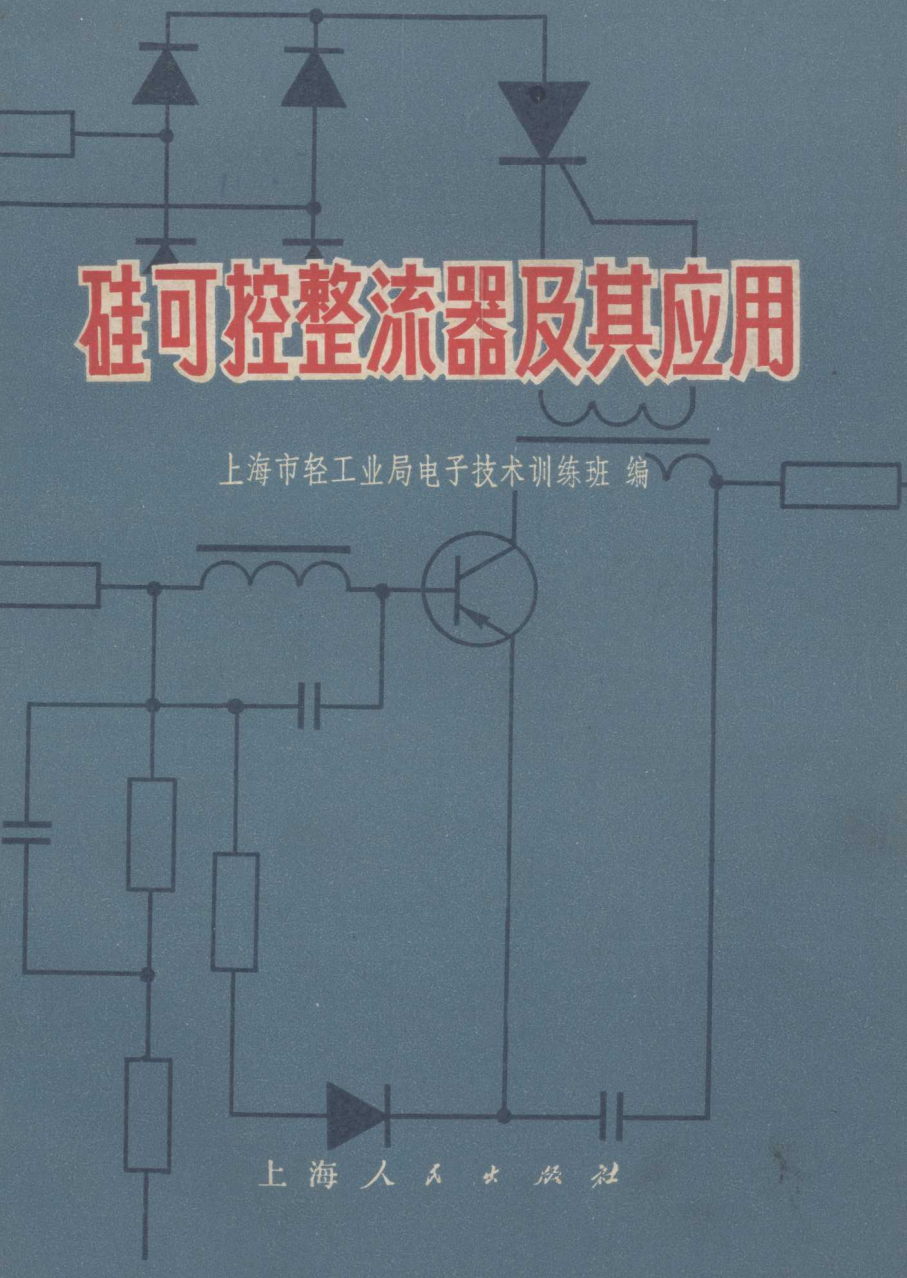
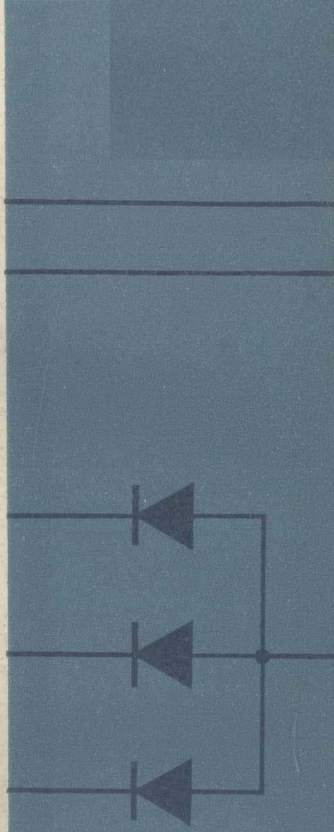
硅可控整流器及其应用

上海市轻工业局电子技术训练班 编



上海人民出版社



硅可控整流器及其应用

上海市轻工业局电子技术训练班 编

上海人民出版社出版

（上海绍兴路5号）

新华书店上海发行所发行　上海东方红印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32　印张 3.25　字数 70,000

1970年4月第1版　1971年1月第4次印刷

书号：15·4·10　　定价：0.19元

目　录

第一章　硅可控整流元件……1
一、可控硅及其工作情况……2
二、可控硅的结构及工作原理……5
三、可控硅的阳极伏安特性……7
四、可控硅的型号、参数及使用注意事项……9
第二章　可控硅的主回路……11
一、可控整流电路……11
1. 单相半波可控整流电路……11
2. 单相桥式可控整流电路……13
3. 三相半波可控整流电路……16
4. 三相桥式半控整流电路……19
5. 六相可控整流电路……21
6. 可逆输出可控整流电路……24
7. 感性负载时的主回路……25
二、可控硅交流调压电路……26
三、可控硅无触点开关……28
1. 单相交流开关……29
2. 三相交流开关……29
3. 直流开关……30
四、可控硅元件的选择……32
1. 可控硅"工作电流"的选择……32
2. 可控硅"耐压"的选择……34
第三章　主回路的保护装置……36
一、可控硅的过电流保护……36
二、可控硅的过电压保护……38
1. 交流侧保护装置……39
2. 可控硅元件侧保护装置……42

3. 直流侧保护装置……44
三、可控硅的串并联保护……45
1. 可控硅串联运行及保护……45
2. 可控硅并联运行及保护……46
第四章　可控硅的触发电路……48
一、阻容移相桥触发电路……48
二、双基极二极管脉冲触发器……53
三、晶体管脉冲触发电路……57
1. 采用变压器耦合的晶体管脉冲触发电路……57
2. 带有正反馈绕组的晶体管触发电路……59
3. 带有阻容正反馈的触发电路……60
4. 同步电压近似锯齿波的晶体管触发电路……62
第五章　可控硅应用实例……65
一、可控硅开关线路……66
1. 时间继电器……66
2. 直流无触点开关……67
3. 交流无触点开关……68
二、电压调节线路……69
1. 手动温度调节……69
2. 自动调压恒温控制……70
3. 750 安培手动调压电镀电源……73
三、可控硅直流电动机调速系统……74
1. 小功率直流电动机不可逆调速……75
2. 小功率直流电动机可逆调速……77
3. 中小功率直流电动机不可逆调速……81
4. 三相整流不可逆调速……86
5. 滑差电机无级调速……93
附录 1. 可控硅的参数……96
附录 2. 双基极二极管的型号和特性参数……98

毛主席语录

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。

第一章　硅可控整流元件

硅可控整流元件是一种新型的半导体元件，习惯上称它为“可控硅”。目前，我国工人阶级热烈响应毛主席的“**抓革命，促生产，促工作，促战备**”的伟大号召，正把可控硅广泛地应用于生产实践中，为我国社会主义革命和社会主义建设服务。可控硅可作可控整流、无触点开关、变频等用途，它具有体积小、重量轻、效率高、动作速度快、无噪声、操作维护方便等许多优点。但它还存在一些缺点，例如过载能力差（热容量低）、抗干扰能力差等，这些缺点需要我们在生产实践中进一步去克服。

无产阶级文化大革命前，叛徒、内奸、工贼刘少奇及其在各地的代理人，在工业战线和科技领域推行了一整套修正主义路线，大搞洋奴哲学、爬行主义，大搞神秘化，广大工人群众的技术革新被扼杀，使我国可控硅的制造和应用技术得不到迅速发展。

伟大的无产阶级文化大革命把以刘少奇为首的一小撮死不改悔的走资派扫进了历史的垃圾堆，战无不胜的毛泽东思想深入人心，历史车轮滚滚向前，我们伟大祖国的社会主义革命和社会主义建设事业欣欣向荣。伟大领袖毛主席说：“**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。**”中国工人阶级紧跟伟大领袖毛主席，在工业战线上创造了数不尽的奇迹。在这大好形势下，我国电子工业得到了飞速发展，电

子技术正在各行各业进一步推广，可控硅制造和应用的群众运动正在进一步开展。在短短的几年中，我国不仅生产了大功率可控硅元件，而且还生产了平面型可控硅和各种类型的双向可控硅元件，并且被日益广泛地应用在生产战线上。这是毛主席“**独立自主、自力更生**”方针的伟大胜利，是对刘少奇反革命修正主义路线有力的批判，是对帝、修、反的沉重打击。

当前，全国人民正紧紧地团结在以毛主席为首的党中央周围，狠抓革命，猛促生产，加强战备，为完成党的“九大”提出的各项战斗任务而努力奋斗。可控硅这个新元件，必将在生产上更大地发挥它的作用。让我们以更多更新的创造，使可控硅更好地为社会主义革命和社会主义建设服务！

一、可控硅及其工作情况

我国生产的可控硅种类很多，本书只介绍目前使用较普遍的一种，其外形如图 1-1 所示。从外形看来，可控硅象一只硅整流器（即硅二极管）。但它们是有区别的。可控硅有三个电极，它的一端是个螺栓，称为阳极；另一端有两个电极，其中较粗的一根引线为阴极，较细的一根引线为控制极。可控硅的符号如图 1-2 所示，它的阳极、阴极和控制极分别用符号 a、c、g 表示。

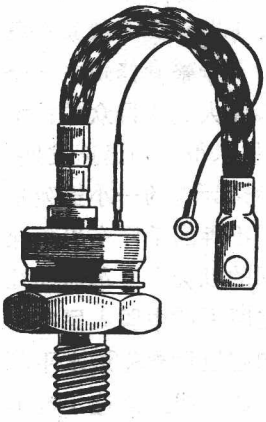


图 1-1　可控硅的外形



图 1-2　可控硅的符号

可控硅是如何工作的呢？为了说明这个问题，

先看下面的实验。

实验电路如图 1-3 所示，其中 E_a 和 E_g 都是直流电源（E_a 用 36 伏，E_g 电压较低，约 3 伏左右）。

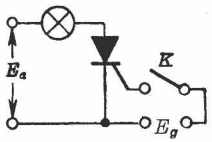


图 1-3

当可控硅阳极经灯泡接电源 E_a 的正极，阴极接负极（此时，加在可控硅阳极与阴极间的电电压称为正向阳极电压），控制极经开关接电源 E_g 的正极，阴极接负极（此时，加在控制极与阴极间的电压称为正向控制电压），开关 K 未合上时，灯泡不亮，如图 1-4(i)；开关 K 合上后，灯泡就亮了，如图 1-4(ii)；如果此后再打开 K，灯泡仍继续亮着，如图 1-4(iii)；甚至将控制电压 E_g 反接，灯泡也不会熄灭，如图 1-4(iv)。此时，控制电压已对可控硅失去作用。要使灯泡熄灭，必须把电源 E_a 降低到一定值，或使电路断开，或使阳极电压反向。

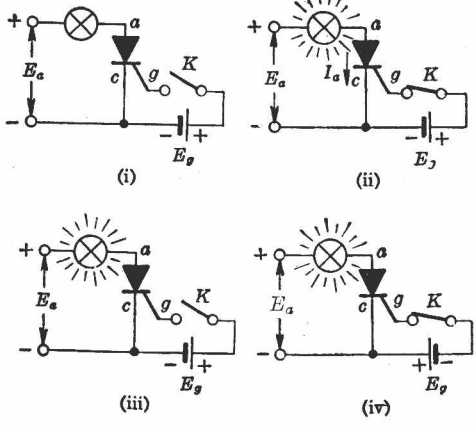
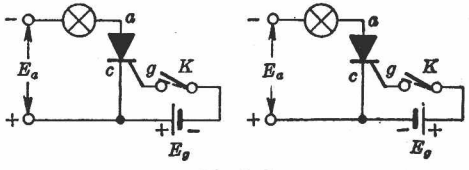


图 1-4

当可控硅阳极经灯泡接电源 E_a 的负极，阴极接电源正极（此时，E_a 称反向阳极电压）时，不管 E_g 极性如何，K 的分合都不能使灯泡发亮，如图 1-5 所示。说明可


图 1-5

控硅在反向阳极电压下，电路不通。

当可控硅在正向阳极电压作用下，如果控制极接电源 E_g 的负极，阴极接 E_g 正极（此时 E_g 为反向控制电压），那末，不管 K 的分合，灯泡始终不亮，如图 1-6 所示。说明可控硅即使在正向阳极电压作用下，如果控制电压接反，电路也不通。

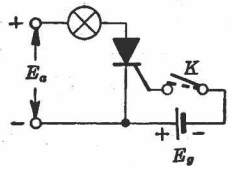


图 1-6

在上面的实验中，灯泡亮了，说明回路中有电流通过，即可控硅导通了；灯泡不亮，说明可控硅不导通。所以，在这里，可控硅好象一只开关。

综上所述，可以得出一个重要的结论，即：要使可控硅导通，必须同时具备两个条件：

1．可控硅加上正向阳极电压；

2．加上适当的正向控制电压。

可控硅导通后，控制电压就失去作用，要使其关断，必须把正向阳极电压降低到一定值，断开或反向。

一般整流二极管与可控硅虽然都具有单向导电性能，但后者有其特殊性，即：可控硅的导通是由控制电压控制的。

为了分析线路的方便，可以把图 1-3 的电路看作由两部分组成：

1．由阳极电源 E_a、可控硅与负载（灯泡）组成的回路，称为主回路；

2．由控制电源 E_g、开关 K 与控制极、阴极串联的回路，称为控制回路（又称触发电路）。

任何复杂的可控硅应用线路，都少不了这两个基本部分，只是组成形式不同罢了。

为了更清楚地了解可控硅及其应用，本书在第二章着重讨

论各种形式的主回路。控制回路部分将在第四章介绍。

二、可控硅的结构及工作原理

可控硅的工作情况为什么和二极管不同呢？它的控制极为什么能起控制作用呢？

毛主席教导我们："**事物发展的根本原因，不是在事物的外部而是在事物的内部，在于事物内部的矛盾性。**"为了进一步认识可控硅的工作情况，我们把可控硅剖开来，看看它的内部结构。

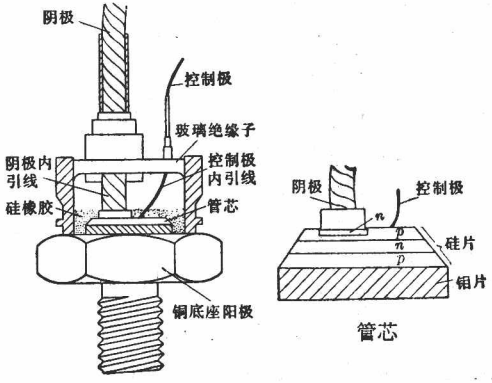


图 1-7 可控硅的结构

图 1-7 是可控硅的结构图。从图中可以清楚地看出，可控硅是由 p 型和 n 型半导体交替迭合而成的 p-n-p-n 四层元件。从外层 p 型半导体引出的是阳极，从外层 n 型半导体引出的是阴极，而控制极是从中间 p 型半导体引出的。

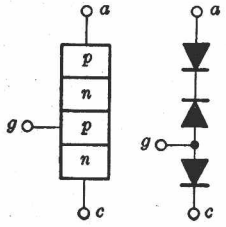


图 1-8

p 型和 n 型半导体迭合在一起就形成一个 p-n 结，可控硅中有三个 p-n 结，好象是三个二极管极性正反交叉地串联在一起，如图 1-8 所示。

如果只有阳极电压 E_a，那末，不管它的极性如何，这三只二极管中至少有

一只是处于反向电压状态，故不加控制电压时，可控硅一般都不会导通。

那末，在正向阳极电压下，加上正向控制电压后，为什么可控硅会导通呢？为了说明这个问题，可以把可控硅等效地看成由一个 p-n-p 型三极管 BG_2 和一个 n-p-n 型三极管 BG_1 组成，如图 1-9 所示。中间二层半导体为两个晶体管共用，这样阳极 a 好象是 BG_2 的发射极，阴极 c 和控制极 g 分别是 BG_1 的发射极和基极。

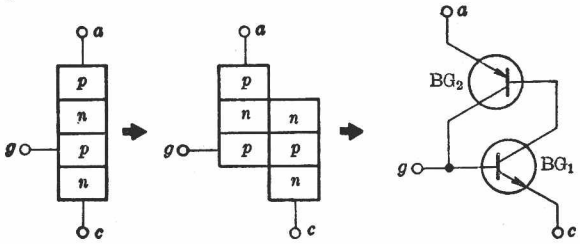


图 1-9

可控硅加上正向阳极电压时，晶体管 BG_1 和 BG_2 都承受正向电压（图 1-10）。如果再加上正向控制电压 E_g，这时 BG_1 的基极-发射极回路中就有控制电流 I_g 流过，它就是 BG_1 的基极电流。经过放大，在 BG_1 集电极上便流过大小近似等于 $\beta_1 I_g$（β_1 为 BG_1 的放大倍数）的电流。从图中可以看出，此电流恰又是 BG_2 的基极电流。又经 BG_2 放大，在 BG_2 集电极上流过大小为 $\beta_1\beta_2 I_g$（β_2 为 BG_2 的放大倍数）的电流，此电流又流入 BG_1 的基极，再一次得到放大，如此周而复始，两个晶体管很快地就充分导通，可控硅处于导通态了。导通后，其管压降几乎为零，电源

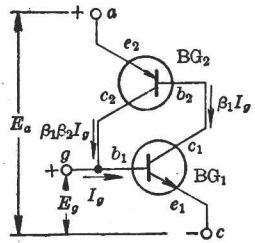


图 1-10

电压全部加在负载上，可控硅上就流过负载电流。

从图 1-10 中还可以看出，可控硅导通后，由于 BG_1 的基极始终有比控制电流 I_g 大得多的电流流过，因而即使控制电压消失，可控硅仍能继续保持导通。这就是在图 1-4 的实验中灯泡一旦亮后，控制电压 E_g 便失去作用的原因。

如果在正向阳极电压下，不加控制电压，或者控制电压极性接反，那末，虽然两只等效三极管是处于放大态，但没有输入信号被放大，可控硅仍不会导通。

如果阳极电压反接，即可控硅的阳极接 E_a 的负极，此时两只等效晶体管都处于反向电压下，不能对输入信号放大，故不论有无控制电压，可控硅都不会导通。

上面所讲的是可控硅在正常情况下的工作原理。

毛主席教导我们："**事物内部矛盾着的两方面，因为一定的条件而各向着和自己相反的方面转化了去，向着它的对立方面所处的地位转化了去。**"当正向阳极电压过高或上升得太快时，虽未加控制信号，可控硅也会导通，从而造成误动作；当反向阳极电压过高时，可控硅也会突然反向击穿，造成永久性破坏。为使可控硅正常工作，上述情况必须避免。

三、可控硅的阳极伏安特性

导通和关断是可控硅工作状态的矛盾着的两个方面。这两个方面随着阳极电压、电流和控制极电流等条件而互相转化的。在实际应用中，常用曲线来表明它们之间的关系，这就是可控硅的阳极伏安特性曲线。

可控硅的阳极伏安特性曲线见图 1-11。横座标表示阳极电压，纵座标表示阳极电流，并以控制极电流作为参变量。图中，

右上方阳极电压和阳极电流都是正的区域，称为可控硅的正向工作区。

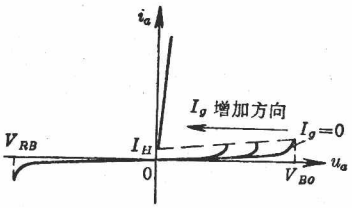


图 1-11

当控制极无信号（$I_g=0$）时，虽然正向阳极电压较大，但电流很小（称正向漏电流），特性曲线靠近横座标，这时可控硅处于正常关断状态。随着正向阳极电压不断升高，正向漏电流逐渐增大，特性曲线开始上翘。在正向阳极电压达到某一定值时，可控硅便由关断状态突然转化为导通状态，这就是前面提到的非正常工作情况，此时的电压称为正向转折电压，用 V_{BO} 表示。可控硅导通后，其阳极电压很小，并流过较大的负载电流，因此特性曲线高而陡直，靠近纵座标。若阳极电压减小或负载电阻增加时，阳极电流逐渐减小。当电流小于一定值时，可控硅便从导通状态转化为关断状态。这个阳极电流称为维持电流，用 I_H 表示。可控硅从导通状态转化为关断状态时，阳极电流变得很小，阳极电压突然增大，仍用原来靠近横座标的特性曲线表示。

当控制电压加入时，在控制极上有正向电流 I_g，可控硅就会在较低的正向阳极电压下导通，也就是转折电压降低。控制电流越大，正向转折电压就越低，特性曲线就越向左移。

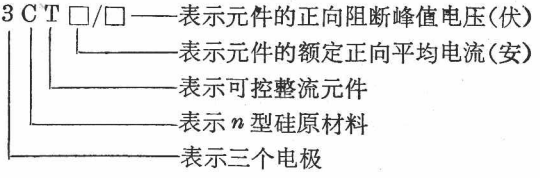
在反向阳极电压时，特性曲线在图 1-11 左下方，此时电流很小，称为反向漏电流，曲线平直靠近横座标。如果反向阳极电压达到一定值时，反向漏电流迅速增加，特性曲线急剧下弯，可控硅就反向击穿。此时的阳极电压称为反向最高测试电压，用 V_{RB} 表示。

上面讨论的整个曲线就是可控硅的阳极伏安特性曲线。它

是分析可控硅工作情况的一个工具。

四、可控硅的型号、参数及使用注意事项

目前我国的可控硅元件的型号及含义如下：



如 3CT 50/900，表示额定正向平均电流为 50 A，正向阻断峰值电压为 900 V 的硅可控整流元件。一般情况下，正、反向阻断峰值电压是相等的。

可控硅的额定正向平均电流通常有 1 A，5 A，20 A，50 A，100 A 和 200 A 等级，其中尤以 5 A，20 A，50 A 和 200 A 为最常见。

可控硅的反向阻断峰值电压在 100 V 以下只有 20 V 和 50 V 两级。在 100 V 以上每隔 100 V 一级，在 1000 V 以上每隔 200 V 一级。

可控硅元件的参数很多，其中最主要的是额定正向平均电流和反向阻断峰值电压两个。

额定正向平均电流是在规定的环境温度、标准散热和全导通的条件下，阳极与阴极间可连续通过的工频正弦半波电流平均值。

由于额定正向电流是在正弦半波整流全导通时测出的平均值，此电流还有交流成分。交流成分电流也会产生热量。电流发热的大小是用有效值来表示的。显然，在可控硅整流中有效值要

比平均值大。通过对正弦半波整流电流的计算，得出可控硅额定电流的有效值是其平均值的1.57倍。也就是说，额定电流为1A的可控硅，用在直流电路中，允许流过的电流是1.57A。

可控硅的正向阻断电压PFV规定为正向转折电压减去100V，反向峰值电压PRV规定为最高测试电压减去100V。如果元件的正向阻断峰值电压和反向峰值电压值不等，则峰值电压指的是两者中较小的一个。

可控硅的其它参数，可参见附录1。

为了保证可控硅的正常工作，使用时必须特别注意以下几点：

1．合理地选择可控硅。

2．采取恰当的保护措施，并限制电压、电流的变化率。

3．注意可控硅的散热问题。在可控硅上要配用具有规定散热面积的散热器，并使元件和散热器之间有良好的接触。对于50A以上的可控硅还要加上通风冷却装置，风速一般不小于5米/秒。

4．要防止控制极的正向过载和反向击穿。

毛主席语录

无论何人要认识什么事物，除了同那个事物接触，即生活于（实践于）那个事物的环境中，是没有法子解决的。

第二章　可控硅的主回路

可控硅广泛地应用于生产实际中，从其工作状态来看，主要分成三种类型：可控整流，无触点开关，逆变。本章主要介绍可控整流和无触点开关的主回路，我们在掌握这些基本原理后，再进一步了解逆变等方面的知识就有基础了。

一、可控整流电路

在生产中，许多地方都需要应用可调的直流电源，如电解，电镀，直流电动机的调速……过去，为了得到这一可调的直流电源，曾采用了各种方法：有的在整流器前加调压变压器，有的采用真空闸流管，有的采用交流电动机拖动直流发电机的笨重的机组，但这些装置有许多缺点。“**人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。**”工人师傅在抓革命促生产中使可控硅的应用，为这类需要开辟了一条崭新的途径。

1．单相半波可控整流电路

在介绍单相半波可控整流之前，先来看看不可控的单相半波整流电路（图 2-1）。

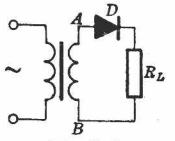


图 2-1

交流电压输入后，根据二极管 D 的单向

导电性，在电源的一个半周时(0～π)，A 点电位比 B 点电位高，二极管 D 导通，负载 R_L 上就得到电压；而在 π～2π 时，A 点电位低于 B 点电位，二极管不导通，负载 R_L 上无电压。因此，负载 R_L 上得到单方向的电压，其电压波形见图 2-2。通常，称二极管导通的半周为正半周，二极管不导通的半周为负半周。负载上得到电压的大小由正半周的面积所决定。当电压 u_{AB} 一定时，负载上得到的电压也就固定了。显然，在交流电压不变时，负载上得到的直流电压是不能调节的。

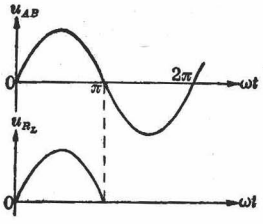


图 2-2

如果用可控硅代替图 2-1 中的二极管，情况将如何呢？

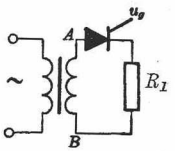


图 2-3

在图 2-3 中，交流电压输入后，A、B 两点电位是交变的，其波形见图 2-4(i)。在 0～π 时，A 点电位高于 B 点电位，此时可控硅上加的是正向电压，这

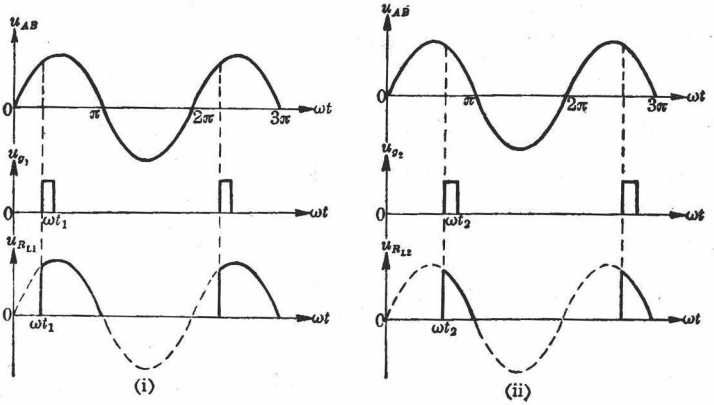


图 2-4

时只要再在控制极加入一个适当的正向控制电压，可控硅就会导通，负载上就得到电压。到 π 时刻，正向阳极电压过零点，流过可控硅的电流小于维持电流，可控硅就关断。在 $\pi\sim2\pi$ 时，可控硅上加的是负电压，此时不论有无控制电压，总是不会导通的。在第二正半周时，再在相应的时刻加入正向控制电压，可控硅便又导通……这样，负载 R_L 上就得到了直流电压。如果在可控硅承受正向阳极电压时间内改变正向控制电压的输入时刻（把这种变化称为控制电压的*移相*），如图 2-4(ii) 中脉冲加入的时刻从 2-4(i) 的 ωt_1 变到 ωt_2，可控硅导通时刻也由 ωt_1 变到 ωt_2，负载 R_L 上所得到的电压也就改变了。因此，只要使正向控制电压加入相位变化，负载上得到的电压也随之而变，这就达到了调压的目的。

可控硅在正向阳极电压下不导通的范围称为*控制角*，如图 2-4(i) 中的 $0\sim\omega t_1$；而称导通范围为*导通角*，如图 2-4(i) 中的 $\omega t_1\sim\pi$。显然，正向控制电压越前沿，导通角就越大，输出电压就越高。理想情况下，最大导通角为 180° 电角度，最大输出电压不能大于相同条件下的半波整流。

图 2-3 线路简单，缺点是：整流后的电压不平稳，整流电压小。**"按照实际情况决定工作方针，这是一切共产党员所必须牢牢记住的最基本的工作方法。"**我们应当根据生产中不同要求采用不同的整流电路。

2. *单相桥式可控整流电路*

图 2-5(i) 是一般的单相桥式整流电路。如果用可控硅代替单相桥式整流电路中的二极管，那末就得到了单相桥式可控整流电路，见图 2-5(ii)。

图 2-5(ii) 中，交流电压 u_{AB} 输入后，在 $0\sim\pi$ 时 A 点电位高于 B 点电位，可控硅 $3CT_1$ 和 $3CT_3$ 处于正向阳极电压下，而 $3CT_2$