

可控硅中频装置资料选编

第一机械工业部情报所编

机械工业出版社

业
出

可控硅中频装置资料选编

第一机械工业部情报所编



机械工业出版社

本书选编了国内八篇可控硅中频装置的生产和研制技术资料，其中大多数已投入了工业运行，有的已通过鉴定投入生产。书中介绍了不同线路的100千瓦1000赫，100千瓦2500赫，100千瓦8000赫，300千瓦2500赫可控硅中频装置。阐述了这些装置的工作原理、参数的选择与计算、线路的保护及调试运行等。书中附有各种装置的电气线路总图。

本书可供从事可控硅中频装置的生产、科研、教学及使用单位的广大工人和科技人员参阅。

可控硅中频装置资料选编

第一机械工业部情报所编

(内部发行)

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 $\frac{1}{16}$ ·印张 10 $\frac{1}{4}$ ·插页 4·字数 243 千字

1975年2月北京第一版·1975年2月北京第一次印刷

印数 00,001—13,500·定价 0.95元

*

统一书号: 15033·(内)616

毛主席语录

独立自主、自力更生。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

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。

前 言

可控硅中频感应加热装置是六十年代发展起来的新技术。它是一种利用可控硅把50赫的三相工频电流转换成单相中频电流的装置。

可控硅中频装置与中频发电机组相比，具有噪音低，效率高，占地面积小，节约金属材料，自动调频，制造容易，安装简单，使用方便等优点。因此，可控硅中频装置在金属感应加热方面，如金属熔炼、透热、淬火、钎焊、弯管及锻坯加热等方面得到越来越广泛的应用。目前，正朝着部分取代中频发电机组的趋势发展。

在伟大领袖毛主席“独立自主、自力更生”的方针指引下，1969年我国研制出第一台60千瓦1000赫可控硅中频装置，经几年的努力，我国可控硅中频技术有了很大的发展。目前已研制出容量为100千瓦、200千瓦、300千瓦、1000千瓦，频率为1000赫、2500赫、4000赫、8000赫的可控硅中频装置。更高频率和更大容量的中频装置正在积极研制中，多台装置的并联运行实验也在进行。1973年12月，一机部和冶金部在上海对100千瓦1000赫可控硅中频装置进行了鉴定，现已定型投入生产。

为了进一步相互交流经验，促进可控硅中频技术的发展，我们收集了国内部分可控硅中频装置的生产和研制方面经验，选编成册，供有关的生产、科研及使用部门参考。

本书在编辑过程中，得到了一机部电工局可控硅中频装置工作小组的大力支持和协助，特此致谢。

由于编者的水平所限，如有错误和不当之处，请予批评指正。

1974年5月

目 录

1. KGPS100-1 可控硅中频装置的运行和试验	1
2. 100千瓦 1000 赫感应熔炼用可控硅变频器	8
3. 100千瓦 2500 赫并联谐振型可控硅变频系统	20
4. KGPS100-2.5 可控硅中频装置试制总结	32
5. 300千瓦 2500 赫可控硅中频装置	51
6. 100 千瓦 8000 赫倍频线路可控硅中频装置	78
7. 100千瓦 8000 赫可控硅中频装置 (时间分割线路)	90
8. 100千瓦 8000 赫倍频线路可控硅中频装置(研制总结)	100

附 图

- 一、KGPS100-1 可控硅中频装置原理图
- 二、100千瓦 1000 赫可控硅变频器电气原理图
- 三、KGPS100-2.5 可控硅中频装置电气系统图
- 四、300千瓦 2500 赫可控硅中频装置总电气原理图
- 五、100千瓦 8000 赫倍频线路可控硅中频装置电气原理图
- 六、100千瓦 8000 赫可控硅中频装置电气原理图 (时间分割线路)
- 七、100千瓦 8000 赫倍频线路可控硅中频装置电气原理图

KGPS100-1可控硅中频装置的运行和试验

上海第二开关厂

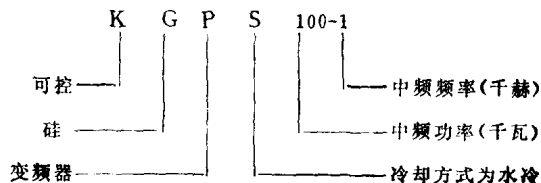
一、前言

在毛主席的无产阶级革命路线指引下，一机部和冶金部在1973年12月对我厂生产的KGPS100-1可控硅中频装置进行了国家鉴定。在各级领导的亲切关怀下，在全国各地兄弟单位的大力协助下，通过了对该产品的鉴定，并从一九七四年起定型成批生产。

我厂KGPS100-1可控硅中频装置从1971年7月试制出第一台以来，至73年底已生产了60多台产品供全国各地运行使用。迄今为止，已经分别熔炼了几十炉到几千炉合金钢、普通钢、合金铸铁、铜和银等金属，通过生产实际考验，证明装置达到了预定的设计指标，性能良好，工作比较可靠。我们还对装置进一步作了多次改进，不仅使电源能更好地适应熔炼负载，而且开始应用于透烧加热负载，并也能适应淬火负载的需要，此外，装置的频率指标也可以从原来的1000赫左右提高到2500赫。现在我们还准备进一步对该装置的某些不足之处作部分的改进与完善，使这一装置更能适应各地工业生产的需要，为国家的社会主义建设作出应有的贡献。

二、主要技术参数和工作原理简介

KGPS100-1可控硅中频装置的型号含义如下：



装置的主要技术参数如下：

输入：电压 380伏

电流 200安

频率 50赫

相数 3相

输出：频率 1000赫（频率变化范围为800~1200赫）

功率 100千瓦

电流 250安

电压 750伏

KGPS100-1可控硅中频装置的线路型式为交流—直流—交流，并联逆变线路（见图1）。

基本工作原理是通过一个三相桥式全控整流电路把50赫的工频电流整流成为直流，再经过直流电抗器进行滤波，最后经过一个单相桥式逆变器将直流转化为单相中频交流供给负

载。

整流部分之所以采用三相全控桥式整流电路是因为一方面可以通过调节直流电压来调节中频输出功率的大小，同时全控桥的波形也比较好。另一方面，当发生过流、过压或短路时，可以使全控桥从整流区迅速拉到逆变区，并把直流电抗器上的能量反馈到电网中去，从而消除了故障，保护了可控硅元件。

中间的直流电抗器有两个作用，一方面它可以作为滤波电感使整流后的直流电流保持连续以及减小直流的脉动；另一方面可以限制短路电流的峰值。

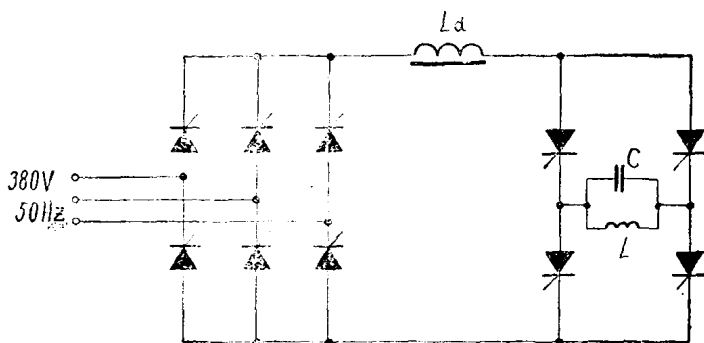


图1 主回路原理示意图

逆变部分的主要原理是把直流电压加在逆变桥的上下两端，通过桥的对角线的二组可控硅元件交替导通与关断作用，于是在负载里面就流过一个交变的中频电流。

逆变器的启动采用电容器预充电，然后再对炉子放电的方法来启动。触发方式采用自激触发，也就是说逆变触发器的输入信号是从负载谐振回路中取出，这样就会使逆变器输出电流的频率能够自动跟踪谐振回路的频率变化，从而使装置始终处于最佳运行状态。

三、各元件参数的选择与计算

1. 进线电抗器 L_d

为了限制整流可控硅在换流时的电流上升率，在三相交流电源进线处每相接入 $L_d = 180$ 微亨的电感。

2. 整流部分可控硅元件的选择

整流部分每桥臂承受的最大压电为

$$\sqrt{2} U_L = \sqrt{2} \times 380 = 535 \text{ 伏}$$

每桥臂流过的电流为

$$0.367 I_d = 0.367 \times 250 = 92 \text{ 安} \quad (I_d \text{ 为额定直流电流})$$

故选用 3CT-200 A/1000 V 水冷可控硅元件。

3. 快速熔断器选择

$$I_{rd} = 0.367 I_d \times 1.57 = 0.367 \times 250 \times 1.57 = 145 \text{ 安}$$

实际选用 RS3-200 A/500 V 快速熔断器。

4. 可控硅两端的阻容吸收元件的计算

$$C = (2.5 \sim 5) I_r \times 10^{-3} = 5 \times 200 \times 10^{-3} = 1 \text{ 微法}$$

$$R = (1 \sim 3) \sqrt{\frac{L_r}{C}} = \sqrt{\frac{180}{1}} = 13.4 \text{ 欧}$$

实取电容为 1 微法 1000 伏，电阻为 20 欧 50 瓦。

5. 直流电抗器的计算

直流电抗器 L_d 有三个作用, 其一是限制电流脉动; 其二是在最小工作电流时波形连续; 其三是限制短路电流的峰值。

1) 根据最小电流连续的原则

$$L_{K1} = K_1 \frac{U_2}{I_{d1}} \times 10^{-3} = 0.407 \times \frac{220}{25} \times 10^{-3} = 3.6 \text{ 毫亨}$$

式中 K_1 ——系数取 0.407;

U_2 ——电源相电压为 220 伏;

I_{d1} ——最小工作电流取 $0.1 I_d = 25$ 安。

2) 根据限制电流脉动的原则

$$L_{K2} = \frac{U_{d1}}{2\pi f_d \left(\frac{I_{d1}}{I_d} \right) I_d} = \left(\frac{U_{d1}}{U_2} \right) \frac{U_2}{2\pi f_d \left(\frac{I_{d1}}{I_d} \right) I_d}$$

$$= 0.46 \times \frac{220}{2\pi \times 300 \times 5\% \times 250} = 4.3 \text{ 毫亨}$$

式中 $\left(\frac{I_{d1}}{I_d} \right)$ ——输出直流电流的脉动系数, 取 5%;

$\left(\frac{U_{d1}}{U_2} \right)$ ——在某个移相角时输出脉动电压最大值与电源相电压之比;

U_2 ——电源相电压;

f_d ——输出电路中最低谐波频率。

3) 根据限制短路电流峰值的原则

将短路电流峰值限制在 3 倍可控硅额定电流

$$L_{K3} = \frac{\sqrt{2} U_l}{2\pi f I_K} = \frac{\sqrt{2} \times 380}{2 \times 3.14 \times 50 \times 3 \times 200} = 1.8 \text{ 毫亨}$$

综上, 最后取直流电抗器 $L_d = 6$ 毫亨 (当 $I_d = 250$ 安时)。

6. 逆变部分可控硅元件的选择

每桥臂上元件承受最大的正向电压峰值:

$$\sqrt{2} U_c = \sqrt{2} \times 750 = 1060 \text{ 伏}$$

每桥臂上元件承受最大的反向电压峰值:

$$\sqrt{2} U_c \sin \varphi = \sqrt{2} \times 750 \times \sin 36^\circ = 625 \text{ 伏}$$

式中 U_c ——中频电压有效值。

故选用 3CT-200 A/1000 V 可控硅水冷元件两只串联。

7. 逆变桥换向电抗器 L_K 的计算

为了限制逆变桥两组可控硅换流时的电流上升率, 在每桥臂串有换流电抗器 L_K 。

$$\therefore \sqrt{2} U_c \sin \varphi = 2 L_K \frac{di}{dt}$$

$$\therefore L_K = \frac{\sqrt{2} U_c \sin \varphi}{2 \frac{di}{dt}} = \frac{\sqrt{2} \times 750 \times \sin 36^\circ}{2 \times 10} = 30 \text{ 微亨}$$

式中 U_c ——中频电压;

$\frac{di}{dt}$ ——电流上升率, 取 10 安/微秒;

φ ——超前角, 在 1000 赫时取 36° , 即相当于时间为 100 微秒。

四、产品的结构设计

KGPS100-1 可控硅中频装置为整体式柜装置。本装置的所有电器元件和零部件均装在一只柜内。柜的外形尺寸为 $2200 \times 1600 \times 900$ 毫米。

1. 感应器

本装置不包括感应器。感应器或者是感应熔炼炉，或者是感应加热器。感应熔炼炉的坩埚容量为 150 公斤，炉子线圈的内径为 400 毫米，高度为 524 毫米，匝数为 17 匝，用 $20 \times 25 \times 3$ 的空心铜管绕制，中间通水冷却。从本装置到炉子之间可用铜排及 300 毫米² 的水冷电缆线联接。

感应加热器的直径、大小、匝数均由工件而定。其可以直接由装置供电，也可以通过中频变压器进行负载匹配。

2. 冷却问题

装置内的所有可控硅水冷元件，三相进线电抗器，逆变换流电抗器，直流电抗器，中频电热器均用循环冷却水进行冷却。所有带电元件的冷却水路连接时，除了要有足够的冷却作用外，还须考虑水路连接的电位关系，即不应造成不同电位之点由于水路而短接。

3. 中频电容器

中频电容器不另设柜子，主要是考虑到装置容量不大，电容器与电路共置同一个柜内整体性较好，便于制造、运输和安装。但这样中频输出铜排上将流过很大的谐振电流，因此要求本装置安装在离负载较近的地方，以降低损耗，同时也便于操作。

本装置用于感应熔炼炉负载时，配置中频电容器共十四只，其规格是 RYS-0.75-90-1。

五、试验和运行情况

本装置按一机部中频工作组制订的技术条件规定进行试验，试验结果证明装置达到了技术条件的要求。

1. 装置的试验情况

1) 冷却系统试验

对本装置的水冷却系统进行渗漏试验。在冷却水的水压 $1.5 \sim 2$ 公斤/厘米² 时，各冷却水路流动畅通，并保证正常工作时所需的冷却水量。在加于 3 公斤/厘米² 水压一分钟后，各冷却元组件和连接水管均无崩裂和渗漏现象。

2) 耐压试验

在装置不通水和排除内部积水后进行下列试验：

(1) 将可控硅元件阳—阴极短路，并切除所有弱电元件，先用 1000 伏兆欧表测量主回路二次回路的绝缘电阻，其值为 10 兆欧，主回路对柜外壳的绝缘电阻为 4.5 兆欧。然后在同样的条件下施加 2000 伏工频高压一分钟，均无发现击穿和闪络现象。

(2) 对二次回路布线与柜身外壳之间，先用 1000 伏兆欧表测量绝缘电阻，其值为 20 兆欧。然后施加 2000 伏工频高压一分钟，也无击穿和闪烁现象发生。

进行上述试验时，环境温度为 18°C ，相对湿度为 75%。

3) 启动试验

在三相全控整流桥输出的直流电压值为 150 伏到 300 伏的范围内, 分别下列几种情况进行启动试验, 均能可靠启动。

(1) 电源供给 150 公斤无芯坩埚感应电炉负载时, 分别以下七种条件在 U_d 为 150 伏和 300 伏时, 各进行连续启动试验, 均能可靠启动: 新炉有炉衬炉内无料冷却启动; 新炉有炉衬炉内有料 (满炉或半炉充以炉料) 冷炉启动; 热炉空炉启动; 热炉有料启动; 熔炼中炉内炉料已热但未熔化停电再启动; 熔炼中炉内炉料部分已熔化, 部分尚未熔化, 停电后再启动; 熔炉中炉内炉料已全部熔化成钢水停电再启动。

(2) 当电源直接送给感应加热线圈负载时, 分别以下二种条件在直流电压 U_d 为 150 伏和 300 伏时作连续启动试验, 均能可靠启动: 线圈内没有加热工件启动; 线圈内有加热工件启动 (工件规格为 $\phi 75$ 圆钢, $\phi 115/\phi 105$ 无缝钢管)。

(3) 当电源的负载为中频淬火变压器时, 分别对感应线圈内有加热工件 (规格为 $\phi 20$ 、 $\phi 16$ 工具钢) 和没有加热工件两种条件进行连续启动试验, 装置均能可靠启动。

4) 保护系统试验

按技术条件规定进行保护系统试验, 证明装置的保护系统工作可靠, 有效地起到保护元件和系统的作用。

(1) 本装置对过电压的保护: 在直流电压 U_d 达到 800 伏时, 过电压保护即使装置自动切除过压故障而停车, 信号灯同时发出过压指示。人为地造成过压到 800 伏的二十次试验, 均有效地实现了脉冲封锁保护。

(2) 过电流保护: 在 300 安时过流保护即使装置自动停车, 信号灯同时发出过流指示。同样, 我们造成二十多次过流到 300 安的试验, 脉冲封锁有效地起到保护系统和元件的作用。

在过流和过压保护动作使整流桥拉到逆变状态而向电网馈送能量时的瞬态过程, 可从摄取的波形照片中得到证明。

(3) 冷却水失压保护: 装置冷却系统的正常工作水压不得低于 1.5 公斤/厘米², 试验表明, 当水压在 1.4 公斤/厘米² 时, 压力继电器动作, 使装置停止工作。而在水压低于 1.5 公斤/厘米² 时无法启动, 需待压力达到 1.5 公斤/厘米² 后才能再启动和运行。

表 1 熔炼试验记录数据

时 间	输 入		直 流		输 出			效 率 (%)
	电 压 (伏)	功 率 (千瓦)	电 压 (伏)	电 流 (安)	电 压 (伏)	频 率 (赫)	功 率 (千瓦)	
14:35	378	108	400	250	570	922	100	92.6
14:45	384	108	460	200	690	994	98	90.7
14:55	384	103.2	490	200	690	1042	96	93
15:05	388	117.6	460	225	690	1062	108	91.8
15:15	380	120	460	225	690	1095	108	90
15:25	388	120	460	225	700	1103	110	91.7
15:35	392	122.4	470	240	700	1104	112	91.5
15:45	392	124.8	470	240	704	1104	114	91.4

输入功率平均值 = 115.3 千瓦; 输出功率平均值 = 105.8 千瓦; 总效率 = 91.8%。

注: 熔炼 45 号钢, 每炉 150 公斤, 热炉启动, 熔炼时间为 70 分钟。

5) 负载特性试验

按技术条件规定进行负载特性试验(负载特性曲线见图2和表1)。

6) 装置总效率的测定

按技术条件规定测定装置的总效率为91.7%，装置效率的变化范围为89.2%~93%。

7) 短路试验

按技术条件规定，经过几十次短路考验，证明系统的保护及时排除短路故障，元件和系统均无任何损坏现象，此时的电流最大值为短路前的3.4倍。

2. 装置的运行考验情况

KGPS100-1 可控硅中频装置小批量生产以来，已在上海和各地区进行了工业性的运行，用于熔炼和感应加热等各种场合，熔炼的品种有各种合金钢、碳钢、合金铸铁、不锈钢、铜、银等六、七种，熔炼时间最长的已有二年多，熔炼的工作制有每天一班满班生产(五炉左右)，也有二班连续生产(十炉以上)，而大量的为不定期断续生产，其中熔炉数在一千炉以上的计有上海柴油机厂、上海新华铸造厂等，熔炼数百炉的计有上海电器厂、上海机器制造学校等。用在透热的已有上海砂轮厂和上海跃进电机厂等，他们都是在最近为适应新工艺和生产自动线的要求，开始试运行成功的。

对于装置的主要技术经济指标，我们也会同用户单位一起进行了实际的测量，下面列举熔炼用户单位在使用中测量的数据供参考。

表2 上海第六纺织机配件厂熔炼特性比较

比较项目	熔炼量 (公斤)	熔炼时间 (分)	耗电量 (度/吨)
KGPS100-1	150	55	668
JF100KW/2.5KC	150	85	1030

在上海第六纺织机配件厂，对我厂试制的 KGPS100-1 与上海先锋电机厂生产的 JF100 千瓦，2.5 千赫中频发电机组进行熔炼 45° 钢的对比试验。证明用可控硅中频装置比用中频发电机组可以缩短熔炼时间，降低耗电量，节约用电达25%左右。对比试验的条件是取钢温度为1600℃，熔炼时间和耗电量的计算都不包括保温和出钢时间。

关于熔炼时间和耗电指标，我们测量了好几家，但是得出的数据不尽相同，因为耗电指标的大小除电源本身有关外，还与下列几个因素有关：炉衬的厚薄，炉料的规格，加料的密

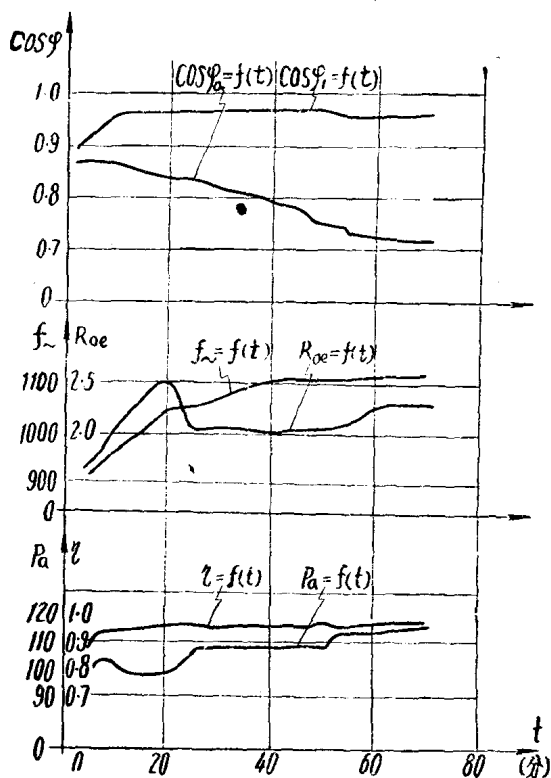


图2 熔炼负载特性曲线

$\cos \varphi_0$ —中频功率因数； $\cos \varphi_1$ —装置功率因数；
 f —中频频率； R_{oe} —负载等效电阻；
 η —装置效率； P_a —中频输出功率

实情况，炉工操作是否得法。我们曾在同一炉子上进行试验，用同样的规格炉料，当炉料加得合理，操作勤快时，熔炼时间长达 90 分钟，耗电量达到 800 度/吨以上。

在用户单位发生过数次短路事故。例上海机校曾发生过引出铜排相碰造成短路。新华厂曾发生一只猫被电击死在引出铜排的地坑里造成短路，群英厂也曾发生元钢掉入地沟使引出铜排短路，但保护及时地排除了故障，使装置没有受到损失。对于启动，用户反映也较满意。

在运行过程中也遇到了一些问题，主要有以下几点：

(1) 由于可控硅元件和其他半导体元件性能不够稳定，本装置在使用中也曾发生过元件损坏情况。尤其当装置安装在比较阴湿的场所，并且搁置一月、两月或更长时间不用，就容易发生这种情况。例上海群英机械厂，常常因为一个月或数月不用，每使用时发现元件参数下降现象，不得不采取换元件才能正常使用。近期的产品中，由于元件质量已大有提高，这种现象也有所改善。用户希望装置使用质量好的元件。同时在生产时对元件每次进行挑选。

(2) 本装置的结构尚欠合理，拆装检查不太容易，水路的引进、引出和连接布置比较杂乱。

(3) 用户对本厂前期试制的产品提出了改善启动性能，增加电流、电压截止反馈环节等意见。我们在一机部中频工作组和浙江大学的热情指导下，已改用可控硅代替启动接触器，并且去掉了启动电阻，增加了两个反馈环节。

(4) 对于本装置对电网的中频干扰问题，我们尚未进行深入的研究，大量的使用造成对电网影响应该引起重视，我们将在今后作一些这方面的工作。

六、结 束 语

KGPS100-1 可控硅中频装置试制和运行得到了上级领导的亲切关怀，也得到兄弟省市和兄弟单位的热情帮助与用户单位的大力支持。各级领导与兄弟单位都热情关怀和支持我们，使产品不断地得到改进，并且逐步地得到推广应用。实践证明这种装置适合我国国民经济发展需要的。

但是，我们的产品也还存在不足之处，运行考验的时间还不长，特别是北方寒冷地区、西北高旱地区、西南和南方湿热地区还没有较多的用户提供使用情况。在透热和淬火负载方面，也还需要有更多的用户进行实际生产运行的经验。这一切都是我们今后应该继续做好的事情。

今后我们一定要继续努力，不断改善技术性能，提高产品质量，扩大使用范围，发展新品种，把可控硅中频装置的工作搞得更好，为我国社会主义建设贡献出更大的力量。

附图：KGPS100-1 可控硅中频装置电气原理图（见附图一）

100千瓦1000赫感应熔炼用可控硅变频器

第一机械工业部机械院机电研究所

一、前言

可控硅进入工业应用以来,用于感应加热方面的可控硅变频技术得到迅速的发展。这一技术的发展,为金属熔炼、淬火、钎焊、弯管以及大功率锻坯加热等提供了新的工艺装备。

和八十多年来传统使用的中频发电机组相比,可控硅变频器具有很多明显的优点,因而受到国内外普遍的重视。

可控硅变频器没有转动部件,没有轴承、电刷、滑环等磨损部分,因而便于维修。主机重量轻、体积小,不需特殊的基础工程,可以安置在任何场所。变频器能自动调整工作频率以适应金属熔炼或加热过程中感应圈的阻抗变化,而不必人工切换改善功率因数用的补偿电容,并经常保持高功率因数。它的效率可达92%,和电机式变频器的80~85%相比,要高得多。由于它易于实现截压截流及恒功率控制,就有可能大大缩短熔炼和加热时间。另外,一个逆变单元,可以操作宽范围工作频率的多种负载。和同容量的中频机组相比,可控硅变频器还可以节省大量的铜材和矽钢片。

几年来,在毛主席革命路线指引下,我国生产科研蓬勃发展。不少兄弟单位进行了可控硅变频器的研制工作,已取得显著成绩。

我所与北京内燃机总厂、北京重型电机厂、北京矿山机械厂协作的三台精密浇铸用感应加热可控硅变频器业已部分投入生产使用。其主要技术规格如下:

输入电压	三相工频 380 伏	50赫
输入电流	250安	
输出中频电压	700伏	1000赫
输出中频电流	250安	
额定功率	100千瓦	
感应炉容量	150~180公斤	

下面对本系统作一简要的介绍。

二、原理

1. 系统工作原理简介

可控硅变频器是一个将三相电流转变成单相中频电流的换流装置。其主电路(图1)由整流桥、滤波器、逆变器组成。

本系统采用并联式逆变电路,其结构原理如图2所示。

交流电网供给的三相工频电流由三相半控桥式电路整为直流,经电抗器滤波后,把大致

平滑的直流供给逆变器。

当加入启动讯号时, 可控硅 SCR_{11} 被触通, 把预先充有直流电压的起动电容 C_{11} 并接于负载两端, 因而就在负载两端 $L_{11}-C_{11}$ 谐振回路中产生一个衰减振荡。这一讯号使系统起振。由于系统从负载两端取得讯号并工作在自激状态, 逆变触发器交替地把脉冲分配给逆变电路的两对可控硅 1、2 和 3、4 而使之交替地开通和关断, 直流电流就以相反的两个方向通过负载而变换成中频电流。它的工作频率就取决于负载回路的谐振频率 (系统工作在容性负载下, 工作频率略高于谐振频率)。

当系统出现故障时 (如负载过流, 过压或逆变颠覆等), 由输入端引出的过流讯号和负载端引出的过压讯号迅即与电流、电压给定值比较而使得保护触发环节发出脉冲, 把保护环节预置的负压加到逆变电路两端而强迫逆变电路可控硅立即阻断。同时, 封锁整流和逆变的触发脉冲, 使系统失压和停振。故障排除后, 即可复位再次启动。

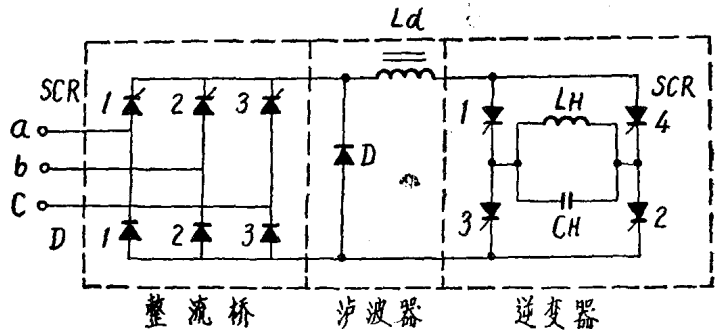


图 1

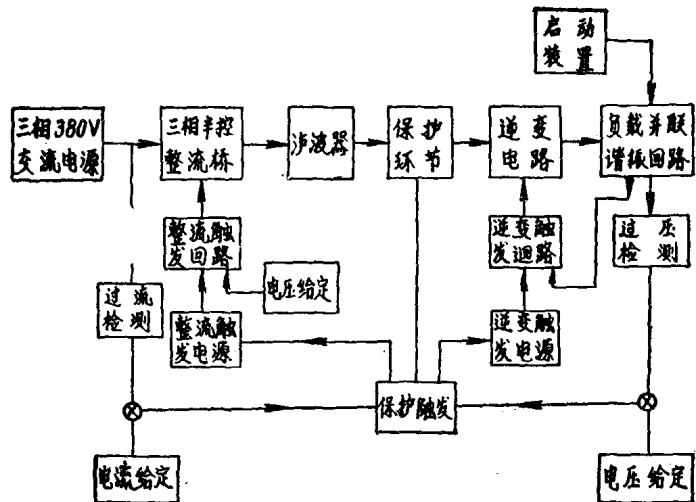


图 2

2. 整流及其触发电路

本系统采用三相桥式半控电路, 如图 3-a。三只可控硅阴极接于一点为直流正端, 三只硅二极管阳极接于一点为直流负端。任一瞬间三只可控硅中只有阳极电位最高的可控硅和三只二极管中阴极电位最低的二极管导通 (图 3-b)。例如, 当 a 、 b 、 c 三相中电位 a 相最正, b 相电位最负时 (c 相电位处于 a 、 b 相电位之间), 电流就从 $a \rightarrow SCR_1 \rightarrow R \rightarrow D_2 \rightarrow b$ 流通, 在通过交点 P 后, 因 a 相仍最正, 而 c 相开始比 b 相更负, 则 D_2 自然换流至 D_3 。

几种特殊控制角 α 的波形示于图 3-c。

三相半控桥要求的触发脉冲移相范围是 180° , 脉冲间隔是 120° , 可控硅最大导通角是 120° 。当 $\alpha > 60^\circ$ 时, 纯电阻负载输出波形由连续变为不连续。

改变控制角 α 时的整流器输出电压由下式求得:

$$U_d = \frac{1 + \cos \alpha}{2} U_{d0}$$

式中 U_{d0} ——可控三相桥式整流输出电压, $U_{d0} = 1.35 U_n = 2.34 U_\phi$ 。

三相半控桥式整流电压、电流与控制角的关系可以从图 4 查得。整流触发电路见图 5。

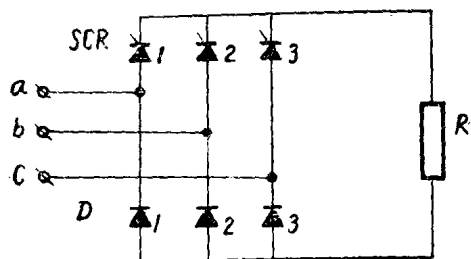


图 3-a

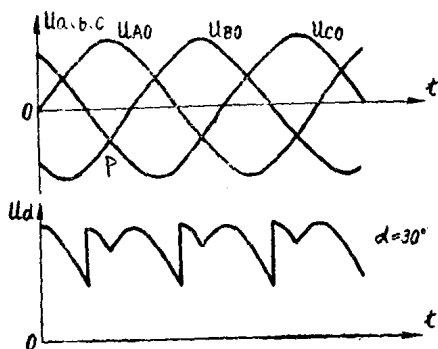


图 3-b

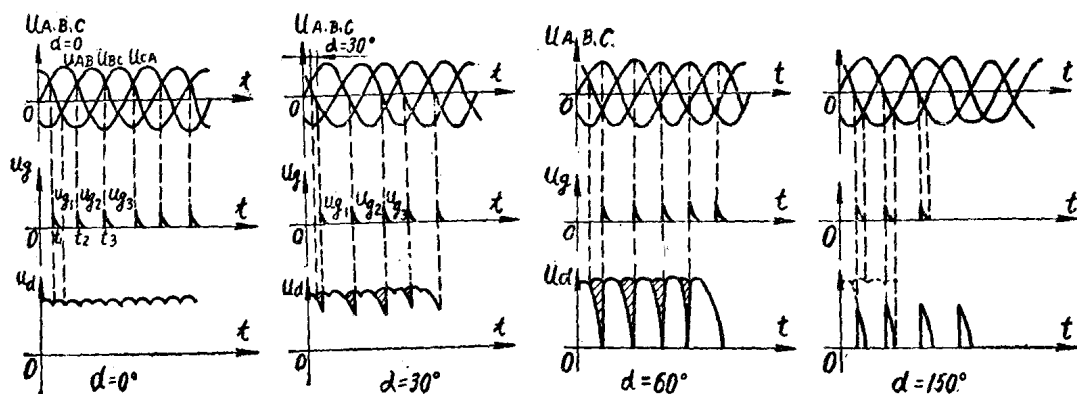


图 3-c 三相半控桥输出电压波形

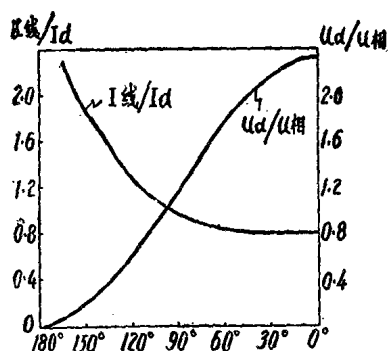


图 4 整流电压、电流与控制角 α 的关系

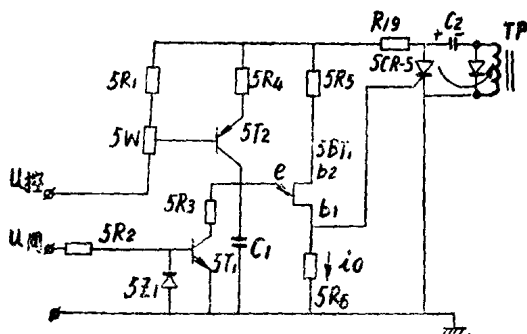


图 5 整流触发电路原理图

线路利用了双基二极管的基本原理。在 U_{b1} 由零开始增加到峰点电压前, eb_1 之间不通, $I_o \approx 0$, 呈现很大电阻。当 U_{b1} 达到峰点电压时, eb_1 间电阻突然变得很小, C_1 电荷通过 $5R_6$ 放电形成脉冲。 U_{b1} 电压小于谷点电压后, eb_1 又恢复阻断状态。这样, 就形成图 6 那样的三角波。

此三角波的后沿, 即放电电流在 R 上产生脉冲, 触通 $SCR-5$, 预先充有电压的 C_2 就通过脉冲变压器 TP 放电而送出脉冲去触发相应的整流桥可控硅。同步电压加于 $5T_1$ 基极, 保证三角波有准确的起始时刻。调节 $5W$ 平衡三相整流输出波形的对称。改变 U_{Σ} 的直流电位, 就可平滑地调整流电压, 从而改变逆变器的输出功率。

由于触发大功率可控硅需有大的触发电流，直接由双基二极管供给，必须增大电容 C_1 的容量，而 C_1 增大使充电时间加大，移相范围变窄。为此，线路中加入一只小可控硅 SCR-5。整流触发电路中各点波形见图 6。

整流器输出中含有很大的脉动成分。控制角大于 60° 时，电阻性负载电流即变为不连续，这是逆变器工作所不允许的。为供给逆变器平滑的直流，同时，使逆变侧瞬间短路时（如换流重叠时刻）具有足够的限流作用，在整流器输出端串入了滤波电抗器。其电感值应不小于下列三个计算值的最大电感量：

1) 在最小工作电流 $I_{d\min} \approx 0.1 I_{dN} = 30$ 安时，要求输出电流连续。据此求得所需的临界电感量 L_{K1} 为：

$$L_{K1} = K_1 \frac{U_\varphi}{I_{d\min}} \times 10^{-3} (\text{亨})$$

式中 U_φ ——电源相电压有效值（伏），

$I_{d\min}$ ——最小负载电流。取额定负载电流 I_{dN} 为 300 安；

K_1 ——系数，取 1.01。

由此求得：

$$L_{K1} = 1.01 \times \frac{220}{30} \times 10^{-3} \approx 7.3 (\text{毫亨})$$

2) 输出电流最低频率脉动电流分量 $I_{d1\sim}$ 与最大输出工作电流 I_{dM} 之比（脉动系数）限制为 0.05~0.1。

因为

$$I_{d1\sim} = \frac{U_{dM}}{2\pi f_d L_d}$$

$$\frac{I_{d1\sim}}{I_{dM}} = \frac{U_{dM}}{2\pi f_d I_{dM} L_d}$$

所以

$$L_d \geq \frac{U_{dM}}{2\pi f_d \left(\frac{I_{d1\sim}}{I_{dM}} \right) I_{dM}} = \frac{U_{dM}}{U_\varphi} \frac{U_\varphi}{2\pi f_d \left(\frac{I_{d1\sim}}{I_{dM}} \right) I_{dM}}$$

式中 L_d ——滤波电抗器电感量（亨），

f_d ——输出电路最低谐波频率（赫），

U_{dM} ——输出电路中某一移相角达到的最大脉冲电压幅值；

I_{dM} ——最大负载电流（安）。

取

$$\frac{U_{dM}}{U_\varphi} = 0.677$$

求得

$$L_d = 0.677 \frac{220}{2\pi \times 150 \times 0.1 \times 300} \approx 5.3 (\text{毫亨})$$

3) 逆变侧短路时，短路电流在短时内应不超出可控硅额定电流的三倍。

$$L_{d3} = \frac{U_\Delta}{2\pi f I_{d3}}$$

式中 U_Δ ——线电压（伏），

f ——电流频率（赫），

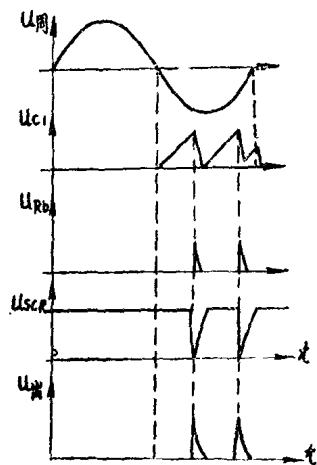


图 6 整流触发装置波形