在我国，低压电网的电压和频率统一为 380V、50Hz，是不能变的。要想得到电压和频率都能调节的电源，必须自己‘变出来’，才便于控制。所谓‘变出来’，当然不可能像变魔术那样凭空产生出来，而只能从另一种能源变过来。这‘另一种能源’，便是直流电。

因此，交一直交变频器的的工作可分为两个基本过程。

因此，交一直交变频器的的工作可分为两个基本过程。

(1) 交一直变换过程。就是先把不可调的电网的三相（或单相）交流电经整流桥整流成直流电。

(2) 直—交变换过程。就是反过来又把直流电‘逆变’成电压和频率都任意可调的三相交流电。

你方才说的那台变频器的问题，我的判断是出在‘交一直变换’里。我们就来讨论这

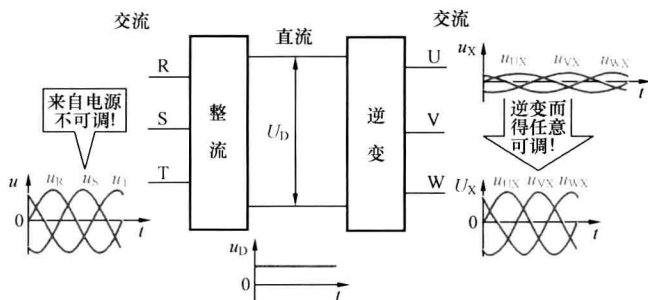


图 1-1 交一直—交变频器框图



部分电路吧”。

第一节 交一直变换电路

“所谓交一直变换电路的作用就是整流和滤波。三相整流桥的电路你是比较熟悉的了。但在变频器里，你应该记住几个接线端子的符号，如图 1-2 (a) 所示，它的三个输入端子的符号分别是 R、S、T（也有的变频器是 L1、L2、L3），而输出端子的符号则是 P（直流正端）和 N（直流负端）”张老师说指着图说。

整流桥的检查

小孙问：“不打开变频器的外壳，能不能检查整流桥？”

“当然可以啊。”张老师说，“以检查二极管 VD1 为例，由图 1-2 (a) 知，VD1 在变频器的输入端子 R 与内部直流电路的 P 之间。并且 R 为二极管的正端，P 为二极管的负端。用普通的万用表即可判断，正常情况下：当黑表笔（万用表内部电池的‘+’端）接 R 端，红表笔（万用表内部电池的‘-’端）接 P 端时，二极管处于导通状态，如图 1-2 (b) 所示；反之，黑表笔（万用表内部电池的‘+’端）接 P 端，红表笔（万用表内部电池的‘-’端）接 R 端，则二极管处于截止状态。

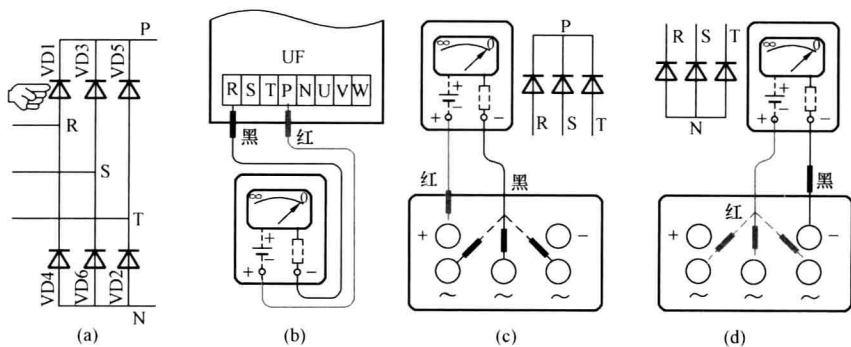


图 1-2 二极管整流桥的检查

(a) 整流桥；(b) 接线端子；(c) 从正端测；(d) 从负端测

如果从整流模块上测量，则将红表笔接‘+’端，黑表笔接任意一个输入端，如果都导通，反之都不通，说明上部的三个二极管正常，如图 1-2 (c) 所示；如果将黑表笔接‘-’端，红表笔接任意一个输入端，如果都导通，反之都不通，说明下部的三个二极管正常，如图 1-2 (d) 所示。

下面，再来看看滤波电路。在低压电路里，哪种滤波方式效果最好？”

“应该是 π 形滤波。”小孙答。

“可是，变频器里却不能用 π 形滤波。”

变频器不用 π 形滤波

“为什么呢？”小孙真还没有想到过这样的问题，不觉来了精神。

“其实，你只要比较一下这两种整流滤波电路的区别就明白了。”张老师说着，画出了两个整流滤波电路，如图 1-3 所示。然后说：

“瞧， π 形滤波在电路里要串联一个电感 L 或电阻 R 的。不管串联什么，它总要产生一个电压降 ΔU ，使后面的电压 U_{D2} 比前面的电压 U_{D1} 小一点。这在低压电路里是没有关系的，如果觉得 U_{D2} 太小了，你可以在设计变压器时适当提高一点副方电压就可以了。”

“啊，我知道了。”小孙如梦初醒：“变频器前面没有变压器，不可能提高电压。可是，稍为有一点电压降不行吗？”

“不行！”张老师果断地说。“因为变频器要求后面逆变出来的三相交流电，在 50Hz 时的电压能够和前面的电源电压一般大。要是直流电压减小了的话，逆变出来的三相交流电压，在 50Hz 时就达不到 380V 了。那人家就会说，你这个变频器不行，电压不够。所以，变频器里只能用电容器滤波。”

“好像是用两组电容器串联起来的，为什么呢？”小孙来了兴趣，努力思索着要主动地问一些问题。

“那是生产水平的问题。迄今为止，全世界生产的电解电容器的最高耐压，只有 500V，而 380V 全波整流后的峰值电压是 537V。按照国家规定，电源电压的允许上限误差是 +10%，即 418V，全波整流后的峰值电压是 591V。此外，变频器在运行过程中允许的最高直流电压可达 700~800V，而在逆变的过渡过程中，瞬间的直流电压甚至可能高达 1000V 呢。所以，只能用两组电容器串联来解决。”张老师回答说。

“还有，我曾打开变频器看过。每个电容器旁边，都并联一个电阻，好像叫均压电阻。可它们的电阻值很大，约为几十千欧，而瓦数却不大，好像只有 10W 左右，它们能起到均压作用吗？”小孙露出一副疑惑的神情。

均压电阻的学问

“那就让我们来看看吧。”张老师随手又画了一个图，如图 1-4 所示。接着说：

“图中，电容器 C_1 的充电回路由 C_1 和 R_{C2} 构成； C_2 的充电回路由 C_2 和 R_{C1} 构成。

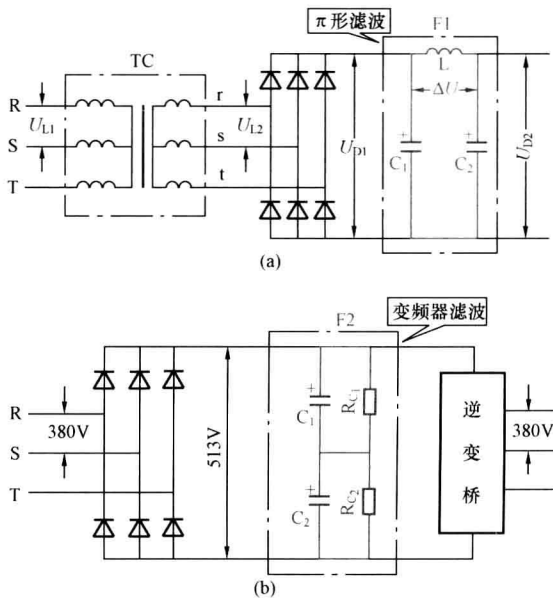


图 1-3 整流和滤波电路

(a) 低压整流滤波电路；(b) 变频器整流滤波电路

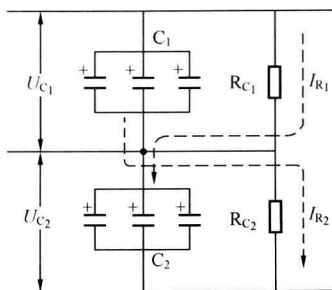


图 1-4 滤波电容的均压电路

R_{C1} 和 R_{C2} 的电阻值是相等的

$$R_{C1} = R_{C2}$$

如果两个电容器组的容量有差异, 假设

$$C_1 < C_2$$

则两个电容器组上的电压分配必不相等

$$U_{C1} > U_{C2}$$

而两个电容器的充电电流分别是

$$I_{R1} = \frac{U_{C1}}{R_{C1}}; I_{R2} = \frac{U_{C2}}{R_{C2}}$$

很明显:

$$I_{R1} > I_{R2}$$

这样, 电容器 C_2 上要多充一些电, U_{C2} 就得到了提高。结果是 U_{C1} 和 U_{C2} 趋向于均衡, 有

$$U_{C1} \approx U_{C2}$$

当然, 要绝对均衡是不可能的。至于瓦数么, 你自己算一算看。”

小孙立即拿起笔来, 刚要下笔, 却又难住了, 问:

“电压值按多大算呢?”

“每个电容器上的平均电压可以按 300V 算。”

“电阻么, 好像是 30kΩ, 这就好算了。” 只见小孙在纸上算了起来

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{300^2}{30\ 000} = 3(W)$$

“哟, 还绰绰有余呢。” 小孙说, “我以前总喜欢估计一个大概数据, 很少具体计算。看起来, 以后还是要算一算的好。”

还有一个问题, 那个冒烟的电阻是在整流桥和滤波电容之间的, 这在低压整流电路里是没有的。它起什么作用呢?”



限流电阻的作用

“就整流和滤波的基本过程而言, 低压和高压是相同的。” 张老师又画了个整流滤波电路, 如图 1-5 所示, 接着说:

“问题的关键, 是合上电源前, 电容器上是没有电荷的, 电压为 0V, 而电容器两端的电压又是不能突变的。就是说, 在合闸瞬间, 整流桥两端 (P、N 之间) 相当于短路。因此, 在合上电源时, 就出现了两个问题:

第一个问题, 是有很大的冲击电流, 如图中的曲线①, 这有可能损坏整流管。

第二个问题, 是进线处的电压将瞬间下降到 0V, 如图中的曲线②所示。

这两个特点, 高、低压整流电路完全一样。但低压整流电路是要通过变压器来降压的。变压器的绕组是一个大电感, 它犹如一个屏障, 能对合闸时的冲击电流起到限制作用, 如图 1-5 (a) 中的曲线①所示。而变频器的整流电路中, 就没有这样的屏障, 冲击电

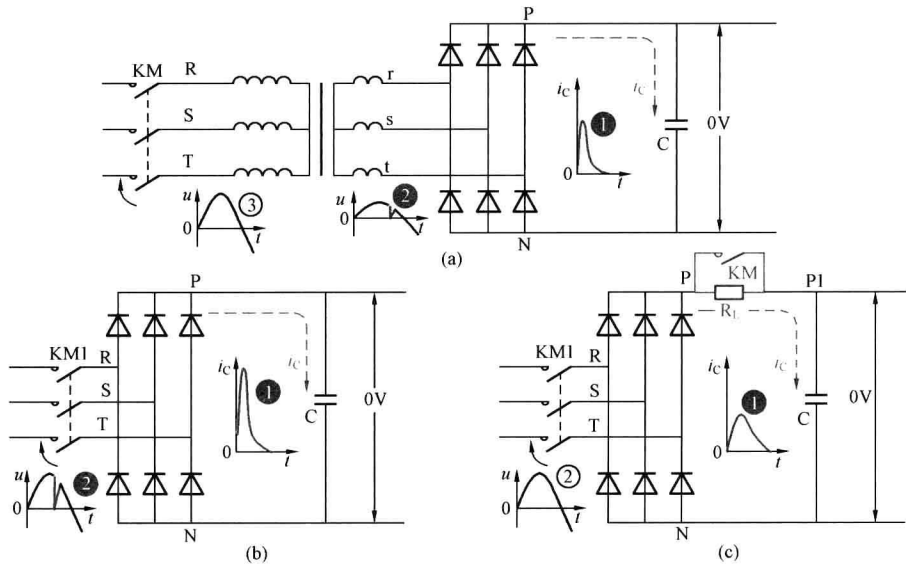


图 1-5 高、低压整流电路的区别

(a) 低压整流电路；(b) 高压整流电路；(c) 限流电路

流就要严重得多，很容易损坏整流二极管，如图 1-5 (b) 中的曲线①所示。

至于进线侧的电压波形，在低压整流电路中，变压器的二次电压，一定会瞬间降到 0V 的，如图 1-5 (a) 中的曲线②所示。但反映到变压器的一次侧，这样的瞬间降压，就被缓冲了，如图 1-5 (a) 中的曲线③所示，对同一网络中的其他设备不构成干扰。

变频器整流电路中没有变压器的缓冲，它进线电压就是电网电压。所以，在合闸瞬间，电网电压要降到 0V，这将影响同一网络中其他设备的正常工作，通常称之为干扰。

所以，在整流桥和滤波电容之间，就需要接入一个限流电阻 R_L 。至于它的原理，你该是明白的吧？”

“我来试试看吧，”小孙鼓足了勇气，说：“接入了限流电阻后，非但减小了通电时的冲击电流。并且，瞬间的电压降，也都降到限流电阻上了，电源侧的电压波形也解决了，真是一举两得啊。等到电容器上的电压上升到一定程度时，再把限流电阻短路掉，对吧？可是……”张老师正想夸赞小孙几句，没想到他又来了个“可是”，于是他耐心地等着小孙的下文。

“我曾经查看过几台变频器，发现短路器件（晶闸管或接触器）的大小是随变频器的容量而变的，但限流电阻的阻值和容量却差别不大，这是怎么回事呢？”

“说得好，也问得好。”张老师高兴地夸赞了小孙几句。与此同时，又画出了图 1-6。然后说：

“我们分开来说吧。

先看限流电阻 R_L 。严格地说，容量大的变频器里，整流管的允许电流也较大。滤波电容的容量也要大一些，限流电阻的阻值可以小一些，而

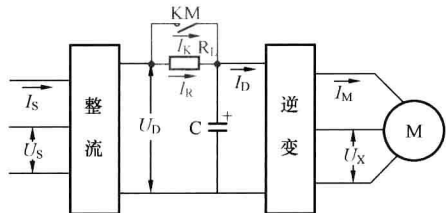


图 1-6 限流电路里的电流



容量（瓦数）应该大一些。但是，让我们举一个例子来看一下。假设所选用限流电阻的阻值 $R_L = 50\Omega$ ，那么，即使电源电压等于振幅值 $U_{LM} = 1.41 \times 380 = 537V$ ，最大的冲击电流是多大呢？”

“只有 10A 多一点。”小孙说。

“还有，假设滤波电容的电容量是 $5000\mu F$ ，充电时间有多长呢？”

小孙很快算了起来

$$T = R_L C = 50 \times 5000 = 250\,000\mu s = 250ms = 0.25s$$

“只有 0.25s。”小孙抬起头来，说。

“那是充电时间常数，充电时间应该是它的 3~5 倍。”张老师更正说。“就是说，充电时间大约是 0.75~1.25s，笼统一点说，是 1s 左右吧。

这样的充电电流和这样的充电时间，对于大多数规格的变频器来说，都是可以接受的吧？所以，生产厂家为了减少零部件的种类，采取了多种规格的变频器选用同一规格限流电阻的做法。

至于电阻的容量（瓦数），因为 R_L 中通电流的时间很短，只有 1s，真正达到 10A 的时间更短。所以，一般说来，容量只要不小于 20W 就可以了。

再看旁路接触器 KM。还是用具体例子来说明吧。

假设电动机容量是 7.5kW，15.4A。配用变频器的容量是 13kVA，18A。

一般说来，直流回路的容量和变频器的输入容量应该是相等的，当电源电压是 380V 时，直流电压的平均值是 513V，那么，直流电流应该有多大呢？”张老师看着小孙，问。

小孙会意，马上在纸上算了起来

$$I_D = \frac{P_D}{U_D} = \frac{13\,000}{513} = 25(A)$$

“那就只有选标称值为 30A 的接触器了。”小孙不假思索地说。

“要动脑筋么。你想，这里用接触器的几个触点呀？”

“啊，”小孙拍着自己的脑袋说，“接触器的三个触点是可以并联起来用的，那就只要 10A 的接触器就可以了。”

张老师微笑着点了点头，又补充说：“不过，要是用晶闸管的话，还是要用 30A 的。”张老师略顿了顿，接着又问：“那么，要是电动机容量是 75kW，139.7A。配用变频器的容量是 114kVA，150A。该配用多大的接触器呢？”

这回小孙心里有底了，他很快地算了起来

$$I_D = \frac{P_D}{U_D} = \frac{114\,000}{513} = 222(A)$$

“应该选额定电流为 80A 的接触器。”小孙肯定地说。

“所以，你刚才提的问题不就解决了吗。”张老师笑嘻嘻地说。

“可是，限流电阻为什么会冒烟，并且烧断呢？”小孙问。

“就我所接触到的情况而言，烧断限流电阻的原因可能有三种。”老师说。

“第一种可能，是限流电阻的容量选小了。因为在限流电阻中的电流是按指数规律衰

减的，且持续时间很短，如图 1-7 所示。所以，其容量可以选得小一些。为了降低元器件成本，有的变频器生产厂家在决定限流电阻的容量时，常常取较小值。但实际上，流经限流电阻的电流 I_R 是和限流电阻的阻值 R_L 以及滤波电容器的电容量 C_F 有关的。比较图 (a) 和图 (b) 知， R_L 大，则电流的初始值较小，但电流的持续时间长。比较图 (b) 和图 (c) 知， C_F 大，电流的持续时间将延长。所以，严格地说， R_L 的容量大小也应该根据具体情况适当调整。但如前所说，用户对滤波电容器的充电过程并无严格的要求。所以，对 R_L 的阻值和容量也并无明确的规定。一般说来，如选 R_L 大于等于 50Ω ， P_R 大于等于 $50W$ 是不会有问题的。

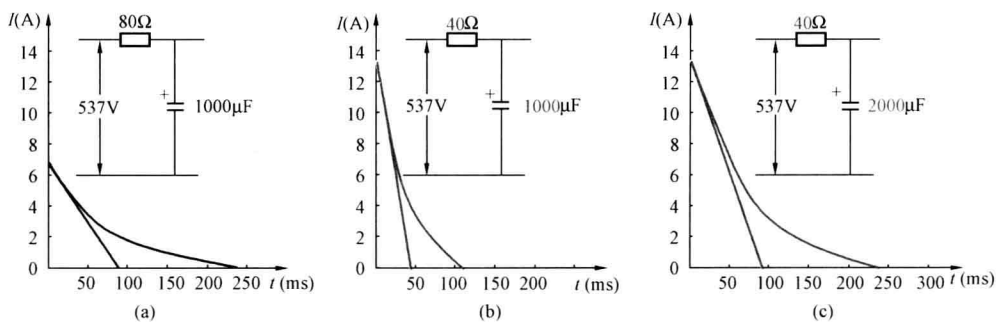


图 1-7 限流电阻的电流曲线

(a) $R_L=80\Omega$ 、 $C_F=1000\mu F$ ；(b) $R_L=40\Omega$ 、 $C_F=1000\mu F$ ；(c) $R_L=40\Omega$ 、 $C_F=2000\mu F$

第二种可能，是滤波电容器变质了。凡是有电解质的器件，都有一个特点：你一直用它，它不容易坏。你总也不用它，它倒要坏了。你那台变频器在仓库里存放了一年多才拿出来，你应该先打开盖观察一下滤波电容器，看它是否“鼓包”？甚至是否有电解液漏出？电解电容器变质的特征，首先是漏电流增大。一台长时间不用的变频器，突然加上高电压，电解电容器的漏电流可能是相当大的。你第一次合上电源时，变频器内冒烟，很可能就是电解电容器严重漏电，甚至已经短路。而直流电压难以充电到 $450V$ 以上，短路器件不动作，限流电阻长时间接在电路里，它当然要冒烟、烧断了。”

“那……，变频器在仓库里时间放长了，就报废了？”小孙感到疑惑。

“当然不是。长时间不用的电解电容器，通电时，应该先加约 50% 的额定电压，加压时间应在半小时以上，它的漏电流就会降下去，也就可以正常使用了。

所以，你回去以后，先用万用表测量一下电容器是否短路。如并未短路，外观上也没有异常，则如图 1-8 所示那样，通电半小时以后，电容器将可以恢复。”

“太好了！”小孙高兴地说。接着又问：“您说，电阻冒烟还有另一种可能性？”小孙接着问。

“第三种可能，就是旁路接触器 KM 或晶闸管没有动作。结果，使限流电阻长时间接在电路里。”

“那……，怎么来判断旁路接触器或晶闸管是否动

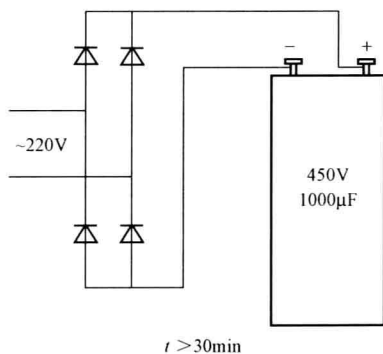


图 1-8 长期存放电容器的复原



作了呢？”小孙问。

“旁路器件应该在滤波电容器已经充电到一定程度（例如，电压已经超过 450V）时动作。因此，你可以在确认滤波电容器完好的情况下，通电时，观察当直流电压 U_D 上升到足够大时，旁路器件是否动作。

具体方法之一，是在限流电阻两端并联一个电压表 PV1，同时在滤波电容两端也接一个电压表 PV2，再将两个串联的灯泡也接到滤波电容的两端，作为负载，如图 1-9 所示。通电后，如果 PV2 显示 U_D 已经足够大，但 PV1 的读数并不为 0V，就说明旁路器件并未动作。”

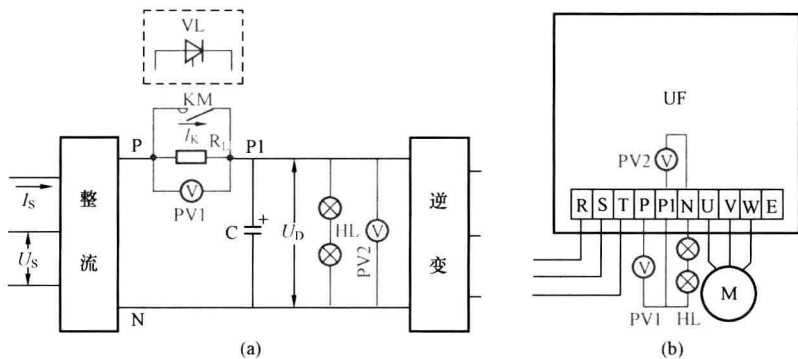


图 1-9 旁路器件的动作检查

(a) 原理图；(b) 外部接线图

“为什么要接两个灯泡呢？”小孙问。

“那是要为直流电路接一点负载。要是没有负载的话，限流电阻内将没有电流，即使短路器件未动作，限流电阻上也量不出电压呀。”

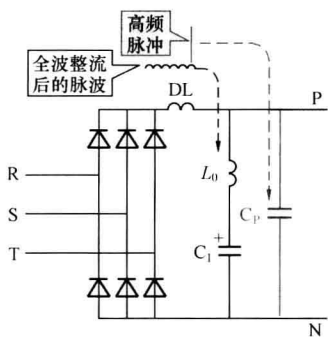


图 1-10 高频吸收电容电路

“还有一个问题，”小孙又问：“我发现在滤波电容器两端，还并联了一个 $0.33\mu\text{F}$ 的小电容，那又是为什么？”

张老师拿出了一张纸，一边画，一边说：“因为电解电容具有一定的电感性质，相当于有一个小电感 L_0 串联在电路中，其等效电路如图 1-10 所示，它对于频率较低的三相全波整流后的脉波来说，因为感抗很小，不起什么作用。但对于一些频率很高的干扰电压，却能够‘拒之门外’，容易导致‘过电压跳闸’的误动作。电容器 C_P 就是用来吸收高频干扰电压的，故称为高频吸收电容。”

主控板上的电源指示灯

“还有，我发现在主控板上有一个电源指示灯，为什么把它放在机箱里面，而不是放在控制面板上呢？”小孙问。

“那么，你每次开机时，怎么知道变频器是否通电？”张老师反问。

“我是看变频器的显示屏上是否有显示。”

“是啊，显示屏已经显示了通电与否，要是再把里面这个指示灯也放到面板上，岂非

叠床架屋了？”张老师说着，又画了个图 1-11。

“其实，里面的这个指示灯，主要不是显示变频器是否通电，而是显示变频器断电后，滤波电容器上的电荷有没有放完，它是为你的人身安全而设置的。就是说，当变频器发生了故障，你打开机箱，想要看看里面的零、部件是否发生问题时，虽然变频器已经断了电，但如果滤波电容器上的电荷没有放完的话，将是很危险的。所以，千万注意，一定要在指示灯完全熄灭后，才能用手去触摸里面的元、器件。

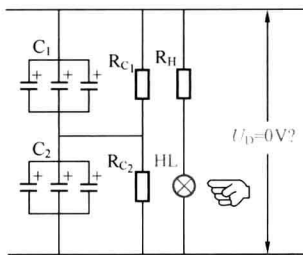


图 1-11 直流指示灯电路

小孙觉得，张老师的讲解深入浅出，使自己对问题的理解变得清晰起来。于是，他大着胆子说：

“老师，我能不能交点学费，拜您为师，系统地学一学变频器的知识？”

“你不已经叫我老师了么？学费是断不能收的。其实，我也是有收获的。我年纪大了，已经不再有到现场处理问题的机会了。你给我带来了现场的工况，我也是有提高的。你什么时候想来，只要事先通个电话，我在家恭候就是了。”张老师的话，使小孙感到暖暖地。只见张老师呷了一口茶，说道：

“既然你想系统地学，那接下来就该讨论逆变电路了，你回去先预习一下吧。”

小孙的笔记



变频器因为输入侧直接接电网，所以，它的整流滤波电路就有了许多不同于低压电路的特点。

1. 它的滤波电路不允许有电压降，所以不能用 π 形滤波。
2. 滤波电路由两组电容器串联而成，为了使两组电容器的电压分配均衡，必须在电容器旁并联均压电阻。
3. 在整流桥和滤波电容器之间，设置了限流电路，以限制刚合上电源时的冲击电流。
4. 变频器内部控制板上的指示灯，主要是在停电时，显示滤波电容器上的电荷是否释放完毕而设置的，目的是保护人身安全。

第二节 逆 变 电 路

过了一个星期，小孙又到张老师家去了。

“逆变电路预习过了？有问题吗？”张老师和蔼地问。

“大体的轮廓，好像知道了。但要深究起来，却还是感到模模糊糊地。首先，对逆变用的 IGBT 管就不大熟悉。”小孙说。

IGBT 管的特点

“我们就先从 IGBT 管说起吧。”这一次，张老师已经事先画好了许多的图，随手拿

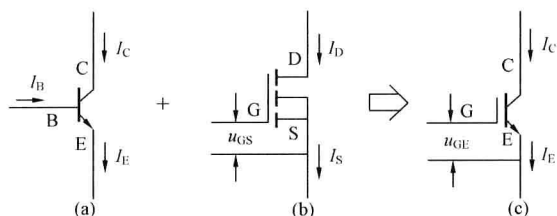


图 1-12 IGBT 管的构成

(a) 晶体管; (b) 场效应管; (c) IGBT

出了一张,如图 1-12 所示。

“IGBT 管也叫绝缘栅晶体管,它是晶体管和绝缘栅场效应管的组合。

图 (a) 是三极晶体管,它的三个极分别是:集电极 C、发射极 E 和基极 B。它的特点是集电极电流 I_C 的大小取决于基极电流 I_B ,故称为电流控制器件。

图 (b) 是绝缘栅场效应管,它的三个极分别是漏极 D、源极 S 和栅极 G。栅极和源极之间是绝缘的。它的工作特点是漏极电流 I_D 的大小取决于栅极和源极之间的电压 u_{GS} ,故称为电压控制器件。

再看图 (c) 所示的 IGBT 管,它的主体部分和晶体管相同,也是集电极 C 和发射极 E;控制部分却是绝缘栅结构,通常称为控制极 G。集电极电流 I_C 的大小取决于控制极与发射极之间的电压 u_{GE} 。所以,也是电压控制器件。”

“和大功率晶体管 GTR 相比,IGBT 管主要有哪些优点呢?”小孙问。

“首先,IGBT 管允许的开关频率比 GTR 高一个数量级。GTR 的最高开关频率只有 2kHz,而 IGBT 可达 20kHz。其次,很明显的是,它的控制极的功耗要比 GTR 的基极功耗小得多。这是主要的,其他也还有一些优点,就不详细说了。”

“这 IGBT 管是作为开关用的吧?”小孙问。

“是的。”张老师又找出了一张图,如图 1-13 所示。接着说:“IGBT 管和其他三极管一样,也有三种状态:截止状态、放大状态和饱和导通状态。而我们只用它的截止状态和饱和导通状态:图 (a) 是饱和导通状态,犹如开关处于闭合状态;图 (b) 是截止状态,犹如开关处于断开状态。”

“我用万用量了一下,怎么觉得它有点像晶闸管呢?”小孙说完,从皮包里拿出了 IGBT 管模块、万用表、电池等器件,看样子,他是有备而来的。

“哦?你是怎么量的?”张老师颇感兴趣地问。

“您瞧,”小孙一边画了个图 1-14,一边演示起来。“当电池的‘+’端接 G 极,‘-’端接 E 极,如图 (a) 所示时,IGBT 管是导通的。可是,我把电池拿掉后,IGBT 管仍然是通的,如图 (b) 所示。这不和晶闸管差不多么?”

“你给我拿一个电阻来,阻值不限。”张老师伸出手说。

小孙从包里找出一个 10k Ω 的电阻递给了老张,只见老张把那个电阻往 G、E 间接,万用表的显示立刻就指向“ ∞ ”了。然后说:

“因为 IGBT 管的 G、E 间是绝缘的,所以,你方才把电池拿掉时,G 极上的‘+’电荷不能释放,所以,IGBT 管保持着导通的状态。在 G、E 间接入了一个电阻后,G 极

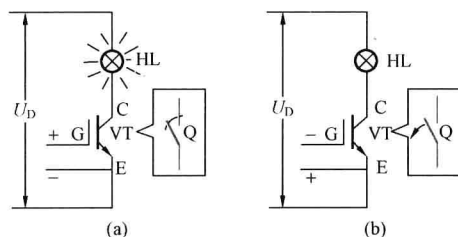


图 1-13 IGBT 管的工作状态

(a) 饱和导通状态; (b) 截止状态