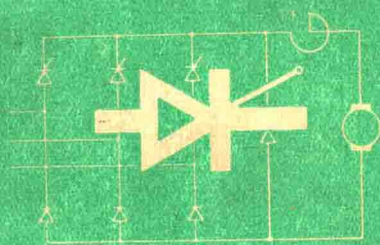


可控硅 原理及应用

六机部可控硅学习班编



可控硅原理与应用

六机部可控硅学习班编

上海交通大学

1971年4月

内 容 简 介

本书从晶体管 and 可控硅元件的基本工作原理讲起，对可控硅技术中各种基本电路（主电路、触发电路、放大电路及稳压电路等）进行了较详细的分析，并列出了实用的计算公式和方法。书中还讨论了主电路和触发电路之间的同步和可控硅系统中的反馈等几个问题。最后以四个技术革新项目为例，综合了上述各种基本电路的应用，反映了工人师傅和革命技术人员在科学实验中积累的一些经验。

本书适宜于学习和应用可控硅的工人及其他有关同志阅读、参考。

前 言

四海翻腾云水怒，五洲震荡风雷激。

伟大领袖毛主席亲自发动和领导的史无前例的无产阶级文化大革命运动的伟大胜利，摧毁了大叛徒、大内奸、大工贼刘少奇的资产阶级司令部，埋葬了刘贼的一整套修正主义黑货，工人阶级登上了上层建筑斗、批、改的政治舞台。我国造船工人狠批了刘贼“造船不如买船，买船不如租船”的“洋奴哲学”、“爬行主义”；砸烂了一切束缚工业发展、压制工人创造发明的修正主义条条框框；遵照了伟大领袖毛主席“为了反对帝国主义的侵略，我们一定要建立强大的海军”的指示，肩负起世界革命的重任，树雄心、立壮志，以“一不怕苦，二不怕死”的无产阶级革命精神，为造船工业打翻身仗、为赶超世界先进水平、为攀登科学技术高峰而英勇战斗。为了使可控硅这项新技术在造船工业中迅速得到普及，加速造船工业的电子化和自动化，今年6~9月，六机部所属在沪厂、校联合举办了可控硅学习班。在厂党委与校工、军、革的领导和支持下，学习班结束后，又组织了以具有生产实践经验的工人师傅为主体、与革命技术员、革命教员三结合的教材编写小组，在学习班教学实践的基础上，编写这本讲义，供给工人师傅参考。参加编写的单位有：江南造船厂、沪东造船厂、求新造船厂、上海航海仪器厂、燎原仪器厂、新中动力机器厂、东方红造船厂、上海交通大学等，同时还有其他有关兄弟单位的大力协助。在编写过程中，我们热烈响应党的九届二中全会公报中“全党要认真学习毛主席的哲学

著作”的伟大号召，学习伟大导师毛主席的光辉哲学思想，遵照毛主席“人的正确思想，只能从社会实践中来，只能从社会的生产斗争、阶级斗争和科学实验这三项实践中来”的教导，作了一些调查研究和科学实验。但由于我们学习毛泽东思想很不够，在可控硅应用方面的理论和实践经验都比较缺乏，讲义中错误、缺点一定不少，恳切希望同志们批评、指正。来信可寄上海交通大学三大队教育革命组。

六机部可控硅学习班

1970年10月

最高指示

领导我们事业的核心力量是中国共产党。

指导我们思想的理论基础是马克思列宁主义。

工人阶级必须领导一切。

为了反对帝国主义的侵略，我们一定要建立强大的海军。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

目 录

绪 论	1
第一章 半导体二极管及整流电路	6
1-1 半导体二极管的单向导电性	6
1-2 半导体二极管的伏安特性	9
1-3 单相半波整流电路	16
1-4 单相桥式和单相全波整流电路	19
1-5 三相整流电路	23
一、三相半波整流电路	23
二、三相桥式整流电路	25
1-6 整流滤波器	27
第二章 可控硅的主回路	35
2-1 可控硅元件	35
2-2 可控硅半控整流电路	43
一、单相桥式半控整流电路	43
二、用一只可控硅的单相桥式整流电路	51
三、三相桥式半控整流电路	53
四、滤波电抗器	56
2-3 可控硅全控整流电路	61
一、单相全波可控整流电路	61
二、单相桥式全控整流电路	63
三、三相半波可控整流电路	64
四、三相全控桥式整流电路	65
2-4 可控硅有源逆变器	68
2-5 可控硅可逆电路	72
2-6 可控硅无触点开关	77
2-7 单相并联逆变器	81
2-8 三相并联逆变器	88
2-9 单相串联逆变器	95
2-10 主回路的保护装置	100

第三章 晶体管放大器及稳压器	111
3-1 半导体三极管	111
3-2 晶体管基本放大电路	126
3-3 低频放大器	144
3-4 直流放大器	152
3-5 直流稳压电源	160
第四章 可控硅的控制电路	177
4-1 阻容移相桥触发电路	179
4-2 单结晶体管触发电路	182
4-3 晶体管脉冲电路基础	195
一、 RC 电路	196
二、晶体管的开关工作特性	199
三、具有阻容正反馈的晶体管脉冲放大器	204
4-4 同步信号为正弦波的触发电路	207
4-5 同步信号为锯齿波的触发电路	211
4-6 单稳态触发器	215
一、电容耦合单稳态触发电路	216
二、发射极耦合单稳态触发电路	216
4-7 带有多谐振荡器的触发电路	220
4-8 带有双稳态触发器的触发电路	225
一、双稳态触发器	225
二、三相逆变器的脉冲分配电路	228
4-9 发射极耦合双稳态触发电路	234
4-10 其他类型的可控硅触发电路	237
一、脉冲群输出触发电路	237
二、利用小可控硅触发大可控硅的触发电路	238
4-11 脉冲变压器的设计	240
第五章 可控硅自动电力拖动系统中的几个问题	257
5-1 可控硅自动电力拖动系统中的反馈环节	257
5-2 晶体管运算放大器	272
5-3 控制信号与主电路的同步问题	279
第六章 可控硅应用实例	285
6-1 可控硅钻研两用机	286
6-2 $C 620$ 可控硅车床	293
6-3 $DZ 1126-1$ 可控硅龙门刨	301
6-4 $Z 3025 S$ 型可控硅变频调速摇臂钻床	323

最高指示

无产阶级文化大革命是使我国社会生产力发展的一个强大的推动力。

绪 论

可控硅是劳动人民在近十年来创造的一种新型半导体元件。大功率可控硅的产生，使半导体器件进入了强电领域，使我们容易做到用弱电流对大功率机电设备进行控制，这对于加速我国的工业电子化、自动化提供了良好的条件，我国工人阶级正在战无不胜的毛泽东思想指引下，充分利用这个条件，打破常规，大搞技术革新和技术革命，多快好省地建设伟大的社会主义祖国。

可控硅于1958年在国外出现后，当即引起了我国工人阶级和革命科技人员的重视，在伟大领袖毛主席的社会主义建设总路线的光照耀下，1959年就设立了硅元件试制点，很快就试制成一批硅整流元件，并应用于产品中，1961年，在我国又开始了可控硅的研究。但是，由于大叛徒、大内奸、大工贼刘少奇竭力推行“洋奴哲学”、“爬行主义”等反革命修正主义路线、疯狂反对总路线，压制工人阶级的发明创造，严重地摧残了新生的硅元件工业，直到1965年才开始试制可控硅，于1966年试制成功。伟大领袖毛主席亲自发动和领导的无产阶级文化大革命运动，冲垮了刘贼的资产阶级司令部，荡涤了一切剥削制度的污泥浊水，批臭了刘贼的修正主义黑货。伟大

的中国工人阶级真正掌握了科学技术的大权，成了科学技术的主人。我国工人阶级遵照毛主席的指示：“中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。”发扬了“一不怕苦，二不怕死”的无产阶级革命精神，自力更生，艰苦奋斗，土法上马，大搞群众运动，他们说得好：“心中有个红太阳，千难万险无阻挡，土法上马显神通，个个都是诸葛亮”。于是，可控硅的生产和应用的发展突飞猛进，犹如雨后春笋，迅速地遍及祖国各地。目前在我国不仅大量地生产着系列化的可控硅，而且还制造了容量达 1000 安的大型可控硅、双向可控硅、可关断可控硅、雪崩型可控硅等新的品种。这是战无不胜的毛泽东思想的伟大胜利，是工人阶级战天斗地的卓越成果。

大家知道，当自来水龙头开启时，水就开始流出，而当自来水龙头关断时，水就停止流出，可控硅的作用与此相似，它是电的开关，当它开通时，电流就可流通，而当它关断时，电流就停止流通。可控硅元件具有三个电极，用图 0-1 所示的符号来表示，其中

a 是阳极， c 是阴极， g 是控制极。它只允许电流从阳极到阴极流通，而不能相反，并且这种流通（称为可控硅导通）只有当控制极（相对于

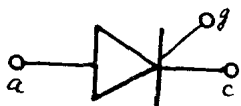


图 0-1

阴极）加上正电压时才可能。这个正电压的作用时间可以是短暂的，称为触发脉冲。这样，我们改变触发脉冲加于可控硅控制极的时间早些还是迟些，就可以控制可控硅导通的时间长些或者短些。

毛主席教导我们：“矛盾着的双方，依据一定的条件，各向着其相反的方面转化。”交流电与直流电是一对矛盾，在生产实际中，有时要用交流电，有时要用直流电，所以，就要求创造一定的条件，即制造一定的设备，使它们之间相互转化。

将交流电转化为直流电的设备是整流器；将直流电转化为交流电的设备是逆变器。在这些设备中，需要使用电的开关，可控硅就是一种新型的电的开关，它代替了旧的汞弧整流器等元件。例如图 0-2 所示的示意性电路，利用一只可控硅，就可将交流电变为

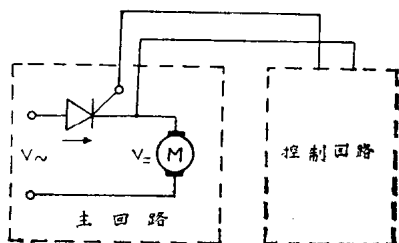


图 0-2

为直流电供给直流电动机 M ，因为可控硅只允许电流按图中箭头方向流通，而反方向不通电流。这部分电路称为主回路，在图中左边用虚线框着。但可控硅导通，还需要在控制极上加触发脉冲。右边用虚线框起来的部分，就是用来产生触发脉冲的，称为控制回路或触发回路。控制回路可以调节加于可控硅触发脉冲的早迟，使电动机二端的直流电压改变，从而可以方便地调节电动机的转速。任何复杂的可控硅电路也都可以分为主回路和

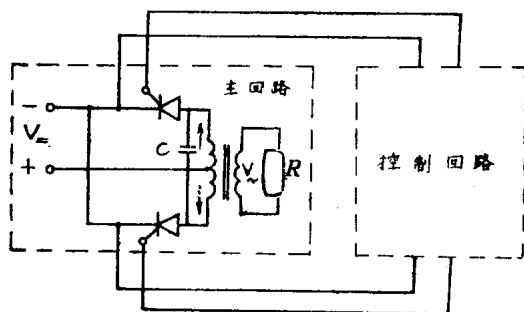


图 0-3

控制回路二部分。又如图 0-3 所示的示意性电路，利用换向电容使二只可控硅交替导通、关断，就可将直流电变为中频交流电，供给负载 R 。当

上面一只可控硅导通时，在变压器初级绕组中的电流方向如实线箭头所示，而当下面一只可控硅导通时，电流方向则如虚线箭头所示，它与实线箭头相反，所以变压器次级绕组中就感应出交流电。这部分电路就是主回路。为了使这二只可控硅交替导

通，就要交替地给它们触发脉冲，控制回路部分就是起这个作用的。

毛主席教导我们：“人民群众有无限的创造力。”我国工人阶级发扬了敢想、敢说、敢干的无产阶级革命精神，在可控硅应用方面的创造发明层出不穷，发展之势一日千里，下面简单介绍一些它在几个方面的应用：

1. 用作可控直流电源：利用可控硅整流器将工频交流电变为电压可调的直流电，用于蓄电池充电、电解、电镀、电焊等。例如沪东造船厂的“ $DC2 \times 20A/24V$ 可控硅充电箱”，就代替了原来所用的电动机发电机组和控制箱。充电箱的重量只有 17 公斤，而原来仅机组的重量就达 200 多公斤。

2. 用于直流调速：将可控硅整流器得来的直流电供给直流电动机的激磁绕组或电枢绕组，并改变这直流电的电压，就能平滑地调速，调速范围可达 20:1 以上，这样，就可代替原来使用的电动机-发电机组、电机扩大机组或磁放大器等。目前，应用范围从几十瓦的直流伺服电机到上千吨的大型轧机主传动方面都有。

3. 用作逆变器：利用可控硅逆变器将直流电变为各种频率的交流电源，例如 10~3 赫低频电源、400 赫、500 赫等中频电源、变频电源、恒频恒压电源、超声波发生器等，在国防工业上应用很多。

4. 用于交流调速，有下列三种方法：

(1) 变频调速：将可控硅变频电源得来的交流电供给交流电动机，改变这个电源的频率，利用电动机转速与频率成正比的特性，就可进行无级调速，这种方法适用于鼠笼式电动机，它比过去用变频发电机组来得简单、效率高，但对大功率的电动机尚有困难。

(2) 电磁调速异步电机(滑差电机)：用可控硅直流电源调

节电磁离合器激磁线圈的电流，就可改变输出轴转速的大小，这种方法应用于不可逆运转、短时的低速运转即快速性要求不太高的场合。

(3) 串级调速：应用于大功率线绕式异步电动机，这种方法是将电动机转子的交流电先用可控硅整流器变成直流电，再用可控硅逆变器变换成工频交流电送回电网。能够平滑调速，效率也高，但功率因数差。

5. 用作交流或直流的无触点开关：例如“可控硅交流调压器”就是利用可控硅作交流开关，“电脉冲加工机床”则是利用可控硅作直流开关。

可控硅之所以获得这样广泛的应用，是因为使用了可控硅就具有一系列的优点：

1. 大大节约电力；
2. 大大节约有色金属材料，尤其是铜、硅钢片等；
3. 提高劳动生产率及缩短产品、设备的生产施工周期；
4. 节约资金；
5. 提高产品质量；
6. 改善工作条件，如降低室温、消除运转噪声；维修简便；简化产品、设备结构，减少重量、体积和占地面积。

毛主席教导我们：“我们必须学会全面地看问题，不但要看到事物的正面，也要看到它的反面。”可控硅在应用中，也有一定的缺点，例如过载能力差，抗干扰能力差，线路比较复杂等。

毛主席教导我们：“入门既不难，深造也是办得到的，只要有心，只要善于学习罢了。”对于可控硅这项新技术的学习也是这样，只要我们有为社会主义革命和建设而学习的红心，勇于和善于克服困难，我们一定能够学好，一定能够为赶上和超过世界先进水平作出贡献。

最高指示

马克思主义的哲学认为，对立统一规律是宇宙的根本规律。这个规律，不论在自然界、人类社会和人们的思想中，都是普遍存在的。矛盾着的对立面又统一，又斗争，由此推动事物的运动和变化。

第一章 半导体二极管及整流电路

伟大的无产阶级文化大革命粉碎了叛徒、内奸、工贼刘少奇所推行的“洋奴哲学”、“专家至上”等修正主义路线，为我国电子工业的飞跃发展开辟了广阔的道路，半导体电子技术的应用越来越广泛。英勇的中国工人阶级，怀着对伟大领袖毛主席的无限忠诚，坚持独立自主、自力更生的方针，敢想、敢干、人人成了技术革新和技术革命的闯将，他们在生产实践中取得了大量的先进经验和发明创造，推动着我国半导体电子技术的迅速发展。在电子技术中，整流设备是不可缺少的一环，而现代化整流设备中的整流元件，几乎都已被半导体二极管所代替。这一章就介绍半导体二极管和它在整流电路中的应用。

1-1 半导体二极管的单向导电性

毛主席教导我们：“认识始于经验”。为了熟悉半导体二极管，我们先来做一个实验。拿一个普通的整流二极管，按图 1-1(a) 接成电路，并认清电源的极性。我们将看到电路中的灯泡发光，表明这时二极管中有电流通过。如果把电源极性

反接，灯泡就不亮
见图 1-1(b)，表明
这时电路中没有电流
通过。二极管只在一种
极性的外电压作用
下有电流通过的现象
叫做二极管的单向导电性，这是二极管的最根本的特性。

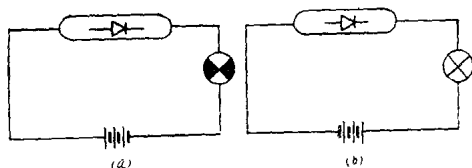


图 1-1

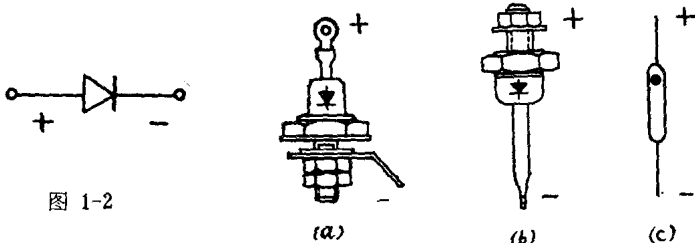


图 1-2

图 1-3

根据二极管的单向导电特性，在电路中我们就用图 1-2 所示的符号来代表二极管。图中箭头指的是电流能够通过的方向。工厂生产的二极管，常常在外壳上也画了这种箭头符号，如图 1-1 和图 1-3(a)、(b) 所示，箭头后面的引出线(或管脚)叫做阳极或正极，箭头前面的引出线叫做阴极或负极。有的二极管在靠近正极引出线处画上一个圆点来区别极性，如图 1-3(c) 所示。如果把二极管的正极接电源正端，负极接电源负端，这时我们说二极管加上了正向电压，电路中将会有电流通过；相反，如果二极管的正极接电源负端，负极接电源正端，这时我们说二极管加了反向电压，将没有电流通过。

实际上，二极管在反向电压下仍有一些电流通过，但很微弱，在图 1-1(b) 中若用一只微安表来代替灯泡，就能读出这个微弱电流，它的数值几乎与电源电压的大小无关。这个电流

我们称为二极管的“反向饱和电流”。如果二极管的温度升高，反向饱和电流会迅速增加，使二极管的单向导电性变坏。为此，二极管工作时的环境温度不能太高。

此外，如果在二极管上的反向电压升高到一定数值时，反向电流也会急剧增加，这种现象叫做二极管的“击穿”。在击穿状态下，大量的反向电流可使二极管温度迅速上升，甚至烧坏管子。因此，在一般场合下应防止击穿现象的发生。

下面我们再简单分析一下二极管单向导电性的内部原因。

本来，所谓半导体是导电性能较差的一种材料。现在大家公认，半导体的导电是依靠它内部的自由电子和空穴来担当的，电子带负电，空穴带正电。它们在外电压的影响下互相扩散，就形成电流。纯半导体内空穴和自由电子的数目极少，因此导电性能比起导体来要差，但比绝缘体要好，半导体的名称也就是这样得来的。这种纯半导体没有实用价值。但是如果在纯半导体内掺入微量的杂质，就会使自由电子或空穴数量大大增加，导电性能也将显著改善，实际使用的半导体元件都是由杂质半导体制成。例如在纯硅中掺入微量的硼元素，或在纯锗中掺入微量的硼或镉元素，就会形成大量的空穴。这样的半导体就叫做空穴型半导体，或 p 型半导体。 p 型半导体内仍有极少数的自由电子。在纯锗中掺入微量的砷或磷，就会形成大量自由电子而成为电子型半导体，或 n 型半导体。 n 型半导体内仍有极少数的空穴存在。

按照一定的工艺过程，把 p 型和 n 型两种半导体烧结在一起，就构成了半导体二极管，图 1-4 所示是半



图 1-4

导体二极管的示意图。在半导体二极管的 p 区内，由于空穴的浓度很高，就要向空穴稀少的 n 区扩散。这样， p 区边界上将

失去空穴而带负电位。同样,在 n 区内自由电子的浓度很高,也要向 p 区扩散,使 n 区边界失去电子而带正电位。因此,在交界地区就形成 n 区为正、 p 区为负的电位差,对空穴和电子的继续扩散起排斥作用,正好象在边界上筑起了一道壁垒,阻碍着电子和空穴的相互扩散。为此我们把这个电位差叫做“势垒”,把形成势垒的边界地区叫做 $p-n$ 结。在 $p-n$ 结中,电子和空穴的扩散和势垒的反扩散是矛盾着的两个方面,它们组成了一个统一体。但是二极管本身,从外部来看仍是一个不带电的物体。

毛主席教导我们：“矛盾着的对立的双方互相斗争的结果，无不在一定条件下互相转化。在这里，条件是重要的。”如果把二极管的 p 区接到电源的正端， n 区接到电源的负端，也就是象图 1-1(a)那样加正向电压，矛盾就要转化。外电源将拉走 $p-n$ 结上的电子和空穴，把势垒拆除。于是 p 区内的空穴就大量地向 n 区扩散， n 区内的电子也大量地向 p 区扩散，并流入外电路。对外电路讲，就相当于有一个电流从电源正端流入二极管 p 区，再通过 n 区回到电源负端。如果在二极管上加反向电压，矛盾就向另一方面转化，外电压将增强势垒的作用，排斥电子和空穴的扩散，外电路也就没有电流通过。由此可见，二极管具有单向导电性的内部原因，就是由于 $p-n$ 结上势垒的存在。但是 p 区内的少数自由电子和 n 区内的少数空穴，它们的漂移不但不受势垒的排斥，而是得到帮助的，只要二极管一加上反向电压，就会形成反向饱和电流，流入外电路。

1-2 半导体二极管的伏安特性

由前节我们知道，二极管具有单向导电性，加了正向电压就有电流通过，那末电流和电压之间的大小关系怎样呢？现在