

# 感应加热用可控硅变频器

## 译文集

第一机械工业部  
机械研究院机电所  
情报所 编译

机械工业出版社

# 感应加热用可控硅变频器译文集

第一机械工业部机械研究所机电所  
情报报所编译



机械工业出版社

本译文集介绍了一些国家研究试制的不同功率不同频率可控硅变频器：包括串联型和并联型逆变器以及串并联型逆变器，交流变交流逆变器等基本线路，参数，设计计算及应用等。

可供研究试制感应加热用可控硅变频器的工人及技术人员参考。

### 感应加热用可控硅变频器译文集

第一机械工业部机械研究院机电所 编译  
第一机械工业部情报所

(只限国内发行)

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街1号)  
(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

第二新华印刷厂印刷  
新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本  $787 \times 1092 \frac{1}{16}$  · 印张  $5 \frac{12}{16}$  · 字数 14 千字  
1972 年 9 月北京第一版 · 1972 年 9 月北京第一次印刷  
印数 00,001—14,000 · 定价 0.75 元

统一书号：15033·(内) 505

## 前 言

遵照伟大领袖毛主席关于“洋为中用”的教导，收集了国外一些有关感应加热用可控硅变频器方面的资料 12 篇，整理出版，供有关试制研究可控硅变频器的单位参考。

感应加热用可控硅变频器，系 60 年代初期才开始研究的一种新的中频电源。它是一种把三相工频转变为单相中频的装置。它的基本原理是把输入 50 赫工频交流电，经过整流、滤波、再逆变为单相中频交流输出。

近几年来，可控硅变频器已较广泛的用于金属熔化、热处理、锻坯加热、钎焊等方面。它所以能够迅速发展是：因其比电机式变频器具有单位功率重量轻、额定负载下效率高、没有磨损零件及噪声、启动快、节约钢材、制造工艺和维护简单等优点。而更主要的是在负载变化时，能自动调节频率，保持恒定的功率因数。

本译文集中有三篇分别为浙江大学、湘潭电机厂和北京矿山机械厂翻译，特此致以谢意。

由于我们政治和业务水平有限，时间仓促，在编译工作中会有很多的缺点和错误，望广大读者予以批评指正。

编者

1972 年 4 月

## 目 录

I	感应熔炼和感应加热用可控硅变频器.....	1
II	具有振荡线圈变频器的感应加热中频设备.....	9
III	感应加热用可控硅变频器.....	17
IV	高频能源的新发展.....	23
V	感应加热用可控硅变频器.....	31
VI	感应加热用非对称可控硅逆变器.....	39
VII	反向并联二极管和倍频式可控硅逆变器.....	44
VIII	用于感应加热的静态高频电源.....	48
IX	用于感应加热的可控硅逆变器振荡线路.....	64
X	用于感应加热和熔化的可控硅静止变频器.....	70
XI	感应加热装置的可控硅振荡回路变频器.....	78
XII	感应炉用变频器.....	83

# I 感应熔炼和感应加热用可控硅变频器

大功率中频可控硅变频器业已设计出来用于感应熔炼和加热。它有许多优点：例如自动操作，不需用补偿电容器来改善功率因数的接触器，高的效率，由于当炉料熔化时对负载阻抗的变化反应快，所以工作非常稳定而且工作噪音低。许多标准规格的品种都已建立，其范围是频率由 500~3000 赫，功率由 150~1200 瓩。其特点已获得普遍的赞扬，在需要上是很希望迅速增加的。

## 一 前言

金属熔炼和加热用高频电源过去是用电机式变频器，该公司成功地应用了具有全自动、不需要切换补偿功率因数的电容器和噪声低等优点的可控硅变频器。这一成功是由于能提供适应负载特性变动的效率达 92% 以上的稳定功率的电路技术的发展，和高频动态特性良好的可控硅的大量生产而取得的。

本文介绍了东芝可控硅变频器的特长、构成、标准性能和运行特性。

## 二 东芝可控硅变频器的特长

表 1 为东芝可控硅变频器同电机式变频器的比较。

表 1 东芝可控硅变频器同电机式变频器的比较

项 目	东芝可控硅变频器	电机式变频器	
运 转	起 动 和 停 止	能在瞬间完成(没有空隙时间)	因为电动发电机有惯性不能在瞬间启动和停止
	功率因数改善方法	(1) 能连续自动变频 (2) 不需要调整功率因数和用电磁接触器	(1) 能自动调整功率因数,但不连续 (2) 补偿电容器用的电磁接触器
	阻 抗 的 耦 合	熔化和加热材料变更时, 根据需要改变电容量	改变耦合变压器的分接头
变频器的效率	变频器效率	从初级线圈到整流电容器约92%	从初级线圈到电动机约85%
安 装 和 维 护 管 理	安 装 基 础	不需要特别的基础工程(可安置在任意的地方)	大型的需要基础工程
	安 装 面 积	比较大	比较小
	噪 声 和 振 动	噪声比较小, 没有振动	噪声比较大, 有些振动
	维 护 管 理	无旋转部分, 维护管理方便。可控硅等元件发生故障也可以在短时间内更换	需要注意电动发电机的冷却水和供油的维护管理。电动机出现故障时修复需较长时间
其 他	消 耗 品	无	电动发电机的轴承、电容器用电磁接触器的接触片
	今 后 的 方 向	500~3000赫芝采用这种方式有利	3000赫以上的采用这种方式有利

该公司制造可控硅变频器、可控硅、感应炉和感应加热装置，集结了多年积累的技术。所制造的各项装置有下列的优点：

1. 钢、镍和铜等金属熔炼和加热过程中，固有电阻和导磁率的变化同变频器特性的变化完全协调，经常供给稳定的最大功率，以缩短熔炼和加热时间。

2. 高频变频器用的可控硅同整流用的可控硅相比，在承受电路上升率( $di/dt$ )的能力、关断时间特性和开关损耗特性等方面有严格的要求，使可控硅和电路组成完全协调，因而可靠性极高。

3. 在工作、控制和维护方式方面，制成了世界记录的可控硅变频器，具有日本最大制造成绩的该公司的技术有了相当的发展。

### 三 东芝可控硅变频器的概要

#### 1 主电路系统

图1为主电路系统图。由整流器  $Rf$  把工业频率的交流电变成直流电，用逆变器  $Inv$  把这种直流电转换成高频交流电。

首先，使可控硅  $S_1$ 、 $S_4$  导通，则按照  $S_1 \rightarrow$  感应炉  $L \rightarrow S_4$  的线路导通；其次，使  $S_3$ 、 $S_2$  导通，则按照  $S_3 \rightarrow$  感应炉  $L \rightarrow S_2$  的线路导通。由于这一循环的反复进行而得到高频交流电。

逆变器的输出电压通过整流器  $Rf$  的相位控制而自动地保持不变。为了防止逆变器的过载，当输出电流大于额定值时，利用电流控制电路使整流器  $Rf$  的电压下降。另外，当发生由于超压及逆变器转换失败引起的直流短路事故时，封闭整流器的门控制信号以保护之。因为不使用保险丝，所以能立即再起动。

要使变频器停止，在给以断开信号的同时封闭控制信号。由于逆变器的开始运行和停止是在瞬时内完成的，所以间隙的时间少。

#### 2 构造和安装图

图2所示为600瓩1000赫东芝可控硅变频器的内部。右边的三个面是可控硅箱，可控硅安置在表面，便于维护和检查。主电路母线是往复式的，互相接近，因而漏抗小，同时可防止漏磁引起的线架过热。左边的一面为控制盘，可控硅的控制装置紧凑地安置在中门内。

图3为600瓩1000赫东芝可控硅变频器的安装图。

为了减少漏抗，换流电容器  $C_1$  需要安置在可控硅变频器附近。换流电容器  $C_1$  和改善功率因数用电容器  $C_2$  也可以安装在同一机架上。

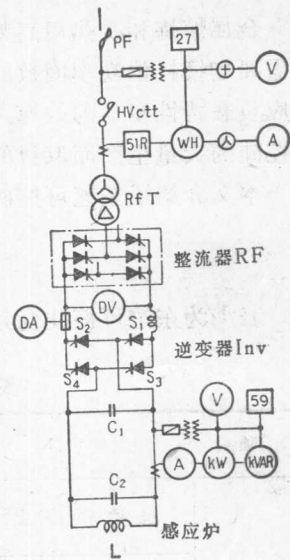


图1 东芝可控硅变频器的  
主电路系统图

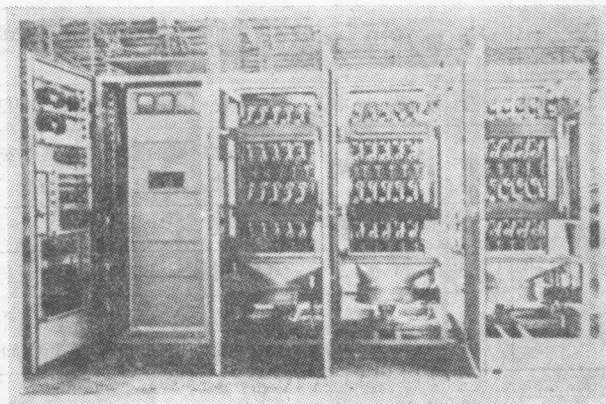


图2 600瓩1000赫变频器

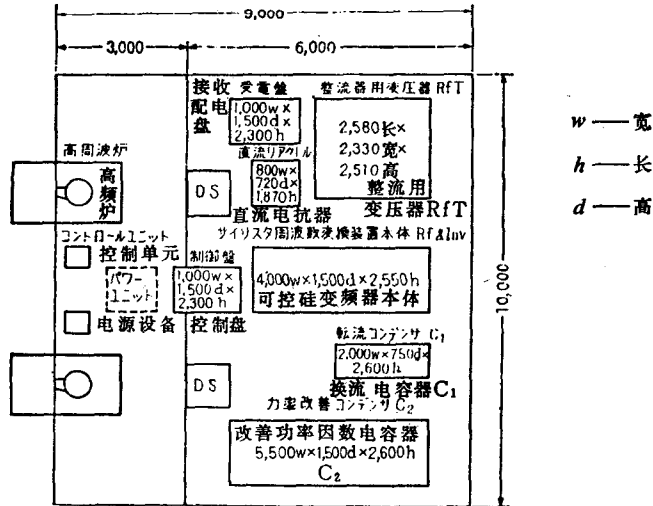


图3 600 瓩 1000 赫可控硅变频器安装图

### 3 标准额定值

表2为标准额定值。也能制造单机容量大于1200瓩的。在熔炼和加热件的种类多的情况下及从维护和检查方面来看，采用多机组是有利的，但是要考虑设备容量、运行方法和启动率等点，以决定是提高单机容量还是采用多机组并联运行或者是单独运行。

表2 东芝可控硅变频器的标准额定值

输入			输出			
相数	频率(赫)	电压(伏)	相数	功率(瓩)	频率(赫) (变化范围)	输出电压(伏) (变化范围)
3	50.60	3300 或 6000	1	150	500 (430—520)	1,100(450—1,100)
				300	或	
				600	1000 (860—1040)	
				1200	或 3000(2580—3120)	

## 四 东芝可控硅变频器的特性

### 1 基本电路

图4为基本电路。图5为工作波形。

用图4来说明逆变器的工作概要。对  $S_{11}$ 、 $S_{12}$  和  $S_{21}$ 、 $S_{22}$  交替施加门控制信号。现在如果  $S_{11}$ 、 $S_{12}$  为导通状态， $S_{21}$ 、 $S_{22}$  为截止状态，如图所示电容器  $C$  的两端上侧为正电压。在这种状态下，在  $S_{21}$ 、 $S_{22}$  的门上施加控制信号使其导通，电容器  $C$  的电荷通过  $S_{11}$ 、 $S_{21}$  和  $S_{12}$ 、 $S_{22}$  放电， $S_{11}$ 、 $S_{12}$  的电流迅速减少到零而截止。电容器  $C$  的电荷，通过由负载电流形成放电回路和连接直流电源的放电回路这样两个放电回路放电，在达到零以后由于反向极性的作用充电。其次，对  $S_{11}$ 、 $S_{12}$  的门施加控制信号，则  $S_{11}$ 、 $S_{12}$  为导通状态， $S_{21}$ 、 $S_{22}$  的电流断开，电容器  $C$  的电压再回到最初的状态，电容器充电。这样， $S_{11}$ 、 $S_{12}$  和  $S_{21}$ 、 $S_{22}$  交替地流过电流，在交流负载时，如图5(a)所示产生交流电压。



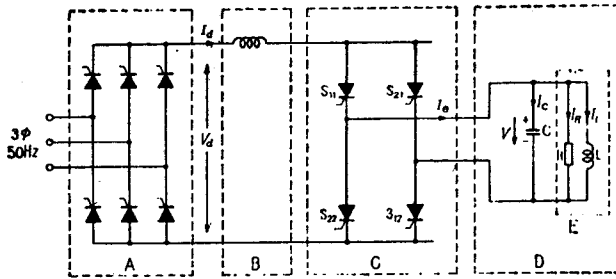
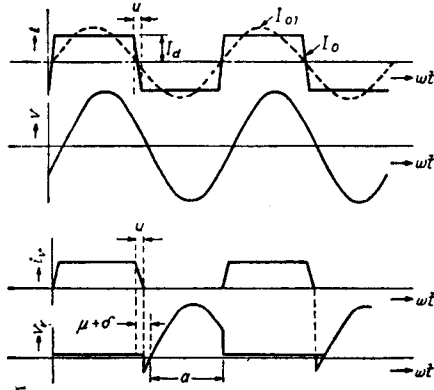


图4 可控硅变频器的基本电路

- A—整流器
- B—直流电抗器
- C—逆变器
- D—负载电路
- E—感应炉
- $I_d$ —直流电流
- $I_0$ —变频器的输出电流
- $V$ —变频器的输出电压
- $S_{11}$ - $S_{22}$ —逆变可控硅



- (a) 变频器的输出
  - $\mu$ —重叠角
  - $I_{01}$ —变频器的输出电流  
即  $I_0$  的基波
  - (b) 逆变可控硅的电流和电压
  - $\delta$ —余裕角
  - $\alpha$ —控制角
  - $i_0$ —可控硅电流
  - $V_0$ —可控硅电压
- 注：图(a)、(b)中的  $u$  均应为  $\mu$ 。

图5 可控硅变频器各部分的工作波形

## 2 电容器的无功功率

图4上电容器C的无功功率如下：

$$P_{q1} = P_{q2} + P_2 \tan(\delta + u/2) \quad \text{I-1}$$

$P_{q1}$ ——电容器C的无功功率

$P_{q2}$ ——炉子的无功功率

$P_2$ ——炉子的有功功率

由(1)式可知，变频器需要的无功功率只比炉子的无功功率多  $P_2 \tan(\delta + u/2)$ 。供给这一部分功率的电容器特别称为换流电容器。

## 3 频率控制

图6为图4所示负载电路D的电流矢量图。

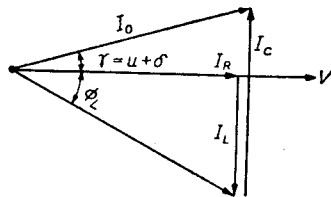


图6 可控硅变频器的电流矢量图

注：图中  $\gamma = u + \delta$  应为  $\gamma = \mu + \delta$

感应炉的电阻为  $R$ ，电感为  $L$ ，电容器的电容为  $C$ ，则  $\tan \delta$  变成：

$$\tan \gamma = R \left( \omega C - \frac{1}{\omega L} \right) \quad \text{I-2}$$

在图7所示的电路中，由(2)式可知，将 $\gamma$ 控制为常数，如果炉子的 $R$ 和 $L$ 改变，则 $\omega$ 即频率则自动地变化。譬如对于钢，感应炉的电感变化范围为30~50%，则频率的变化为20%左右。图8所示为铸铁熔炼过程中频率的变化。

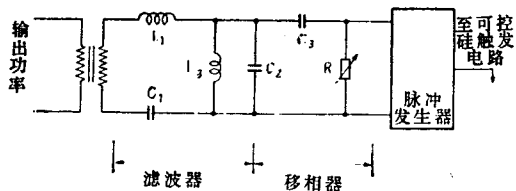


图7 频率控制电路

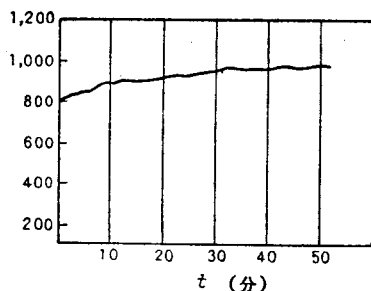


图8 铸铁熔炼过程中频率的变化

#### 4 电压控制

在图4所示的负载电路中，供给的有功功率 $P_2$ 为：

$$P_2 = \frac{1}{R} V^2 \tag{I-3}$$

逆变器的输出电压 $V$ 同整流器的输出电压 $V_d$ 的关系：

$$V = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \times \frac{V_d}{\{\cos \alpha + \cos(\alpha + \mu)\}} \tag{I-4}$$

式中， $\alpha$ 和 $\mu$ 的定义如图5所示。

由于

$$P_2 \propto V_d \tag{I-5}$$

所以能通过控制整流器的输出电压来控制逆变器的输出功率。

#### 5 功率控制

以图9所示铸铁熔炼过程中功率的变化为例。炉子电感变化比图9功率的变化要大得多而且快。在熔炼的初期，在几分之一秒内可任意发生10—20%的电感变化。这是由于炉料桥崩塌和大块炉料落到熔化的铁水中去引起的。频率根据这些负载的变化而自动地变化。在理论上最大功率发生在工作过程中的一点，就是说只在某一电感时出现。这是因为在低电感时电流限制起作用，在高电感时功率限制起作用的缘故。

图10所示为逆变器的工作范围。极限工作点用 $A$ (空载)和 $E$ (熔炼完结)表示。 $D$ 、 $C$ 、 $B$ 为通常的工作范围。在图9上，在最初的5分钟由于电流限制的作用功率比额定值要小。在

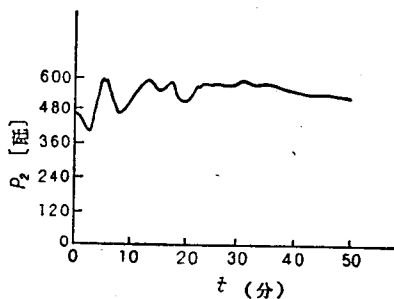


图9 铸铁熔炼过程中功率的变化

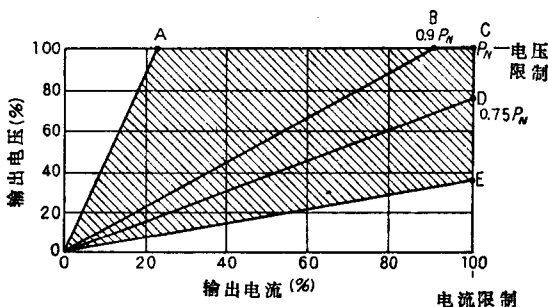


图10 逆变器的工作曲线

图 10 上, 工作点降到 *D* 点。超过居里点即进入 *D-C* 范围。在炉料装满后, 达到居里点以上时功率消耗大致不变。温度增高功率消耗则朝着 *B* 的方向稍有下降。40 分钟以后, 由于测量温度和除去炉渣, 功率消耗暂时下降。在此以后, 达到希望的温度为止保持最大功率。

**6 电效率**

图 11 为 600 瓩, 1000 赫可控硅变频器的电效率曲线。在轻负载时也有较高的效率。

**7 东芝可控硅变频器和电机式变频器并联运行**

随着生产量的增大, 有将新设计的东芝可控硅变频器和原有的电机式变频器并联起来运行的。

图 12 所示为感应加热装置的并联运行系统图。检测出加热装置的温度以后, 分别给电动发电机和变频器以发出电力指令。输出母线的电压用控制电动发电机的激磁电流的方法来决定。用图 6 所示的  $\gamma$  不变的方法控制逆变器。另外, 利用整流器的恒电流控制装置, 通过电力指令控制逆变器发出的功率。即给出负载的阻抗, 因此由给与电动发电机的电力指令 *I* 决定交流输出母线的电压, 逆变器的输出利用控制电流的方法来控制, 电流的控制是由电力指令 *II* 给以指令。

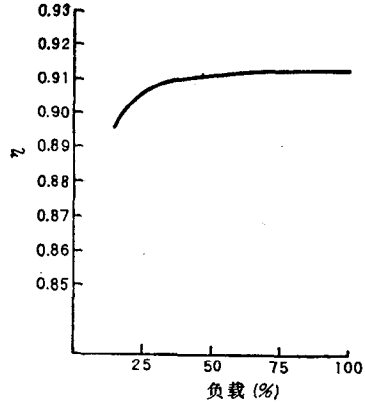


图 11 600 瓩, 1000 赫可控硅变频器的电效率曲线

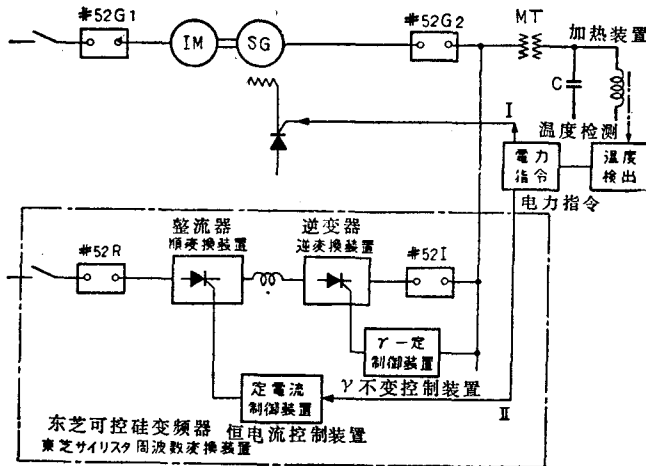


图 12 东芝可控硅变频器和电动发电机并联运转法

起动按下列顺序进行, #52G1 接通-#52G2 接通-SG 的电压上升-#52I 接通-#52R 接通-逆变器接通-整流器接通; 停止则按相反的顺序进行。

**8 起动、停止和换流失败的保护**

图 13 和图 14 分别为起动和停止的波形图。由图可知起动是在 40ms, 停止是在 10ms 的, 极短的时间内完成的。

图 15 为由于负载侧短路事故和逆变器故障引起的逆变器换流失败时的波形图。

检测出短路电流, 封锁整流器的门信号以保护之。因为不使用保险丝所以如果排除了故障能立即再起动。

## 五 结 语

由于可控硅变频器有瞬时起动、瞬时停止、全自动运转、无须维护、低噪声及在轻负载时也有较高效率等特长，操作人员给了很高的评价，今后将会迅速发展。

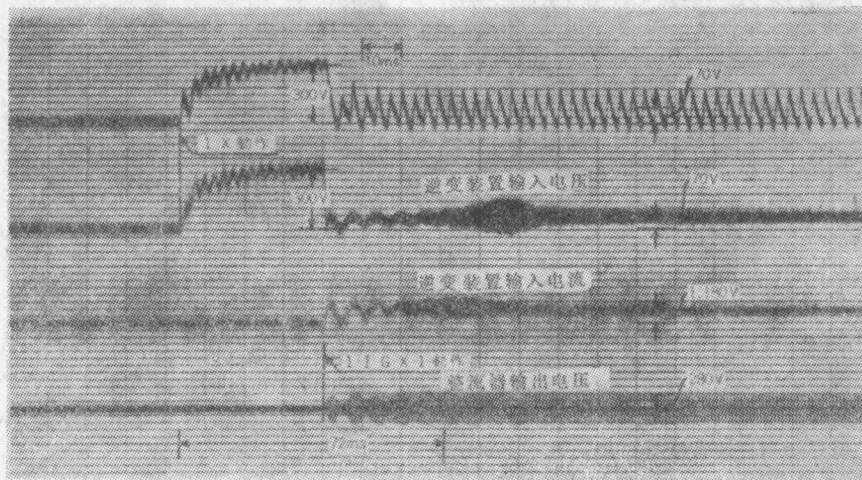


图 13 东芝可控硅变频器的启动特性

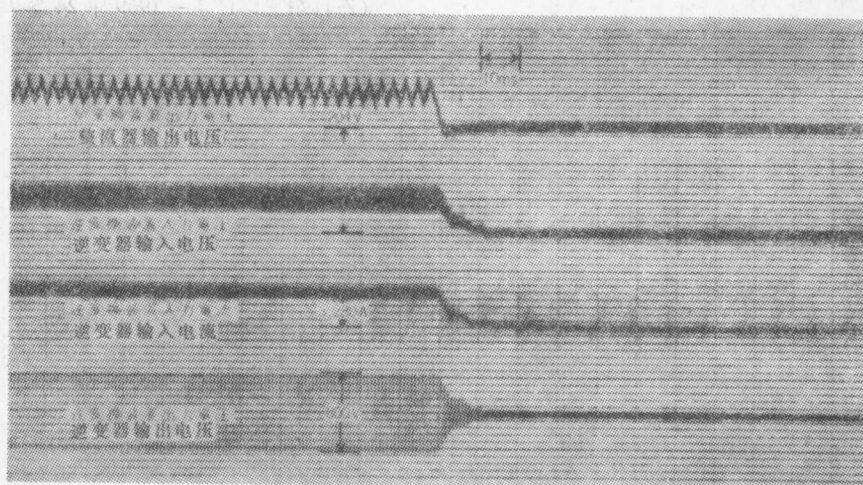


图 14 东芝可控硅变频器的停止特性

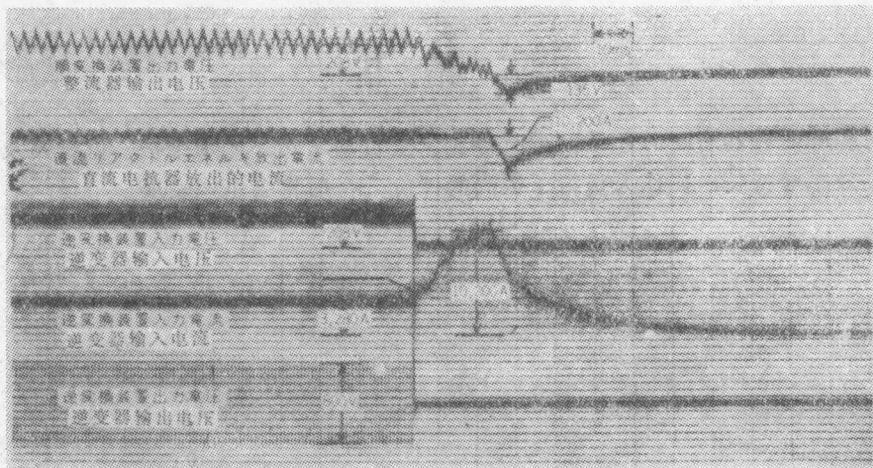


图 15 东芝可控硅变频器换流失败时的保护

### 参 考 文 献

- [1] 今井, 渡部: 誘導炉用サイリスタ周波数変換装置, 昭和 43 年电气四学会 697
- [2] 渡部, 田中: 誘導炉用サイリスタ周波数変換装置, 昭和 44 年电气四学会 734
- [3] 森田, 渡部, 日野: サイリスタインバータによる誘導熔解炉, 昭和 44 年电气四学会 918
- [4] 渡部: 誘導炉用周波数変換装置, オートメーション 1969-3
- [5] K.Gabler, W.Faust: Semiconductor static frequency chagers for induction heating and melting, Brown Boveri Rev., 53, 10(1966)
- [6] K.Gabler, D.Wallstein: Frequency conversion for induction heating and melting using electronic elements, Brown Boveri Rev., 55, 3(1968)

(译自东芝レビュー 1969 年 24 卷 7 期)

## II 具有振荡线圈变频器的感应加热中频设备

本文叙述中频技术方面的新发展。首先叙述了过去的简单情况。为了通讯的目的, 1892年, 西门子电气公司建造了世界上第一台中频发电机。这一机组是由一台直流电动机和一台同步发电机组成, 随着转速的变化产生 1000—10000 赫芝的频率。这一机组称之为“低频和音频发电机”, 也有称呼弗朗克氏机的。从 1905 年开始, 建立了一系列长波发射台, 其原始频率发生器是采用 8000—10000 赫芝的电动机-发电机组。今天在强电技术中通用的中频概念(150—10000 赫芝)在当时还不明确。大约到1960年, 几乎一律都以电动机-发电机组作为中频发生器。只有在个别情况下, 如在水下, 才把 7000 赫芝的变频器当作超声发生器来使用, 其输出功率已达 50 瓩。在甲板电网及类似情况, 有时也以大约 400 赫芝的变频器取代了变频电机。只是在最近些年, 才将中频变频技术应用到电热中来, 特别是感应加热。

什么是采用可控硅变频器的推动因素呢? 为什么用可控硅变频器来代替电机式变频器呢? 其回答是可控硅变频技术具有一系列的优点(见表 1)。

表 1 电机式变频器和可控硅变频器的性能

性能	电机式变频器	可控硅变频器
使用经验	多	还少
坚固性	好	好
工作准备	1分钟	立刻
干扰可能性	小	小
磨损	小	没有
维护	少	没有
备件获得	少	中
经济功率范围(每个单元)	200—3000瓩	200—2000瓩
当前频率范围	500—10000赫	150—2000赫
额定负荷下效率	87—92%	91—95%
半载下的效率	80—87%	90—93%
空载损耗	5—10%	0.5—1%
功率重量	约10—20公斤/瓩 中频	5—10公斤/瓩 中频
集中轨道工作	可能	不可能
十字交叉轨道系统	不可能	可能
适应能力	通过储存电流负载	通过改变频率
cos φ 调整	通过联接电容器	通过频率自动变化

观察一下这两种产生频率方法的优缺点, 很明显可看出可控硅变频器的频率可以自由变化, 在改变频率时, 不象直流机组一样随着频率的减小一定要伴随着功率的降低。与高频发生器一样, 一个可控硅变频器, 在一个一定的临界频率之下, 可以任意调节频率。这个最大频率是由可控硅的动态特性决定的, 这与真空管决定于电子的发射时间相似。当然, 还有其它优点, 如单位功率重量小、没有旋转的零件、效率比较高等, 不过这些优点起的作用较小。

另一方面, 控制一个可控硅变频器, 相对来说比较昂贵。这就导致了, 只有当超过一定的最小功率之上, 采用可控硅变频器才是经济的, 从而追求最高可达到的频率有时就没意义了。

较高的频率，如 5000—10000 赫，大多用于加热较小的零件。因为被加热的材料重量小，相应的功率消耗就少。因此至少值得怀疑，可控硅变频器的的工作频率超过 10000 赫是否还经济。

在讨论变频线路之前，先简短地说一下可控硅技术的当代水平。一个可控硅是一个半导体元件，在两个方向上都有截止能力，在一个方向上通过一个控制脉冲可使电流通过。相反，可控硅不能通过控制回路断电而截止，只能通过断开主回路电压或将主回路电压反向。这个特性与水银半波整流管很相象，因此可控硅具有充气整流管的特性。

一个可控硅的静特性，包括截止电压，触发电压和导通电压，可以进行定量的分析，而对用 50 赫工频电流整流器工作时最有意义。在这里功率是特别重要的，亦即大的截止电压、低的导通电压，从而达到小的控制损耗和大的承受电流的能力，以及良好的平行关系（即导通特性曲线的分散度小）。载流子寿命（重新组合的时间）越长，上述性能越容易达到。这种功率可控硅的关断时间（大约为载流子寿命的 10 倍）大于 75 微秒。通过增大可控硅的面积，可以提高每个硅片的承受电流的能力。这样就不断地增大可控硅的直径，以致引起制造工艺的很大困难。当前 P 型硅片的工作面积达 6 厘米<sup>2</sup>。用这样一种可控硅，可以控制 100 瓩，这时可控硅的两边都要进行冷却，如图 1。

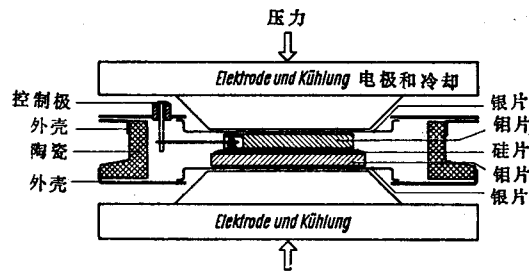


图 1 平板型可控硅

可控硅本身是一种十分之几毫米的薄片。硅片被夹在两片铜片之间，通过冷却压块使铜片与硅片接触。可控硅连同控制电极和铜片装在一个充气壳体中，密封起来。对可控硅的性能来说，冷却问题是很重要的，因为其截止能力与温度有关。

总起来说：大功率可控硅具有高的截止电压（基础厚度大）；低的导通电压（关断时间长——“慢速可控硅”）；高的承受电流能力（面积大）；质量均匀（平行工作）。

当功率可控硅在较高频率下使用时，除一般特性外，还要求：

1. 短的关断时间；
2. 短的扩散时间；
3. 尽可能高的容许的  $du/dt$  和  $di/dt$ 。

缩短关断时间所要求的性能，恰好与功率可控硅所要求的性能相反。因此这时必须针对快速可控硅采取折衷办法。

缩短关断时间，可以通过减小基础厚度来达到。其优点是导通电压低和从而引起的开关损耗低。缺点是截止电压降低了。

减小扩散时间（从可控硅开始导电到整个硅片面积均匀导电所需的时间）可以通过电极的特殊安装来达到；可控硅内载流子的扩散速度大约为 0.1 毫米/微秒。这样，要使大型可控硅整个硅片工作面积都布满载流子需要 300 微秒。控制功率因此受到限制。

通过采用旁路式通过电极的特殊形式有利于提高  $du/dt$  或  $di/dt$  承受能力。这两种情况都将导致可控硅工作面积以及其承受电流能力的减小。

快速可控硅的导通电压的分散度比慢速可控硅的大。其并联系数比较好。因此，为了使并联线路的电流分布均匀，必须提高线路的电阻。

图2表示了导通电压 $U_{DV}$ 与关断时间 $t_f$ 之间的函数关系。其参变量是基础厚度 $W_n$ 。由于在关断时间短时曲线很陡，所以即使基础厚度做的很准，导通电压的分散度也很大。

要保持很强的冷却，这里是采用液体。要注意由于在磁场中加热和腐蚀现象所引起的材料问题。必须尽可能地避免形成凝结水。图3和图4示出了空气冷却和液体冷却的可控硅元件。

初看上去似乎元件技术比较复杂；但实际上由于其优点是主要的，如：运输简单、安装方便、有可互换性、容易更换等。图5表示了可控硅箱中元件的安装情况。

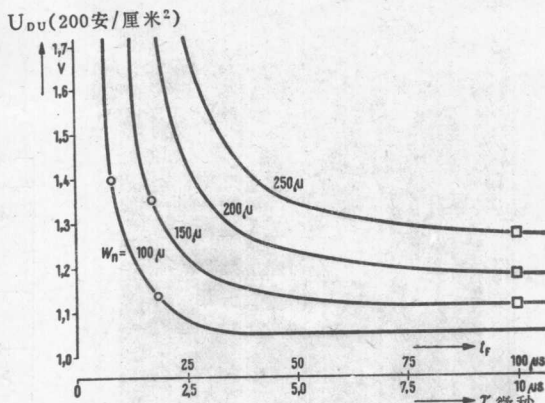


图2 可控硅的导通电压和关断时间 $t_f$

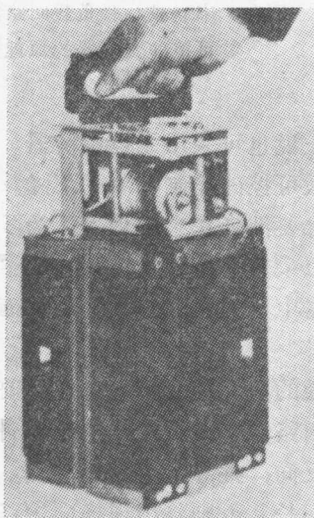


图3 空气冷却的可控硅结构元件

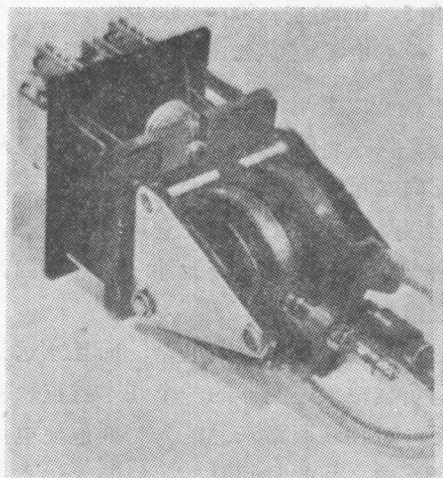


图4 液体冷却的可控硅结构元件

元件技术的标准化以及每台设备不需系列化而能准确地按照名义功率来确定尺寸也都是这种系统的重要优点。

下面仅讨论所谓负载控制的逆变器，不讨论由固定频率控制的电机式变频器，这种变频器必须利用换向电容器来达到关断的目的。

这种负载输入和负载控制的逆变器的特点是通过负载回路将其频率和控制输入进去。这种负载回路(串联回路或并联回路都可能)在没有阻尼情况下的自振频率可通过下面的公式确定：

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$$

图6表示了这两种变频器线路。每个变频器都是由整流器、中间回路、逆变器和负载回路组成。



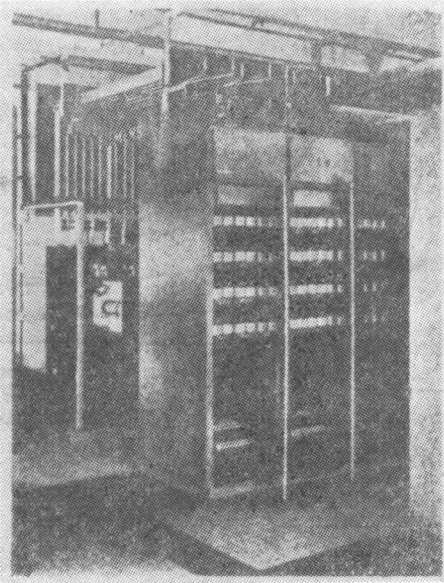


图5 10000 瓩, 500~1000 赫芝  
中频加热机组, 逆变器 1500 瓩

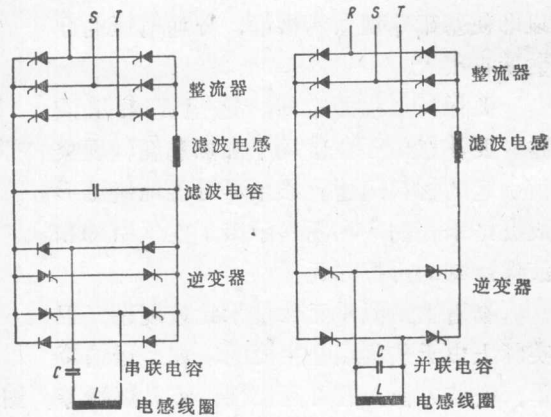


图6 串联或并联负载回路组成的  
可控硅变频器的原理图

整流器可以采用半控或全控整流桥路。从原理上说也可采用无控整流器。也可以仅只控制整流器。但这将降低整流器的功率因数；从而导致可控硅控制功率的下降。同样要将中间回路及反向二极管的尺寸加大，因为整个无功功率都要消耗在它们那里。为了获得良好的逆变器性能以及考虑到工作的安全可靠(快速断开)，以采用全控整流器为宜。中间回路中包括了用来储存能量的无功电流元件（在并联回路变频器中取消了滤波电容，从而要选用较大尺寸的电感线圈）。

逆变器工作于单相桥式电路，而且永远是电容性的，即逆变器的电流超前于逆变器的电压。这是负载输入逆变器的一个基本特点。对串联回路，求出可控硅控制脉冲的电流过零点。相反，对并联回路来说，人为地迫使电流提前反向，并导出电压过零点。在选择电流反向与电压反向之间的时间时，应使其永远比关断时间长，否则将出现换向短路(图7)。对串联回路来说，当电流通过零点之后，必须等待一个“保护时间”，直到下一次导通，而对并联回路来说，电流反向的最合适的时间，可由前一个电压通过零点的时间导出图8。

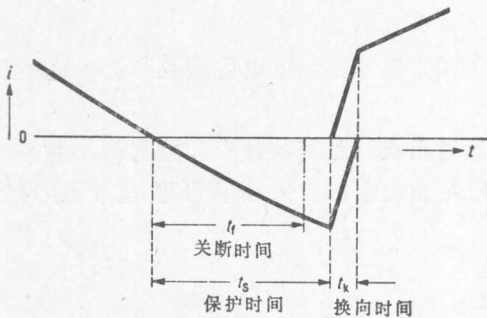


图8 具有串联或并联负载回路的可控硅  
变频器的电流及电压变化过程。

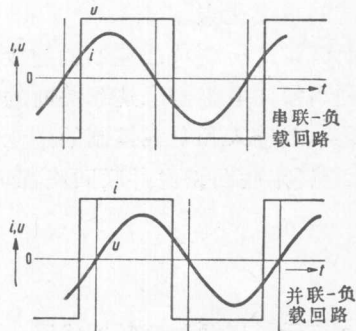


图7 逆变器换向过程