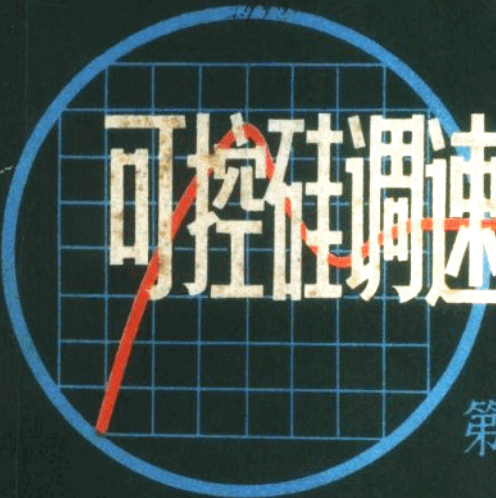


上钢一厂1200五机架热连轧主机



可控硅调速系统技术总结

第一卷

说明书



上海机械学院 上海整流器厂

479

上钢一厂1200mm五机架热连轧主机

可控硅调速系统技术总结

(第一卷)

说明书

上海机械学院
上海整流器厂 编

1975年7月

毛主席語录

独立自主，自力更生。

打破洋框框，走自己工业发展的道路。

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。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，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。停止的论点，悲观的论点，无所作为和骄傲自满的论点，都是错误的。

前 言

上钢一厂2300/1200半连轧热轧钢板车间工程是在市革会工交组领导下的会战项目，是我国自行设计，自行制造的第一个半连轧钢板车间，五机架连轧区的电气设备设计1972年6月开始进行，74年5月完成设计制造任务，并交付现场，74年底安装调试结束，现已投入试生产，电气设备运行正常。

在设计、制造、调试过程中，坚持毛主席的“独立自主，自力更生”方针，开展工业学大庆，贯彻鞍钢宪法的群众运动，坚持工人、干部、技术人员以及设计、制造、生产使用二个三结合，在二年多一些的时间内完成了整个连轧区电气设备的设计、制造、安装、调试过程，生产了国家急需的卷筒钢板。

为使我国自行设计、自行制造的第一台热连轧机具有较先进的电气技术水平，连轧主机系统具有以下几个特点：

- 1、全部采用可控硅供电，代替陈旧的机组供电。
- 2、采用PI高精度数字控制系统，以提高系统的静态精度。
- 3、整个调节控制系统采用固体线性集成电路运算放大器组成。
- 4、操作系统采用了无触点逻辑电路控制。
- 5、具有无触点逻辑控制的活套张力调节系统。
- 6、具有霍尔元件组成的直流检测装置。
- 7、具有集成电路组成的数字式过负荷保护装置。

遵照毛主席要认真总结经验教导，我们从技术上进行了总结，以便提供给国内搞电气传动自动化和轧钢自动化的工人和科技人员作为探讨材料。

在总结过程中，考虑给有关院校作参考教材之用，因而总结中增加了一些附加内容。

鉴于我们政治与业务水平有限，还存在不少缺点，总结中时间比较仓促，更有不少贻误之处，热忱希望同志们批评指正。

参加半连轧主机部分三结合设计制造的单位有上海机械学院、上海整流器厂、上海冶金设计院、上钢一厂等单位。

此总结分二卷，第一卷为说明书，第二卷为设计计算书。

一九七五年七月

目 录

引 言

生产工艺对电力拖动的要求.....	(1)
-------------------	-------

第一章 连轧主机的可控硅供电装置

§ 1—1 电枢回路可控硅供电方案的比较和选择.....	(3)
§ 1—2 电枢回路可控硅供电装置的工作原理和波形分析.....	(3)
§ 1—3 可控硅供电系统的功率因素.....	(10)
§ 1—4 励磁回路可控硅供电方案的比较和选择.....	(15)
§ 1—5 励磁回路可控硅供电装置的工作原理和波形分析.....	(17)

第二章 可控硅供电的触发系统

§ 2—1 电枢回路触发系统.....	(19)
§ 2—2 磁场回路触发系统.....	(34)

第三章 连轧机可控硅供电的控制系统

§ 3—1 可控硅调速系统的反馈环节.....	(37)
§ 3—2 具有转速和电流负反馈的多环控制系统.....	(41)
§ 3—3 非独立励磁控制的多环控制系统.....	(43)
§ 3—4 连轧主机控制系统的组成及其工作原理.....	(46)

第四章 控制系统中的固体集成电路及特殊元件介绍

§ 4—1 集成化运算放大器.....	(52)
§ 4—2 TTL数字逻辑电路.....	(58)
§ 4—3 霍耳元件及其应用.....	(67)
§ 4—4 固体电路延时元件.....	(70)

第五章 控制系统的单元工作原理

§ 5—1 电枢回路控制系统单元工作原理.....	(72)
§ 5—2 脉冲数字调速系统单元工作原理.....	(79)
§ 5—3 励磁控制系统单元工作原理.....	(100)

第六章 连轧机活套调速控制系统工作原理

§ 6—1 活套系统的结构.....	(110)
§ 6—2 活套调速系统工作原理.....	(112)

§ 6—3 活套调速系统中的单元装置.....	(119)
-------------------------	---------

第七章 连轧主机可控硅供电的信号、保护系统

§ 7—1 信号、保护系统的组成.....	(125)
§ 7—2 控制系统中主要保护环节说明.....	(126)
§ 7—3 保护系统中的单元线路.....	(128)
§ 7—4 可控整流桥的信号系统.....	(132)
§ 7—5 非可控整流桥的信号系统.....	(135)
§ 7—6 励磁全控桥的信号系统.....	(138)
§ 7—7 数字式过负荷保护器.....	(138)

第八章 连轧主机可控硅供电的操作系统

§ 8—1 逻辑代数.....	(153)
§ 8—2 无触点逻辑操作系统说明及单元组成.....	(156)
§ 8—3 连轧机操作的工作过程.....	(168)

附录一：单元调试大纲.....	(179)
-----------------	---------

附录二：系统调试大纲.....	(196)
-----------------	---------

引言

生产工艺对电力拖动的要求

本轧机为1200mm五机架热连轧机，每个机架的传动方式为单电机通过人字齿轮箱同时带动上、下两个工作辊，连轧机组的主电机有两种规格，其中1*，2*，3*，5*机架的主电机采用ZD215/69型直流电动机，2600瓩，700伏，4000安，160/400转/分，4*机架的主电机采用ZD215/93型直流电动机，2600瓩，700伏，4000安，115/290转/分。生产工艺对电力拖动的要求如下：

1. 连轧机正常工作时，各机架主电机单方向运转，在处理事故及检修调整时，主电机可反转。

2. 五机架连轧机组各机架轧制速度范围。

[按坯料14~25mm，成品 $(2\sim6)\times(700\sim1000)$ mm]

机 架 号	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
轧 制 速 度 米/秒	1~2.5	1.6~4	2.6~6.5	3.4~7.1	5~8

成品机架正常轧制速度为5~8米/秒，试轧时要求最低出口速度为3米/秒，调速范围约为 $\frac{8}{3}=2.7$ 倍。

3. 检查辊缝时要求各机架有0.5米/秒的爬行线速度。

4. 连轧机各机架速度无级可调，并有粗调及微调控制，速度微调量为给定速度的 $\pm 5\%$ 。

5. 各机架可单独起制动，但当连轧机中任何一个机架发生故障跳闸时，所有五个机架应全部同时自动停车。发生卡钢时应能手动同时停车。

6. 连轧机的停车能够快速紧急停车或慢速自由停车。快速紧急停车在空载情况下，要求制动时间小于5秒。

7. 连轧机各机架主电机的机械特性要求有足够的硬度。

静态速降 $<0.2\%$

动态速降 $<1\%$

动态恢复时间 <0.5 秒。

8. 连轧机组要求严格控制各机架速度关系, 使轧制过程中, 每个机架在单位时间内通过的金属秒流量保持相等。并保证带钢张力恒定, 因此各机架间有活套自动调节机构, 活套位移信号应反馈到主机转速。

活套反馈量为主机最高转速的 $\pm 10\%$ 左右, 反应时间应小于 0.5 秒。

9. 主电机停车时, 可以弱磁加热(主要用于短时停车时, 干燥电机线圈用)。

10. 连轧机主机因故障同时自动停车或手动停车时, $1 \sim 4$ 段成品辊道及卷板机应能同时自动停车或手动停车。但全线停车后, 成品辊道与卷板机还可单独再起动作。

11. 在检修换辊时, 当前后导移出前, 活套架应先升到 35° 以上位置, 以防止冲坏活套架, 相互关系应有电气联锁。

第一章 连轧主机的可控硅供电装置

§ 1—1 电枢回路可控硅供电方案的比较和选择

为使轧机实现正反转,可采用以下二种办法:改变电枢电压方向或改变励磁电流方向。如果采用改变电枢电压方向的办法,应用可控硅供电时可使用电枢交叉连接或电枢反并联的方案,但不管那一种方案,在电枢回路都需采用二套大功率的可控硅整流装置。改变电枢电压方向的办法其优点是可适应快速性工作的要求,实现快速起制动、正反转,但供电回路使用的可控硅元件数量增加很多,一次投资费用昂贵。而采用改变励磁电流方向的办法,虽然工作过程的快速性较差,但一次投资费用大大减少。考虑到连轧机对工作的快速性要求不高,正常工作电机单方向运转,仅在处理事故及检修调整时,才要求主电机反转,因此决定采用改变励磁电流方向的办法实现正反转较为合理。而电枢回路采用单方向供电的方案。

电枢回路单方向供电时有两种基本方案:

1. 三相全控整流桥供电

此方案技术性能好,调速范围广,低速时电流连续性好,低速运转较稳定,可作整流和逆变用,反磁场时可实现再生制动,但控制较复杂,设备费较大。

2. 三相半控整流桥供电

技术性能较差,适用于调速范围不太大的场合,深控时电流不连续性大,需采用续流二极管(但接线方式适当改变,也可省去续流二极管,改进低速性能),电机制动只能用能耗制动,控制较简单方便,设备费用省。

由于热连轧机调速范围要求不大,正常工作时速度变化不大,考虑到用三相半控整流桥方案已能满足工艺要求,且符合节约的原则,另外由于当时大功率可控元件供应较紧张,故决定主回路采用半控的供电方式。

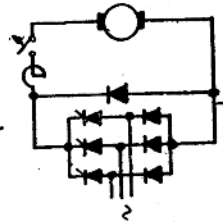
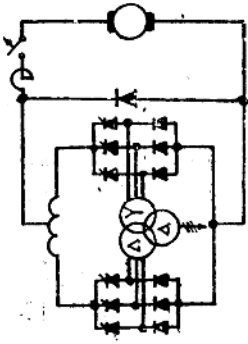
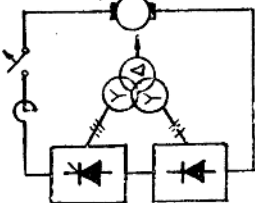
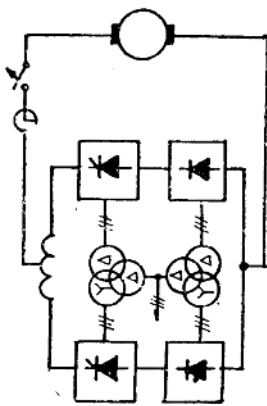
主回路采用半控的供电形式时,其线路可作多种变化,各种接线方式及其线路特点列于表1—1。

对大功率可控硅供电装置,主回路的接线方式应着重考虑如何减少直流输出电压的脉动及整流变压器原边线电流高次谐波的影响,以及如何改善功率因数。综合表1—1的分析比较,电枢回路采用方案4的线路较合理,技术经济指标最好。

§ 1—2 电枢回路可控硅供电装置的工作原理和波形分析

电枢回路可控硅供电装置的原理线路如图1—1所示。

表 1—1 电枢回路可控硅供电半控形式线路方案表

方案名称	1	2	3	4
	三相桥式半控	星三角六相桥式半控	三相可控与非可控串联整流桥	星三角六相串并联半控桥
接线方式				
线路特点	1. 用一个整流变压器，对元件的耐压要求高，串联数多。 2. 六相整流波形、纹波较大，低速运行性能不稳。 3. 效率与功率因数较差。 4. 需续流二极管。 5. 控制简单。	1. 用一个三绕组整流变压器供电，可减少桥臂中元件的串联数。 2. 十二相整流波形、纹波较小，低速运行性能得到改善，整流变压器原边电流高次谐波成分减少。 3. 效率与功率因数较低。 4. 需续流二极管。 5. 脉冲触发器同时触发的可控硅元件数减少一半，降低了对大功率触发器的要求。 6. 控制较复杂。	1. 用一个三绕组整流变压器供电，可降低对每个整流桥中元件的耐压要求，减少元件的串联数。 2. 六相整流波形、纹波较大，低速运行性能不稳。 3. 效率与功率因数得到改善。 4. 不需续流二极管。	1. 用二个三绕组整流变压器供电，但每个变压器的容量减小，可降低对每一个整流桥中元件的耐压要求，减少元件的串联数。 2. 十二相整流波形，纹波较小，低速运行性能得到改善，整流变压器原边电流高次谐波成分减少，有利于电机换向。 3. 效率与功率因数得到改善。 4. 不需续流二极管。 5. 脉冲触发器同时触发的可控硅元件数减少一半，降低了对大功率触发器的要求。 6. 控制较复杂。

电枢回路三相整流桥 1 ZQ~4 ZQ 通过平衡电抗器 PDK 串并联后供电，组成星三角六相半控形式的电路。其中 1 ZQ 和 3 ZQ 是三相全控整流桥，由三绕组整流变压器 1 ZLB 供电，其原边线电压为 6 KV，付边线电压为 $U_{x1} = U_{x3} = 400V$ ，2 ZQ 和 4 ZQ 是三相非可控整

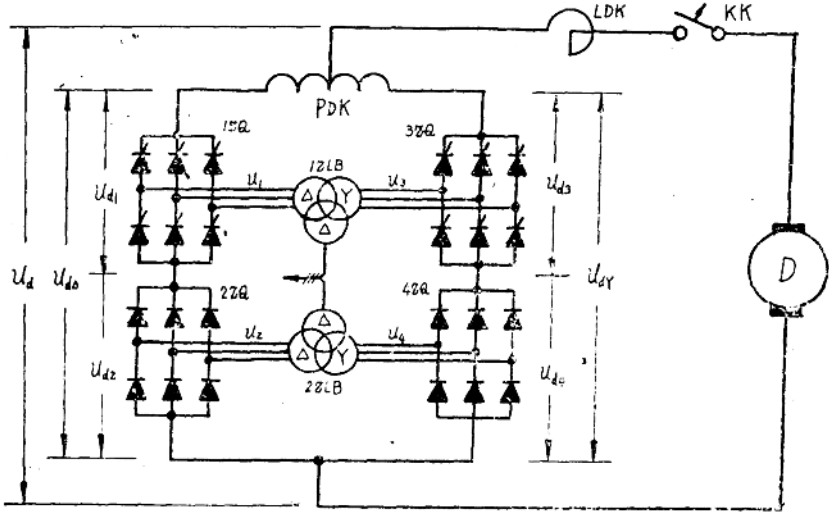


图 1-1 可控硅供电装置原理线路图

流桥，由三绕组整流变压器 2 ZLB 供电，其原边线电压为 6 KV，付边线电压为 $U_{x2} = U_{x4} = 300V$ 。

一、三相非可控整流桥的工作原理与波形分析

图 1—2 为三相非可控整流桥的原理线路。

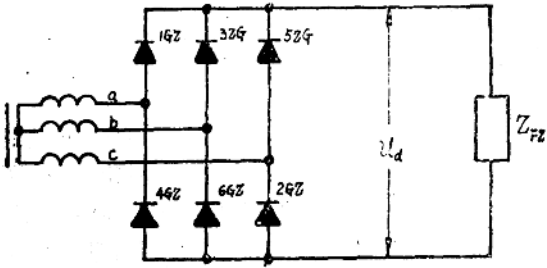


图 1-2

图中 1 GZ, 3 GZ, 5 GZ 三个整流二极管的阴极联在一起，称共阴极组。4 GZ, 6 GZ, 2 GZ 三个整流二极管联在一起，称共阳极组。三相桥式整流电路中二极管导电的原则是：对于共阴极的管子，那个阳极电压最高，它就导电，其它二个管子就受反向电压，不能导通。对于共阳极的管子，那个管子阴极电压最低，它就导电，而其它二个就不能导通。

图 1—3 画出了三相桥式非可控整流电路中交流线电压和整流电压的波形图，图中 U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} 为整流变压器次级绕组的线电压。

由图 1—3 可看出，在 $\omega t = \omega t_1 \sim \omega t_2$ 区间，线电压 U_{ab} 最大，也即 a 相元件 1 GZ 的阳极电压最高，b 相元件 6 GZ 的阴极电压最低，故 1 GZ 和 6 GZ 导通，其它元件均受反向电压

而截止, 当 $\omega t = \omega t_2$ 时, $U_{ab} = U_{ac}$, 但一过 ωt_2 点, U_{ac} 就大于 U_{ab} , 于是共阳极组中 c 相元件 2GZ 的阴极电压变得最低, 因此 2GZ 导通, 6GZ 受反向电压立即截止, 整流桥中导通元件由 1GZ, 6GZ 变为 1GZ, 2GZ, 在 ωt_2 点, 2GZ 与 6GZ 换流, ωt_2 这点称自然换流点。同样, 在 $\omega t_3 \sim \omega t_4$ 区间 2GZ, 3GZ 导通, $\omega t_4 \sim \omega t_5$ 区间 3GZ, 4GZ 导通, 依次类推, 其导通次序如图 1-3C) 所示。

由以上分析, 可看出三相桥式非可控整流电路的工作有以下几个特点:

- (1) 每一元件导通角度为 120° 。
- (2) 每隔 60° 有一元件换流。
- (3) 两元件换流瞬间恰在两个线电压大小相等方向相反, 而另一个线电压为零时。
- (4) 输出整流电压在一个电源周期内有 6 次脉动。

三相桥式非可控整流电路输出电压的平均值为:

$$U_d = \frac{1}{\pi} \int_{\pi/3}^{2\pi/3} U_{ab} d\omega t = \frac{1}{\pi} \int_{\pi/3}^{2\pi/3} \sqrt{2} U_x \sin \omega t d\omega t = 1.35 U_x$$

式中 U_x 为整流变压器次级绕组线电压有效值。

二、三相可控整流桥的工作原理与波形分析

图 1-4 为三相可控整流桥的原理线路

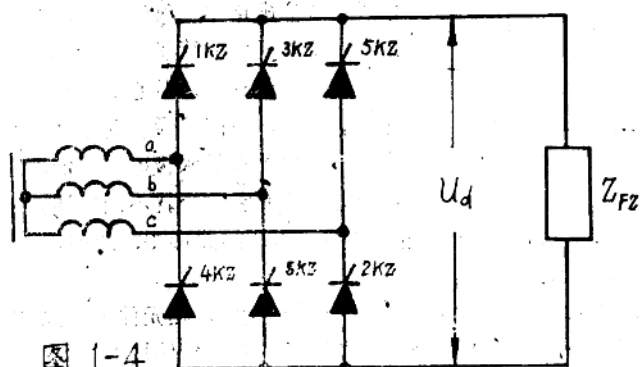
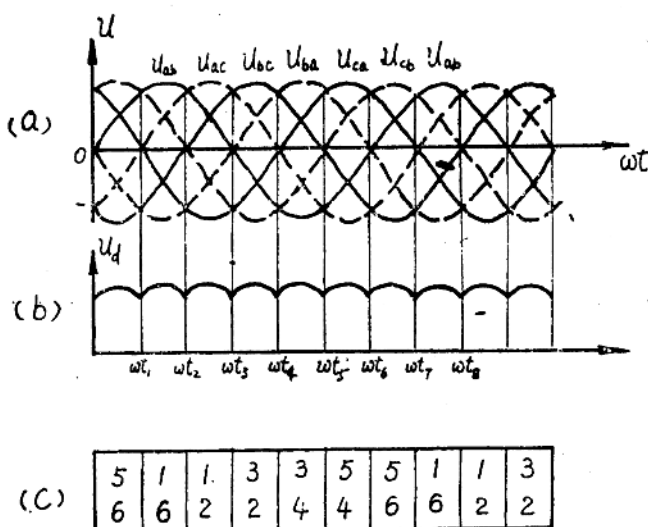


图 1-4



a) 线电压波形

b) 整流电压波形

c) 导电元件管号

图 1-3

三相桥式可控整流电路的六个桥臂都使用可控硅元件。可控整流元件由截止变为导通须具有二个条件, 即可控硅阳极电压高于阴极电压 (元件承受正向电压), 同时在控制极上加正的触发脉冲, 三相全控整流桥工作时要求在一个周期内每隔 60° 依次触发各可控硅, 触发的顺序是: 1-2-3-4-5-6-1……, 而

触发脉冲与交流电源的相位应保证正确同步（触发脉冲与电源同步问题在第二章中说明）。

为了保证可控整流桥正常工作，触发脉冲的宽度应大于 60° ，如果触发脉冲的宽度小于 60° ，则必须用双脉冲触发，即每个可控硅在正常触发脉冲后 60° 应再补一个脉冲，这样才能保证按顺序触发后一可控硅时，前一可控硅还能导通。

三相桥式全控整流电路在不同控制角 α 时，交流线电压与整流输出电压的波形如图1—5所示。

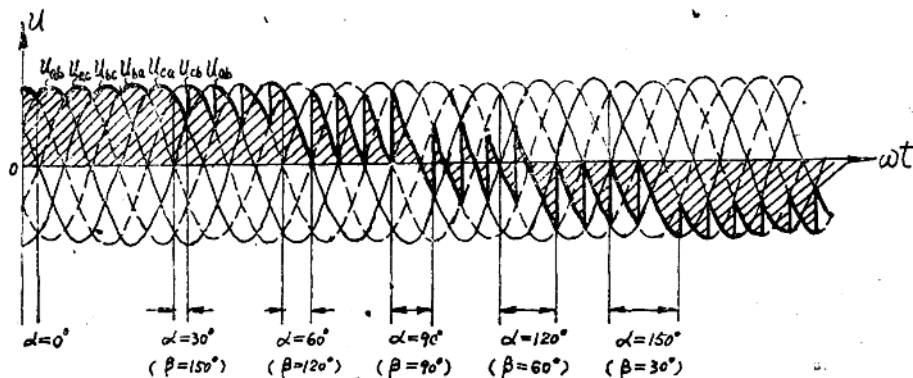


图 1-5

由图1—5可以看出，当控制角 α 由小增大时，输出电压的平均值逐渐减小到零，然后又变为负的最大值。与三相桥式非可控电路相似，三相桥式全控电路有以下几个特点：

- (1) 每一元件导通角度为 120° 。
- (2) 每隔 60° 有一元件换流。
- (3) 两元件换流的瞬间由控制角 α 来决定。
- (4) 输出整流电压在一个电源周期内有6次脉动。

三相桥式全控整流电路，当负载的电感量足够大时，可保证整流工作区间负载电流波形连续，在 $60^\circ < \alpha < 120^\circ$ 的范围内，由于电压波形有过零之时，如果负载电流较小，电抗器不能保证电流波形连续，就有可能在某些时间内六个可控硅处于全部关断状态。

在负载电感足够大时，三相全控桥的直流输出电压平均值按图1—6计算：

$$\begin{aligned}
 U_d &= \frac{3}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{\pi}{6} + \alpha} \sqrt{2} U_x \cos \omega t \, d\omega t \\
 &= \frac{3\sqrt{2}}{\pi} U_x \sin \omega t \Big|_{-\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{\pi}{6} + \alpha} \\
 &= \frac{3\sqrt{2}}{\pi} U_x \cos \alpha \\
 &= 1.35 U_x \cos \alpha
 \end{aligned}$$

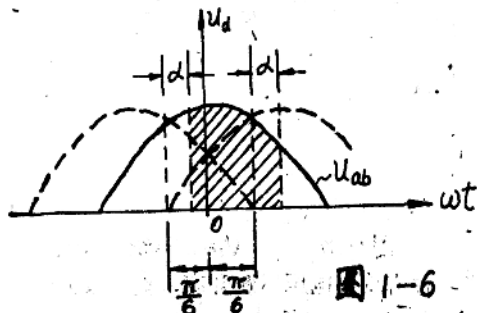


图 1-6

式中 U_x 为变压器付绕组的线电压，由式可看出， $\alpha = 90^\circ$ 时 $U_d = 0$ 。

在纯电阻负载时，当 α 角大于 60° ，电流就出现断续现象，故直流输出电压的平均值，有两种表达式。

(1) $0^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$ 时，

$$U_d = 1.35 U_X \cos \alpha$$

(2) $60^\circ \leq \alpha \leq 120^\circ$ 时，

$$U_d = 1.35 U_X \left[1 + \cos \left(\frac{\pi}{3} + \alpha \right) \right]$$

可以看出，当 $\alpha = 120^\circ$ 时， $U_d = 0$ 。

三相全控整流桥直流输出电压平均值与控制角 α 之间的关系如图1-7所示。

三、电枢回路整流桥组的工作原理与波形分析

电枢回路整流桥组如图1-1所示。其中2ZQ、4ZQ为二极管整流桥，其整流电压为一恒定值， $U_{d2} = U_{d4} = 1.35 U_{X2}$ 。而可控整流桥1ZQ、3ZQ的整流电压 $U_{d1} = U_{d3} = 1.35 U_{X1} \cos \alpha$ 。即可控整流桥的工作状态取决于控制角 α ，若 $\alpha < 90^\circ$ ，则为整流状态，若 $\alpha > 90^\circ$ 则为逆变状态。

1ZQ、2ZQ串联后的直流输出电压平均值为：

$$U_{d\Delta} = U_{d1} + U_{d2} = 1.35 (U_{X1} \cos \alpha + U_{X2})$$

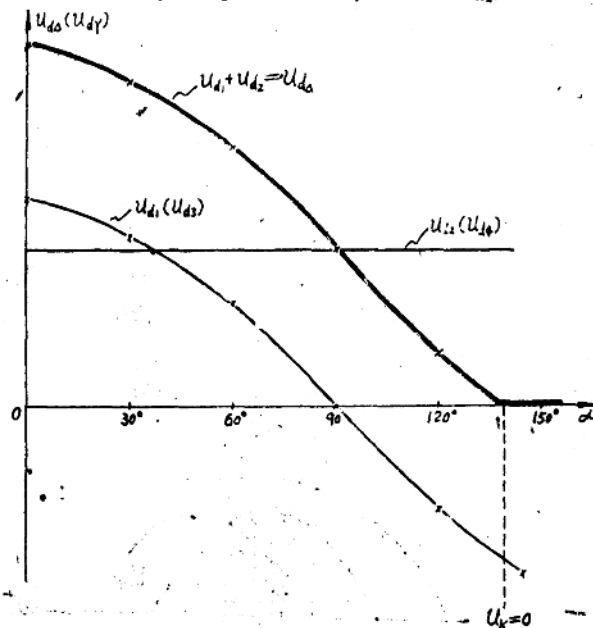


图1-8 $U_d = f(\alpha)$ 的特性曲线

变化，合成输出电压逐渐升高，直至最大值。

整流桥1ZQ和2ZQ（或3ZQ和4ZQ）的整流电压与 α 的关系曲线如图1-8所示。

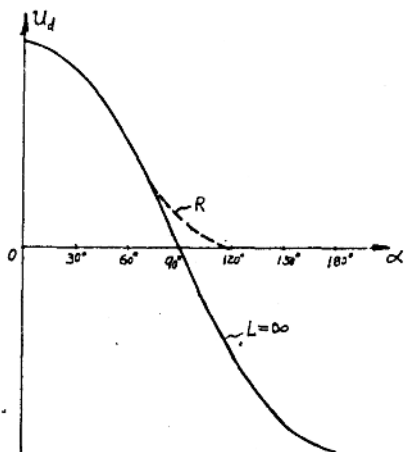


图1-7

3ZQ、4ZQ串联后的直流输出电压平均值为：

$$\begin{aligned} U_{dY} &= U_{d3} + U_{d4} \\ &= 1.35 (U_{X1} \cos \alpha + U_{X2}) \end{aligned}$$

利用改变1ZQ、3ZQ的控制角 α 可使二边整流桥组的串联合成电压在 $0 \sim 700V$ 之间变化，以获得所需的直流工作电压。

起始状态时（即给定控制电压为0时），1ZQ（或3ZQ）的移相触发器处于最小逆变角，即 $\beta_1 = \beta_3 = 35^\circ$ ，可控整流桥处于逆变状态，逆变电压为负的最大值，由于 $|U_{d1}| > |U_{d3}|$ （同样 $|U_{d3}| > |U_{d1}|$ ），故两整流桥串联后合成输出电压为零，保证电机不会爬行。

随着控制角 α 的减小，1ZQ（3ZQ）由逆变状态向整流状态变化。

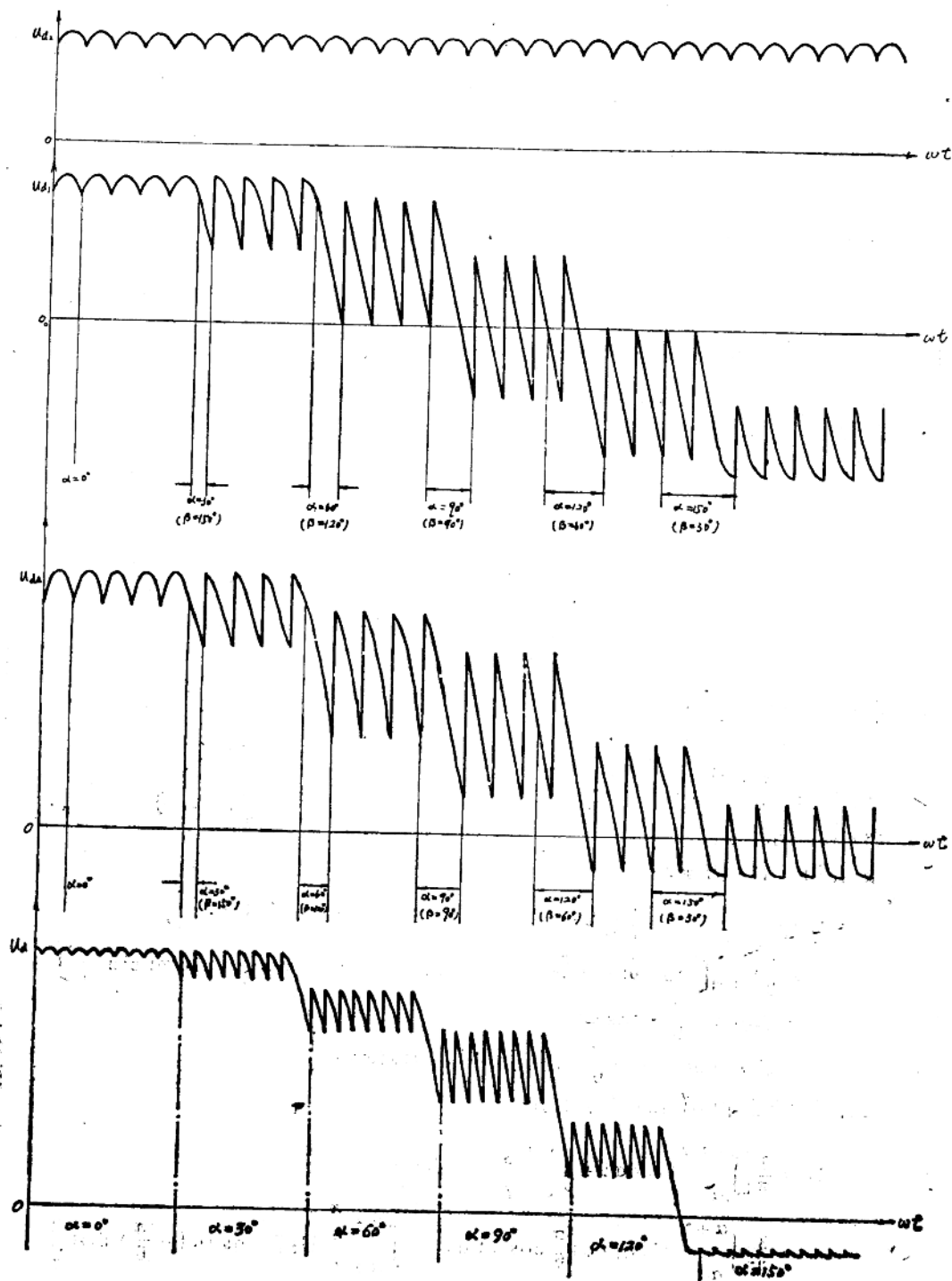


图 1-9

1 ZQ, 2 ZQ串联后通过平衡电抗器PDK与3ZQ, 4ZQ的串联桥并联, 而直流整流电压的瞬时值 e_d 和 e'_d 在相位上相差 30° , 因此获得十二相整流波形, 对应不同控制角 α ($\alpha_1 = \alpha_2$) 时, 整流桥组直流合成电压瞬时值的波形如图 1—9 所示。

§ 1—3 可控硅供电系统的功率因数

一、三相桥式全控整流电路的功率因数

1. 分 析 法

功率因数 $\cos \varphi$ 是交流电流滞后于交流电压相位角的余弦, 也可用有功功率与视在功率之比来表示, 即 $\cos \varphi = \frac{P}{S}$

对三相全控桥式整流电路,

视在功率 $S = \sqrt{3} U_{2X} I_{2X}$

有功功率 $P = U_d I_d$

式中 U_{2X} 为整流变压器次级绕组线电压有效值,
 I_{2X} 为整流变压器次级绕组线电流有效值,
 U_d 为整流装置直流输出电压的平均值,
 I_d 为整流装置直流输出电流的平均值。

在可控整流电路中, 整流电压的数值除与移相控制角 α 有关外, 还与变压器漏抗即换流重叠角 γ 有关, 图1-10所示为整流电压的波形图。

为了便于分析, 作以下假定:

- (1) 可控整流元件的正向管压降为零;
- (2) 忽略整流装置内部电阻压降;
- (3) 换流期间的电压为 $U'_d = \frac{U_{cb} + U_{ab}}{2}$

根据图 1—10列方程式:

$$\begin{aligned} U'_d &= \frac{U_{cb} + U_{ab}}{2} = \frac{1}{2} \left[U_{1XM} \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{6} \right) + U_{2XM} \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{6} \right) \right] \\ &= \frac{1}{2} U_{1XM} \left[\cos \omega t \cos \frac{\pi}{6} - \sin \omega t \sin \frac{\pi}{6} + \cos \omega t \cos \frac{\pi}{6} + \sin \omega t \sin \frac{\pi}{6} \right] \\ &= U_{1XM} \cos \frac{\pi}{6} \cdot \cos \omega t \end{aligned}$$

式中 $U_{ab} = U_{1XM} \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{6} \right)$, $U_{cb} = U_{2XM} \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{6} \right)$

因此总的直流输出电压的平均值为:

$$\begin{aligned} U_d &= \frac{3}{\pi} \left[\int_{\alpha}^{\alpha+\gamma} U'_d d\omega t + \int_{\alpha+\gamma}^{\alpha+\frac{\pi}{3}} U_{ab} d\omega t \right] \\ &= \frac{3}{\pi} \left[\int_{\alpha}^{\alpha+\gamma} U_{1XM} \cos \frac{\pi}{6} \cos \omega t d\omega t + \int_{\alpha+\gamma}^{\alpha+\frac{\pi}{3}} U_{1XM} \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{6} \right) d\omega t \right] \end{aligned}$$

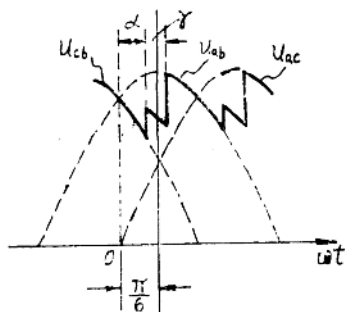


图 1—10

$$\begin{aligned}
&= \frac{3}{\pi} U_{2X} \left[\cos \frac{\pi}{6} \sin \omega t \right]_{\alpha+\gamma}^{\alpha+\gamma} + \cos \frac{\pi}{6} \sin \omega t \left[\frac{\alpha+\gamma}{\alpha+\gamma} - \sin \frac{\pi}{6} \cos \omega t \right]_{\alpha+\gamma}^{\alpha+\frac{\pi}{3}} \\
&= \frac{3}{2\pi} U_{2X} \left[\cos \alpha + \cos (\alpha + \gamma) \right] \\
&= \frac{3\sqrt{2}}{2\pi} U_{2X} \left[\cos \left(\alpha + \frac{\gamma}{2} - \frac{\gamma}{2} \right) + \cos \left(\alpha + \frac{\gamma}{2} + \frac{\gamma}{2} \right) \right] \\
&= \frac{3\sqrt{2}}{\pi} U_{2X} \left[\cos \frac{\gamma}{2} \cos \left(\alpha + \frac{\gamma}{2} \right) \right]
\end{aligned}$$

故 $P = U_d I_d = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} U_{2X} I_d \left[\cos \frac{\gamma}{2} \cos \left(\alpha + \frac{\gamma}{2} \right) \right]$

在三相桥式全控电路中 $I_{LX} = \sqrt{\frac{2}{3}} I_d K$

系数 $K = \sqrt{1 - 3\phi(\gamma, \alpha)}$

$\phi(\gamma, \alpha)$ —为由 α 与 γ 决定的函数。

当 $\gamma = 0$ 时, $K = 1$ 。

$$\begin{aligned}
\therefore \cos \varphi = \frac{P}{S} &= \frac{\frac{3\sqrt{2}}{\pi} U_{2X} I_d \left[\cos \frac{\gamma}{2} \cos \left(\alpha + \frac{\gamma}{2} \right) \right]}{\sqrt{3} U_{2X} \sqrt{\frac{2}{3}} I_d K} \\
&= \frac{3}{\pi K} \left[\cos \frac{\gamma}{2} \cos \left(\alpha + \frac{\gamma}{2} \right) \right]
\end{aligned}$$

可见, 可控硅整流装置的功率因数与 α 及 γ 有关, α 及 γ 越大则 $\cos \varphi$ 越小, 如果不考虑变压器的漏抗, 即认为 $\gamma = 0$, 则 $\cos \varphi \approx \cos \alpha$ 。

2. 图解法

根据公式:

有功功率 $P = S \cos \varphi$

无功功率 $Q = S \sin \varphi$

视在功率 $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

在相同的视在功率下, 对应不同的功率因数角 φ 时, 视在功率 S 的矢量顶端 A 点的轨迹为一半圆, 如图 1-11 所示, 由图中可看出只要知道某电压时的有功功率 P , 就可很容易求出功率因数 $\cos \varphi$ 。

在三相桥式全控整流电路中, 直流输出电压为

$$U_d = U_{d0} \cos \alpha,$$

$$U_{d0} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} U_{2X}$$

如果考虑变压器漏抗时, 输出的直流平均电压值减小, 所减小的数值为:

$$\Delta U = \frac{3X_s I_d}{\pi}$$

式中 X_s 为变压器的漏抗。

这时直流输出电压为:

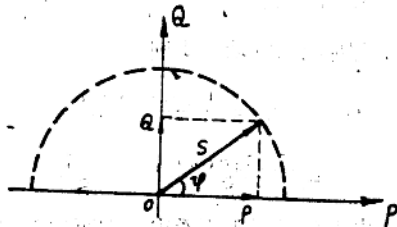


图 1-11