

科研技术交流资料

可控硅整流器应用简介及其在 串级调速和变频调速中的应用

(内部资料)

第一机械工业部电气传动设计研究所

1970年5月

**可控硅整流器应用简介及其在
串级调速和变频调速中的应用**

编 者	一机部电气传动设计研究所
出 版	一机部电气传动设计研究所
印 刷	天津红心制本厂印装
发 行	天津市新华书店内部发行
日 期	1970年5月 (增订版)
编 号	250 定 价 0.35元
印 数	1—10.000

内部资料 注意保存

最高指示

抓革命，促生产，促工作，促战备。

全世界人民团结起来，反对任何帝国主义，社会帝国主义发动的侵略战争，特别要反对以原子弹为武器的侵略战争！如果这种战争发生，全世界人民就应以革命战争消灭侵略战争，从现在起就要有所准备！

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。

編輯說明

无产阶级文化大革命，以极其宏伟的力量，推动着我国社会主义建设迅速发展。在毛主席“抓革命，促生产，促工作，促战备”的伟大号召下，广大人民群众革命和生产的积极性空前高涨。为伟大领袖毛主席争光，为伟大社会主义祖国争光的生产高潮一个接着一个，全国热气腾腾，捷报频传。以工人同志为主体的“三结合”小组如雨后春笋，纷纷成立，技术革命和技术革新已经形成了伟大的群众运动。

可控硅整流器及其应用这门技术是近十年来发展起来的新技术。它的优越性和在工业革命中所能起的积极作用，已为越来越多的人所认识。因此，介绍可控硅这门新技术的知识，特别是普及到工人同志当中去，使这门新技术迅速得到推广使用，是一件很迫切的事情。

为了这个目的，我们编写了这份材料。毛主席深刻地指出：“我们的文学艺术都是为人民大众的，首先是为工农兵的，为工农兵而创作，为工农兵所利用的。”因此，我们力求写得通俗易懂，尽量少用公式和曲线。后面三篇是串级调速和变频调速的试验报告。

由于我们毛主席著作学得不好，编辑水平不高，编写的材料一定有很多缺点、错误，望读者提出批评和建议，帮助我们在这项工作做得更好。

编者 1970年

目 录

一、可控硅整流器应用简介

(一) 概 述	1
(二) 可控硅整流器的构造及其工作原理	2
(三) 可控硅整流器的容量选择	4
(四) 可控硅整流器的控制特性及控制线路	7
(五) 可控硅整流器的接线方式	14
(六) 可控硅整流器的保护问题	15

二、可控硅串级调速系统试验报告

(一) 前 言	18
(二) 可控硅串级调速的原理说明	18
(三) 试验室的可控硅串级系统	20
1. 主回路参数的确定	22
(1) 异步电动机	22
(2) 确定逆变变压器的容量	22
(3) 变压器次级参数的确定	23
2. 控制回路参数的确定	23
(1) 调节特性	23
(2) 半导体调节放大器	24
(3) 触发器	25
(4) 电比较环节	26
(5) 电压截止及偏移装置	26
(四) 试验室试验的初步结果	27
1. 半导体直流放大器输入输出特性	28
2. 触发装置移相特性	28
3. 开环调节特性	29
4. 鼓风机负载时 u_k 与 u_d, I_d, P_d 关系	30
5. 开环机械特性	30
6. 鼓风机负载特性	31
7. 闭环系统的机械特性	32
8. 效 率	33
(五) 可控硅整流器的并联运行及保护	34
(六) 几点体会	35

三、可控硅整流器变频装置试验报告

(一) 概 述	36
(二) 线路图、元件规格型号及简单工作原理	36
1. 主回路部分	36
2. 控制部分	39
(三) 试验数据	45
1. 机械特性	45
2. 连续24小时运行试验	46
3. 工业试验	47
4. 起动试验	49
(四) 试验中发现的一些问题及体会	50
(五) 结 论	52

四、大功率可控硅变频调速中间试验试验报告

(一) 试验要求	53
(二) 主回路方案	53
1. 输出波形的改善	53
2. 容量之叠加	54
3. 换流方式	54
4. 主回路之完整线路	55
5. 主要参数及元件规格	56
(三) 控制线路方案	58
1. 大功率可控硅变频调速系统方块图	58
2. 整流控制部分	58
3. 逆变部分控制线路	59
(四) 试验数据	63
(五) 试验中发生的一些问题及解决措施	66
(六) 几点体会	67

最高指示

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。

一、可控硅整流器应用简介

(一) 概 述

可控硅整流器是近十年来发展起来的新颖电子器件，可控硅整流器应用技术是近几年来发展起来的新技术。一般的半导体元件，功率都比较小，而可控硅整流器则是一种大功率的半导体电子器件，它的出现，使半导体器件迈入了强电的领域。它可以把交流电转变为直流电，或者把直流电转变为交流电，也可以将交流电变成各种不同频率的交流电。其重要的性能之一，就是在通过可控硅整流器将交流电转变为直流电时，可以很方便地调节直流电压、电流的大小。可控硅用在交流调速方面，也获得很大的发展。本书后两个部分，就是介绍在串级调速和变频调速方面的应用。我国利用可控硅整流器的历史虽然不长，但已取得不少成绩。它的优越性，也为越来越多的人所认识。

可控硅整流器具有一般半导体器件所具有的优点，这些优点可以概括为：压降小，特性硬，系统精度高；动作快（传递能量快），过渡过程时间短；损耗小，效率高达98~99.5%；重量轻，体积小；寿命长，使用维护方便，无噪音，便于自动控制等等。

由于具备这些优点，可控硅整流器已非常迅速地在各工业部门中推广使用。如用于炼钢的电弧炉，炼铁的高炉，轧钢机，卷扬机，电力机车，各种机床（磨床、摇臂钻床、铣镗床）；甚至在牧业中，如电栅栏，挤奶器都用上了可控硅。

在可控硅的制造和应用方面，两条路线的斗争同样十分激烈。毛主席深刻也指出：“历史的经验值得注意。一个路线，一种观点，要经常讲，反复讲。只给少数人讲不行，要使广大群众群众都知道。”发展电子工业是加速我国工业化的重要一环。可是，叛徒、内奸、工贼刘少奇，疯狂推行修正主义路线，大搞“专家治厂”“洋奴哲学”、“爬行主义”，竭力阻拦我国电子工业走自力更生的道路，以不合专业为名，罪恶地砍掉了一些电子器件的生产厂。

文化大革命中，广大革命群众紧跟毛主席的伟大战备部署，摧毁了资产阶级司令部，狠抓革命，猛促生产。工人阶级登上了上层建筑斗、批、改的政治舞台，夺回了被资产阶级及其“专家”、“权威”所把持的科研阵地。以工人为主体的“三结合”小组纷纷成立。技术革新、技术革命运动蓬勃开展。在可控硅的应用方面，也开出了不少灿烂的花朵，例如，某钢厂把可控硅用于轧机中发电机和电动机的励磁，提高了生产率，多轧的钢材，相当于多建一座小钢厂。上海有个纸厂也采用了可控硅新技术。工人师傅和革命知识分子在一起，大学毛主席著作，狠批刘少奇的修正主义路线，革了陈旧设备的命。由于采用了可控硅整流器，每天增产的毛主席著作用纸，可以印刷袖珍本《毛泽东选集》三万套。节省电力百分之四十七。劳动强度大大减轻，操作灵便，维修工作量减少，可控硅本质上是一个静止元件，因而消除了机组发出的巨大噪音（只留下了电动机）；改善了劳动环境。体积小，又大大节省了土建面积，因此深受工人的欢迎，现在机床行业已提出“革掉齿轮箱的命”的口号。正如毛主席教导我们的：“从来也没有看见人民群众象现在这样精神振奋，斗志昂扬，意气风发。”“革命就是解放生产力，革命就是促进生产力的发展”。

事物总是一分为二的。可控硅也有它的缺点。主要是它的性能比较脆弱：过载能力不如水银整流器；经受过电压、过电流时，容易损坏。因此，用可控硅整流器时，必须采取预防措施，在“保护”一节，我们将讨论这个问题。

(二) 可控硅整流器的构造及其工作原理

可控硅整流器是由 $p-n-p-n$ 四层结构的硅片构成的。它的外形结构有阳极、阴极和控制极。一般可控硅整流器的外壳就是它的阳极，阴极和控制极应用玻璃绝缘子和外壳隔离开来，控制极比阴极矮短，如图1(a)所示。

它有两个 $p-n$ 结 j_1, j_3 和一个 $n-p$ 结 j_2 。外层的 P 极称为阳极，用 A 表示，外层的 n 极称为阴极，用 K 表示。中间的 P 极称为控制极，用 C 表示，一般可用下述符号表示。见图2。

可控硅整流器是由硅整流器的发展而来的。我们大家知道，硅整流器具有单向导电的性能，即它只许电流从阳极流向阴极，而不容许电流从阴极流向阳极。正像一个逆止阀，只容许水流向一个方向流动一样。

而可控硅整流器要具有硅整流器单向导电的性能，还需要一个附加条件，只有在控制极上加上足够的正电压时（控制极为正，阴极为负），才容许电流从阳极通向阴极，在控制极上没有加上足够的正电压时，可控硅整流器不容许电流从阳极通向阴极。如同电路断开一样。

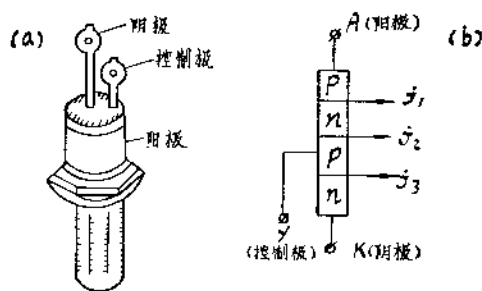


图 1

现在我们把可控硅整流器接入一个如图 3 的交流电路里，其电阻上的电流情况如下，见图 4。

从图 4 我们看到的变动控制极上控制电压的相位，就可以改变其输出电压的大小。我们就是利用这一特性将交流电变为可控制的直流电，以满足各个生产机械的各种不同要求的。

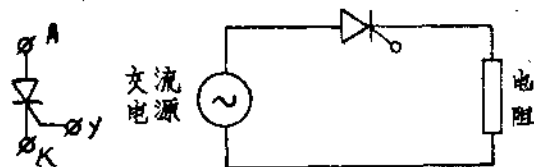


图 2

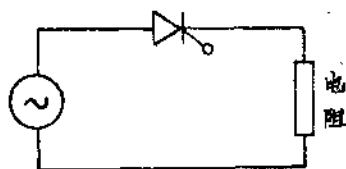


图 3

为什么可控硅整流器会具有这样的特性呢？这还要用它本身所固有的性能来解释。

当控制讯号等于零时，阳极处于交流的正半波， j_2 结承受正向高压，全部电压都降落在 j_2 结上。而阳极处于交流负半波时， j_1 、 j_3 结承受反向高压，又因 j_1 结壁垒较薄，大部分电压都降落在反向结上。所以在击穿电压以前，两个方向的电压在可控硅上都呈现高阻抗而处于封锁状态。如果将正向电压节节增加，在 j_2 结处由于产生巨大电场使载流子以雪崩形式增加而导通。这时的阳极电压称为转折电压，用 V_{BO} 来表示。电压增加的变化率甚大时，如超过 20 伏/微秒，不到转折电压也会使可控硅整流器导通。从特性曲线上可以看出，随着控制电流的增加，用较小的阳极电压就能导通。当控制极讯号足够大时，阳极上一加正

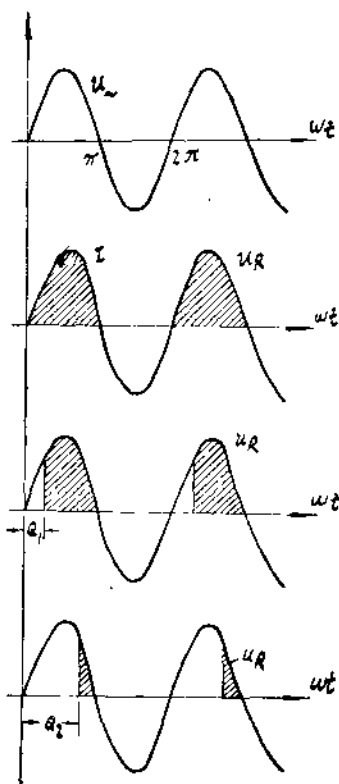


图 4

(a) 控制极没加上足够电压，电阻 R 上无电流流过。

(b) 控制极长期加上足够电压，电阻 R 上有最大电流流过。

(c) 控制极加上和电源频率相同，但相角滞后 Q_1 的交流电压时，电阻 R 上电流流通的情况。

(d) 控制极加上和电源频率相同，但相角滞后 Q_2 的交流电压时，电阻 R 上电流流通的情况。

向电压就能导通。

可控硅整流器的断开，靠交流负半波电压加在阳极上，可控硅整流器的反向特性与普通二极管的特性相似。

在接入控制讯号以前出现高阻抗现象可以这样来解释，在 j_1 、 j_2 、 j_3 结的两边由于空穴和电子的扩散形成了空穴层和电子层。空穴层以“+”号表示，电子层以“-”号表示，如图 5(b) 所示。由空穴层和电子层所形成的电场如图 5(b) 箭头所示，正是由于这些电场，阻止空穴和电子的继续扩散，阻碍了空穴和电子的运动，如果外电场与内电场同向，则阻碍作用增加，就出现高阻抗现象，如果外电场与内电场相反，则阻碍作用减弱，现低阻抗现象而使管子导通。

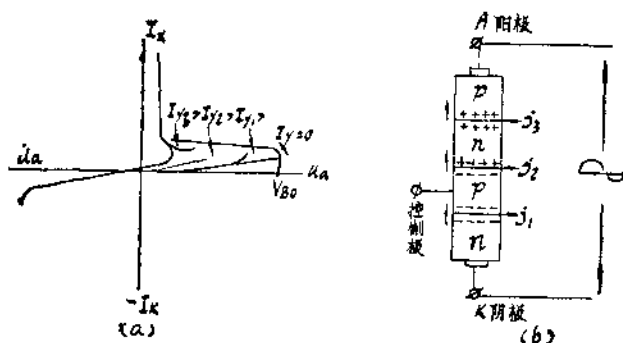


图 5 可控硅整流器的静态曲线

温度对可控硅整流器的特性是有影响的。据国外统计：

以 50 安的硅整流器为例，温度 20°C 时最大转折电压波动在 300 伏—700 伏之间，当温度上升到 100°C — 120°C 时，最大转折电压减小到 2 倍左右。

目前，大部分可控硅整流器的工作温度为 125°C ，少数的可达 150°C 。正向压降低于 1 伏。漏泄电流只有数十或数百微安。接通时间约为 1—4 微秒，开断时间的为 10—20 微秒。功率放大系数为 10^4 — 10^8 ，效率为 98—99%，工作频率可达 20 千赫。

(三) 可控硅整流器的容量选择

可控硅整流器的容量选择，实质上是计算可控硅整流器所容许的最大电流和最大电压。

1. 最大的允许电流

在交流供电下，设可控硅整流器的损耗功率为 P 。

$$P = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} u \cdot d\omega t = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} Ri^2 d\omega t = \frac{R}{2\pi} \int_0^{\pi} i^2 d\omega t$$

设直流电流在可控硅整流器上的损耗功为 P_1 ， $P_1 = I^2 R$ 。使交流损耗功率与直流损耗功率相等，即 $P = P_1$ ，

$$\begin{aligned} \text{则 } I^2 &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i^2 d\omega t & I &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i^2 d\omega t} \\ &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} I_m^2 \sin^2 \omega t d\omega t}, \text{ 经过简化得 } I = \frac{I_m}{2}, \end{aligned}$$

就是说, 导电角为 180° 时, 半波有效值 $I = \frac{I_m}{2}$,

设当导电角为 180° 时之平均值为 I_{CP} ,

$$\text{则 } I_{CP} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} I_m \sin \omega t d\omega t = \frac{I_m}{\pi},$$

我国所标出的可控硅整流器的电流都是指半波平均值。我们求有效值与平均值之比:

$$\frac{I}{I_{CP}} = \frac{\frac{I_m}{2}}{\frac{I_m}{\pi}} = \frac{\pi}{2} = 1.57 \text{ 称之为波形系数。}$$

它的意思是说, 如果交流的平均值为1安的话, 那么它的发热却与直流的1.57安相当。所以会这样, 由于整个周期中每一点瞬时值是不等的, 所以说每个管子最大只可用到1.57倍的平均电流。下面我们举两个例说明如何选用可控硅整流器的电流。

例一, 设我们应用的是全波整流线路, 导电角为 180° 。应用5安的可控硅整流器求可供的最大负载电流(图6)。

每个管子允许的有效值为

$$I = 1.57 I_{CP} = 1.57 \times 5,$$

在全波线路中, 线路里的平均电流 $I_d = 2I_{CP}$, 所以其波形系数为

$$\frac{1}{2I_{CP}} = \frac{1.572}{2} = 0.785,$$

已知有效值 $I = 1.57 \times 5$, 波形系数为0.785, 所以允许的平均电流为

$$I_d = \frac{1.57 \times 5}{0.785} = 10A, \text{ 求得可供给负载的最大电流为10A。}$$

例二, 设我们应用三相全波半控线路, 导电角为 120° 。每一桥臂应用5A的管子, 问最大输出负载电流为多少? 见图7。

设每个管子允许的有效值为I,

$$I = 5 \times 1.57 = 7.85A,$$

求导电角为 120° 时之波形系数。

在三相全波半控线路中, 在主回路中串电感, 输出电流的波形可近似地看成矩形波。在此情况下, 每一个管子在一个周期内流过电流的平均值为 $I_{CP} = \frac{I_m}{3}$ 。每一个管子的有效值

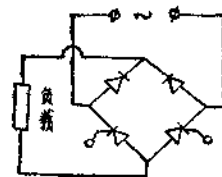


图6

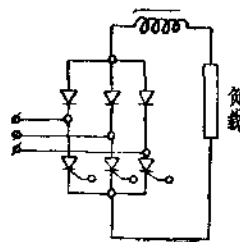


图7

$$I = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_m d\omega t} = \frac{I_m}{\sqrt{3}},$$

$$\frac{I}{I_{CP}} = \frac{\frac{I_m}{\sqrt{3}}}{\frac{I_m}{3}} = \sqrt{3},$$

对三相全波线路来说, 平均电流 $I_d = 3I_{CP}$, 所以其波形系数为

$$\frac{1}{I_{CP}} = \frac{\sqrt{3}}{3} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.578.$$

所以输出的最大平均电流为 $I_d = \frac{7.85}{0.578} = 13.5 \text{ A}$,

负载上最大输出电流为 13.5A。

2. 最大的允许电压

可控硅整流器的正向转折电压为 V_{BO} 。我国规定, 取 $V_{BO} - 100 \text{ 伏} = PFV$, 为允许的正向阻断峰值电压。

可控硅整流器的反向击穿电压为 V_{BR} 。我国规定, 取 $V_{BR} - 100 \text{ 伏} = PRV$ 为允许的反向峰值电压。

我们取 $\frac{PFV}{1.5 \sim 2}$ 定作为我们的反向额定值。

我们取 $\frac{PRV}{1.5 \sim 2}$ 定作为我们的反向额定值。

我们取可控硅整流的额定电压时, 要满足

$$\begin{cases} u_H \leq \frac{PFV}{1.5 \sim 2}, \\ u_{H反} \leq \frac{PRV}{1.5 \sim 2}, \end{cases}$$

如单相半桥线路, 正向电压及反向电压为,

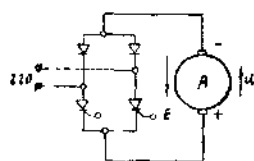


图 8

$$\begin{cases} u_H = 220\sqrt{2} - E, \\ \text{(在直接启动时 } E \text{ 等于零)} \\ u_{H反} = 220\sqrt{2} - u_{Hsr} + E, \end{cases}$$

其中, u_{Hsr} 为可控硅整流器正向压降,

E 为电动机的反电势,

根据以上的分析, 对选用可控硅整流元件, 可以得出下述简单的结论:

1. 所选可控硅整流元件的额定电流 (按我国标准规定为半波平均值) 必须大于通过每个整流元件的平均电流 I , 三相线路必须大于 $1.1 I_{CP}$ 。
2. 所选可控硅整流元件的额定电压 (按我国标准规定指正向阻断峰值) 必须大于反向电

压幅值 $u_{反}$ 的2—3倍。

如果单个整流元件不能满足所需值时可将可控硅整流元件给予串联，并联或串并联。在串联、并联或串并联时，可控硅元件的选择应适当放大元件容量1.2~1.3倍。

(四) 可控硅整流器的控制特性及控制线路

从前面介绍我们知道，要改变可控硅整流装置输出的直流电压的大小，只要变动控制极上控制电压的相位就可以了。而如何达到变动控制电压的相位还没有谈。下面我们就来谈这个问题。

对可控硅整流器来说，有下面三种可能的导通方式：

1. 阳极电压开通。当阳极电压大于转折电压时，管子开通。这个电压一般以 V_{BO} 表示，它在125°C时测出，另一个重要参数是阳极正向最大允许电压。超过了这个电压，管子就遭到破坏。在常温下，正向最大允许电压要大于转折电压。在低温下，可能转折电压大于最大电压。

2. 电压上升率 $(\frac{du^+}{dt})$ 开通。由于 j_2 结存在有电容。当电压上升率 $(\frac{du^+}{dt})$ 甚大，超过20伏/微秒时，在控制极与阴极间产生压降而导通。这是不允许的。

3. 控制极电流 I_g 开通。在控制极与阴极之间加一正向电压，管子就能开通。温度愈高，所需的 I_g 愈小。阳极电压愈高所需的 I_g 愈小。一般不用1、2两种开通办法，因为管子容易遭到破坏。下面只讲控制极控制的办法。

在讨论控制控制极的方法以前，我们先来研究一下可控硅整流器的控制特性。

可控硅整流器要求控制电压、电流及平均功率不得大于规定的允许值，否则可控硅整流器将遭到破坏。一般控制极的允许反向电压，比正向允许电压为低。由于温度愈低要求的控制电压和控制电流愈大，为了保证在任何温度下起控制作用，控制电流和控制电压必须大于某一临界值。结温愈高或阳极电压愈高，使可控硅整流器导通的控制电流也愈小。于是在一定结温及一定阳极电压下，可以确定保证可控硅整流器可靠工作的最小控制电流、控制电压及控制范围。

我国还没有来得及给出这种控制范围来。我们根据美国西屋公司出的ZN681型可控硅整流器的控制特性来说明。

为了防止元件的破坏，规定该系列的可控硅整流器控制极与阴极间的正向电压降不得超过10伏（反向不得超过5伏），控制极正向峰值电流应小于2安，平均损耗功率不得小于0.5瓦。

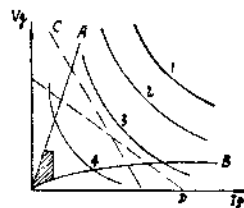


图 9

图9曲线所表示的意思是：

曲线A、B表示控制极伏安特性的极限位置。在特性上表示了所允许的控制电压及控制电流的峰值。

曲线1、2、3、4表示控制极的损耗线。由控制功率决定，它与外界脉冲在一个周期内持

续时间有关。持续时间愈长，允许的电流电压愈小，则损耗线愈位于下方。由损耗线可求得极限的负载线，如直线C、D。

直线C、D，是极限负载线。表示脉冲持续1/4周期时，负载线的极限位置（指控制回路而言的）。即对应于持续1/4周期的所有负载线，均应位于C、D直线以下。

为使可控硅整流器触发，控制电压必须大于某一值。这就需要找出一个不能触发的最大控制电压。它与结温有关，温度愈高，临界电压值愈小，如图10所示。图10是图9阴影部分的放大。为使该类型的可控硅元件中的任意一个都能触发。必须规定最小触发电压及电流。最小触发电流与结温有关。温度愈高，最小触发电流愈小，如图10所示。这样就构成了一个可能触发的工作区，如图10阴影面积所示。

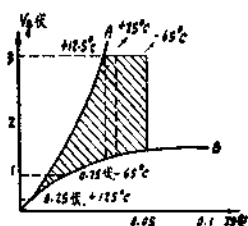


图 10

根据图9、图10所画出的各种曲线及规定的参数，可以作为设计脉冲控制线路应有的脉冲幅值及负载特性的依据。

为使在所有温度变化的范围内，都能可靠地触发。控制脉冲的电压的幅值，必须超出图10所示的阴影面积，但又不得超过极限值。在绘负载线时，必须绘出不同工作制时的允许损耗线。负载线应在阴影面积以上，而又位于允许损耗线以下。

在结温为 -65°C 时使可控硅整流器触发的最大控制讯号为80毫安，3伏，可以是直流。但若为脉冲，持续时间至少6微秒，脉冲时间愈短，则脉冲幅值应愈高。例如3微秒的脉冲宽度，应保证至少有160毫安的幅度。在实际的传动系统中，脉冲宽度往往要求大于100微秒。

下面介绍一下可控硅整流器的控制线路。

可控硅整流器的控制，和汞弧整流器栅控制装置一样，一般采用脉冲相位控制系统。即整个控制装置包括脉冲形成及移相两个部分。可以用移相器控制脉冲发生器以保移相的脉冲，也可以先形成脉冲再改变相角，或者利用一个元件兼有移相脉冲的作用。

1、对控制线路的要求：

(1) 为了避免由于栅控特性不一样而引起控制角的不一致，近来都采用矩形脉冲控制或要求脉冲前沿有较高的陡度。脉冲的宽度应保证在感性负载时，主回路能很好的导通。特别在阳电压较低的时候。

(2) 输出脉冲的幅值应大于最小控制触发电压, 脉冲源的内阻应使负载线落于控制特性阴影区以上, 又位于允许损耗线以下。

(3) 可控硅整流器不应由于干扰或噪音而开放, 要求有足够的偏压。或采用抗干扰措施。

(4) 输入输出之间应有电绝缘。

2、控制线路

(1) RC移相器和由晶体三极管和变压器组成的脉冲发生器

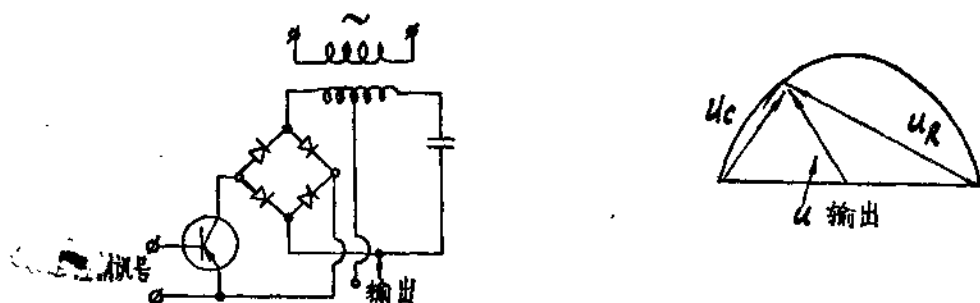


图 11

图11所示是 RC 移相器。晶体三极管作为可变电阻用。所应用的晶体三极管, 最好用 n—p—n 型的, 使温度对晶体三极管的内阻变化影响较小。

图12 (a) 是脉冲线路。图12 (b) 是脉冲线路的波形图及可控硅整流器阳极电压的波形, 阴影部分表示在负载上的输出。

这个线路的优点是简单实用。

缺点是移相范围不够宽, 仅 120° 电角度。另外, 把晶体管当作可变电阻加在系统中, 就引入了由于温度变化而产生的误差。在高精度系统中, 是不适宜应用的。在高温时, 由于晶体管的反向饱和电流增加, 电阻可能会自动减小。当控制讯号为零时, 会有输出。为了避免这个缺点, 在移相部分的晶体管, 要选用 n—p—n 型的硅晶体三极管。

(2) 应用快速磁放大器组成的脉冲移相装置

应用快速磁放大器的控制线路, 兼有移相及脉冲的作用。快速磁放大器具有矩形磁化曲线特性的铁心, 如图13 (a) 所示。

控制讯号等于零时, 在快速磁放大器的工作半波与控制半波中, 全部电压消耗在铁心的磁化和去磁上, 因而没有输出。当有输入讯号时, 使铁心磁化了一部分, 在工作半波, 只需要一部分电压去磁化铁心, 而另一部分就可以输出。又因为是矩形磁化特性的铁心, 输出电压的前沿很陡, 如图13 (c) 所示, 应用输出电压可直接触发可控硅整流器。这种线路的优点是: 线路简单, 工作可靠, 综合讯号方便, 温度稳定性高, 脉冲与阳极电压同步。

这种线路的缺点是：正弦波供电时，移相范围不够宽，因为在两个极限位置（ 0° 及 180° ）脉冲前沿幅值为零。再考虑前沿幅值可能在30~35%范围变化，移相范围只有 100° 左右。采取特殊措施，移相范围可以达 150° 以上。

这种线路大部分用于可靠性要求较高、移相范围可以较小、温度变化较剧烈的地方，在交流同步机励磁系统中用得较多。

（3）晶体三极管脉冲移相线路

移相一般应用在电容器上的充放电和直流控制讯号相交来获得。脉冲的形成可以应用双稳触发器，单稳触发器、间歇振荡器及有正反馈的脉冲放大器等。现在选两个比较简单实用的例子来说明。

图14的工作原理如下。变压器付边经过一桥式整流器整流。它的直流侧有电抗器作负载，使变压器付边只流过矩形波电流。电容器上的电压为锯齿波。又因电流是常数，所以锯齿波的线性度很好。直流控制电压与电容器电压方向相反。其差值加在晶体管基极上，使集电极产生一矩形脉冲电流。于是变压器输出为相差 180° 的两个脉冲。如果我们只用正脉冲点燃，负脉冲可用二极管旁路，如图14(a)所示。改变控制电压 U_c 的大小，就可以改变输出脉冲的相位。

例二，应用电容充放电的锯齿波和直流控制讯号相交产生可移相的脉冲，用带正反馈的晶体放大器作为脉冲的放大。如图15(a)所示。其波形图如图15(b)所示。改变直流控制电压的大小，输出脉冲的相位也就改变。上述两个线路，移相范围都比较宽（例一的达 180° ，例二的达

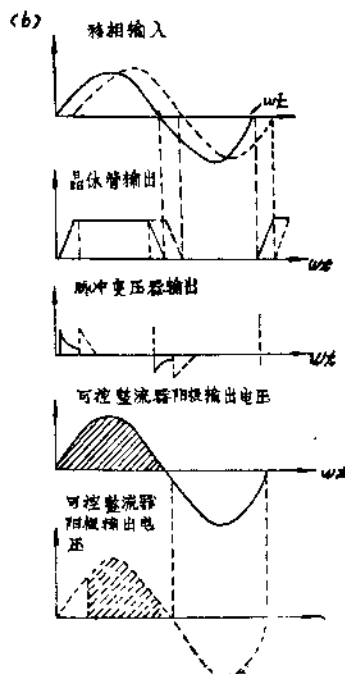
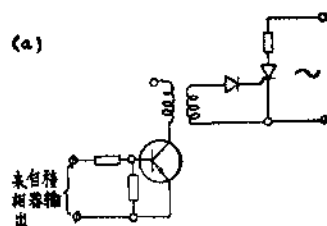


图 14

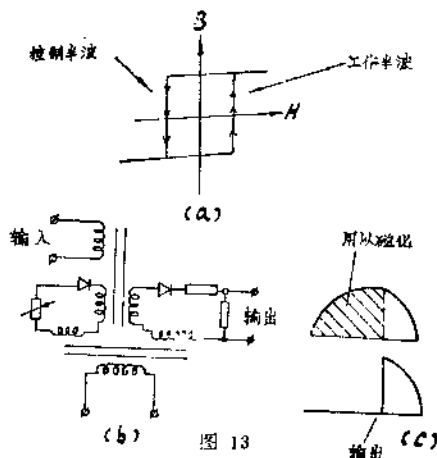


图 13

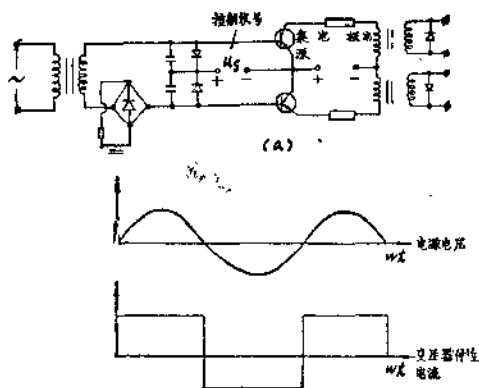
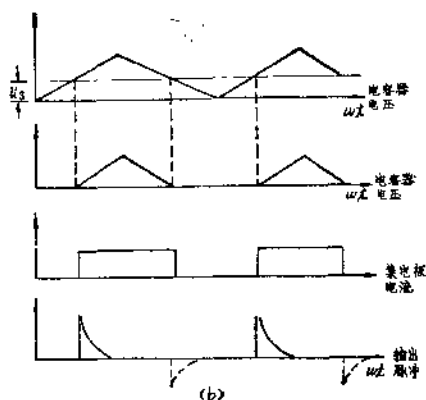


图 14

240°)。温度对控制讯号的影响甚小。在电气传动系统中常有用之。

(4) 应用单晶体管的脉冲移相线路

单晶体管又称双基极管，是目前用得最多的一种可控硅触发元件。

利用单晶体管组成的脉冲发生器，其原理线路如图16所示。电容器C经电阻充电直到电容器上电压达到开通电压为止。这时单晶体管开放，电容经 R_1 放电，直到电容器电压等于2伏，单结管截止为止。然后重复上述过程。由此可见，在单晶体管导通的瞬间，电容电压瞬间加在 R_1 上，使 R_1 上的电压成为一系列的脉冲。为了控制相位可以与电容器C串联或并联一移相晶体管 (PNP或NPN)。改变晶体管的输入电流，可以改变电容器充放电电流，因而可以调节单结管的开放时间，也就改变了输出脉冲的相位。

同步电源整流后，经稳压二极管稳压，加到单晶体管及输出变压器的两端，以保持单晶体管两端的电压为常数。改变晶体管基极电位，即改变了电容器充电到导通电压的时间常数，也就是改变了输出脉冲的相位。图18表示各部分的电压波形。由图18看出，控制讯号改变时使可控硅整流器输出电压波形改变的情况。应用单晶体管组成的控制线路，简单、紧凑、消耗能量小而功率放大较大，开

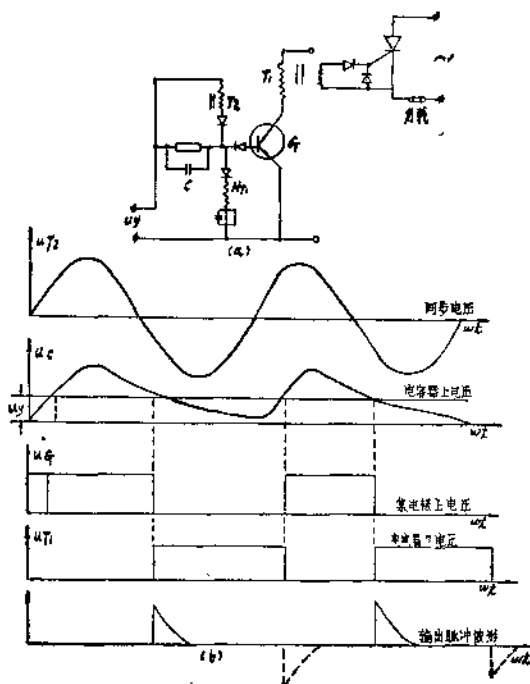


图 15