

可控硅整流器的应用

内部资料 注意保存

韶关市革委会生产组科技研究办公室编
广东 工学 院

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。

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。

最高指示

我国有七亿人口，工人阶级是领导阶级。要充分发挥工人阶级在文化大革命中和一切工作中的领导作用。

从旧学校培养的学生，多数或大多数是能够同工农兵结合的，有些人并有所发明、创造，不过要在正确路线领导之下，由工农兵给他们以再教育，彻底改变旧思想。这样的知识分子，工农兵是欢迎的。

前 言

“无产阶级文化大革命是使我国社会生产力发展的一个强大推动力。”在毛主席无产阶级革命路线的指引下，在毛主席“工人阶级必须领导一切”的伟大号令下，广州工人阶级高举毛泽东思想伟大红旗，昂首阔步登上科技舞台，猛攻二十世纪六十年代的新技术——可控硅技术，取得了一个又一个成果，谱写了一曲又一曲毛泽东思想的胜利凯歌。

在无产阶级文化大革命前，由于大叛徒、大内奸、大工贼刘少奇反革命修正主义科研路线的干扰和破坏，可控硅新技术研究工作的大权把持在一小撮走资派和资产阶级技术“权威”手里，他们大搞“爬行主义”“洋奴哲学”，不相信不依靠工人阶级，闭门造车，脱离生产，致使广州地区可控硅新技术的应用得不到推广。

无产阶级文化大革命的洪流，荡涤了科技战线上的污泥浊水，结束了资产阶级技术“权威”统治科技舞台的现象。在毛主席“备战、备荒、为人民”的伟大战略方针指引下，在广东省、广州市革命委员会的关怀和支持下，广州地区的工人阶级、革命科技人员和广东工学院的革命师生，组成了“三结合”的研究小组，掀起了以工人为主体的大搞可控硅应用技术的群众运动。他们满怀革命豪情，把洋框框、洋教条统统踩在脚下。在缺乏资料、没有设备的情况下，依靠战无不胜的毛泽东思想，发扬敢于斗争、敢于胜

利的大无畏革命精神，攻破了一个又一个技术难关。工人同志豪迈地说：“毛主席给我们撑腰，我们要为毛主席争气，可控硅技术难关不攻下誓不罢休！”经过革命工人、革命科技人员和革命师生的共同奋战，终于闯出了一条自力更生、奋发图强、土法上马、多快好省地发展可控硅新技术，实现自动化的有效途径。其中一些项目已经达到了世界先进水平，创造了一个又一个资产阶级技术“权威”连想也不敢想的人间奇迹。

现在，可控硅新技术已越来越广泛地应用在机械、化工、轻工、纺织、电力等行业。由于可控硅元件具有体积小、效率高、工作性能好等特点，应用这一新技术，可以大大简化机械结构，为国家节约大量机械另件、设备和节约大量电力，大大提高了生产效率。因此，可控硅新技术受到了广大工农兵的欢迎。本书收集了广州地区各工厂将可控硅新技术应用于机械、化工、钢铁、电力等工业的成果共十一项，仅供参考。

本书各篇均为参加研究的革命工人、革命科技人员和革命师生亲自总结编写的。由于我们的水平有限，书中难免出现缺点和错误，请同志们批评指正。

广东工学院革命委员会教育革命组

一九七〇年五月

目 录

采用可控硅的直流——交流逆变器	中国人民解放军七四二九工厂 中国人民解放军七三一九工厂 广东工学院	(1)
采用可控硅的直流调速系统的车床	中国人民解放军七四二九工厂 广东工学院	(11)
可控硅充电机	中国人民解放军七四二九工厂 广东工学院	(25)
B 210龙门刨床主拖动可控硅—— 发电机——电动机调速系统及无触点控制	广东工学院	(33)
可控硅调速系统在LD—5000型拉力试验机上的应用	广州材料试验机厂 广州机电产品设计室 广东工学院	(47)
M7120A磨床可控硅吸盘供电装置	广州机床厂 广东工学院 广州电器研究所	(54)
车床采用可控硅的直流调速系统	广州市柴油机厂 广东工学院	(59)
SCR电弧炼钢炉电极自动调节器	广州氮肥厂 广东工学院	(71)
晶体管式时间继电器和SCR式时间继电器	广州机床厂 广东工学院 广州电器研究所	(82)
M7475平面磨床电磁吸盘SCR 供电线路	广州氮肥厂 广东工学院	(84)
C 615车床SCR调速系统	广州机床厂 广东工学院 广州电器研究所	(87)

采用可控硅的直流——交流逆变器

中國人民解放軍七四二九工廠

中國人民解放軍七三一九工廠

廣 東 工 學 院

(一) 应用概况

在許多应用場合中，需要把直流功率变换成交流功率，或者把某一特定频率的交流功率换成另一不同频率的交流功率。老式的逆变器，采用了旋轉机械或振动机械元件，把直流功率变换为交流功率，显然有其局限性及缺点，由于旋轉或振动噪声大，且維修麻煩，运行不可靠，干扰大。自从可控硅問世以来，在工业及国防工业上有許多地方成功的应用了可控硅所組成的直流——交流逆变器。

交流——交流逆变器，直流——直流逆变器等，特別在航空及宇宙飞行中用得不少。

根据备战需要，要求設計試制一种体积小、重量輕、运行可靠、耐振动、无噪声，采用蓄電池供电的直流——交流逆变器。

我們遵照毛主席的“备战、备荒、为人民。”“我們不能走世界各国技术发展的老路，跟在別人后面一步一步地爬行，我們必須打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期內，把我国建設成为一个社会主义的現代化的强国”的教导。我們采用了厂校結合，领导干部、工人、技术人員相結合的方法，在很短时期內試制了这台設備。

設備的技术要求：

(1) 直流12V蓄電池供电。

(2) 輸出110V正弦50周交流，失真度 $<3\%$

(3) 供給电机負載、負載电流 $I_H=200\text{mA}$ 。

(二) 綫路工作原理及参数計算

1、逆变器主回路

可控硅 SCR_1 导通則变压器 B_2 繞組01通电，而当 SCR_2 导通时，02通电。于是变压器次級即可感应出交流电压（矩形波电压）。而根据可控硅工作原理，我們知道其不能自行断开，必須用換向电容 C_1 强迫換向。換向过程是这样的，設 SCR_1 先导通，則 C_1 上充电电压为两倍电源电压，其极性： b' 为 $(+)$ ， a' 为 $(-)$ 当經過 180° 电角的触发脉冲，触发 SCR_2 的瞬間， C_1 上原充电极性加在 SCR_1 上使其断开。变压器02通电，电容器 C_1 又反向充电，准备下一次換相、关断 SCR_2 ，此过程将循环下去。

图中电感 L 是用来限制换向电流的冲击，其值大小，和换相电容一样，决定于换向过程中，由导通状态到开断状态可控硅所加反向电压时间的长短，在损耗最小情况下可按下式选用 L 及 C

$$C = \frac{t_{off} I_L}{0.425 E} \text{ (法)}$$

t_{off} ——可控硅关断时间（微秒）

E ——直流电压（伏）

$$L = \frac{t_{off} E}{0.425 I_L} \text{ (H)}$$

I_L ——换向时最大负载电流（安）

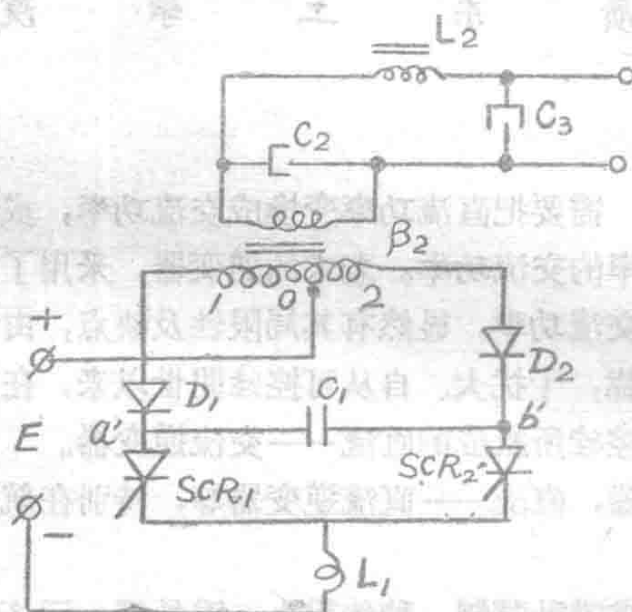


图 1

C_1 越大则逆变器工作愈稳定，但损耗也大， L 过大则由于换向时在其两端感应的电势过大，有可能使 SCR 正向导通，而导致换向破坏。图中 $D_1 D_2$ 整流器的作用是防止 C_1 向变压器初级绕组放电，使 C_1 电压减少，破坏了换向。

当可控硅制造厂未给出可控硅的关断时间时，我们可选用正向压降较大，维持电流 I_H 较大的管子，则其关断时间 t_{off} 可较小，一般为 $t_{off} = 20 \sim 40 \mu s$ 。

输出变压器 B_2 的设计

根据已知铁心材料选定其 B 值，且已知 S 值（本设计采用环形铁心 $B = 15000$ 高斯）于是可求 $N_o = \text{匝/伏}$

$$N_o = \frac{4.5 \times 10^8 \text{ 匝}}{B \cdot S \text{ m} \text{ 伏}}$$

N_o 求出后即可根据已知直流输入电压 E 及所需交流输出电压 U 值，计算出变压器原边匝数、次级匝数，及线径。

为了获得 50 c/s 正弦波，我们在变压器 T 的次端，加入滤波装置， $C_2 L_2 C_3$ 。

2、逆变器的触发回路

上面我们分析过，只要按次序导通 $SCR_1 SCR_2$ 那么就可以获得交流电源的输出。因此，应对逆变器的触发回路提出下列要求：可控硅的控制极触发信号的时间间隔必须准确（时间间隔大小根据所需交流电源频率而定），开通可控硅应有足够的功

率，触发脉冲的前沿应较陡。

我們选用了由单結晶体管及双稳触发器所組成复合式多諧振蕩器。其工作原理是这样的，由单結晶体管組成的弛张振蕩器是按C 和R的时间常数所决定的周期来振蕩的

$$T = RC \ln \frac{1}{(1-\eta)} = 2.3 RC \lg_{10} \left(\frac{1}{(1-\eta)} \right)$$

η ——单結管的分压比

单結管送来負脉冲加于双稳触发器上。設 T_1 原来已导通，加来負脉冲使 T_1 截止， T_1 的C极負，使 T_1 基极变負，于是 I_{B2} 增加， I_{C2} 增加，使 T_2 管导通。 T_1 导通， C_2 点电位为+，該C (+)电位加于 T_1 基极，使 T_1 更截止。当单結管送来下一个負脉冲时，使 T_2 截止， T_1 导通，此过程将循环下去。很明显，单結管的振蕩頻率整定在100C/S。双稳触发器的輸出电压經过脉冲变压器，分別加在可控硅控制极上。

綫路中D D 是保护二极管，其保证了eb間电压不超过允許值。

很显然改变了单結晶体管的R 电阻值，即可改变可控硅触发脉冲的頻率。

此綫路的特点是：可以获得較理想的、陡的方形脉冲波輸出电压。其振蕩頻率，可极容易的由R值而定。而可控硅所需的触发功率則由脉冲变压器輸出。

图中Rk为耦合电阻其具有正反饋作用，C为加速电容，R 为保証三极管可靠截止的正偏电阻，当 $T_1 T_2$ 截止时，能在基极获得一定的正偏压。以下讓我們分別扼要的說明該触发綫路的計算。

(i) 硅稳压管稳压环节。

R_s电阻的計算：根据已选定 $T_1 T_2$ 及UJT管子，估算 $T_1 T_2$ UJT管子所需电流，及所需电压，于是可以确定2CW稳压管所需 U_z (稳压值) 及負載电流 I_L 值，

$$R_s = \frac{V_n - V_z}{I_2 + I_L}$$

V_n ——輸入电压(V)

V_z ——硅稳压管的稳定电压(V)

I_2 ——硅稳压管的工作电流。

I_L ——負載电流。

所需选用硅稳压管功率 P_d

$$P_d = \left(\frac{V_n - V_z}{R_s} - I_L \right) V_z$$

按計算的 P_d 值选硅稳压管，并应使，

$$P_d < P_{dmax}$$

(P_{dmax} 为硅稳压管最大耗散功率)

(ii) 单結晶体管环节計算。

电阻R 为了获得良好的溫度补偿而加入。

$$R_1 = \frac{0.4 R_{BB}}{\eta V_z} \times 1.2$$

η ——单結管之分压比。

R_{BB} ——UJT • B-B間电阻。

V_z ——同步电源电压值即2CW的稳压值。

R_4 ——阻值愈高，则输出脉冲幅值大。一般取30~100欧。

C_5 ——0.1~0.5 μ F C_5 大则输出功率大，但移相变窄，故本设计选用0.1 μ F

R_2 及 R_3 值的选择。

对应于某一所需频率， R_2+R_3 有一定值，为了保证单结晶体管的连续振荡， R_2+R_3 之值应满足下列条件，才可保证 R_2+R_3 和 V_{bb} 所形成的负载线应和单结晶体管的发射极特性交于谷点的左侧，而且还需保证UJT导通所需峰值电流 I_P

$$\frac{V_z - V_v}{I_v} < R_2 + R_3 < \frac{V_z - V_p}{I_P}$$

V_v ——单结晶体管谷值电压，一般约2v，为管子由负阻区进入饱和区所对应的电压值。

I_v ——对应于 V_v 的发射极电流值。

V_p ——峰值电压，为管子未导通前的最大发射极电压。

I_P ——为管子由截止区进入负阻区的转折点电流值。

(iii) 双稳触发器的计算

图解法是越来越广泛采用的计算方法，它直观明确，而且能把最不利的情况一目了然的观察出来。

这里用图解法介绍双稳触发器的计算

饱和方程式：设双稳导通管的集电极电压和基极电压分别为 U_{ce} 和 U_{be} 如右图所示

$$\frac{V_{ce} - V_{be}}{R_c + R_k} - \frac{V_{be} + V_b}{R_B} = I_B \dots \dots \dots ①$$

(忽略 I_{CBO})

要保证晶体管工作于饱和状态

$$\text{必须 } I_B \geq \frac{I_{cmax}}{\beta_{min}} \dots \dots \dots ②$$

②代入①

$$\frac{V_{ce} - V_{be}}{R_c + R_k} - \frac{V_{be} + V_b}{R_B} \geq \frac{I_{cmax}}{\beta_{min}}$$

因 $V_{be} \ll V_{ce}$ 、 $V_{be} \ll V_b$ 。

故忽略 V_{be} 。

$$\therefore \frac{V_{ce}}{R_c + R_k} - \frac{V_b}{R_B} \geq \frac{I_{cmax}}{\beta_{min}}$$

$$\text{整理得 } R_B \geq \frac{V_b \beta_{min} (R_c + R_k)}{\beta_{min} V_{ce} + I_{cmax} (R_c + R_k)}$$

据此可划出一条曲线如右图4，由图中可知， R_k 是极限值的，当 R_B 和 R_k 值相

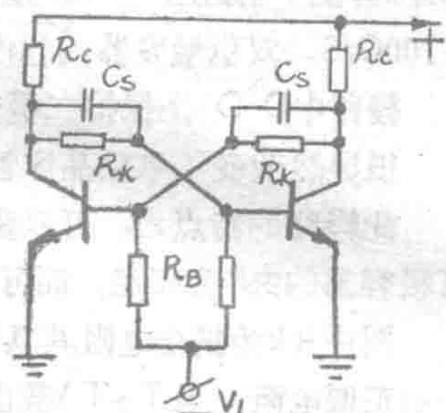


图2

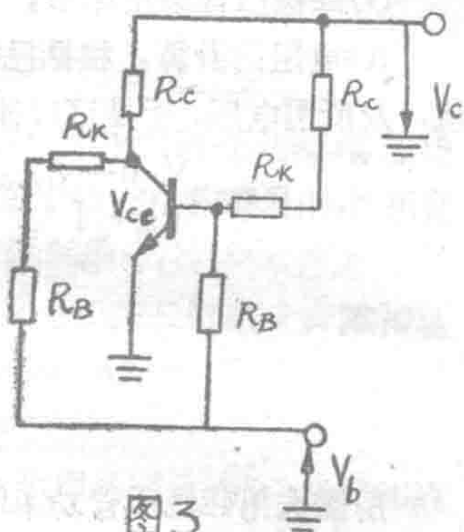


图3

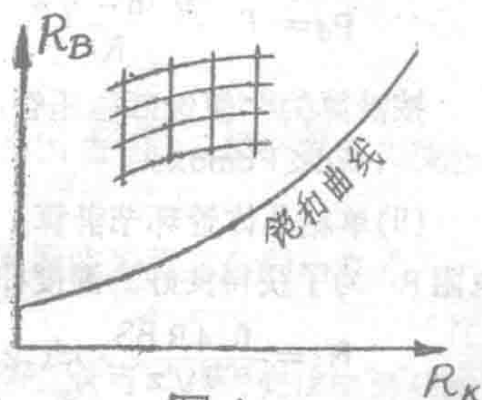


图4

交于阴影区内任一点时，均能满足饱和条件。

截止方程式

设截止管之基极射极电压为 u_{be} ，导通管的集射电压为 u_{ce} ，

截止方程为 $V_{be} = (I_2 + I_{CB0max}) R_b - V_b$ 。

$$\text{式中 } I_2 = \frac{V_{ce} + V_b - I_{CB0max} R_b}{R_b + R_k}$$

$$\text{代入上式得 } V_{be} = \left[\frac{V_{ce} + V_b - I_{CB0max} R_b}{R_b + R_k} + I_{CB0max} \right] R_b - V_b$$

保证截止条件是 $V_{be} < 0$ 。

$$\therefore \left[\frac{V_{ce} + V_b - I_{CB0max} R_b}{R_b + R_k} + I_{CB0max} \right] R_b - V_b < 0$$

$$\text{整理后得 } R_b < \frac{V_b R_k}{V_{ce} + I_{CB0max} R_z}$$

划出图如图 5

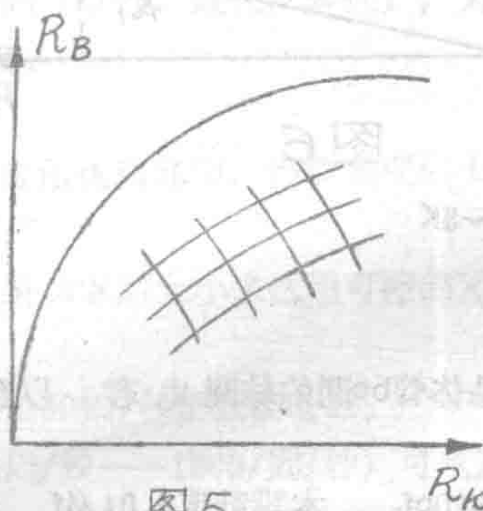


图 5

即 R_b 同样有极限值，当 R_k 与 R_b 值相交于图中阴影区时，能满足截止条件。

结合饱和，截止两者情况，只要 $R_b R_k$ 值相交于上图相交区域的阴影部分任何一点时，均能满足了双稳的条件，只要相交点愈远离截止曲线、则截止愈可靠，愈远离饱和曲线，则饱和愈深。

根据上述结论，我们在实用中，可以画出二根曲线的极限曲线和两条斜率曲线，划出一个四边形区域，在这个区域内来选择参数就可以了，

由前述公式，我们知道

$$K_1 = \frac{V_b}{V_c}$$

$$K_2 = \frac{V_b}{V_{ce(+)}}$$

$V_{ce(+)}$ 为饱和管压降

V_b 为绝对值

$$R_{k\text{极}} = R_c (\beta_{\min} - 1)$$

$$R_{b\text{极}} = \frac{V_b}{I_{CB0max}}$$

根据上述四个公式，我們就可以画出图 6 并簡便确定双稳工作点（在阴影区域内选一点），及选用参数。

通常 鍺管 $V_{ec}(+) = 0.2 \sim 0.50$ （以最严重情况按 $0.5v$ 考虑）

硅管 $V_{ce}(+) = 0.1 \sim 0.7$

I CBO min 說明書已給或实测

β min 說明書已給或实测

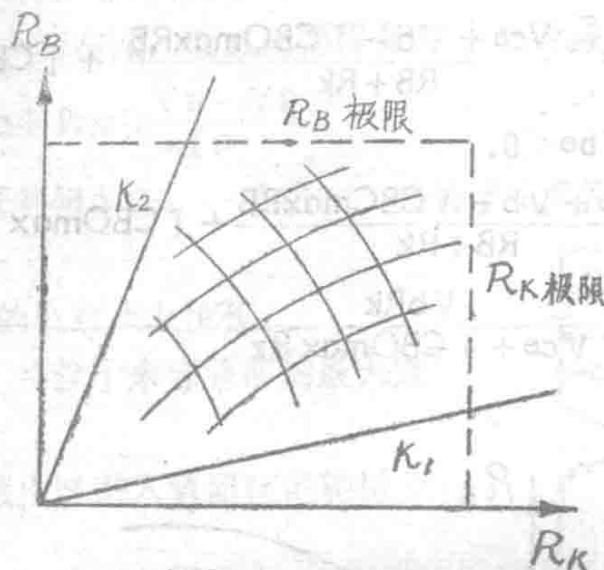


图 6

本設計选用 $R_k = R_9 = 2 \sim 3K$

$R_B = R_6 = 1.5 \sim 2K$

加速电容 C_7 的选择。

C_7 选小了，不能补偿晶体管 be 間的結間电容，以致使方波前沿变差， C_7 选大了，双稳发生振蕩。

一般 $C_7 = 0.01/\mu f \rightarrow 510pf$ 本設計取 $0.01/\mu f$ 。

(iv) 脉冲变压器的計算

根据电磁感应定律：

$$e(t) = E = W_2 \frac{d\phi}{dt} 10^{-2} = W_2 S \frac{dB}{dt} 10^{-2}$$

$$\Delta B = \frac{100}{W_2 S} \int_0^{t\omega} e_2(t) dt = \frac{100 E_2 t \omega}{W_2 S}$$

W_2 ：次級匝数

S ：鉄心截面积 cm^2

t ：脉冲寬度 (μs)

B ：根据鉄心材料，鉤僕合金 $4000 \sim 5000$ 高斯

环形鉄淦氧 $\Delta B = 300 \sim 4000$ 高斯

矽鋼片鉄心 $\Delta B = 3000 \sim 2000$ 高斯

求出 W_2 后不难根据电压比例关系决定原边匝数 W_1 （原边双稳触发器，其工作电压已知 $10v$ ），一般考虑信号是脉冲，因此涡流較大，选用薄的鉄心，有时为了减少剩磁，鉄心留有小气隙，其約为截面积 $1/1000$ 长度。

(三) 关于调整注意事项。

(1) 应该选用toff相近的一对可控硅，且，toff愈小愈好。

双稳触发器的 T_1 、 T_2 管，应选对称的管子(β 值相近)。

(2) 先不接通可控硅回路，先实验触发回路是否正常，用示波器观察 R_4 电阻两端有无脉冲输出，图7(C)所示，再用示波器观察脉冲变压器，次端应有方波脉冲输出。图7(e)(f)其脉冲幅值应在5V以内。若方波脉冲输出不稳定，则应调整 R_6 、 R_9 、及 C_7 值，使获得良好的所需方波输出脉冲。系统中各有关环节波形图见图(7)。

(3) 接入主回路部分，并观察其输出变压器 B_2 的次端A、B点，应有正弦波输出见图7(d)。为了安全起见，及避免在调整过程中，因 SCR_1 、 SCR_2 换流失败而电流过大损坏可控硅，线路中应串入过电流继电器，一旦换流失败，即能自动跳闸从而保护可控硅。调整后装机时，该继电器可省去。 C_1 值选择得当，且可控硅控制极输入脉冲功率足够大，那么， B_2 次端即有输出正弦波。

(4) 根据负载性质不同(阻性，感性，容性)，为了获得正弦波输出，最后应调整滤波装置的 $C_2C_3L_2$ 值。

(四) 讨论

(1) 本线路没有加入恒压恒频环节，当负载变化大，要求交流输出电压恒压，且恒频时，必须增添相应环节。

(2) 根据所需输出交流功率的大小来选用可控硅元件，而其触发系统可以可靠触发5安到100安可控硅。

(3) 本逆变器可以供给50周/秒正弦波电源。

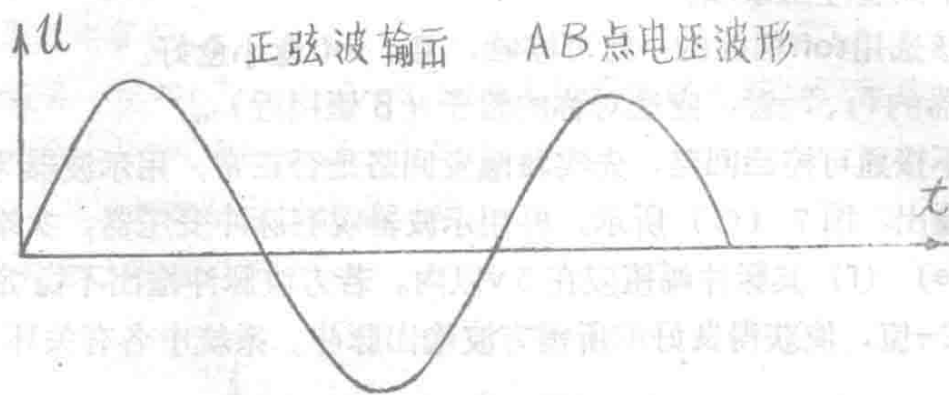
当需要其他频率时(50周/秒——1000/周/秒)可以通过改变 R_2 值来获得。当频率改变时，其相应滤波装置也应相应改变。调整方便。

(4) 本装置由于采用了可控硅及半导体元件，因此体积小，无旋转部分，重量轻，触发线路采用印刷线路，因此紧凑，不怕振动。

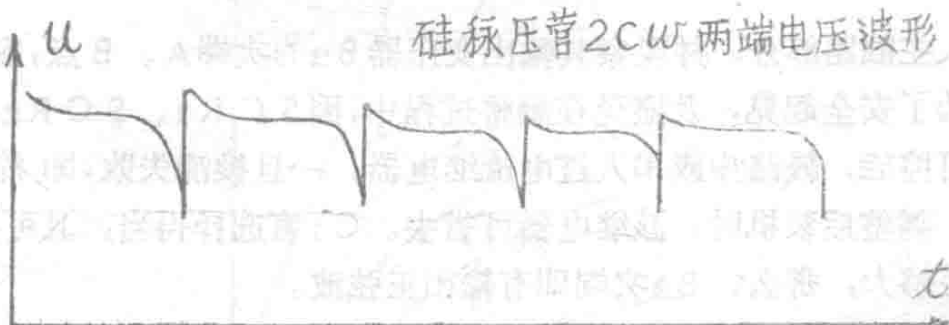
(5) 本产品正在进行全面技术性能考核，未定型。



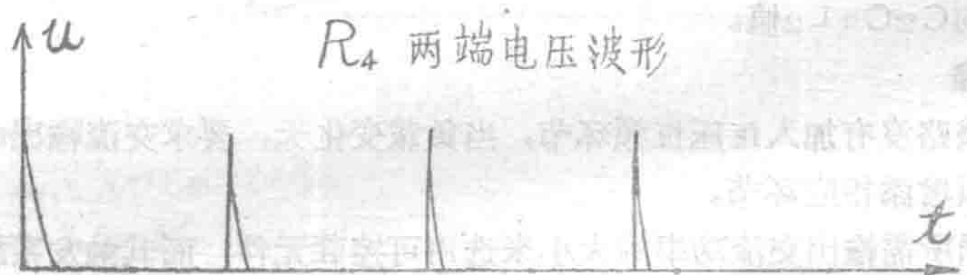
正弦波输入 AB点电压波形



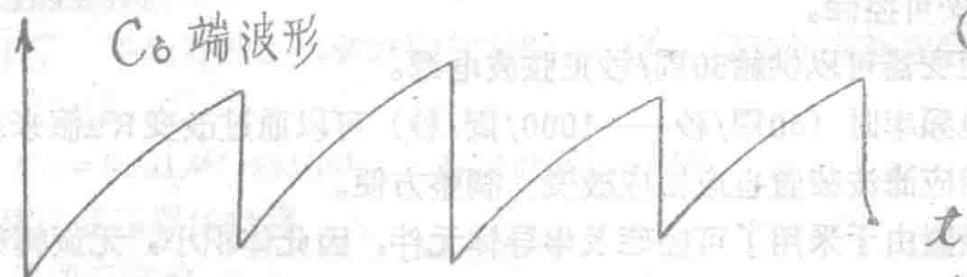
硅稳压管2CW两端电压波形



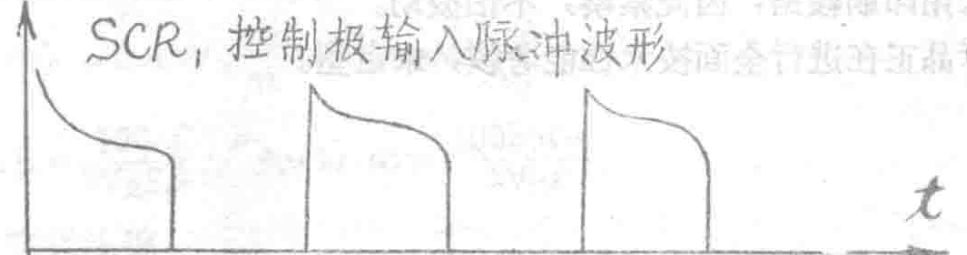
R_4 两端电压波形



C_0 端波形



SCR₁ 控制极输入脉冲波形



SCR₂ 控制极输入脉冲波形

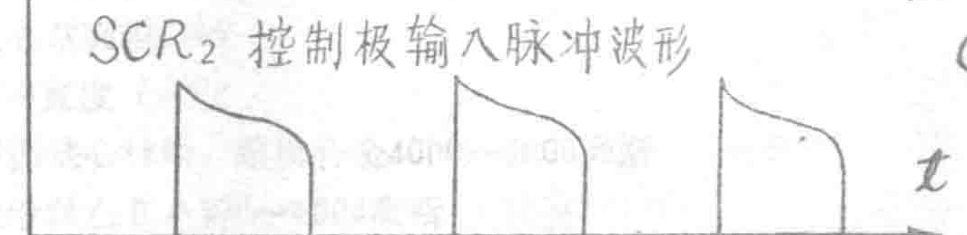
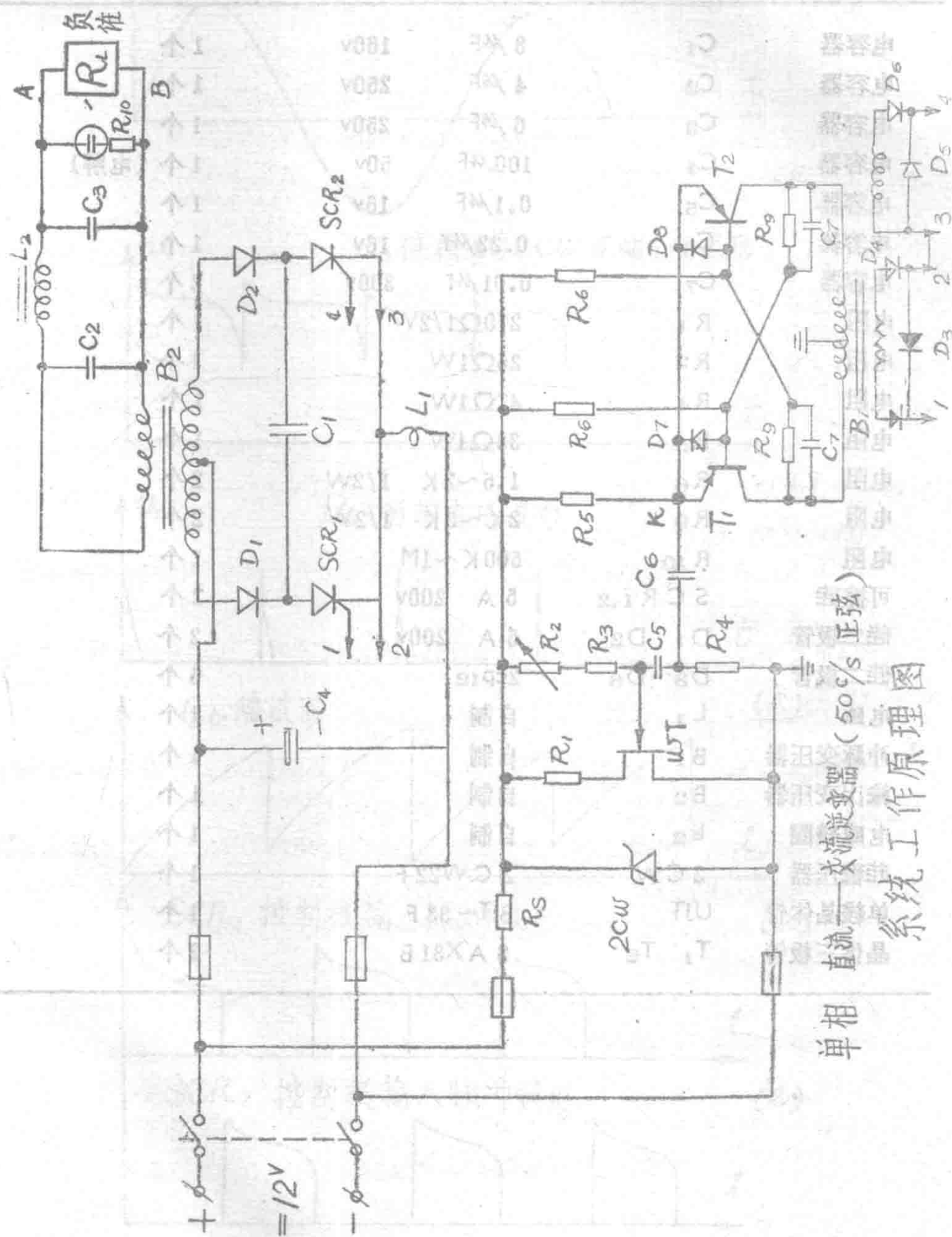


图7

元件一覽表

电容器	C ₁	8 μ F	160v	1 个
电容器	C ₂	4 μ F	250v	1 个
电容器	C ₃	6 μ F	250v	1 个
电容器	C ₄	100 μ F	50v	1 个 (电解)
电容器	C ₅	0.1 μ F	16v	1 个
电容器	C ₆	0.22 μ f	16v	1 个
电容器	C ₇	0.01 μ f	300v	2 个
电阻	R ₁	270 Ω 1/2W		1 个
电阻	R ₂	25 Ω 1W		1 个
电阻	R ₃	47 Ω 1W		1 个
电阻	R ₄	33 Ω 1W		1 个
电阻	R ₅	1.5~2 K	1/2W	2 个
电阻	R ₆	2 K~3 K	1/2W	2 个
电阻	R ₇	500 K~1M		1 个
可控硅	SCR _{1,2}	5 A 200v		2 个
硅二极管	D ₁ D ₂	5 A 200v		2 个
硅二极管	D ₃ ~D ₈	2CP12		6 个
电感	L ₁	自制		1 个
冲脉变压器	B ₁	自制		1 个
输出变压器	B ₂	自制		1 个
电感线圈	L ₂	自制		1 个
硅稳压器	2CW	2CW22 F		1 个
单结晶体管	UJT	BT-33 F		1 个
晶体三极管	T ₁ T ₂	3AX31 B		2 个



采用可控硅的直流调速系统的车床

中国人民解放军七四二九工厂

广东工学院

(一) 应用概况。

车床是一种使用极普遍的一种生产机械。可否简化其主轴齿轮箱的结构，且实现主轴的无级变速，提高车床的自动化水平（如快速停车、切削螺纹时低速切削，快速返车，中途切削时不需停车而可任意的进行调速……等），我们遵照毛主席所教导的“自力更生，奋发图强”的教导，采用了厂校合作，组成以工人、领导干部、技术人员三结合研究小组，在不到1个月时间内试制成功了这台车床的调速系统。

这台车床的特点是（1）用可控硅所组成的直流调速系统、进行主轴无级变速已达下述指标。

所用电动机 3 匹 220 伏 1500 转/分，17.5 安

主轴最低切削速度 20 转/分 切削量 1 MM $\Delta n < 10\%$ (转速降落)

主轴切削速度 50~150 转/分 切削量 1~3 MM $\Delta n < 10\%$

主轴切削速度 150~600 转/分 切削量 7 MM $\Delta n < 10\%$

减弱磁场高速切削 600~1200 转/分 切削量 1 MM。

基本满足了一般车床提出的要求。

（2）大大简化了主轴齿轮箱的结构。由过去几十个齿轮而减为 1 对齿轮，过去用齿轮传动，只能得到有级调速，而现在实现了无级调速。现在主轴箱无机械操作手柄。主轴的变速由装于主轴箱上的电气按钮及旋钮操作，操作十分简便。

（3）过去采用机械齿轮方法所办不到的，现在采用可控硅调速则实现了，如切削中途不需停车，而可任意的无级进行变速。可以快速停车（采用电气能耗制动），当按下停车按钮主轴可在几秒内立即制动；又如能实现切削螺纹时，慢速切削，而倒车时则以最高速度返回。从而使该车床更好的满足了切削工艺提出的要求。

（4）由于大大简化了齿轮箱，因此，可以缩短制造时间，减少了齿轮的损耗，及齿轮的振动。

（5）由于采用了可控硅电气调速，因此为该车床进一步自动化提供了条件，如今后可采用程序控制、及用电子计算机控制，操纵车床。也可以组成加工自动线。

由于具有上述特点，因此该车床交付车间使用后，车工工人师傅使用表示很满意。

(二) 系统工作原理及参数计算。

系统工作原理图，见图 6，整个调速系统可分五大部分，下面我们分别介绍其工作原理，并将各部分的设计计算方法做一扼要介绍。