

本

硅可控整流器的应用

硅可控整流器及其应用展覽

陕西省科学技术情报研究所

前 言

在党的“九大”团结、胜利的旗帜指引下，我省广大革命群众，坚持“独立自主、自力更生”方针，贯彻“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”的总路线，“抓革命，促生产，促工作，促战备”，热烈响应以毛主席为首、林副主席为副的党中央关于大力发展电子工业的战斗号令，打响了一场大办电子工业的人民战争，电子工业战线呈现一派蓬勃跃进的景象。

伟大领袖毛主席教导说：“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。”大力发展电子工业，是落实毛主席“提高警惕、保卫祖国”“备战、备荒、为人民”伟大战略方针的大事，是实现毛主席“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”战斗号令的重大措施。大量的事实说明：现代化电子工业的发展，将促进我国工业的大跃进，将是在我国进行人类历史上一次新的工业革命的出发点。采用现代化的电子技术，能够大大提高劳动生产率，大大提高产品质量，而且能够大大节约原材料。

当前，全省各条战线正在开展一个声势浩大的群众性的增产节约运动，广大工人群众高举《鞍钢宪法》伟大旗帜，大搞技术革新，推广先进经验，采用和发展新技术、新工艺、新材料。硅可控这一新技术日益得到广泛应用，并且取得了初步成绩。为了进一步发展以电子工业为中心的新技术，迎接我省大办电子工业

群众运动的新高潮，在省革命委员会科技局的领导下，由陕西省科学技术情报研究所、一机部整流器研究所和陕西工业大学共同举办了“硅可控整流器及其应用展览”。为配合这次展览，我们编印了一些资料，这本小册子是由陕西工业大学负责编写的。

由于时间匆促，水平有限，缺点和错误一定不少，请读者批评指正。

1970年7月

目 录

第一章 硅可控元件	1
一 什么是硅可控.....	1
二 硅可控的工作原理和特性.....	3
三 硅可控的参数和使用.....	6
第二章 硅可控应用电路的工作原理	8
一 可控整流电路.....	8
二 硅可控逆变电路.....	16
三 可逆整流电路.....	25
四 硅可控开关电路和交流调压电路.....	26
第三章 硅可控的串并联及保护	29
一 保护.....	29
二 硅可控的串并联.....	32
第四章 硅可控的触发控制电路	34
一 阻容桥式移相触发电路.....	34
二 单结晶体管脉冲触发电路.....	37
三 晶体管脉冲触发电路.....	42
第五章 应用实例介绍	50
一 硅可控整流器电磁调速系统.....	50
二 交流电动机硅串级调速装置.....	53
三 串联二极管式硅可控变频调速.....	57
四 硅可控中频弯管机.....	66
五 锅炉灭火自动保护装置.....	69

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。

第一章 硅可控元件

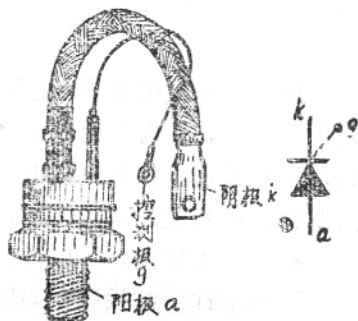
一、什么是硅可控

硅可控元件也叫做硅可控整流器，简称为硅可控。

一般的整流管具有两个电极——阳极 a 和阴极 k ，而硅可控还多一个电极——控制极 g 。外形及代表符号如图1-1所示。

为说明硅可控的工作情况，先看一个简单的实验，其电路如图1-2所示。

把硅可控的阳极 a 经灯泡接到电源 E_a 的正极，阴极 k 接到电源 E_a 的负极，控制极 g 的开关 K 不合，如图1-2(a)所示，硅可控不能接通，灯泡不亮。如果把控制极的开关 K 合上，如图1-2(b)所示，即控制极对阴极加上了正向控制电压 E_g ，硅可控立刻接通，与一个开关被接通一样，这时阳极和阴极之间就有电流 I_a 通过，其方向如图中箭头所示，从 a 到 k ，灯泡亮。硅可控接通后，若把开关 K 打开，如图1-2(c)所示，或把控制电压 E_g 反向，如图1-2(d)所示，硅



(a) 硅可控外形； (b) 硅可控代表符号

图 1-1

可控仍继续接通，灯泡继续亮。这说明控制极的作用只能控制硅可控开始接通的时刻，在硅可控一旦接通后，控制极便失去了控制作用。如果要使灯泡熄灭，就必须使阳极电源 E_a 反接，如图 1-2(e) 所示，或使阳极电路断开，或把 E_a 减小到一定的数值。

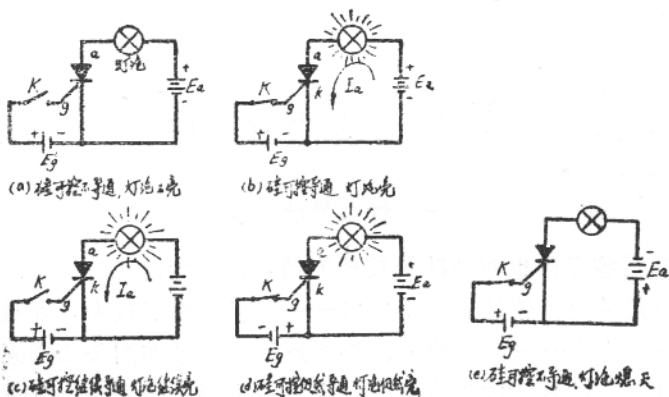


图 1-2 硅可控实验电路

如果把阳极电源 E_a 反向联接（即阳极接电源负极，阴极接电源正极），此时无论控制极电压正向接入还是反向接入，硅可控均不能接通。如果阳极电源 E_a 正向联接，而控制极电源 E_g 反向联接，硅可控也不能接通。

根据上述情况，可以得出两个重要的结论：

1. 要使硅可控接通，必须同时具备两个条件：即硅可控的阳极与阴极之间必须加上一定的正向电压（即阳极接正，阴极接负）同时控制极也要加上适当大小的正向控制电压（即控制极接正、阴极接负）。

2. 硅可控接通后，控制极就失去了控制作用，要使硅可控断开，必须把阳极电压降低到一定数值，或断开阳极电路，或将阳

极电源反向（即阳极接负，阴极接正）。

由于硅可控控制极的正向控制电流很小，一般为几毫安至100毫安左右，而阳极电流可达几十至几百安，可以达到用弱小功率去控制强大功率的目的。

二、硅可控的工作原理和特性

毛主席教导我们：“我們看事情必須要看它的實質，而把它的現象只看作入門的嚮導，一進了門就要抓住它的實質，這才是可靠的科學的分析方法。”

为了更進一步了解硅可控，下面從它的結構來分析。硅可控是由 $p-n-p-n$ 四層結構的硅片構成，見圖 1-3。它共有三個結；兩個 $p-n$ 結 j_1 、 j_3 和一個 $n-p$ 結 j_2 ，可看作由三個二極管正交叉地串聯在一起，從圖中可以看出，如果在 $a-k$ 之間加上一個不大的正向電壓（即 a 正、 k 負），由於 j_2 的存在（ D_2 反向不接通），硅可控呈斷開狀態不導電；如果在 ak 之間加上一個不大的反向電壓（即 a 負、 k 正），則由於 j_1 和 j_3 的存在（ D_1 和 D_3 反向不接通），硅可控亦呈斷開狀態不導電。

上述實驗證明：只有當硅可控的陽極與陰極之間加上正向電壓，而在控制極上加上正向控制電壓時，硅可控才接通。為了說明這個問題，將 $p-n-p-n$ 四層結構的硅片，等效地看成是由 $p-n-p$ 型和 $n-p-n$ 型的兩個三極管構成，如圖 1-4(b) 所示。中間兩層半導體為兩個三極管所公有，而每一個三極管的基極和另一個三極管的集電極相連接，見圖 1-4(c)。

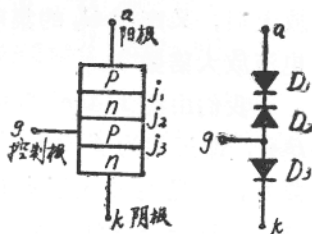


圖 1-3 硅可控的原理結構

当硅可控的阳极 a 和阴极 k 之间加上正向电压 E_a , 控制极与阴极之间加上正向控制电压 E_g 时, 就有电流 i_g 通过 $n-p-n$ 型三

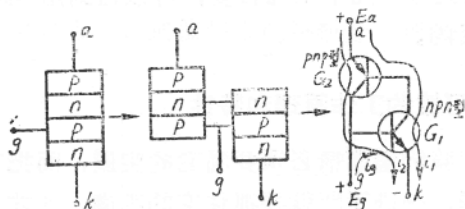


图 1-4 硅可控原理图

极管(G_1)的基极——发射极, 这电流相当于 G_1 的偏流, 经过 G_1 的放大后, 产生集电极电流 i_1 , 它近似地等于 $\beta_1 i_g$ (β_1 为 G_1 的电流放大倍数)。此 i_1 要通过 $p-n-p$ 型三极管(G_2)的发射极——基极, 又是 G_2 的偏流, 经 G_2 放大后, 又产生 G_2 的集电极电流 i_2 , 近似等于 $\beta_2 i_1$ (β_2 为 G_2 的电流放大倍数)。

我们由图 1-4(c) 看出, i_2 同时又是 G_1 的偏流, i_2 近似等于 $\beta_2 i_1$, 即近似为 $\beta_1 \beta_2 i_g$, 这电流又再次经 G_1 放大……如此周而复始, 可见 i_2 是大于 i_g 的, 以后不管原来的控制极电流 i_g 消失与否, 这一过程总会继续下去, 直至硅可控完全接通, 也就是说, 硅可控一旦接通后, 控制极便失去了控制作用, ak 间的电压 (称管压降) 几乎为零, 就像一个开关被接通一样, 电源完全加在负载上。这一接通状态一直继续到 ak 间正向电压消失或加一反向电压为止。

上述硅可控的接通过程, 实质上是一个电流正反馈的过程, 其接通时间很短, 一般约几微秒, 即硅可控具有动作迅速的特点。

当硅可控完全断开, 在阳极与阴极间再加上正向电压, 而控制极上不加电压, 由于 G_1 无输入信号, 硅可控是不会接通的, 在此情况下, 硅可控的控制极又恢复了它的控制作用。如果硅可控 ak 间的电源反接, 由于 G_1 和 G_2 都处于反向电压下, 不能起

放大作用，此时不论有无控制极电流 i_g 的存在，都不能产生 i_1 和 i_2 ，即硅可控不能接通。

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。”上述硅可控的接通条件，指的是正常工作情况。如果阳极电源电压 E_a 超过一定数值，（即正向转折电压 u_{B0} ）[参看图 1-5]，或阳极电压上升过快，即使不加控制电压 E_g ，硅可控也会突然接通，这种接通状态是不正常的，是不允许的。如果阳极反向电压过高，达到反向击穿电压值（ $-u_{B0}$ ）时，硅可控就会突然被击穿而损坏（相当半导体二极管反向击穿一样），因此硅可控决不允许在此电压下工作。

图 1-5 为硅可控的伏安特性曲线，即硅可控的阳极电流 i_a 和阳极电压 u_a 的关系曲线，右上方为正向工作区。

正常情况下，硅可控所加电压 u_a 一般是低于 u_{B0} 的。当控制极控制电流 $i_g = 0$ 时，硅可控处于断开状态，如果加上控制电压， i_g 增加到一定数值时（几毫安到几十毫安），硅可控便会在较低的阳极电压下突然接通，进入接通状态。接通后，管压降很小，电流很大，仅受外电路负载的限制。若把阳极电压减小，或负载电阻增加， i_a 便逐渐减小，当 i_a 减小到一定值 I_H （称阳极最小维持电流）以下时，硅可控便从接通状态转为断开状态。特性曲线中表示了在不同控制极电流下硅可控的接通情况，随着 i_g 的增加，特性曲线向左移。

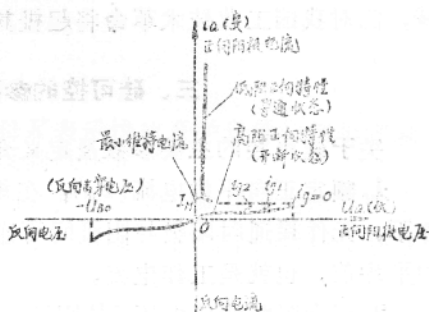


图 1-5 硅可控的伏安特性

硅可控得到广泛的应用，就是建筑在上述用控制极接通元件的基础上。例如，可用几毫安或几十毫安的电流作信号做成大电流的直流无触点开关；在交流中，可在不同时刻引入控制信号去接通元件，来进行可控整流。还可用各种换流的方法，把直流电源逆变成各种频率的交流电，而用于机械工业的热处理及弯管中，此外，还用于交直流电机的无级调速，各种控制及保护电路中。目前，硅可控的应用已普及冶金、机床、电力机车、电力、化工、煤矿、石油、造船、造纸、纺织、航空以及国防等各个领域，它对我国工业技术革命将起极其重要的作用。

三、硅可控的参数和使用

关于硅可控的主要参数及定义介绍如下：

1. 额定正向平均电流(I_F)：在规定的环境温度、标准散热条件下，元件接通时阳极与阴极间可连续通过的工频正弦半波电流的平均值，也就是工作电流。

2. 正向阻断峰值电压(PFV)：规定为元件在正向时从断开状态转为接通状态的正向转折电压 u_{BO} 减去 100 伏的电压值。

3. 维持电流(I_H)：在规定的环境温度，控制极断开、元件处于接通状态条件下，维持元件接通所需的最小正向电流。

4. 反向阻断峰值电压(PRV)：规定为元件反向时最高测试电压减去 100 伏的电压值。

5. 控制极触发电流(I_g)：在规定的环境温度下，阳极和阴极间加以一定阳极电压时，触发元件使其从断开状态转为接通状态所需要的最小控制极直流电流。

硅可控的其它参数，这里不一一叙述了。

使用注意事项：为了保证元件正常工作，不致损坏，在使用时必须合理选择元件，严格按产品说明书规定来使用，另外还需

要注意下面几点:

1. 保证良好的散热条件及环境温度, 在硅可控上配用规定面积的散热片, 并使之与元件有良好的接触, 或者风冷和水冷。

2. 必须加过电压和过电流保护, 并限制电压、电流的变化率。

3. 串并联应用时, 必须注意均压与均流的问题。

4. 反向控制极信号电压不能太大, 否则控制极会反向击穿而损坏。

硅可控的型号表示法:

3 C T □ / □ □

——字母 *K* 表示快速开关元件, 字母 *F* 表示反向低压元件

——表示元件的正向阻断峰值电压 (伏)

——表示元件的额定正向平均电流 (安)

——表示可控整流元件

——表示 *N* 型硅材料

——表示有三个电极

例如: 3CT50/400 表示正向额定平均电流 50 安, 反向峰值电压 400 伏的硅可控整流元件。

最 高 指 示

讀書是學習，使用也是學習，而且是更重要的學習。

第二章 硅可控应用电路的工作原理

一、可控整流电路

1. 整流电路概述

所谓整流就是把交流电转变成直流电。什么叫可控整流呢？就是输送出来的直流电的大小可以进行调节。在工业生产中需要可调直流电源的场合很多。例如电解、电镀、电泳浸漆、电缆干燥、直流电机的调速、蓄电池的充电、同步发电机的励磁、直流电焊机等等都需要可调的直流电源。可控整流的使用，在很大程度上可以取代直流发电机组、调压变压器等许多设备，而且节约了劳力，提高了工效。

利用硅可控组成的整流电路，和应用一般二极管整流元件一样，可以组成单相半波、单相全波、单相桥式、三相半波、三相桥式、六相等各种可控整流电路，至于采用那种电路合适，必须根据负载的容量和对控制性能要求而定。下面我们先以单相半波电路为例来说明，可控整流如何能达到使输出直流电压的大小可以调节的。

2. 单相半波可控整流电路

图 2-1 为一个简单的交流电路。由于所用交流电源的电压为 220 伏及 380 伏，为了获得所需要的交流电压值，在电路中接入变压器 T 。 R_L 为负载电阻，也就是用电设备。当变压器的原边

加上交流电压 e_1 ，副边就产生一感应电压 e_2 ，它的波形如图 2-2(a) 所示。如果每当 e_2 的正半周时，把开关 K 合上，而负半周时把开关 K 拉开，在负载两端可得到一个单方向的脉动电压 u_a ，其波形如图 2-2(b) 所示。如果在 e_2 正半周的时间内，改变合上开关的时刻，如在 t_1 时合上开关 K ，

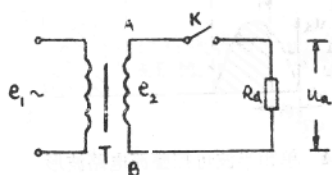


图 2-1 电路

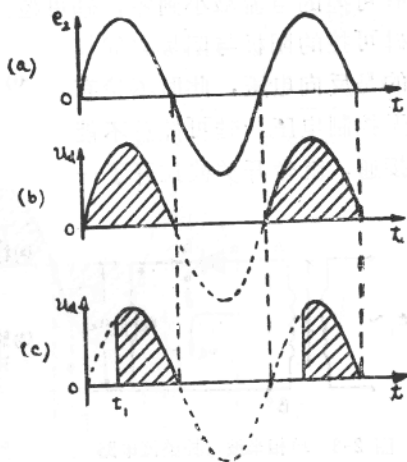


图 2-2 波形

则可得到图 2-2(c) 所示的输出电压波形。由波形图可以看出，(b) 图中的阴影面积大于 (c) 图中的，而负载两端的输出直流电压的大小是与阴影面积成正比，即图 (b) 的输出直流电压比图 (c) 的大。可见，只要改变开关 K 合闸的时间，就可以达到调压的目的。

由于所用交流电的频率为 50 周/秒，即每秒钟内变化 50 次，因此用手动去操作开关 K 是不可能的。在第一章中已提到，硅可控是一个可以控制的开关，它的动作时间很短，仅几十微秒，可以用它来代替图 2-1 中的开关 K ，即成了图 2-3 所示的单相半波可控整流电路。

当变压器副边电压 e_2 为正半周时，在 t_1 时刻由控制极送入一个正向控制电压 u_g [如图 2-4(2) 所示]，硅可控便接通，这与开关被合上一样，在回路中就有电流 i_a ，其方向如图中箭头所

示。电流 i_d 在负载电阻 R_d 上产生电压 u_d ，其极性如图中所示，波形见图 2-4(3)。当电压 e_2 从正半周进入负半周过零点时，流过硅可控的电流减小到零，硅可控便自行断开。当 e_2 为负半周时，硅可控的阳极与阴极之间加的是反向电压，此时不论有无控制电压，硅可控总不能接通，就像开关被拉开了一

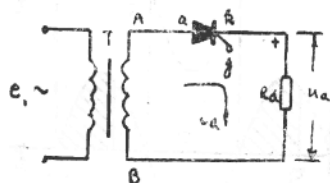


图 2-3 单相半波可控整流电路

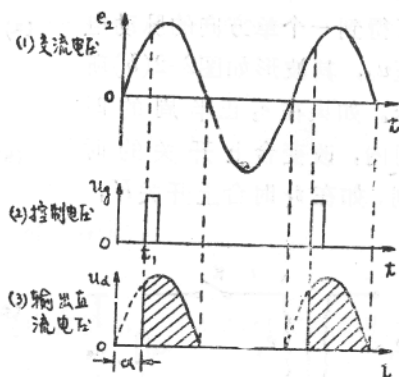


图 2-4 单相半波可控整流电路波形

样。在 e_2 第二个正半周时，在相应的时刻又送入一个正向控制电压，硅可控又接通，这样在负载两端可得到一个单方向的电流和电压，达到把交流电转变为直流电的目的。如果在硅可控的阳极与阴极之间加上正向电压，改变控制极正向电压 u_g 送入的时刻，即改变控制角 α 的大小，就可以改变输出直流电压 u_d 的大小。控制角 α 愈大，输出的直流电压愈小。这就是可控整流的基本原理。

单相半波可控整流电路很简单，所用的元件也少，但存在一定的缺点，如输出直流电压小，且波动太大，在有些场合下不能满足要求。目前在生产中广泛地采用桥式可控整流电路。

3. 单相桥式可控整流电路

单相桥式可控整流电路如图 2-5 所示，其波形如图 2-6 所示。当变压器的原边接上交流电源，在副边感应的电压 e_2 当 A 端为正 B 端为负时，硅可控 1 和 2 处于正向阳极电压，而硅可控 3 和 4 处

于反向阳极电压。在 e_2 的正半周内的时刻 t_1 ，同时给硅可控 1 和 2 送入适当大小的正向控制电压 $u_{g1,2}$ ，硅可控 1 和 2 立即接通，就有电流 i_d 由电源正端 A 经过硅可控

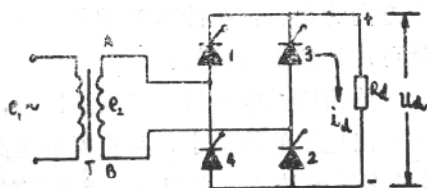


图 2-5 单相桥式可控整流电路

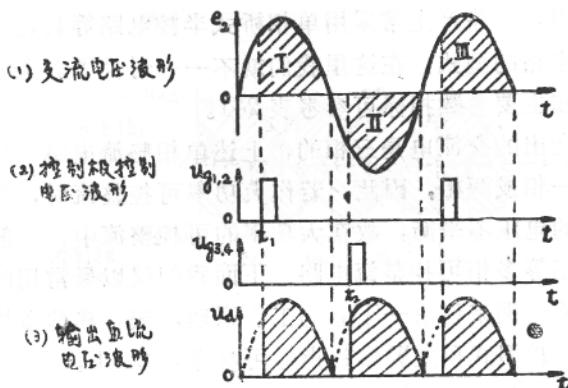


图 2-6 单相桥式可控整流电路波形

1、负载 R_d 、硅可控 2 而回到电源负端 B 。电流经过负载时，是从上向下，因此在 R_d 上产生一个电压 u_d 为上端正，下端负。硅可控 1 和 2 接通至交流电压 e_2 过另时才自动断开。

当 e_2 变为负半周，即 B 端为“正”， A 端“负”时，硅可控 3 和 4 便处于正向阳极电压下，而硅可控 1 和 2 处于反向阳极电压下是断开的，若在 t_2 时刻给硅可控 3 和 4 同时送入适当的正向控制电压 ($u_{g3,4}$)，硅可控 3 和 4 接通，电流从电源正端 B 经硅可控 3、负载 R_d 和硅可控 4 回到电源负端 A 。电流经过负载时的方向仍是从上向下不变。因此在负载端便得到单方向的直流电。其输出电压 u_d 波形如图 2-6(3) 所示，是图 2-6(1) 阴影面积在一

个方向的叠加。在此不难看出若改变 $u_{g_{1,1}}$ 和 $u_{g_{1,2}}$ 送入的时间，就可达到调压的目的。

单相桥式电路与半波电路比较，在同样控制角 α 下，桥式电路输出电压的波动小，且直流电压高（从 u_d 波形可以看出，比图 2-4 多了一块阴影面积）。这是它的优点，但是需要四个硅可控，相应的控制电压也需要四个，线路复杂，可靠性也降低，为了克服这些缺点，在生产上常采用单相桥式半控电路等其他一些单相可控整流电路的型式，在这里我们就不一一讨论了。关于它们的电路型式和主要参数指标可参考表 2-1。

电网送出的交流电是三相的，上述单相整流电路只用了三相电网中的一相或两相，因此，若作大功率可控整流时，将会造成三相电网的电压不平衡，故在大功率的可控整流中，一般常采用三相或六相等多相可控整流电路。下面我们仅以最常用的三相桥式可控整流为例来讨论一下它的工作原理，关于其他多相可控整流的电路联接型式和主要参数指标可参考表 2-1。

4. 三相桥式可控整流电路

三相桥式可控整流电路如图 2-7 所示，我们把它与图 2-5 比较，多了两个硅可控，变压器也改为三相的，所以三相桥式电路就是从单相桥式电路推广而来。它的工作波形示于图 2-8 中。

在三相桥式电路内，硅可控有三个是阴极联在同一点上，称为共阴极组，用符号 1, 3, 5 表示。另外三个硅可控是阳极联在同一点上，称为共阳极组，用符号 2, 4, 6 表示。这六个硅可控是如何进行轮换接通和工作的呢？根据硅可控的接通条件：阳极和阴极间必须加上正向阳极电压，同时在控制极要送入适当的正向控制电压。硅可控断开条件：必须阳极电压减小到一定值，或等于零，或反向。现在根据上述原则来分析三相桥式电路的工作原理和波形。

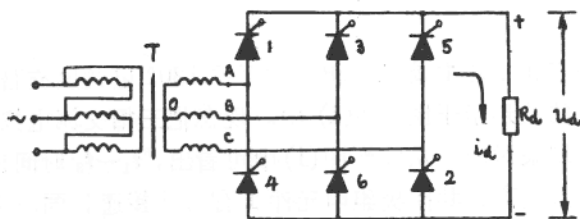


图 2-7 三相桥式可控整流电路

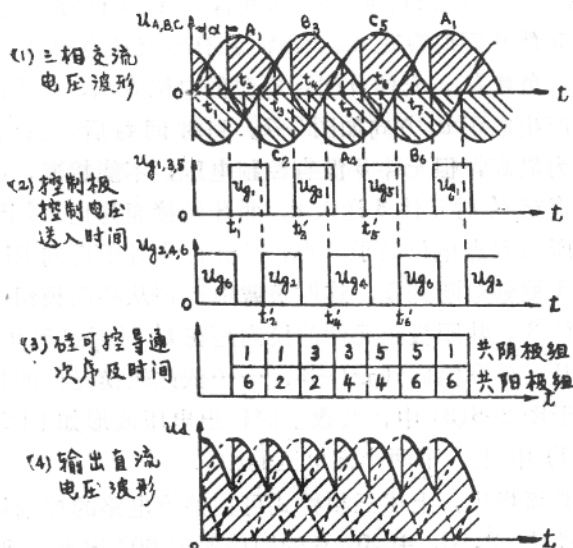


图 2-8 三相桥式可控整流电路波形

图 2-7 电路中共阴极组 (六件 1, 3, 5) 由于阴极同电位, 只有那个阳极电位最高, 又同时送入适当的正向控制电压的元件才能接通。共阳极组 (元件 2, 4, 6) 由于阳极同电位, 只有那个阴极电位最低, 并又同时送入适当的正向控制电压的元件才能