

可控硅中频电源



浙江大学《新技术译丛》编译组

9003

可控硅中频电源

(譯文集)

浙江大学 五·七 电机厂 编译
《新技术译丛》编译组

1972

可控硅中频电源

(译文集)

浙江大学五·七电机厂编译
《新技术译丛》编译组

*

浙江大学《新技术译丛》编译组出版

杭州市新华书店发行
浙江嘉兴印刷厂印刷

*

定价：0.60元

(只限国内发行)

毛主席语录

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。

学习有两种态度。一种是教条主义的态度，不管我国情况，适用的和不适用的，一起搬来。这种态度不好。另一种态度，学习的时候用脑筋想一下，学那些和我国情况相适合的东西，即吸取对我们有益的经验，我们需要的是这样一种态度。

内 容 简 介

本译文集介绍了可控硅中频电源的基本原理和优点，分析了利用这种电源加热和熔炼金属时所遇到的若干基本问题如：自动调频、启动、自动保护、功率调节和频率提高等，並提出了解决这些问题的若干方法。文章还介绍了各种容量产品的装置结构和元件布置。

本书可供从事可控硅中频电源的生产、科研、教学的同志参考。

前 言

在伟大领袖毛主席“抓革命，促生产，促工作，促战备”以及“独立自主，自力更生”的伟大方针指引下，我国工业、农业和科学技术等各个战线正以前所未有的速度飞跃发展。随着可控硅器件的迅速发展，可控硅的应用范围越来越广，而采用可控硅制造中频电源的趋势也与日俱增，这对金属冶炼和加热具有重要影响。

考虑到我国工业发展的需要，遵照毛主席“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，结合我校教学、科研、生产的实际，根据“洋为中用”的方针，我们选译了国外近年来有关用于加热和熔炼金属的可控硅中频电源的文章共11篇，供从事可控硅中频电源工作的有关人员参考。

毛主席教导：“应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化。”资本主义国家的科技刊物所反映的资料，有些是故弄玄虚，有些则互相吹捧，追名逐利，它们是为垄断资本主义服务的。对此，我们在编译过程中作了一些删改。但由于我们思想水平和业务水平不高，在内容选择和译文质量方面都存在不少问题，希读者批评指正。

目 录

用于感应加热和熔炼的半导体静止变频器·····	(1)
高频电源的新发展·····	(15)
可控硅感应加热中频电源装置·····	(30)
用于感应加热的静态高频电源·····	(47)
用于感应加热的并联谐振电路变频器·····	(74)
用于感应熔炼的并联谐振逆变器的特性·····	(88)
用于感应熔炼与加热的插件式可控硅中频静止 变频器·····	(109)
高频感应炉感应加热用可控硅频率变换装置·····	(123)
感应电炉加热用可控硅变频器·····	(131)
用于感应加热的振荡电路可控硅变频器·····	(145)
有反并二极管的倍频式可控硅逆变器·····	(158)

用于感应加热和熔炼的半导体静止变频器

提要——本文详细叙述一种有半导体整流器件的静止变频器，它可用于中频熔炼电炉和感应加热工厂的电源设备。文章还说明这种变频器履行操作要求所取的方式。

半导体变频器中电压的产生

在能量转换系统中变频器被用来把电能从一个网络转换至另一网络，而两个网络的相数和频率均不相同。例如，通过一只变频器将三相网络的50或60赫电能转换成单相中频电流，以供给感应熔炼炉。图1表示供电给感应炉的一种可控硅变频器的基本电路图。它由三个主要部件组成：

1. 三相桥式整流器，对三相网络的电流进行整流。
2. 直流中间电路，由一只电感储能器组成，把50赫网络与中频网络隔离开来，并使直流电流具有平滑波形。
3. 单相桥式逆变器，对直流电流进行斩波，使之成为中频交流电送入负载电路。

因为这种变频器只能传输有功功率，而熔炼炉是一无功负载，其所需无功功率必须由负载电路本身产生。为此我们在负载端配上电容器并使之成为并联谐振电路。为了使谐振电路尽可能接近其特征频率进行工作，而不受谐振电路参数变化的影响，逆变器是由负载电路控制的，即激励并联谐振电路的电流频率是由振荡电路自身确定的。

直流电流经过直流中间电路的电感储能器滤波之后，从

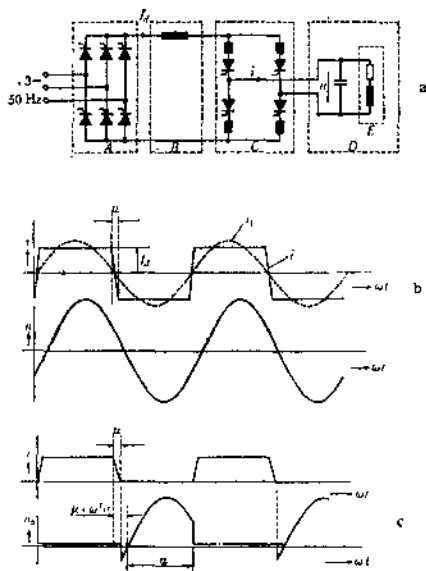


图 1 半导体静止变频器原理示意图

a: 用于中频感应熔炼炉的变频器的基本电路图

A = 整流器

B = 直流中间电路

C = 逆变器

D = 负载电路

E = 中频感应熔炼炉

I_d = 直流电流

i = 变频器输出电流

u = 变频器输出电压

b: 变频器的输出电压 u , 输出电流 i

μ = 重叠角

i_1 = 变频器输出电流 i 的基波分量

c: 逆变部份可控硅元件的电压 u_V 和电流 i_V

ωt_{π} = 安全储备角

α = 逆变控制角

单相电桥的对角线上输入并联谐振电路，并在电路两端建立了正弦电压。图 1 b 表示变频器输出端的电流和电压曲线。只有当可控硅的阳极电压为正时，电流才从原来导通的两臂转移到另外的两臂上。也就是说，仅仅在变频器输出端的电流超前电压的时候，电流才可能转换。换流点上无功功率的最低值主要取决于所用可控硅的恢复时间 t_f 。可控硅在其电流被切断之后不能立即阻断阳极正电压，因为结中的电荷载流子不会马上消失。这些电荷载流子需要一段时间重新复合，复合时间主要取决于可控硅的设计、其瞬态最高结温和转换前电流的大小。逆变用可控硅的关断时间是 30~70 微秒。为保证正常操作，当可控硅串联时，对其关断时间必须附加安全系数。安全储备时间 t_H 应是可控硅关断时间的 1.5~2 倍。因为电桥对角线上递减着的电流在极短时间内不能减至零，而电桥对角线中电流增大的梯度也不可无限大，故在一段时间内来自电桥各臂的电流重叠了。该重叠角 μ （见图 1）所需的无功功率亦须由振荡电路的电容来产生。并联振荡电路所提供的容抗功率可由下式得出：

$$P_{q1} = P_{q2} + P_2 \tan(\omega t_H + \mu/2)$$

式中 P_{q1} 是提供的容抗功率； P_{q2} 是熔炼炉的无功功率； P_2 是熔炼炉的有功功率。

图 1 b 的虚线表示梯形电流的基波，图 1 c 表示逆变器中可控硅的电流和电压曲线。在 t_H 期间可控硅阳极承受负电压，当电压从过零起并经过角 α 之后，可控硅可重新触发并带动负载。 α 角称为逆变器控制角，它由安全储备角 ωt_H 和重叠角 μ 来确定，而 μ 角又取决于可控硅电流上升率。后者不得超过可控硅技术指标所确定的最大值。当可

控硅接通时，首先是在控制极周围开始导通，经过一段时间电流才扩散到硅片的整个有效表面。这说明可控硅刚刚接通时不可导入全阳极电流，因为它会使硅片的某些区域发热而损坏可控硅。为了限制电流上升率在每只可控硅前面连接一只阳极扼流圈，其尺寸是这样设计的，即在任何工作状态下都不能超过许可的电流上升率，以避免硅片中形成过热点。目前生产的可控硅在1000赫重复频率下电流上升率是5~20安/微秒。

半导体静止变频器的电路设计

本节将叙述作为感应熔炼炉电源的静止变频器主电路的设计，其额定输出功率为750瓩，额定频率为1000赫。文章还对基本电路图加以说明。

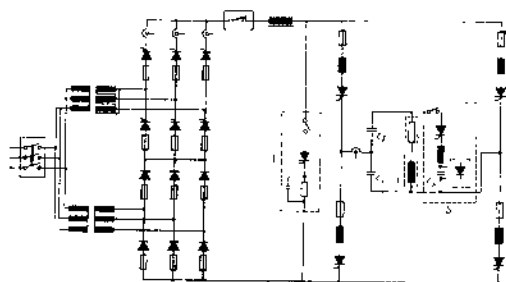


图2 中频感应熔炼炉用的半导体静止变频器主电路

- V = 偏置电流装置
- S = 起动装置
- L = 中频感应熔炼炉
- C_1, C_2 = 分组电容器
- C_{st} = 起动用辅助电容器

图2的左边表示变频器的整流器部分，通过标准整流变压器与三相电源相连。整流线路采用混合桥式，即把整流器的可控部分和不可控部分串联起来。这样就能使直流输出电压逐渐降至零。整流器的可控部分由可控硅组成，而不可控部分由硅二极管组成。为防护内部短路，可控和不可控部分的各个桥臂上都装有保险丝，这样可对故障支路进行隔离而不中断器件的工作，然后在工作间歇时再调换损坏的元件。直流中间电路由一只电感储能器组成，它将整流器部分与逆变器部分分隔开来，并防止对电源网络的中频回授。

为保护整流器和逆变器中的半导体元件不受过电流和短路型负载的损坏，在中间电路装有一只直流断路器。断路器的动作时间只有几毫秒。变频器的逆变器部分为单相桥接，装有平均额定值为150安的可控硅。连接在每只可控硅之前的阳极扼流圈能保证电流在各并联可控硅间均匀分配（并联可控硅在图中未曾示出），还能把可控硅的电流上升率限制在1000赫频率下的许可值。阳极扼流圈就是在有气隙的铁氧体磁心上绕几匝线圈。设计扼流圈时须考虑在任何工作状态下决不可达到铁心的饱和磁通密度。

用一阻容网络来均衡串联可控硅之间的动态以及静态电压的分布，这种阻容网络是专为中频应用而设计的。由于各个半导体元件在中频工作状态下其动态反向电流的数值和分散度都很大，故需要很精确地选定这一线路(14)。

图2右边表示负载电路，包括感应熔炼炉和供给无功功率的电容 C_1 与 C_2 。图中电容器组不是直接和熔炼炉并联，而是按一定比率分为两部分。一部分直接与变频器输出端并联，而另一部分与熔炼炉串联又与变频器输出端并联。通常供给感应炉的电压可达3千伏。感应炉线圈若直接和变频器

输出端并联，就须串接许多只可控硅。如上述那样将电容器组分为两部分即可使电压倍增。本文的例子是把电容器组分组后使电压在额定输出功率下增高一倍。即变频器的输出电压仅为炉子所需电压的一半，这样，有关可控硅串联的问题大大简化了。电容器分组的另一优点还表现在电流转换方面[15]。图3波形图表示变频器的输出电流和电压。为保证单相电桥每一桥臂中的电流能在并联可控硅之间均匀分配，除了装置阳极扼流圈之外，尚须保证各并联可控硅具有一致和适当加强的触发，由于触发变压器必须高度绝缘，这样不可避免地存在一定的漏感，它使触发脉冲不能具有足够的陡度。然而陡峭而强有力的触发可通过一只晶体管来达到，该晶体管因具有可控硅的电位并直接通过控制极使电容放电。图4表示逆变器可控硅的电流和电压。变频器装有一只能使逆变器受激的特殊起动装置。图2所示的预充电流和起动装置履行起动工作。藉助一只辅助整流器，对起动装置中的电容 C_{st} 充电，并由起动可控硅加到谐振负载电路。这就产生了感应炉线圈正弦电压的第一个半波。控制逻辑电路把检得

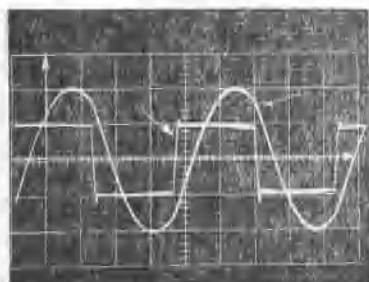


图3 变频器输出电压 u 和电流 i 的波形
比例：200微秒/格

的第一个半波转换成第一个脉冲并把它加到相应的可控硅。为了使谐振电路可由变频器的强电涌来促动，直流中间电路的扼流圈必须用一预充电流装置来励磁。电桥第一个对角线上的可控硅一经接通，它们可以立即获得在滤波扼流圈中流动的直流电流。

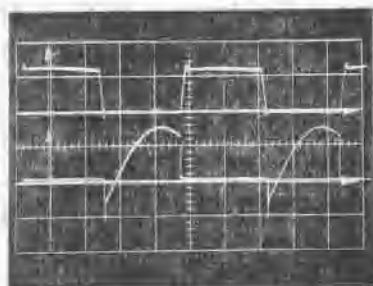


图4 变频器逆变部份可控硅元件的电压 u_v 和电流 i_v 波形
比例：200微秒/格

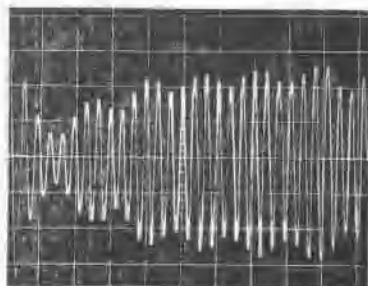


图5 起振时变频器输出电压波形

图5 表示变频器输出端电压 U 的波形。由图可清楚看到

由起动电容 C_{st} 放电和通过逆变器的合成馈入所引起的起振过程。此外，稳态下的电压波形受到整流端纹波的调制（当整流器具有轻负载时）。

逆变器控制装置

图 6 表示逆变器控制装置的方框图。取自负载端的信号电压经过“与”门电路加到积分放大器 V （带有附加偏压），再由积分器将其积分为三角形信号。电位差计 P 预先确定了的动端位置决定了触发脉冲的相位。定时电路 Z 发出的脉冲经过逻辑电路放大后再供给可控硅的脉冲放大器 E 。触发脉冲的频率以及逆变器的频率完全取决于谐振电路的频率。也即逆变器是由负载控制的。

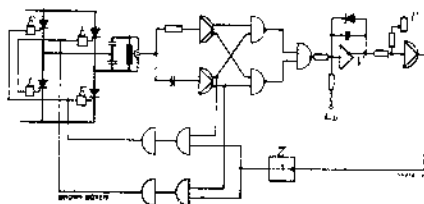


图 6 半导体静止变频器逆变控制系统方框图

V = 积分放大器

U_v = 偏置电压

P = 电位计

Z = 定时电路

E = 脉冲末级

输 出 控 制

用于感应熔炼和加热的逆变器，其输出功率往往需要在较大范围内进行调节。

对于半导体静止变频器可以利用整流器的电压来控制功率输出。为了减少整流器可控部分所需的设备，整流器接成混合桥式，这也可节省无功功率的消耗。供给谐振负载电路的有效功率 P_w 可由下式确定：

$$P_w = \frac{1}{\operatorname{Re} Z} U_{\text{eff}}^2$$

式中， $\operatorname{Re} Z$ 是谐振负载电路的复合输入阻抗的有功分量， U_{eff} 是逆变器输出电压的有效值，它与直流电压 U_d 的关系可由下式表示：

$$U_{\text{eff}} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \frac{U_d}{\{\cos \alpha + \cos(\alpha + \mu)\}}$$

式中 α 是逆变器的滞后角， μ 是重迭角。如果逆变器滞后角 α 和谐振电路各值保持恒定，那末除了重迭角的影响之外（重迭角取决于电流大小在这里可忽略不计），有效功率输出与直流电压的平方成正比：

$$P_w \sim U_d^2$$

由于直流电压可在额定值和零之间连续变动，变频器输出的调节实际上亦是无级的。在加热期间为防止变频器因电流太大而过载（这时负载电路是一低电阻），必须把输出电流限于一固定最大值。这种过电流限制通过对直流电压的控制起作用。如果变频器应用于某些并不需要大控制范围的情况，可以降低直流电压中的可控分量并从整流变压器引抽头，这样整流器所需的装置将大大减少。

因变频器输出较易控制，故特别适于感应加热和熔炼工厂自动控制。若设计得当，变频器操作时输出电压几乎是恒

定的。这就使变频器能在熔炼期间提供感应炉所需的增大功率。熔炼操作需要的总时间缩短了，变频器亦更为经济。

如果变频器供电给汇流排系统，干线的电流波动和电压降落可经过滤波滤平以保证恒定的输出电压。

半导体变频器的工作性能

大家知道，在熔炼或加热过程中感应炉或感应线圈诸参数都随着加热物质的状态而变化，这意味着谐振电路谐振频率的变化。如前所述，逆变器的脉冲频率受控于负载谐振电路的振荡频率，而后者又取决于负载电路的固有谐振频率。这样就不再需要自动补偿器件，借助频率自动控制即可补偿无功功率(15)。变频器的关断和导通一样容易。给一关断信号，这时整流器的电压下降，直流断路器打开。然后当电容放电时谐振电流逐渐平息。逆变器一经接通就迅速开始振荡

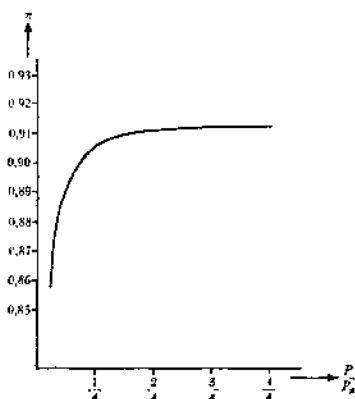


图7 半导体变频器效率与负载关系曲线
(输出功率750瓩, 频率1000赫)