

347063

Φ450/1200开坯轧机主传动

SCR-D调速系统的 设计与调歪

(教学参考资料)



1.5

上海冶金专科学校
冶金自动化教研组编

前 言

遵循伟大领袖毛主席关于：“教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合。”的教导，我校冶金电气自动化专业01班的部分师生和校附属工厂广大工人，承担了上海有色金属压延厂的 $\phi 450/1200$ 可逆冷轧开坯机主传动电气设备的设计、制造、安装和调试的任务。该工程从1975年8月开始进行，由于坚持毛主席的“独立自主，自力更生”方针，开展了“工业学大庆”，贯彻鞍钢宪法的群众运动，在有色金属压延厂干部、工人和技术人员的大力支持下，厂校紧密配合，协同作战，于76年10月完成按装调试工作，投入试生产运行。

这台轧机的电气传动装置有以下几个特点：

1. 采用可控硅——直流电机传动，替代了原有的交流电机拖动。
2. 采用了逻辑无环流的控制系统，大大提高了装置的快速性。
3. 操作、保护系统采用高阈值电平的数字集成电路组件 HTL、JEC-2 等，实现无触点逻辑控制。

4. 调节系统单元由固体线性集成电路 SG23 组成。

由于上述特点，该轧机与原来同类轧机相比，可提高工作效率百分之六十左右，节约用电百分之五十左右，降低成本百分之三十以上，同时又大大简化了操作，减轻了劳动强度。

为了认真总结经验，我们从原理、计算与调试等几个方面作了总结，其中系统调整这一篇，作了力所能及的工作，以给初次从事这方面工作的工人和技术人员作为参考，为冶金企业的技术改造，快速发展我国的钢铁事业贡献力量。

同时，也考虑到本技术总结将作为我校电气自动化专业的参考教材之用，因而，在总结中也力求通俗易懂，叙述详细，以利自学。

参加本工程项目三结合设计、调试的有上海冶金设计院电气科的同志，此外，在调试工作中也得到了上海工业设备安装公司调整队、上海电器科学研究所自动化室等单位的大力协助，出版期间又得到上海冶金设计院大力支持，在此表示感谢。

鉴于我们政治思想水平和业务理论知识都比较低，实践经验又少，总结中时间又较仓促，肯定有不少缺点，更有不少贻误之处，热忱希望同志们批评指正。

冶金电气自动化教研组编写

一九七七年七月

目 录

第一篇 系统的设计与原理

第一章 可控硅供电装置的形式	1-7
§1-1 “工艺”与“设备”对电力传动的要求.....	1
§1-2 主回路供电方式的确定.....	2
§1-3 磁场回路的供电方式.....	4
第二章 可控硅供电的触发装置	8-20
§2-1 对触发装置的要求.....	8
§2-2 电枢回路触发装置的结构与原理.....	9
§2-3 励磁回路触发装置的结构与原理.....	15
第三章 调节系统的组成和工作原理	21-29
§3-1 几种电枢反并联可逆系统的比较.....	21
§3-2 有准备切换的无环流系统的构成与工作原理.....	22
§3-3 非独立励磁控制系统.....	28
第四章 调节系统单元的工作原理	30-53
§4-1 线性集成运算放大器 5G23.....	30
§4-2 用 5G23 构成调节器.....	31
§4-3 用 5G23 构成的极性鉴别器.....	33
§4-4 恒流给定单元.....	38
§4-5 给定积分器.....	40
§4-6 无环流切换逻辑开关.....	41
§4-7 晶体管模拟开关.....	46
§4-8 直流电压变送器.....	49
§4-9 电流限制器.....	50
§4-10 $\pm 15V$ 直流稳压电源.....	53
第五章 逻辑信号保护系统	54-70

§ 5-1 信号保护系统的基本组成	54
§ 5-2 TTL 数字逻辑电路简解	55
§ 5-3 JEC-2 集成电路简解	85
§ 5-4 信号系统的输入单元	60
§ 5-5 闪光报警单元	63
§ 5-6 可控硅元件保护	65
§ 5-7 可控硅断水报警	68
第六章 逻辑操作系统	70-85
§ 6-1 逻辑操作系统的组成	70
§ 6-2 逻辑单元和逻辑方程式	75
§ 6-3 操作顺序及事故处理	84

第二篇 计 算 书

直流电动机技术数据	86
第一章 电枢整流装置计算	87-112
§ 1-1 电枢整流变压器的参数计算	87
§ 1-2 电枢主回路各元件参数计算与选择	89
§ 1-3 可控硅过电压保护及有关元件参数的估算与选择	102
§ 1-4 主回路短路计算与直流快速开关的选择	107
第二章 励磁整流装置计算	112-118
§ 2-1 励磁整流变压器的参数计算	112
§ 2-2 励磁回路各元件参数计算与选择	114
§ 2-3 可控硅过电压保护及有关元件参数的估算与选择	116
第三章 系统的静特性计算及控制回路主要单元的参数估算	118-146
§ 3-1 系统的静特性计算	119
§ 3-2 调节系统主要单元参数估算	125
§ 3-3 双脉冲触发器参数估算	132
第四章 系统的动态参数估算	146-164
§ 4-1 系统传递函数结构图	147
§ 4-2 系统中各环节的时间常数及放大倍数的计算	154
§ 4-3 电流反馈的最佳化及其参数估算	157
§ 4-4 速度调节器的参数估算	159

§ 4-5 磁场电流调节器参数估算	162
-------------------------	-----

第三篇 系 统 的 调 试

第一章 电枢主回路调试	166-183
§ 1-1 硒堆过压保护检查	166
§ 1-2 触发装置的调试	169
§ 1-3 全电压小电流试验(灯泡负载试验)	178
§ 1-4 低电压大电流试验	181
第二章 励磁回路调试	183-193
§ 2-1 励磁触发装置的调试	183
§ 2-2 模拟负载试验	190
§ 2-3 磁场回路开环调试	190
§ 2-4 磁场回路闭环调试	192
第三章 系统开环调试	193-196
§ 3-1 直流电动机检查	193
§ 3-2 试验线路及方法	194
§ 3-3 转速反馈静特性	195
第四章 系统闭环调试	196-230
§ 4-1 单元调试	197
§ 4-2 电流环调试	208
§ 4-3 速度环调试	212
§ 4-4 无环流系统特殊环节调试	222
§ 4-5 无环流系统的动态切换试验	226
第五章 逻辑操作、保护系统的调试	230-244
§ 5-1 逻辑控制系统中的干扰及其抑制	230
§ 5-2 逻辑单元调试方法	240
§ 5-3 逻辑系统总调	242
§ 5-4 保护系统整定值	243
第六章 调试中的几点体会	244-248
附: 调试仪器设备	249

第一篇 系统的设计与原理

本开坯轧机原有拖动装置为交流电动机拖动，一不能可逆，二不能调速，因此势必造成生产落后，操作人员多，劳动强度大，生产率低。鉴于可控硅——直流电动机传动装置具有优越的技术经济指标及良好的控制性能，广大工人、干部和技术人员决心将该轧机的传动进行改造，以改变轧制生产的落后面貌。

第一章 可控硅供电装置的形式

在着手进行某一项电气传动设备的新建或改造时，都必须首先作一次认真的调查研究，查明电机资料，明确“工艺”与“设备”对电力传动的要求。

§1-1 “工艺”与“设备”对电力传动的要求

$\phi 450/1200$ 二辊开坯冷轧机是将不同规格的铜锭或铝锭轧制成板宽为 $400 \sim 1000 \text{ mm}$ ，板厚为 $3 \sim 12 \text{ mm}$ 规格的坯料。轧制时，首先必须根据其材质、规格等各种工艺因素选定轧制速度、轧制道次与每一道次的压下量，然后进行轧制。锭子由前辊道驱动咬入轧辊轧制，当锭子抛出后，轧辊须马上反向运转，使锭子由后辊道驱动送入轧机，再开始下一道次的轧制。因此，要求每一道次轧制时，都要改变轧辊的旋转方向，依照坯料规格的不同，轧制道次也各不一样。

根据该轧机的轧制制度，对电力拖动装置提出了如下要求：

1. 系统能使电动机频繁的启动、制动和反转，实现正常轧制，每分钟约 $6 \sim 8$ 次。
2. 启动、制动和反转的过渡过程时间尽可能短，以期缩短间歇时间，最大程度的提高生产率。电动机由 $+n_{\max} \rightarrow -n_{\max}$ 的过渡过程时间 $t \leq 3$ 秒。
3. 有一定的调速范围，以满足不同的轧制速度和爬行速度要求。现工艺要求轧辊能从 $30 \sim 44 \text{ r.p.m}$ 变化，相应电动机转速在 $273 \sim 400 \text{ r.p.m}$ 间变化，电机的爬行速度为 80 r.p.m 。
4. 开坯轧机的负载冲击性大，要求装置有足够大的过载能力。过载时，电机应具有堵转的“挖土机”特性，防止电气与机械设备事故。
5. 为保证板坯质量，系统的静特性应具有足够高的硬度（静差率 $S \leq 1\%$ ），动态速降

要小($\Delta n < 5 \sim 10\%$), 动态恢复时间要短。

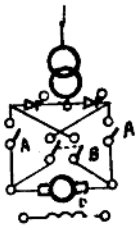
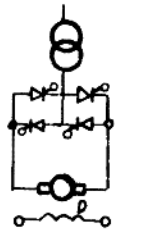
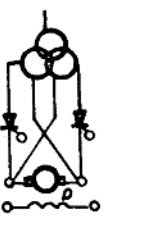
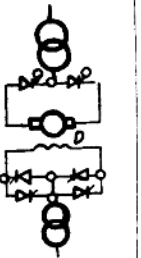
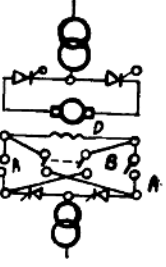
6. 为保证轧制工作的不间断性, 要求系统的工作可靠性高, 且便于操作维修。

§1-2 主回路供电方式的确定

在明确了工艺和设备对电力拖动的要求后, 接着就可着手进行方案的确定。为满足可逆工作的要求, 可供选择的可控硅供电系统有以下五种方案, 它们的性能及经济技术指标比较于表 1-1-1 中。

可控硅供电系统性能比较

表 1-1-1

接线形式	电 枢 反 接 形 式			磁 场 反 接 形 式	
	电枢开关反接	电枢反并联	电枢交叉接线	磁场反并联接线	磁场开关反接
供电方式					
快速性	慢	快	最快	稍快	最慢
变流器容量比	1	2	2	1.2~1.6	1.1~1.3
控制线路比	1	2	2	3	2
主要设备数量比	1.2~1.4	1	2	1.1	1.1~1.2

上表中, 究竟哪个方案能满足工艺及设备的要求是不能笼统而言的, 必须作分析。选定方案的原则必须是在确保符合工艺要求的前提下, 尽量采用经济、简单、可靠的方案, 决不能哗众取宠, 因这是关系到是否“执行厉行节约, 反对浪费这样一个勤俭建国的方针”。

下面需计算一下本驱动装置从 $+n_{\max} \rightarrow -n_{\max}$ 的过渡过程时间。

拖动装置的加减速时间可从下式求得:

$$t_{x \cdot y} = \frac{GD^2}{375} \int_{n_y}^{n_x} \frac{dn}{M_{\text{动}}} \quad [1-1-1]$$

式中: n_x, n_y ——分别为驱动装置的起始和终了转速

GD^2 ——驱动装置各运动部分折算至电动机轴上的转动惯量

$$GD^2 = GD^2_{\text{电}} + GD^2_{\text{机}}$$

查电机资料

$$GD^2_{\text{电}} = 372 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

运动部分折合到电动机轴上的 $GD^2_{\text{机}}$ 按 $0.1GD^2_{\text{电}}$ 估算

$$\therefore GD^2 = 1.1GD^2_{\text{电}} = 1.1 \times 372 = 400 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$M_{\text{动}}$ ——驱动装置的动态力矩, 它由电动机所允许的最大力矩和阻力矩两部分组成。加速时应是两者之差, 减速时则是两者之和。

驱动装置阻力矩的详细计算亦较困难, 现按 $0.08 M_H$ 估算:

$$M_{\text{阻}} = 0.08 M_H = \frac{975 \times N}{n} \times 0.08 = \frac{975 \times 400}{460} \times 0.08 = 77.8 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

(1) 转速从基速制动到零:

即 $n_y = 0$, $n_x = 400 \text{ r.p.m.}$, 在此范围内动态力矩保持恒定, 则式 [1-1-1] 可写成:

$$t_{x \cdot y} = \frac{GD^2(n_y - n_x)}{375 M_{\text{动}}} \quad [1-1-2]$$

将各值分别代入, 可得到此段时间为:

$$t_1 = \frac{GD^2(n_y - n_x)}{375 M_{\text{动}}} = \frac{400 \times 400}{375(2.5 \times 975 + 77.8)} = 0.170 \text{ 秒}$$

(2) 转速从零反向起到到基速:

$$\text{此段时间 } t_2 = \frac{GD^2(n_y - n_x)}{375 M_{\text{动}}} = \frac{400 \times 400}{375(2.5 \times 975 - 77.8)} = 0.181 \text{ 秒}$$

(3) 转速从 $+n_{\text{max}}$ 制动到基速

在此范围内, 动态转矩是一个变量, 电机实现恒功率调速, 此时, 公式 [1-1-1] 可推得如下:

$$t_{x \cdot y} = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{n_y - n_x}{M_{\text{动}x} - M_{\text{动}y}} \cdot \ln \frac{M_{\text{动}x}}{M_{\text{动}y}} \quad [1-1-3]$$

式中: $M_{\text{动}x}$, $M_{\text{动}y}$ ——相应于转速 n_x 和 n_y 时的动态力矩

根据电动机资料:

$$n_x = 400 \text{ r.p.m. 时, } M_{\text{动}x} = 2.5 M_H$$

$$n_y = 1000 \text{ r.p.m. 时, } M_{\text{动}y} = 0.8 M_H$$

$$\text{此段时间 } t_3 = \frac{400}{375} \cdot \frac{(400 - 1000)}{(0.8 - 2.5) \times 975} \cdot \ln \frac{2.5 \times 975 + 77.8}{0.8 \times 975 + 77.8} = 0.412 \text{ 秒}$$

(4) 同理, 转速从反向基速加速到 $-n_{\max}$:

$$\text{此段时间 } t_4 = \frac{400}{375} \cdot \frac{(1000 - 400)}{(2.5 - 0.8) \times 975} \cdot \ln \frac{2.5 \times 975 - 77.8}{0.8 \times 975 - 77.8} = 0.461 \text{ 秒}$$

显然拖动装置从 $+n_{\max} \rightarrow -n_{\max}$ 过渡过程的时间应为四部分时间之和:

$$t = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = 0.170 + 0.181 + 0.412 + 0.461 = 1.224 \text{ 秒}$$

由此可以看出, 工艺提出的过渡过程时间小于 3 秒的要求并不太高, 因此不必选用电枢交叉接线的有环流系统, 因其设备投资费用贵。至于开关反接方案虽比较简单、经济, 但因系统起制动频繁, 接电次数达 360~480 次/时, 开关触头极易损坏, 也不适用, 磁场反并联接线虽然亦较经济, 但因控制逻辑较为复杂, 可靠性也就降低, 且磁场的切换频率高, 死区长, 影响系统的快速性, 相比之下, 本方案采用电枢反并联接线是比较适合的。

电枢回路可控硅供电装置的原理线路可参见图 1-1-1 所示。

为了提高装置的抗冲击负荷的能力, 希望供电电网的短路容量尽可能大, 为此装置的供电电源取自 6.3KV 电网, 然后经整流变压器 ZLB 变压。整流变压器除了能使整流器获得所需的电源电压值以外, 它还能起到整流装置与电网的隔离作用。此外, 当整流变压器的原边或副边接成 Δ 接线时, 亦能削弱可控硅换流引起的高次谐波对电网的影响。因此, 在一般的轧钢机的可控硅传动中整流变压器都是必不可少的器件。

主回路交流侧进线采用 DW10-1500/3 型空气开关, 具有过流、失压和短路等保护。对由电网侵入的浪涌电压和变压器分合闸时产生的过电压, 系统设置阻容吸收装置和硒堆保护装置。直流侧采用阻容吸收, 硒堆和接地保护。电枢反并联无环流系统原则上只须一个平波电抗器和一个直流快速开关(串接在电动机电枢回路内)就可以了。但实际上往往由于种种意外原因, 系统仍可能出现环流, (我们在装置调试时, 曾因脉冲变压器绝缘不良而造成环流, 详细分析见第三篇第六章)。因此, 装置采用二个平波电抗器和二个直流快速开关是十分必要的。快速开关采用 DS10-2000/825 Z 型, 当直流侧发生短路与过流时, 能在 25ms 时间内迅速切断主回路, 以保护可控硅整流装置, 防止事故的扩大。

系统中还设置了能耗制动, 是为了一旦出现重大事故, 而调节系统又失灵时可以紧急停车, 避免事故的扩大。这一措施在较为重要的设备中往往是必需的, 由于能耗制动只是偶而瞬时使用, 故其制动电阻的功率可取较小。

§1-3 磁 场 回 路 的 供 电 方 式

磁场回路的供电从目前的调速要求来看, 采用恒定磁场完全可以满足要求, 但厂方从设备的长远目标考虑要求系统能弱磁升速。

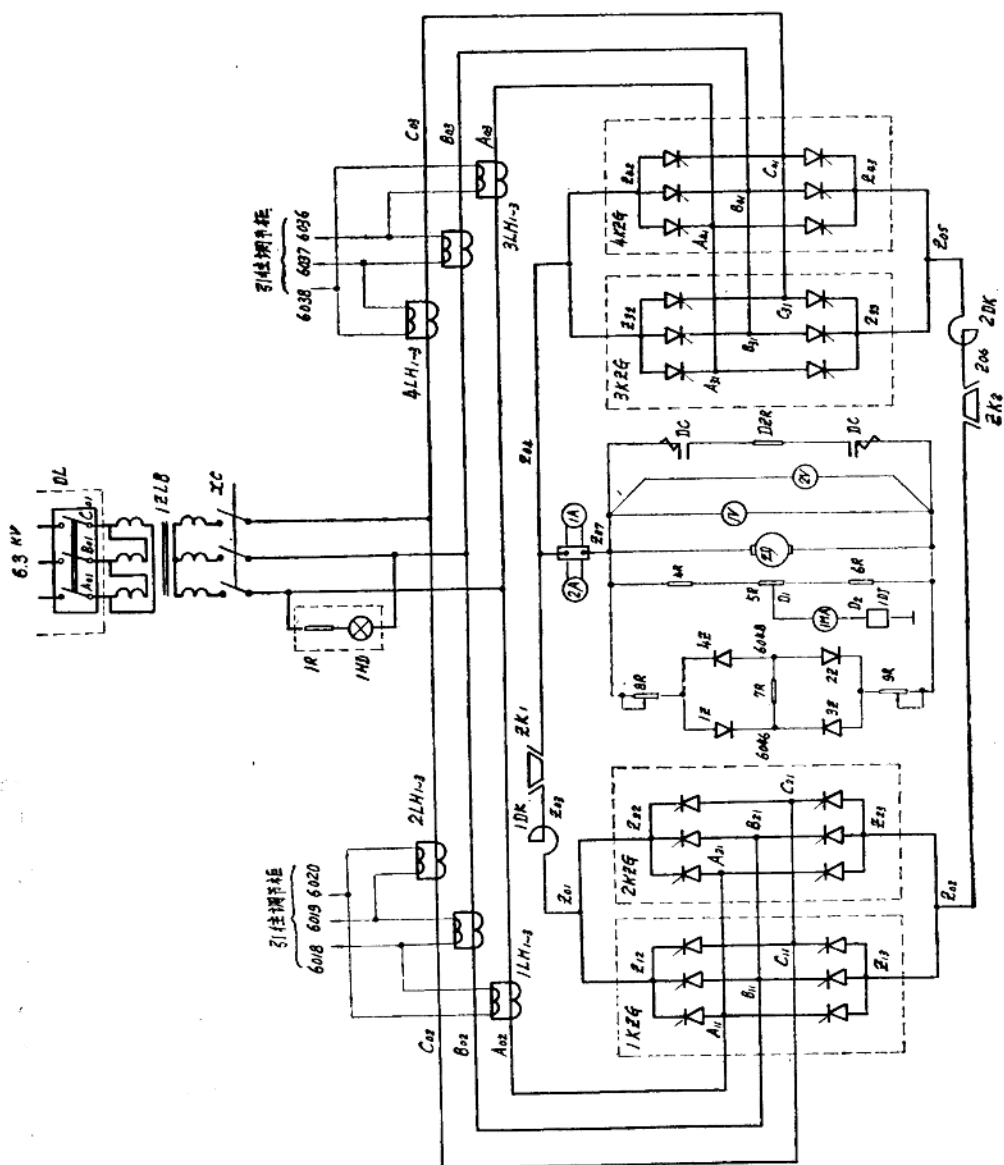
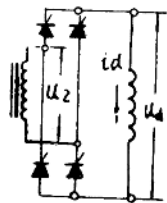
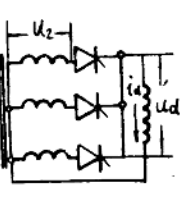
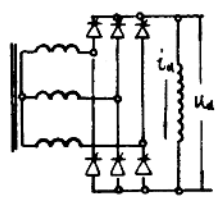


图1-1-1
电枢回路可控硅
供电装置原理线路

磁场回路的负载是电动机的励磁绕组，是一个感性负载，当要求弱磁升速时，可控硅整流装置的形式一般应采用单相或三相全控桥或三相零式可控整流。当磁场给定信号减小时，由于励磁电流不能突变，故其电流反馈信号将使整流桥拉入逆变状态，将励磁绕组的磁场能量通过电源释放，以加速磁场电流的变化，因此，采用上述整流装置是可以的。

三种整流装置形式究竟取用哪一种，可以根据系统控制性能的要求，电机容量的大小等因素选定，其性能对比可参见表 1-1-2。

三 种 整 流 装 置 性 能 比 较 表 1-1-2

整流电路名称		单 相 全 控 桥	三 相 零 式	三 相 全 控 桥
电 路 图				
空载直流输出电压	全 导 通 ($\alpha = 0$) u_{d0}	$0.9 u_2$	$1.17 u_2$	$2.34 u_2$
	某一个移相角 α 时	$u_{d0} \cdot \cos \alpha$	$u_{d0} \cdot \cos \alpha$	$u_{d0} \cdot \cos \alpha$
元件承受的最大反向电压峰值 u_m		$1.41 u_2$	$2.45 u_2$	$2.45 u_2$
移 相 范 围		$0 \sim 90^\circ$ ($\alpha > 90^\circ$ 转入逆变状态)	$0 \sim 90^\circ$ ($\alpha > 90^\circ$ 转入逆变状态)	$0 \sim 90^\circ$ ($\alpha > 90^\circ$ 转入逆变状态)
输出电压最低脉动频率		$2f$	$3f$	$6f$
全导通时输出电压纹波系数 γ		0.484	0.183	0.042
全导通时输出电压脉动系数 s		0.667	0.25	0.057
变压器容量	原 级 绕 组	$1.11 P_d$	$1.21 P_d$	$1.05 P_d$
	副 级 绕 组	$1.11 P_d$	$1.48 P_d$	$1.05 P_d$
	平均计算容量	$1.11 P_d$	$1.35 P_d$	$1.05 P_d$
全导通时流过可控硅的电流(平均值)		$0.5 I_d$	$0.333 I_d$	$0.333 I_d$
全导通时流过可控硅的电流(有效值)		$0.707 I_d$	$0.587 I_d$	$0.587 I_d$
适 用 场 合		各项指标较好，适用于小功率负载	指标一般，元件受峰压较高，较少采用	各项指标较好，适用于大、中功率负载，特别适用于需可逆的场合。

本系统励磁回路供电，选定三相全控桥式线路，其原理线路如图 1-1-2 所示。

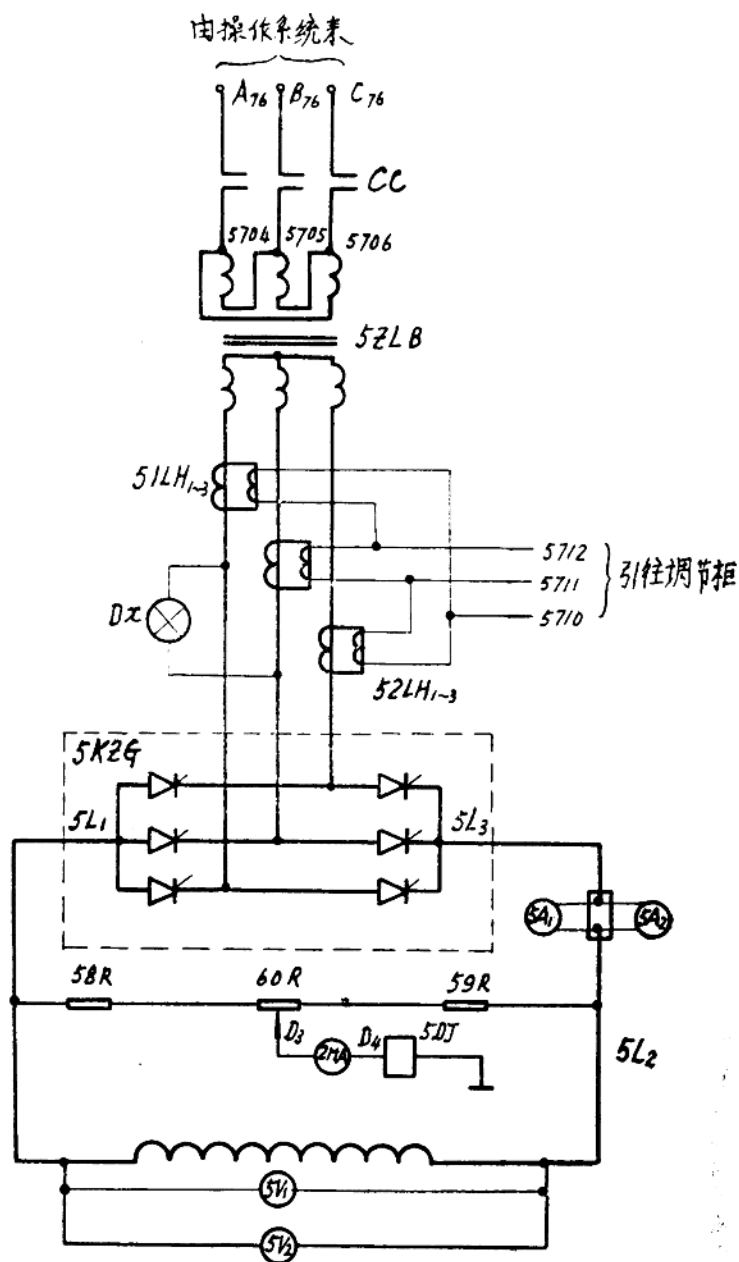


图1-1-2 励磁可控硅供电装置原理线路图

在切断励磁电源后,为防止励磁绕组因过电压而损坏,仍须提供励磁绕组反电势的放电回路,现为了简单起见,利用阻容吸收装置与接地指示电阻放电,而不再另设放电回路。

第二章 可控硅供电的触发装置

§2-1 对 触 发 装 置 的 要 求

触发装置的可靠性,对于可控硅供电系统的正常运行有着极为重要的作用。没有良好、可靠的触发装置而要实现可控硅供电那简直是不可能的。因此,正确选用或设计触发器是很重要的。对三相全控桥式整流线路,要求触发装置能满足以下几条:

1. 触发脉冲能在 $0\sim 180^\circ$ 范围内平稳移相。
2. 应能确保每个桥臂的触发脉冲与该可控硅的阳极电压同步,即具有相同的频率,并保持一定的相位关系。
3. 触发脉冲的功率,能满足相应容量可控硅导通所必须的最大触发电压和最大触发电流。对 3 CT500 或 3 CT800,则要求触发电压不小于 4 伏,触发电流不小于 350 mA,只有这样,才能保证任何一个合格的可控硅元件调换上去后,都能正常工作。
4. 触发脉冲的宽度必须大于 60° ,小于 120° ,对电感性负载,一般应大于 90° ,小于 120° 。如果脉冲宽度小于 60° ,则可采用双脉冲触发方式。即每个可控硅在正常触发脉冲后的 60° 再补一个脉冲,换言之,每个触发脉冲应有两路输出,除一路触发本相可控硅外,另一路应触发前一相的可控硅。
5. 为了能可靠地触发可控硅,触发脉冲前沿陡度应大,通常要求脉冲前沿在 $10\mu s$ 之内。当可控硅串、并联工作时,为确保可控硅同时导通,一般要求脉冲前沿在 $5\mu s$ 之内。

冶金系统拖动电机的容量一般比较大,对控制性能的要求也就比较高。可控硅供电主回路的形式大部分为三相全控桥式,而其触发器目前广泛使用的大致有以下三种:

(1)脉冲列触发器:脉冲前沿陡,技术指标较高。由于需另设一台高频振荡源,故线路复杂,比较适用于多串多并的大功率整流装置中。

(2)宽脉冲触发器:线路比较简单,但脉冲变压器功率大,体积大,触发脉冲的技术指标完全由它决定。

(3)双脉冲触发器:由于是窄脉冲,因此,脉冲变压器的功率可大大减小,故体积也相应减小,此外线路较简单。目前,在功率不十分大的场合,已越来越多的被采用。

上述触发器采用的同步信号方式,一般是二种,一为正弦波同步,二为锯齿波同步。

同步信号为正弦波的触发电路的优点是线路简单,移相线性度就其触发器本身来说是非线性的,但就触发器和整流电路合为整体来说,它的线性度是好的。因为:

$$\cos \alpha = K \cdot U_K$$

此外,当电网电压波动时,由于同步电压也随之波动,通过控制角的调整,能减小整流电压的波动。正弦波同步的缺点是移相范围较小,理论上可达 180° ,实际上只有 150° 左右,当电网电压下降过多或严重畸变时,控制电压与同步电压可能没有交点,而产生“失控”。不过,该缺点可以在同步电压的正弦波的波峰上迭加安全脉冲的措施,以及对同步电压采取阻容滤波的措施来加以克服。

同步信号为锯齿波的触发电路，它的移相范围宽，可达 $210^{\circ} \sim 240^{\circ}$ 。锯齿波由稳压源供电，它不随电网电压的波动而变化；但在多相整流电路中，调整各相锯齿波的斜率完全一致又比较困难；移相线性度就其本身来说是线性的，但对整个可控硅整流的控制特性来说，则并不是线性的。总之，两种同步方式各有其优点，亦各有其不足之处，我们应该根据具体情况选用。为结合教学的需要，本系统的电枢回路选用正弦波同步的大功率宽脉冲触发器，励磁回路则选用锯齿波同步的双脉冲触发器。

一、触发装置的结构:

图 1-2-1 为电枢回路触发装置结构图。

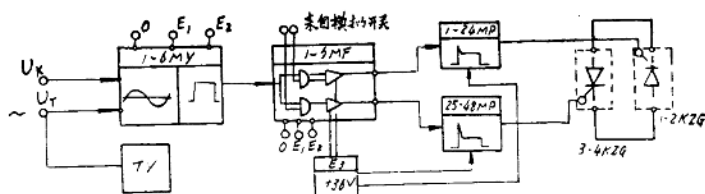


图 1-2-1 电枢回路触发装置结构图

本系统主回路的每一桥臂采用四只 800 A/1700 V 的可控硅元件并联，三相全控桥六个桥臂共 24 只元件，分装在二只整流柜内，构成电枢反并联形式共有 48 只可控硅元件，分装在四只整流柜内。为此分装在 1~4 KZG 柜元件旁的触发脉冲分配板（输出级）就相应有 48 块。为使无环流控制更加安全可靠，本系统采用一组触发装置经模拟开关实行选择触发，因

此只需要六块触发脉冲形成板 1~6 *MY* 和六块触发脉冲放大和选触板 1~6 *MF*。加上触发器的工作电源 E_1 (+15 V, 2 A) E_2 (-15 V, 2 A), 强触发电源 E_3 (+36 V, 5 A) 以及同步电源变压器 *TY* 就组成了整个电枢回路的触发装置。

二、触发器的工作原理

从上述说明可知, 本触发器实际由三部分单元组成: *MY*——触发脉冲形成单元; *MF*——触发脉冲放大单元; *MP*——触发脉冲分配单元。下面说明其工作原理, 图 1-2-2 为大功率宽脉冲触发器的单相原理图。

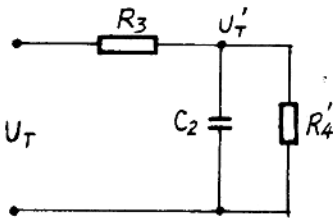


图 1-2-3 阻容滤波等值电路

1. 正弦波移相和 α 、 β 限制

本线路采用正弦波移相, 因此对同步电压的波形要求较高, 为此同步电压 U_T 先经 R_3 、 C_2 构成的阻容网络滤波, 以滤去来自电网的干扰信号改善同步电压的畸变程度, 保证有一定的抗干扰能力, 但又带来附加的相移。这点可从其等值电路的分析看出, 如图 1-2-3 所示。

设负载开路(即 $R'_4 = \infty$), U_T 为输入的交流正弦电压的有效值, 经 R_3 、 C_2 滤波后的输出电压 U'_T 和相

位移 θ 可用下式表达:

$$\theta = \tan^{-1} \omega T \quad [1-2-1]$$

$$U'_T = \frac{U_T}{\sqrt{1 + (\omega T)^2}} \quad [1-2-2]$$

式中: T ——滤波时间常数 $T = R_3 \cdot C_2$

ω ——电源角频率

显然, 对于同步电源中的干扰电压, 阻容移相环节亦将其衰减、移相。今设干扰电压之基波幅值为 U_0 , 频率为 ω_0 , 则在输出端出现的干扰电压大小应为:

$$U'_0 = \frac{U_0}{\sqrt{1 + (\omega_0 T)^2}} \quad [1-2-3]$$

由 [1-2-1] 和 [1-2-3] 式可见, 若将移相角设计得越大, 即 $T = R_3 \cdot C_2$ 值越大, 抗干扰能力就越强。但据上二式作出 $\theta = f(T)$ 及 $\frac{U'_0}{U_0} = f(T)$ 的曲线, 如图 1-2-4, 可知: 相移 60° 左右滤波效果最显著, 若移相角大于 60° 后, 改变滤波参数 T 对幅值的衰减影响就较弱了, 因此本设计要求实际相移 60° 左右。

由于阻容滤波实际负载并不是无穷大, 为达到实际相移 60° 的效果, T 的参数要比理想计算值大得多, 这可在调试时变化阻容参数达到。

移相控制信号由 U_K 输入, 经滤波器送至运算放大器 *BG*₅ 的反相输入端与同步电压 U_T

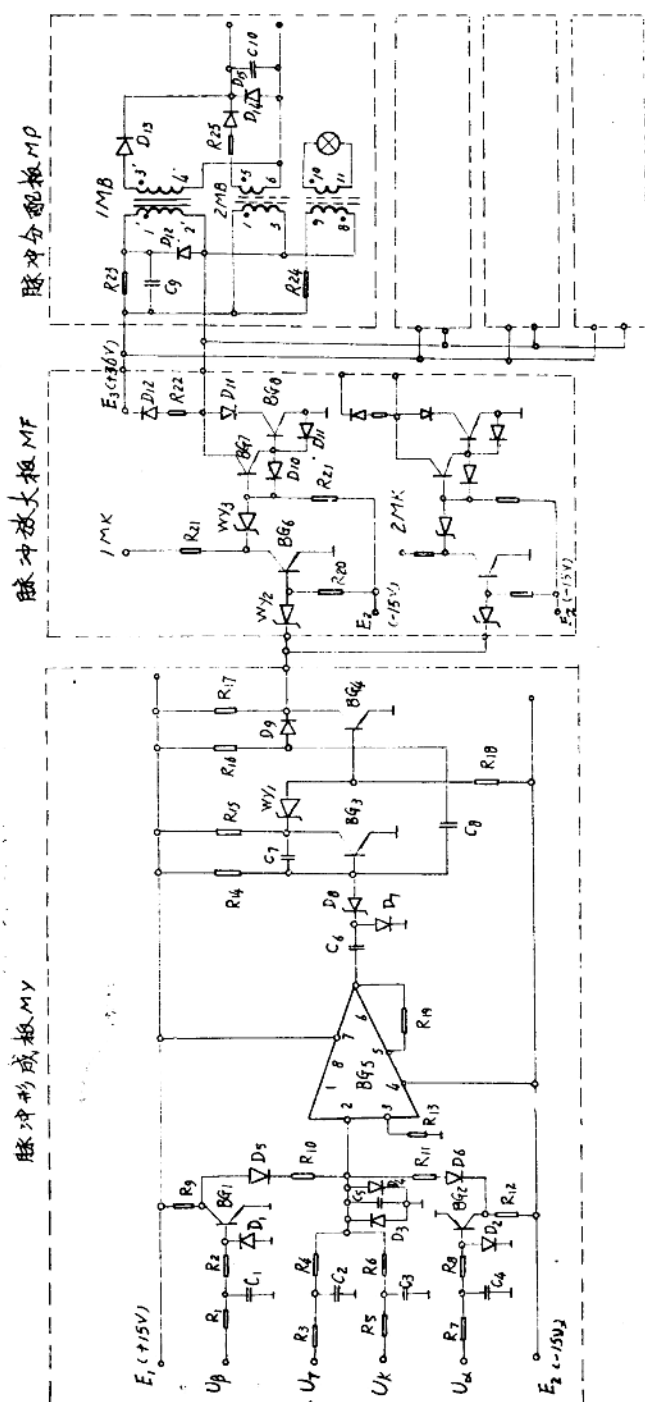


图 1-2-2 大功率宽脉冲发生器单相电原理图

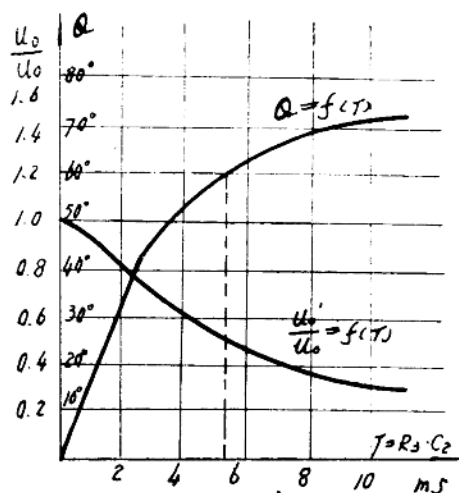


图 1-2-4 $\frac{U_o'}{U_o} = f(T)$ 曲线

进行综合, BG_5 工作于开环状态, 放大倍数 $> 10^4$, 只要输入端有微小的输入信号, 输出即达到饱和值。因此, 当控制信号 U_K 为零时, 只要正弦变化的同步电压过零点, BG_5 的输出极性就会翻转, 而当 U_K 为某一正负值时, 迭加后的同步电压过零点就发生变化, 使 BG_5 的翻转提前或迟后, 从而达到移相控制的目的。为了使 U_K 从 $+8V \sim -8V$ 变化时, 移相 $\pm 60^\circ$, 可适当调整同步电压的幅值和输入电阻 R_s 或 R_5 的阻值。

在可逆系统中, 为防止逆变颠覆, 对控制角 α 和逆变角 β 的变化范围需要限制, 一般使 $\alpha_{\min} = \beta_{\min} = 30^\circ$ 。本触发器就是利用同步电源不同相位关系的综合在正弦波电源上迭加安全脉冲的措施来实现上述目的的。假设同步信号 U_T 取自同步变压器 $+b$ 相电压, 则 U_a 端送入 $+c$ 相电压作为 $\alpha_{\min}$ 限制, U_β 端送入 $+a$ 相电压作为 $\beta_{\min}$ 限制。由于 U_T 经过 60° 移相, 为此 U_a 、 U_β 也需经 60° 移相后, 才能送至 BG_1 和 BG_2 。图 1-2-5 中的三相电压波形即

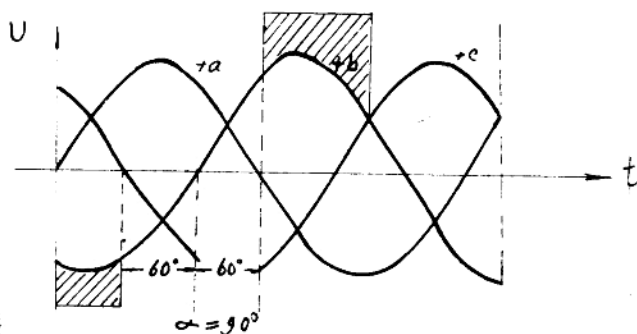


图 1-2-5 $\alpha_{\min}$, $\beta_{\min}$ 限制原理