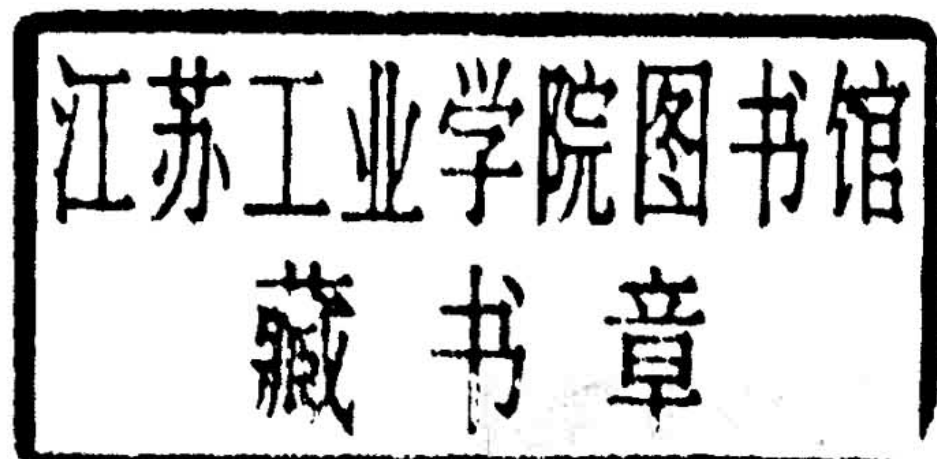


KZSF可控硅直流調速裝置原理

上海紡織工学院

KZSF可控硅直流调速装置原理



上海纺织工学院

1975·12

目 录

一、概 述	1
二、三相桥式半控整流电路	2
1. 工作原理	3
2. 主电路内其他元件的作用	6
3. 可控硅的容量选择	7
三、可控硅保护电路	11
1. 可控硅过电流保护	11
2. 可控硅过电压保护	13
四、可控硅触发电路	16
1. 对可控硅触发电路的主要要求	16
2. 触发电路工作原理	17
3. 为什么要加偏移电压	24
4. 触发电路的外加电源	25
五、直流放大器	30
六、主令稳压电源	33
七、电流截止负反馈	38
1. 为什么要用电流截止负反馈	38
2. 电流截止负反馈电路	38
3. 加了电流截止负反馈后的系统特性	40
八、安装与调试	40
1. KZ SF可控硅直流调速装置控制电路的安装	40
2. 控制电路单件调试	45
3. 组件调试	49
4. 系统试验	54
附录一	6
同步变压器的计算	62

KZSF可控硅直流调速装置原理

一、概述

KZSF可控硅直流调速装置是什么意思呢？

“K”表示可控硅

“Z”表示直流电动机

“S”表示调速系统

“F”表示轻纺工业用

它是由我院电工场和东风雨衣染织厂、纺织机电厂的工人、技术人员协作试制的产品。这产品是为化纤、印染、造纸及机制工业中对调速精度要求较高，或受电网电压波动要求影响较小，以及对动态性能要求较高的生产机械而设计的，在这次学工中，将通过学员们的安装调试，在化纤厂的五辊牵伸机和机械制造厂的C615车床试运行，以求得到改进。

KZSF可控硅直流调速装置是一个带测速发电机的反馈控制系统，什么是反馈控制系统呢？

大家都知道，由于电动机本身的特性，在带上负载后，它的转速要下降一些，如果空载转速为1000转/分的直流电动机，满载时降到950转/分，也就是转速下降了50转/分，在某些生产机械，这样大的转速降是不允许的。例如C615车床，要求电气调速范围是20:1，也就是电机最高转速与最低转速的比值为20:1，如果最高转速是1000转/分，最低转速便是50转/分。由于直流电动机从空载到满载时转速下降50转/分，这样在最低速时只要一加负载，电动机就不转了，当然没法用于生产。

又如，电网交流电压通过可控硅整流装置，供给直流电动机时，由于电网电压波动，使可控硅整流电压和电动机的转速也随之波动，对于很多生产机械（如化纤厂的五辊牵伸机和印染厂的热定形机）这也是不允许的，那么，怎样解决这些矛盾呢？反馈控制系统可以解决这矛盾。图1—1是KZSF可控硅直流调速系统的示意图。

三相交流电通过可控硅整流电路变成可调直流电压 U_d 加至直流电动机。触发器输出脉冲使可控硅按要求导通，测速发电机是一个测量电动机转速的小电机，它的输出电压与电动机的转速成正比，完全反映转速的变化，这个电压用 U_F 表示，把测速发电机的输出电压与一

个表示基准值的给定电压 U_{gd} 去进行比较，也就是两个电压相减 $U_{gd} - U_F$ ，那末如果因为电网电压或负载的波动使电动机转速下降时， U_F

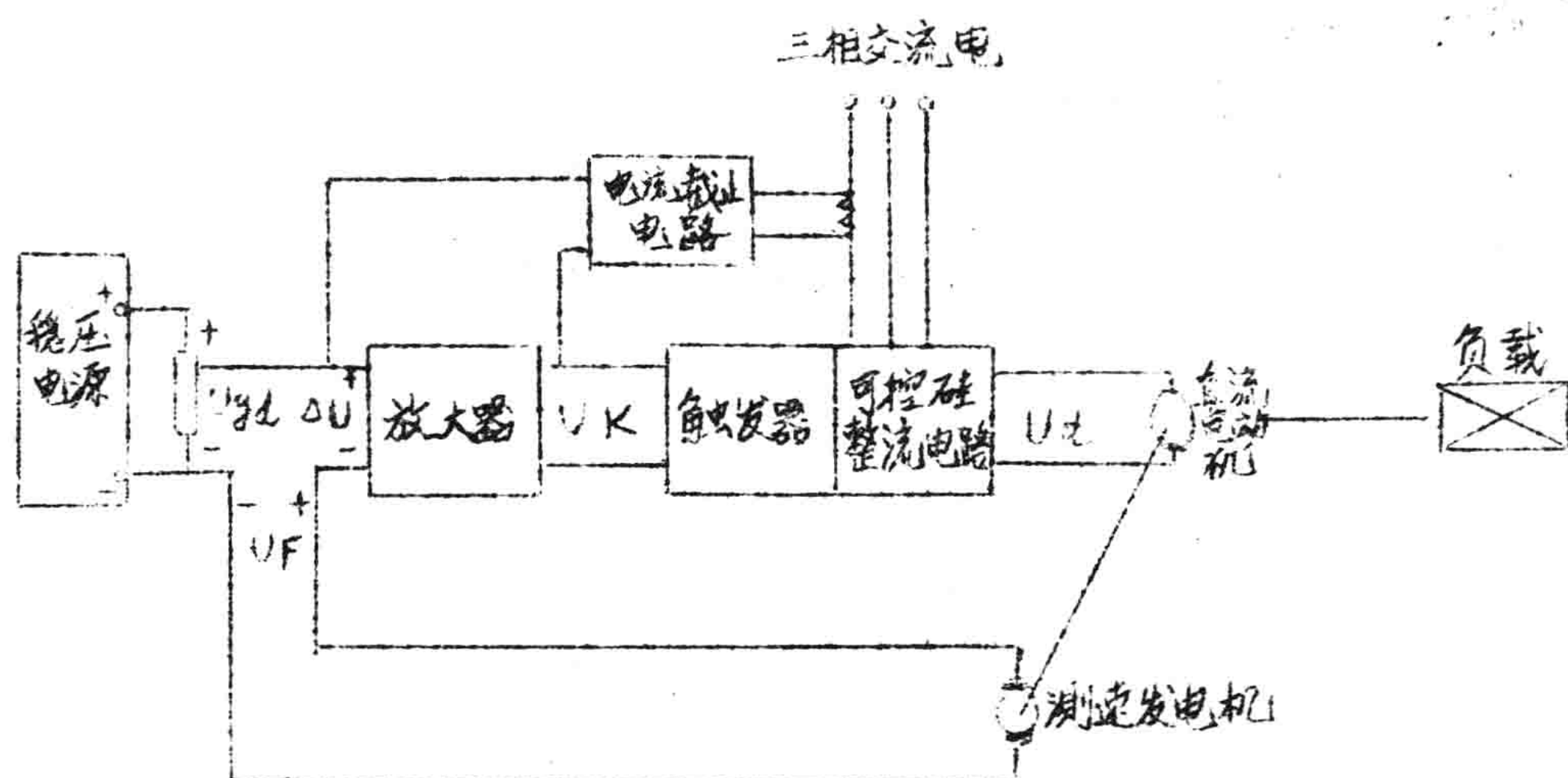


图 1—1

便减小，于是两个电压的差值 $U_{gd} - U_F = \Delta U$ 就增加， ΔU 经过放大器使整流电压 U_d 提高从而使转速回升。这里为什么要增加一个放大器呢？这是因为当 U_F 下降时 $\Delta U = U_{gd} - U_F$ 稍有变化就能产生很大的控制作用使转速回升。这就是增加放大器的目的，这种系统把被控制的量测量出来送回放大器的输入，与给定值相比较，这叫做“反馈”，这种系统叫做反馈控制系统。图 1—1 中，还有一个电流截止电路，其作用是保证系统在起动时或负载过大时主电路电流不超过最大值，以防止直流电动机载电流太大。

下面，我们将介绍 KZSF 可控硅直流调速装置的各个部份。

二、三相桥式半控整流电路

KZSF 可控硅直流调速装置的可控硅整流电路采用三相桥式半控电路，三相桥式半控电路如图 1—2 所示，它可将电网的三相交流电压变为可调直流电压，与单相整流电路相比，三相桥式半控整流电路输出电压脉动较小，输出功率较大，所以常在生产中采用。

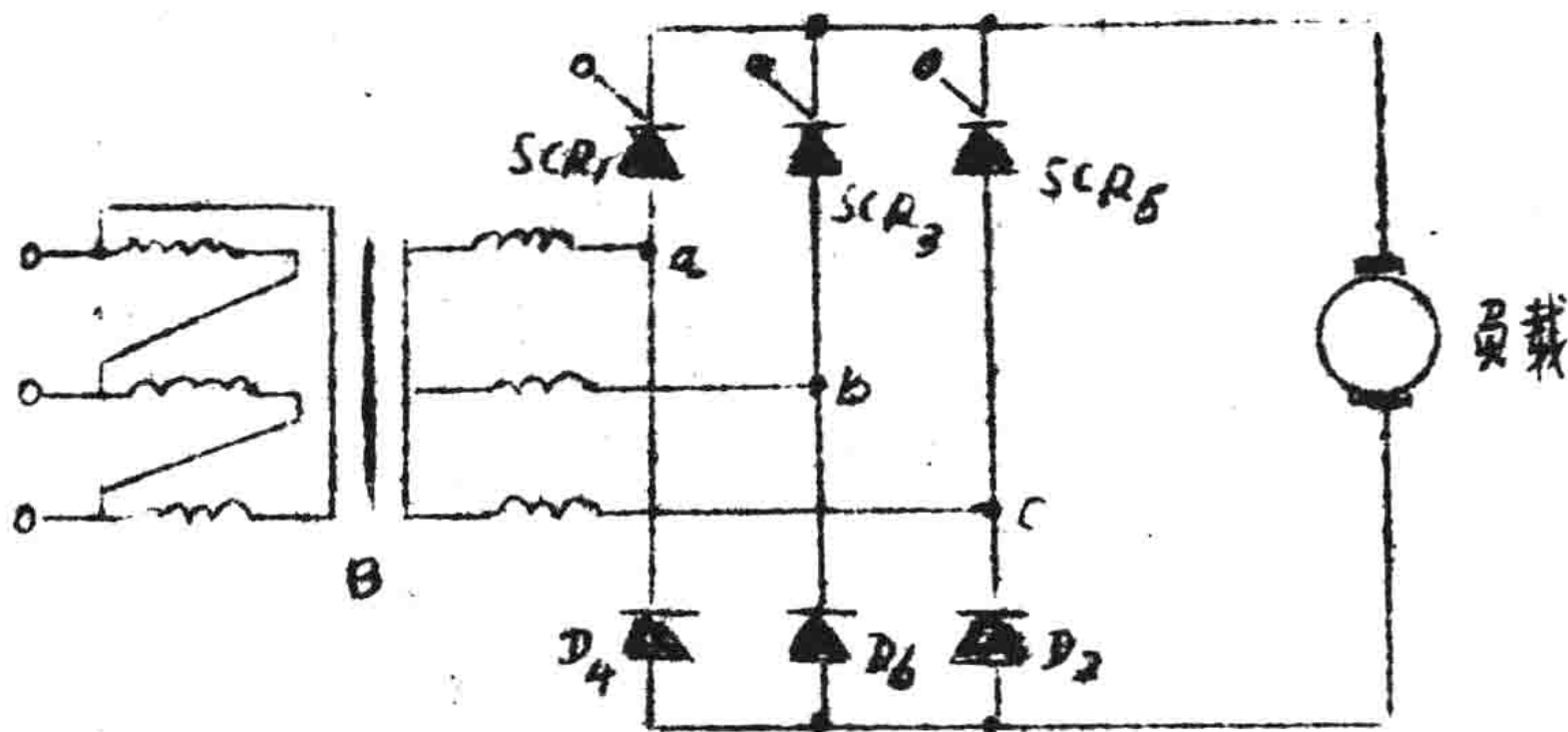


图 1—2

1. 工作原理

怎样来分析这电路呢？我们已学过单相可控整流电路，在那里，可控硅的阻断与导通是一对矛盾，当可控硅阳极电压为正时，供给一定的触发电压，就能使可控硅完成由阻断到导通的转化。控制可控硅导通相位就可以调节输出电压的大小，这对于三相桥式半控电路，同样具有普遍意义，这是共性，但三相桥式半控电路，输入的交流电是三相，而不是单相的，所以它又有区别于单相可控整流电路的特殊性。

在图 1—2 的三相桥式半控整流电路中，三只可控硅阴极联结在一起，我们叫它共阴极组；三只二极管阳极联结在一起，我们叫它共阳极组；三只可控硅的导通顺序与三相电源顺序相同为 1. 3. 5，因为是三相电源，所以触发电压的相位，应依次相差 120° 如图 1—3 (c)， U_{ga} 触发 SCR_1 ， U_{gb} 触发 SCR_3 ， U_{gc} 触发 SCR_5 ，图 1—3 (d) 为相电压波形。图 1—3 (b) 为线电压波形，实线为 U_{ab} ， U_{bc} ， U_{ca} ，虚线为 U_{ac} (即 $-U_{ca}$) U_{ba} (即 $-U_{ab}$)， U_{cb} (即 $-U_{bc}$)。

相电压的交点称为自然换流点，如果此时触发可控硅，例如在 m 时刻，触发 SCR_1 此时，电压 U_b 最低，即 b 点电位最负，故 D_6 导通，电流从 a 相经 SCR_1 ，负载 D_6 回至 b 相，输出电压按 U_{ab} 变化，如图 1—3 (d) 所示。当 D_6 导通 60° 后， U_c 将低于 U_b ，即 c 点电位低于 b 点电位，所以 D_2 导通， D_6 则由于承受反向电压而关断， D_6 换流给 D_2 ，输出电压按 U_{ac} 变化，再过 60° 即 SCR_1 触发导通 120° 后， SCR_3 触发导通，此时 $U_b > U_a$ ， SCR_1 由于承受反向

向电压而关断，即 SCR_1 导通 120° 后换流给 SCR_3 ，输出电压按 U_{bc} 变化。又过 60° 后，因为 $U_a < U_c$ ， a 点电位最负，故 D_4 导通而 D_3 关断，输出电压按 U_{ba} 变化，同理当过 60° 即 SCR_3 触发导通 120° 后， SCR_5 触发导通， SCR_3 关断，输出电压按 U_{ca} 变化，又经过 60° ，因 $U_b < U_a$ ， D_4 换流给 D_6 ，输出电压按 U_{cb} 变化，因而在一个周期内出现六个均匀的波头，以后过程重复进行，这情况和三相桥式整流电路的波形完全相同。

如果将触发电压相位移后，那末输出电压波形又怎样呢？如以自然换流点为标准，移后的角度称为控制角，以 α 表示，我们将研究几个特殊控制角 $\alpha=30^\circ$ ， $\alpha=60^\circ$ ， $\alpha=120^\circ$ ， $\alpha=150^\circ$ 输出电压波形。

若将触发电压相位移后，如图 1—3(e)，使控制角 $\alpha=30^\circ$ 角则过程与 $\alpha=0$ 时相似。输出电压波形如图 1—3(f) 所示，还可看到每周期有六个波

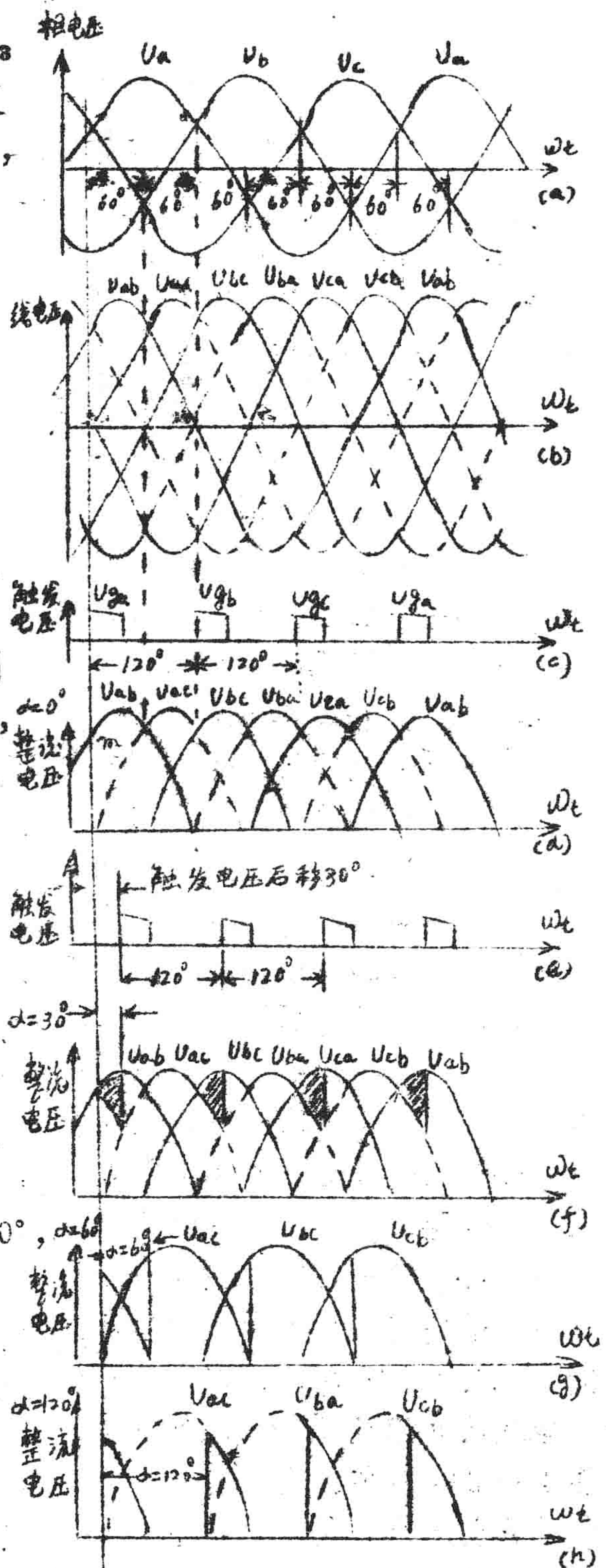


图 1—3

头,但其中三个是缺了一小块的(图中斜线所示),也就是说,整流电压值小了。

若 $\alpha = 60^\circ$, 此时当 SCR_1 导通时, U_c 最低, 仅 U_{ac} 输出, 导电可控硅在对应的线电压降为零时自行关断, 输出电压只剩下三个波头了(图 1—3(g))

如 $\alpha > 60^\circ$, 例如 $\alpha = 120^\circ$, 输出波形已不连续, 每个可控硅自行关断, 到另一相可控硅触发后才有输出电压(图 1—3(h))。

α 继续增大时, 输出电压继续减小, $\alpha = 180^\circ$ 时输出电压为零。由上看出, 在三相桥式半控整流电路中, 要求触发脉冲移相的范围是 180° , 脉冲间隔是 120° , 在 $\alpha \leq 60^\circ$ 时, 可控硅导通角 $= 120^\circ$, 波形连续。

由分析可知, 整流电压随控制角 α 而变化, 整流电压平均值 U_d 与 α 的关系可通过积分求得。

从整流电压波形中看出, 一个 $\frac{1}{3}$ 周期内波形的变化与其他完全相同, 可代表整流电压波形变化。所以, 我们只要研究从 $(60^\circ + \alpha)$ 到 $(180^\circ + \alpha)$ 的 $\frac{1}{3}$ 周期(图 1—4)。

设 E_2 为变压器次级相电压, 则线电压

$$U_{ab} = \sqrt{2} \sqrt{3} E_2 \sin \omega t$$

$$U_{ac} = \sqrt{2} \sqrt{3} E_2 \sin (\omega t - 60^\circ)$$

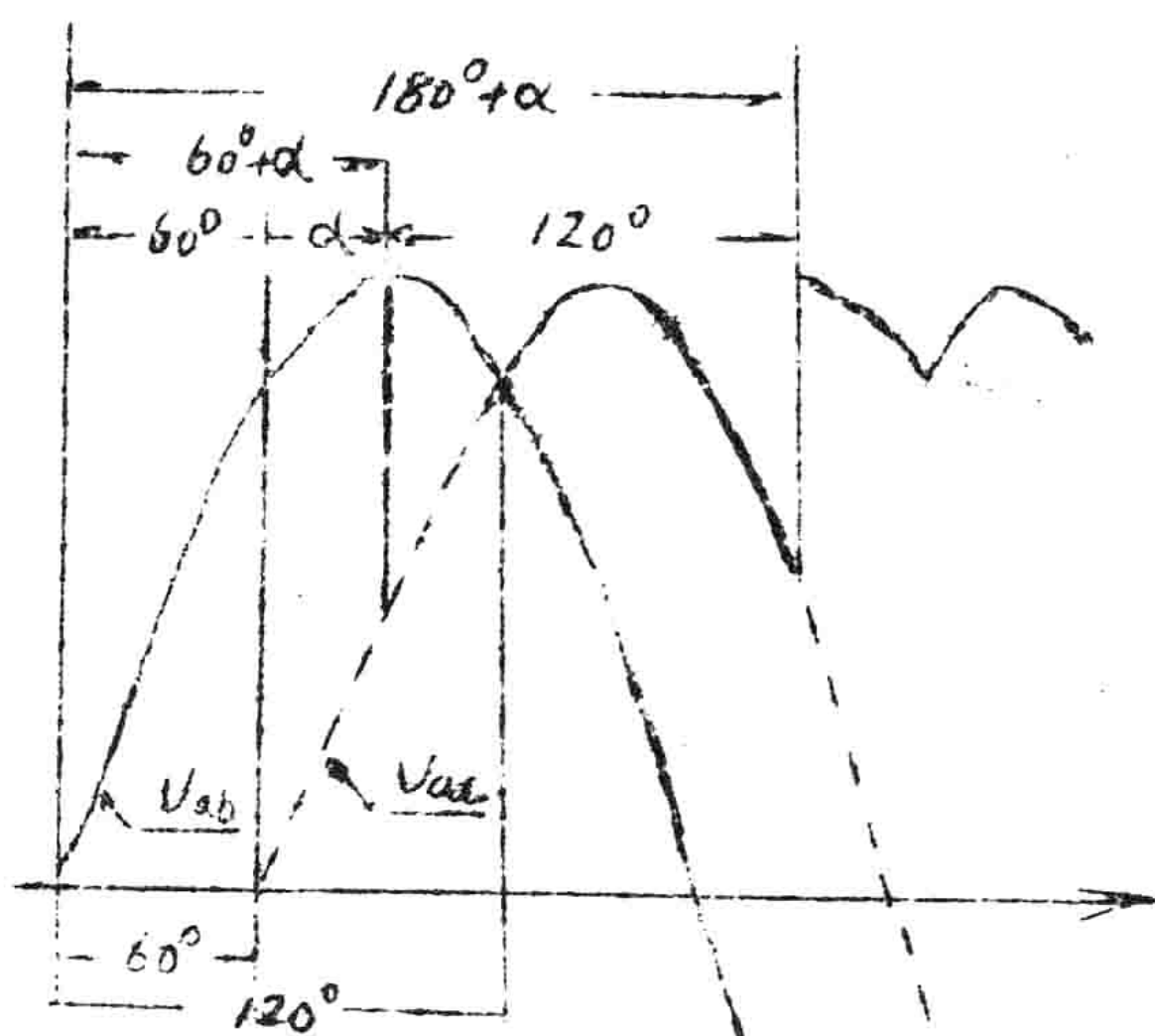


图 1—4

$$\begin{aligned} \text{整流电压 } U_d &= \frac{1}{2\pi} \left[\int_{60^\circ + \alpha}^{120^\circ} \sqrt{2} \sqrt{3} E_2 \sin \omega t \, d\omega t + \int_{120^\circ}^{180^\circ + \alpha} \sqrt{2} \sqrt{3} E_2 \sin (\omega t - 60^\circ) \, d\omega t \right] \\ &= \frac{3\sqrt{3}\sqrt{2}}{\pi} E_2 \frac{1 + \cos \alpha}{2} = 2.34 E_2 \frac{1 + \cos \alpha}{2} \end{aligned}$$

$\alpha = 0$ 时 $U_d = 2.34 E_2$ 恰是三相桥式整流电路的整流电压值, 可

控硅承受的工作电压峰值为 $\sqrt{2}\sqrt{3} E_2$ ，每个可控硅流过的平均电流为负载电流的 $\frac{1}{3}$ 。

2. 主电路内其他元件的作用

(1) 变压器 B

初级接成三角形，次级接成星形

变压器的主要作用是将380伏电源电压降低，以满足220伏直流电动机的要求。

$$U_d = 2.34 E_2 \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$

考虑到变压器阻抗压降，电网电压波动等因素，整流电压要留有余量，一般取 $\alpha = 30^\circ$ ，故变压器次级相电压 E_2 。

$$E_2 = \frac{U_d}{1.17(1 + \cos \alpha)} = \frac{220}{1.17 \times 1.866} \\ = 102 \text{ 伏 (取 } 105 \text{ 伏)}$$

由于变压器次级与接到电网的初级在电路上没有联系，电路运行较为安全可靠。

(2) 电抗器

由于可控硅整流电压或电流不是恒定的直流，含有脉动成份，在实际运行中就会使电动机无火花换向区变小，换向恶化，在控制角大于 60° 时，输出电压是断续的，电流也将是断续的，在电流是断续的情况下，引起电机的抖动。输出电压调整率差，机械特性变软，电机负载稍有变化时，转速将有很大的波动，如果在电机回路内串接电抗器 L ，电抗器 L 起了“滤波”作用，即使整流电压脉动较大，电机电流脉动也是不大的，克服了上述现象。

(3) 续流两极管

如电机回路内串有电抗器 L ，它是电感性的，电感的特点是电流的变化落后于电压的变化，当电压过零时，由于电感的作用，可控硅阳极电流仍不等于零，使可控硅继续导通，不能关断，可能产生失控，为克服这情况，在电抗器前并联一个两极管（图1—5），两极管为电感提供了一个放电回路。如图虚线所示，避免电感的持续电流流过可控硅，保证可控硅正常工作。

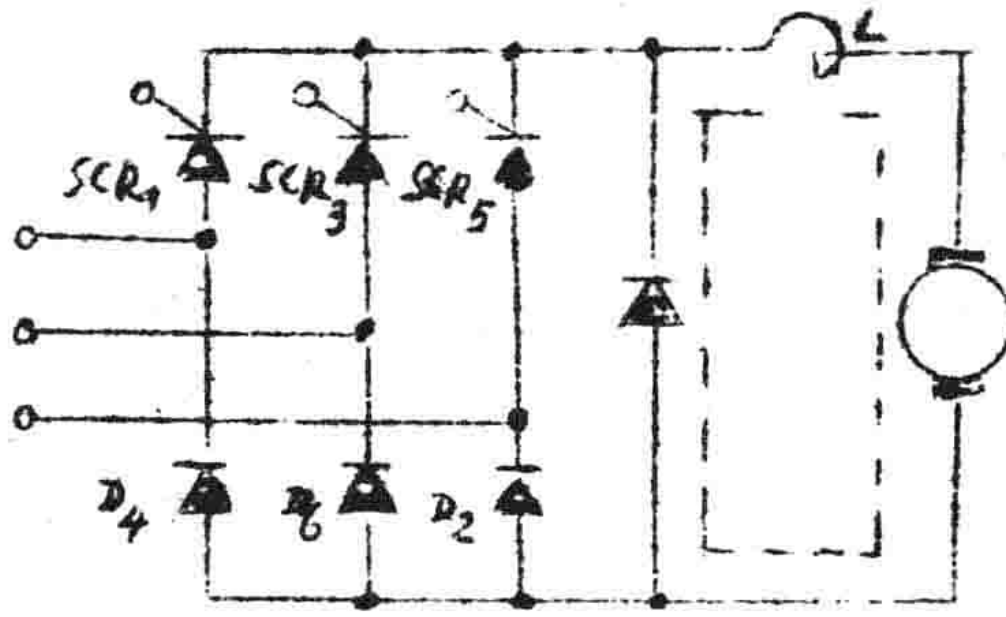


图 1—5

3. 可控硅的容量选择

在可控硅整流电路中，可控硅是关键元件，必须合理选择，容量选择过大，会造成不必要的浪费，容量选得过小，会造成可控硅的损坏。

选择可控硅的容量，主要是选择可控硅的“电压”（指正向阻断电压和反向峰值电压）和“电流”（指额定正向平均电流）两个参数：

(1) 可控硅正向阻断峰值电压和反向峰值电压的选择

可控硅元件承受的正反向电压和整流电路型式，交流电源电压的大小有关，为保证可控硅长期安全运行，一般选取可控硅正向阻断峰值电压和反向峰值电压为电路中可控硅承受的最大正向电压（ $U_{正}$ ）和最大反向电压（ $U_{反}$ ）的 1.5 ~ 2 倍。

可控硅正向阻断峰值电压 $PFV \geq (1.5 \sim 2) U_{正}$

可控硅反向峰值电压 $PRV \geq (1.5 \sim 2) U_{反}$

常用整流电路中的可控硅承受的最大正、反向电压见表 1—1。

「例」在五辊矫伸机和 C615 车床采用的 KZSF 可控硅直流调速装置的电源变压器次级相电压 E_2 为 105 伏，请选择可控硅正向阻断峰值电压和反向峰值电压。

在三相桥式半控电路中，可控硅承受的正反向最大电压相同，为线电压的峰值。

$$U_{正} = U_{反} = \sqrt{2} \sqrt{3} E_2 = 2.45 E_2 = 2.45 \times 105 = 256 \text{ 伏}$$

则选择的可控硅正、反向峰值电压

$$PFV = PRV > 1.8 \times 256 = 460 \text{ 伏}$$

（安全系数取 1.8）

则选 PFV, PRV 等于 500 伏的可控硅。

(2) 可控硅额定正向平均电流的选择

在整流电路中，通过可控硅的电流不是纯直流电，而是带有交流成份的脉动直流电。在这情况下，衡量可控硅发热的是电流的有效值。而可控硅制造厂给出的可控硅额定正向平均电流是指半波电流的平均值。可控硅的额定电流有效值是其额定电流的平均值的 1.57 倍，因此可控硅无论工作在什么整流电路中，为了保证可控硅不因过热而损坏，必须使流过可控硅电流的有效值不超过可控硅元件额定平均电流 I_F 的 1.57 倍。但是计算流过可控硅电流的有效值是件麻烦事，因为在不同电路和不同导通角下都是不相同的，实际上，由于可控硅额定电流是有限几级，因而选择元件时常用如下经验公式：

$$\text{可控硅额定平均电流 } I_F \geq \frac{1}{1.57} K \left(\frac{I_d}{m_K} \right)$$

式中： I_d —— 整流元件在全导通时，整流电路允许最大整流电流平均值。

m_K —— 可控硅并联导通数，查表 1—1，三相桥式半控电路的 $m_K = 3$ 。

K —— 不同整流电路中流过可控硅电流的波形系数，即电流的有效值与平均值之比。查表 1—1。三相桥式半控电路的 $K = 1.73$ 。

「例 1」

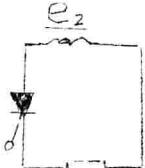
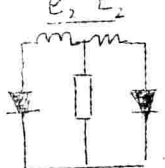
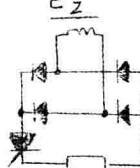
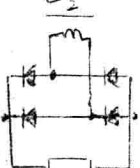
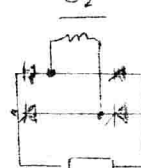
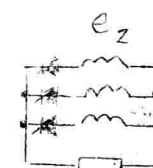
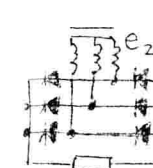
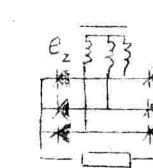
五辊牵伸机（本院化纤工场）采用 KZSF 系统，电机容量如下：第一单元——5.5 瓩，第二单元——10 瓩，第三单元——10 瓩，热定形——10 瓩，牵伸机卷曲——5.5 瓩。采用三相桥式半控电路，请选择可控硅额定电流。电机总容量 = 5.5 + 10 + 10 + 10 + 5.5 = 41 瓩，考虑到不可能所有单元同时达到额定容量，取利用系数 80%，则为 $41 \times 80\% = 32.8$ 瓩。则整流电路输出电流约为

$$32.8 \text{ (瓩)}$$

$$I_d = \frac{32.8 \text{ (瓩)}}{220 \text{ (伏)}} = 150 \text{ (安)}$$

$$\text{可控硅额定正向平均电流} \geq \frac{1}{1.57} K \frac{I_d}{m_K} = \frac{1}{1.57} \times 1.73 \times \frac{150}{3} = 55 \text{ 安}$$

可选用 100 安可控硅，因货源，实选用 200 安可控硅。

								
最大整流电压	$0.45 E_2$	$0.9 E_2$	$0.9 E_2$	$0.9 E_2$	$0.9 E_2$	$1.17 E_2$	$2.34 E_2$	$2.34 E_2$
可控硅反向最大电压	$1.41 E_2$	$2 \times \sqrt{2} E_2 = 2.83 E_2$	0	$1.41 E_2$	$1.41 E_2$	$\sqrt{2} \times \sqrt{2} E_2 = 2.45 E_2$	$\sqrt{2} \times \sqrt{2} E_2 = 2.45 E_2$	$2.45 E_2$
可控硅最大整流电压	$1.41 E_2$	$1.41 E_2$	$1.41 E_2$	$1.41 E_2$	$0.71 E_2$	$1.41 E_2$	$2.45 E_2$	$2.2 E_2$
二极管反向最大电压			$1.41 E_2$	$1.41 E_2$			$2.45 E_2$	
流过可控硅电流波形系数(K)	1.57	1.57	1.11	1.57	1.57	1.73	1.73	1.73
可控硅并联导电数(mk)	1	2	1	2	2	3	3	3
可控硅最大导通角	180°	180°	360°	180°	180°	120°	120°	120°
脉冲移相范围	180°	180°	180°	180°	180°	150°	180°	120°

「例2」

C615车床采用KZSF系统，电机容量为2.8瓩，采用三相桥式半控电路。请选择可控硅容量。

查得220V, 2.8瓩电机额定电流为14.8安。

则选用可控硅额定正向平均电流 $\geq \frac{1}{1.57} \times 1.73 \times \frac{14.8}{3} = 5.45$ 安

可选用10安可控硅，考虑到货源，实选用50安可控硅。

三、可控硅保护电路

可控硅有很多优点，如体积小，动作快，正向压降小，效率高，控制功率小。但是，正如伟大领袖毛主席教导我们的“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”，可控硅虽有那么多优点，但是它也有先天性弱点，就是比较娇嫩，过电压和过电流都会使元件损坏。遵照毛主席的教导办事，我们就要想办法克服这些缺点，如：采用过电压，过电流保护装置，使可控硅安全可靠地运行。

1. 可控硅过电流保护

为什么用过电流保护呢？因可控硅热容量小，过电流时，温度会急剧上升，超过允许温度后P-n结烧毁，使可控硅损坏。

造成可控硅过电流的原因有过负载，负载短路，元件本身短路，和可控硅的误触发。

毛主席教导我们：“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。”

由于可控硅热容量小，过电流时，温度会急剧上升，使可控硅损坏。针对这实际情况，可控硅过电流保护装置应该是快速动作的，如快速熔断器、快速过电流继电器、快速开关等。快速熔断器一般作短路保护。快速过电流继电器、快速开关等则用来作短路以外的过电流保护。如果要求不高，也可用快速熔断器代替过电流继电器或快速开关作短路以外的过电流保护。

国产快速熔断器有两种：一种是小容量，螺旋式的快速熔断器，型号是RLS-□，(R表示熔断器，L表示螺旋型，S表示快速，□表示额定电流)适用于额定电压500伏以下，额定电流100安以内的交、直流电路，规格见表1—2。

RLS熔断器规格

表1—2

熔断器型号	熔断器额定电压伏	熔断器额定电流(安)	熔断器体额定电流(安)
RLS-10	500	10	3, 5, 10
RLS-50	500	50	15, 20, 25, 30, 40, 50
RLS-100	500	100	60, 80, 100

还有一种是大容量，插入式快速熔断器，型号是RSO-□/□。(R, S意义同上，O表示设计序号，是低压有填料，封闭管式。电压等级有200, 500, 750伏三种(表示在分子上)，电流等级有30, 50, 80, 150, 320(500伏)350(250V)六种(表示在分母上)。

快速熔断器额定电流是指有效值，它的容量常根据(1.25~1.5) I_F 计算。其中 I_F 为可控硅额定正向平均电流。例如可控硅直流电动机调速系统使用50安可控硅，如作可控硅短路保护时，应采用 $1.5 \times 50 = 75$ 安的快速熔断器。为了可靠保护起见，有时熔断器额定电流值取得和可控硅额定电流平均值相同，在上述情况下，则取50安快速熔断器。在KZSF可控硅直流电动机调速系统线路中，快速熔断器的位置如图1—6所示。

如果没有快速熔断器，也可用普通RL螺旋式熔断器来代替，此时选用的熔断器额定电流应不大于可控硅额定电流的2/3。

此外，在KZSF可控硅直流调速系统中，还采用普通的JL₃型电流继电器代替快速过电流继电器作过电流保护，接在可控硅输出回路

上，如图1—6所示，从实际运行来看，效果也很好。JL₃型电流继电器，在动作原理上和一般的电磁继电器是相同的，只是线圈导线较粗，可以通过主回路电流，如果电流达到一定数值(称为整定值)，

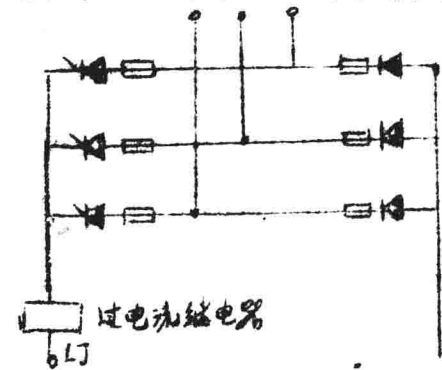


图1—6

继电器衔铁吸合，接触器开断可控硅供电。电流继电器的过电流整定值可以调节，粗调是调节继电器衔铁气隙大小，气隙大，则过电流整定值大，细调是靠调节继电器的释放弹簧，弹簧紧，过电流整定值大。

2. 可控硅过电压保护

产生过电压的原因很多，一般有：可控硅元件本身的导通与关断。感性负载电路的开闭、电网电压的波动，电源变压器的开、闭，快速熔断器的熔断都会造成过电压。这些过电压有个共同的特点是变化极快。因此，我们常采用电容电阻吸收装置或硒堆作保护。

(1) 可控硅元件两端并联电容、电阻。

可控硅在一个周期中是轮流导电的，当一相可控硅触发导电时，前一相可控硅电流立即降到零，并立即承受一个反电压，而可控硅从正向导通到反向阻断是需要一个恢复时间的，也就是可控硅的关断时间——通常有20微秒左右，在这个极短的时间内，可控硅尚无阻断能力，故可控硅有一个相当大的反向电流流过，待到反向阻断能力恢复，可控硅的反向就只有一个极小的反向漏电流流过。这个反向电流的迅速变小，因电源回路有电感而造成一个过电压，加在可控硅两端，其数值达工作电压峰值的5~6倍。这种过电压称为换相过电压。克服这种过电压的方法是在可控硅两端并联电阻电容。

大家知道，变化很快的电压是很容易通过电容的，在可控硅两端并联电容 C_b 后（如图1—7）。

如果可控硅两端出现变化极快的过电压，很容易通过电容构成回路，

（如图中虚线所示）这就消除过电压，保护了可控硅，加了电容后当可控硅导通时，会向可控硅迅速放

电，造成大电流，以致损坏可控硅，因此必须在电容器上串入电阻 R_b 。

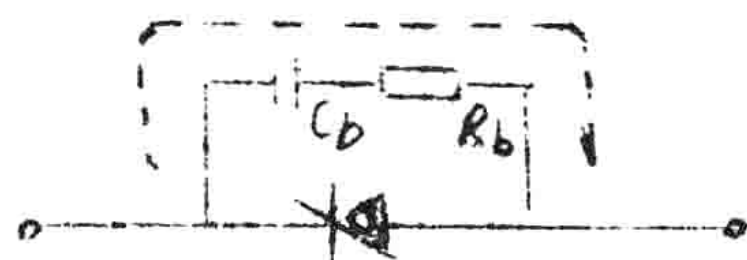


图 1—7

电容、电阻值可按下列公式计算：

$$C_b = (2.5 \sim 5) \times 10^{-3} \times I_F (\mu F)$$

式中 I_F 为可控硅额定电流

电容 C_b 的电压为可控硅反向峰值电压的 1.1~1.5 倍。

$$U_C = (1.1 \sim 1.5) \text{ PRV}$$

$$R_b = (2-4) \frac{u}{I_F} \quad (\text{欧})$$

式中：u 为可控硅工作电压峰值（伏）

按一般经验，200 安可控硅 $C_b = 0.5 \mu\text{F}$ ， $R_b = 10$ 欧

100 安可控硅 $C_b = 0.25 \mu\text{F}$ $R_b = 20$ 欧

50 安可控硅 $C_b = 0.2 \mu\text{F}$ $R_b = 40$ 欧

20 安可控硅 $C_b = 0.1 \mu\text{F}$ $R_b = 100$ 欧

KZSF 可控硅直流电动机调速系统，采用 50 安可控硅，选用 $C_b = 0.22 \mu\text{F}$ ，630 伏的金属化纸介电容（型号是 CZJL）， $R_b = 51$ 欧，7.5 瓦。

(2) 交流电源侧保护

对于有整流变压器的系统，电网上产生的瞬时过电压不易侵入到次级危害可控硅元件，但是，开断和接通变压器初级的开关，可能在次级感应出过电压。

在本系统的电源变压器初级和次级上接有电容——电阻吸收装置。电容电阻接成三角形，分别和初级、次级绕组相接。如图 1—8 所示。

变化极快的过电压很容易通过电容而傍路，不会加到可控硅上去。

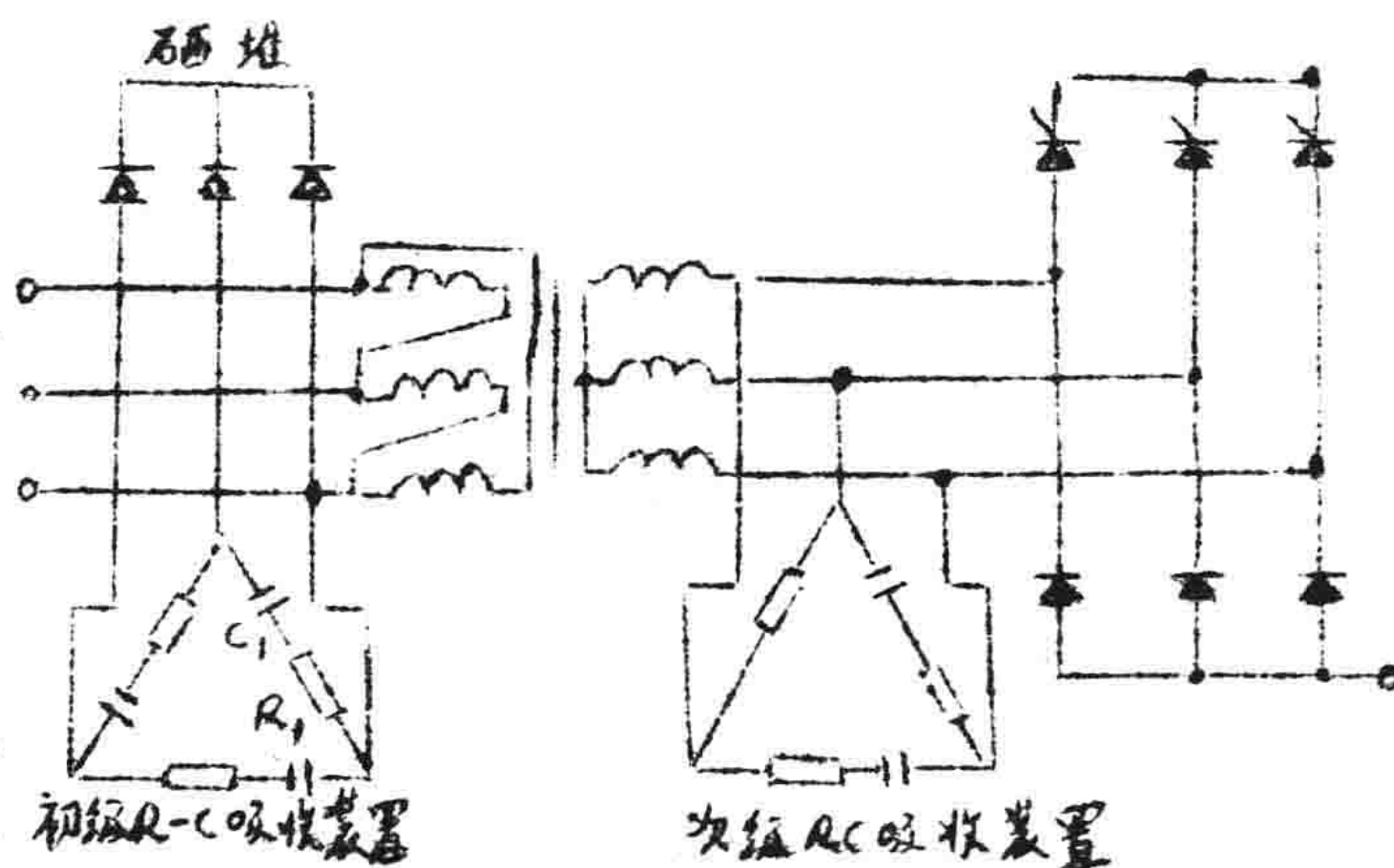


图 1—8

对中等容量整流电路，

电容约为几微法到十几微法，电容耐压可为被保护交流侧电压的 1.1~1.5 倍。一般选用金属化纸介电容，如用电介电容，电容耐压应为被保护交流电压的 3~5 倍。

本系统中： $C_1 = 5 \mu\text{F}$ ·630 伏 $R_1 = 20$ 欧 50 瓦

$C_2 = 10 \mu\text{F}$ ·630 伏 $R_2 = 20$ 欧 50 瓦

交流电源侧过电压的能量较大，电容电阻有时不能完全吸收，因而常用硒堆作保护，如图 1—8 所示。