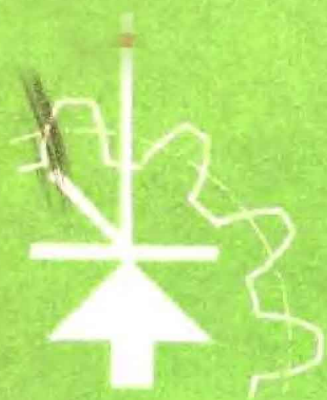




可控硅元件的测试及应用

全国机电系统发展可控硅经验交流会资料选编

(内部资料 注意保存)

第一机械工业部技术情报所
第一机械工业部整流器研究所
上海市机电一局情报站
上海市科学技术情报所

1971年1月

毛 主 席 語 录

领导我们事业的核心力量是中国共产党。

指导我们思想的理论基础是马克思列宁主义。

工人阶级必须领导一切。

备战、备荒、为人民。

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。

中国应当对于人类有较大的贡献。

TN345
1

目 录

可控硅元件控制特性与维持电流半自动测量电路·····	一机部整流器研究所 (1)
可控硅元件的开通、关断时间, 电压上升率及电流上升 率的测量·····	一机部整流器研究所 (4)
硅功率器件特性参数测试线路·····	一机部整流器研究所 (12)
力矩电动机双向可控硅调压装置·····	上海电缆厂、一机部上海电缆研究所 (26)
可控硅直流脉冲调速无轨电车·····	上海公用事业研究所 (32)
单晶炉的温度控制·····	天津市单晶炉会战温控攻关组 (39)
扩散炉温度自动控制器·····	上海无线电14厂 (49)
可控硅交流变频调速·····	广东工学院 (54)
30000瓩汽轮发电机静止式可控硅励磁装置·····	一机部电气传动设计研究所 (58)
小电流等离子弧焊·····	一机部成都电焊机研究室、一机部上海电器科学研究所 (62)
ST-721示波器·····	上海机电一局生产组、电子技术训练班 (72)

000000



A 847415

可控硅元件控制特性与维持 电流半自动测量线路

一机部整流器研究所

控制特性与维持电流测量是可控硅元件出厂试验的必测项目。在大量生产中,目前各厂采用的测试方法,已不适应生产形势发展的需要;因此,简易高效、准确化的测量线路就是非常需要的了。

遵照伟大领袖毛主席关于：“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”的教导，我们在工作中摸索出二种半自动测量电路。由于时间仓促，工作不够仔细，缺点和错误在所难免，希望读者，特别是广大工人同志批评、指正。

一、控制特性的测量

可控硅元件控制特性系指阳——阴极间加 6 伏电压，元件由阻断状态转变到导通状态时

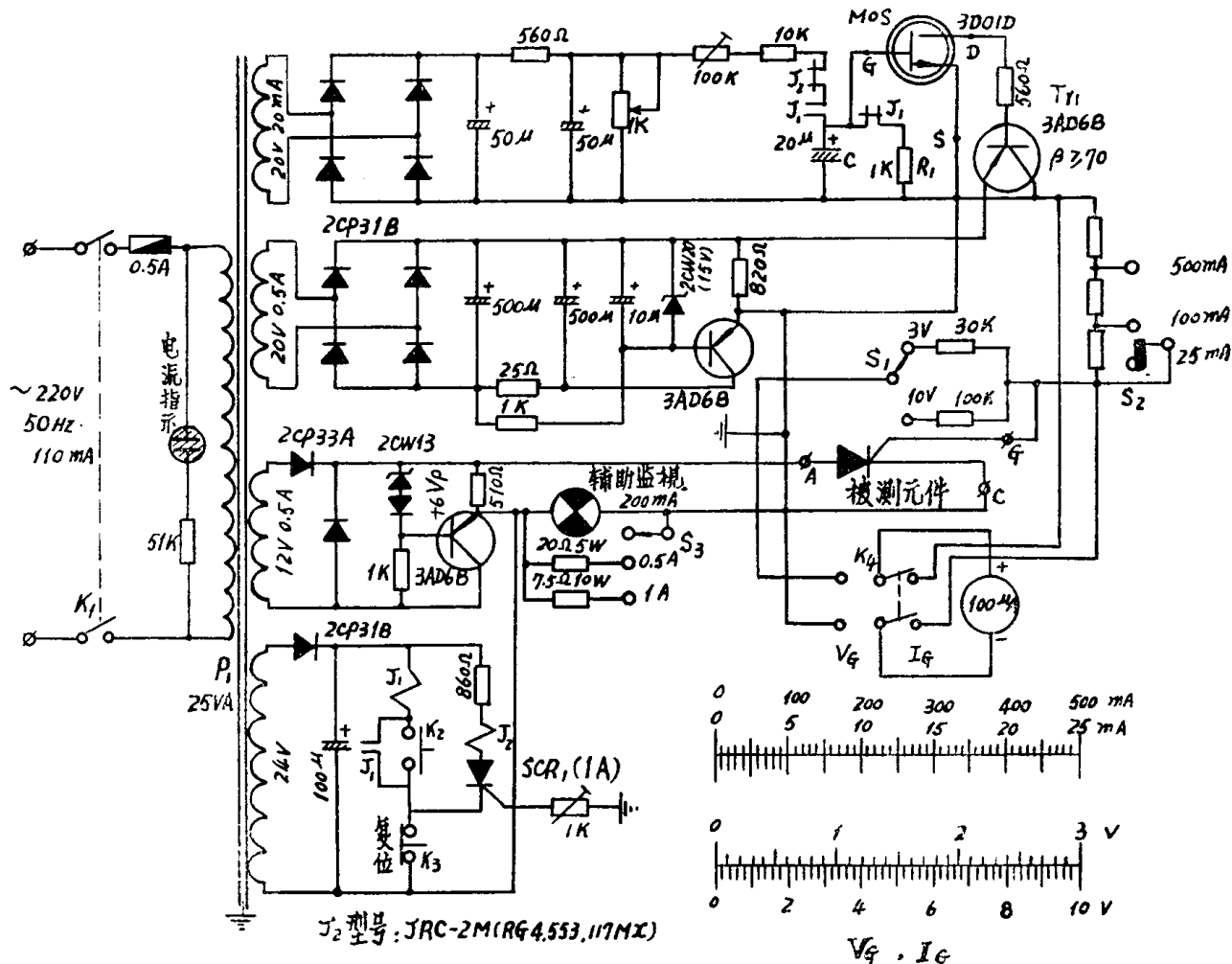


图 1 可控硅元件控制极触发特性半自动测试仪电气原理图。

注: 将被测元件按 A、G、C 接好后按下测量按钮 K, V_G 、 I_G 表头即会自动停止, 在触发点读取此值即为触发特性值。按下复位按钮, V_G 、 I_G 表头即恢复零位。测试完毕。

所需的控制极触发电压、触发电流值。此值随结温上升而下降。测试在室温下进行。

测量程序:

被测元件按 A、G、K 连接。按下测量按钮 K_2 , 待电表指针停稳后, 扳动 K_4 即可读取 V_c 、 I_c , 即为控制极触发电压与触发电流之值。按下复位按钮 K_3 , 电表复“零”位, 测量完毕。

电路原理简介:

将被测元件接好后, 按下 K_2 , 继电器 J_1 动作, 电容 C 充电, 场效应管 $MOS3D_{01}D$ 的栅位上升, 引起晶体管 T_{r1} 集电极电流增加, 亦即被测元件控制极电流 I_c 的增加, 达到触发点时, 被测元件导通, 致使辅助监视灯泡亮。此两端电压触发 SCR_1 使之导通, 快速微型继电器 J_2 动作, 使电容 C 充电停止, 场效应管 $MOS3D_{01}D$ 的栅位保持在被测可控元件触发时的电位上, 因此, T_{r1} 之 I_c 值亦恒定在触发点 I_c 值上, 此值即为触发电流。按下复位按钮 K_3 , 电容通过 R_1 放电, 电表复“零”位。实际测量线路如图 1。

二、维持电流的测量

保持可控硅元件导通状态所需要的最小阳极电流, 称为“维持电流”。它具有负温度特性。当利用控制极触发导通, 在阳极电流很小时, 对某些元件则出现发射极面积局部导通现象。这样所测得的“维持”电流与通常全面积导通的正常值不同。为克服这一弊病, 常常是在阳极先加一个时间很短(数毫秒到数十毫秒)的大电流脉冲(电流不能大到使 $P-N$ 结发热), 使被测元件全面积导通。之后使电流逐渐下降到维持电流值(如图 2 所示)。满足上述要求的半自动测量线路如图 3 所示。

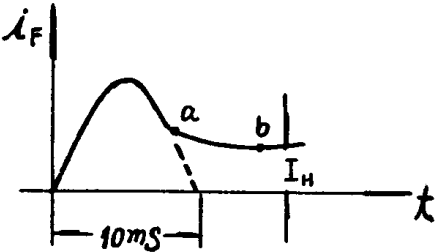
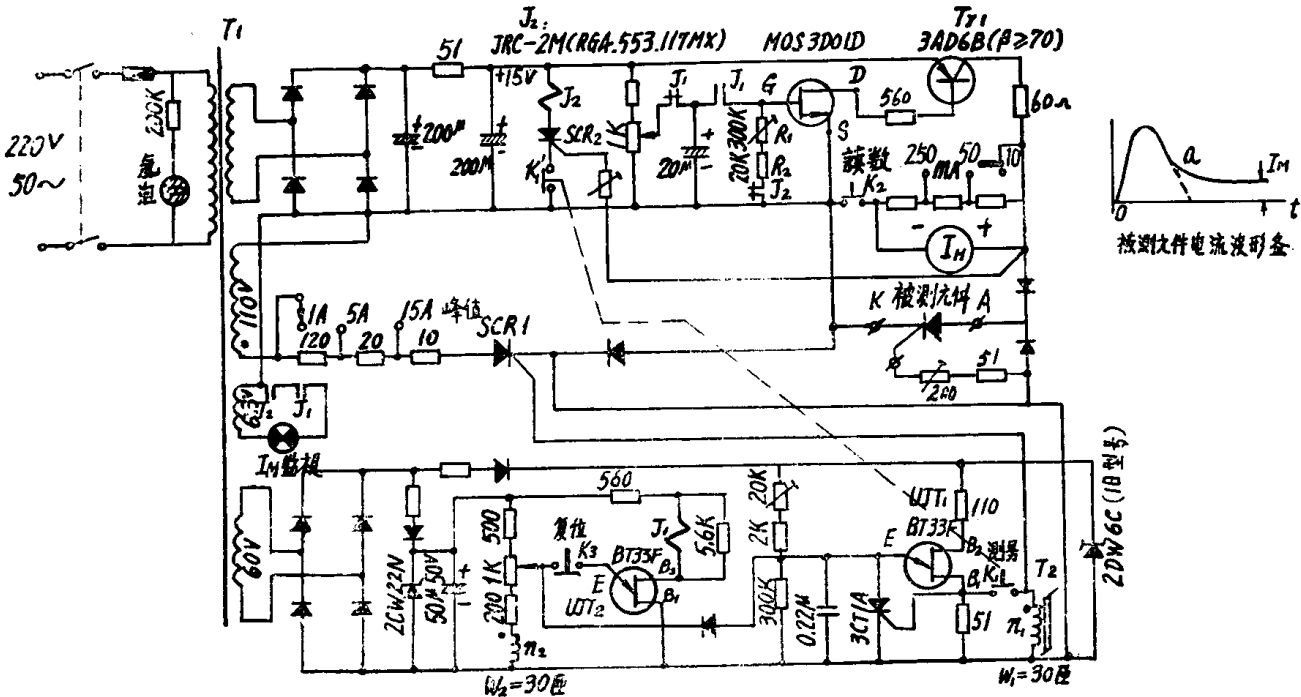


图 2 被测元件电流波形。



测量程序:

被测元件按 A 、 G 、 K 标记连接, 按下测量按钮 K_1 , 待 I_H 监视灯泡亮后, 按下读数按钮 K_2 读取 I_H 值, 即为所测的维持电流。按下复位按钮 K_3 , 测量完毕。

电路原理说明:

当按下 K_1 时, 单结晶体管 UJT_1 通过脉冲变压器 T_2 输出单个同步脉冲使 SCR_1 导通半个周波 (如图 2), 并使被测元件导通。与此同时, T_2 的次级感应电压使 UJT_2 触发, 快速微型继电器 J_1 动作, 使电容器 C 沿 R_1 、 R_2 回路按指数衰减放电; 通过场效应管 $MOS3D_{01}D$ 和晶体管 T_{r1} 的放大作用, 使被测元件阳极电流 i_F 沿点 a 下降到点 b , 即 I_H 点, 被测元件关断。在关断时, 被测元件 $A-C$ 之间将产生一个跃跳电压使 SCR_2 导通, 快速微型继电器 J_2 动作, 断开 R_1 、 R_2 支路, 使 $MOS3D_{01}D$ 的栅极电位保持在被测元件关断时的值。按下 K_2 , 读取 I_H 值。为保证测量值准确, 必须注意二点:

1. T_{r1} 必须工作在放大区, 以免按下 K_2 时, 电流值发生变化。
2. T_{r2} 的共发射极输出特性的动态电阻值要高。

可控硅元件的开通、关断时间，电压 上升率及电流上升率的测量

一机部整流器研究所

毛主席教导我们说：“革命就是解放生产力，革命就是促进生产力的发展。”经过四年来史无前例的无产阶级文化大革命，我国的工业生产有一个飞跃的发展，可控硅元件的应用日益广泛。在应用中对于可控硅元件的开关时间、电压上升率、电流上升率参数提出越来越高的要求。但这几个参数测量工作目前还很不成熟，为了推进这方面工作的进行和技术标准的制订，我们就所了解的情况及曾作过的一些试验介绍如下，供大家参考应用，因水平有限，工作不细，难免有错误之处，欢迎批评指出。

一、基本定义

1. 开通时间

开通时间包括二部分：

从控制极脉冲电流上升到50%起到导通正向电流为全导通正向电流10%的时间间隔为延迟时间 t_d ；从正向电流由10%到90%的时间间隔为上升时间 t_r （如图1）。

2. 关断时间

关断时间也包括二部分：

从正向导通电流转为反向时起（即电流从正到负过零时），到反向电流恢复到零的时间间隔为反向恢复时间；从反向电流恢复到零起到元件控制极恢复控制能力为止的时间间隔为控制极恢复时间（如图2）。

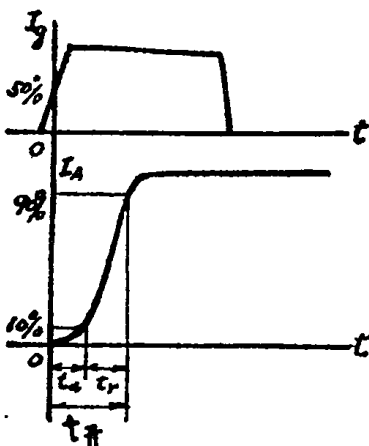


图 1

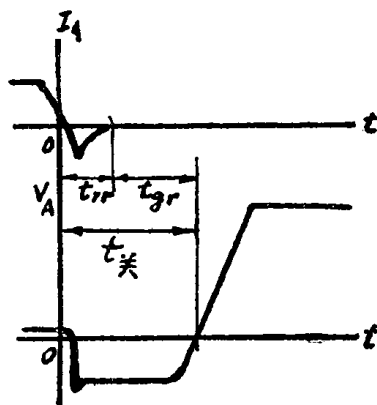


图 2

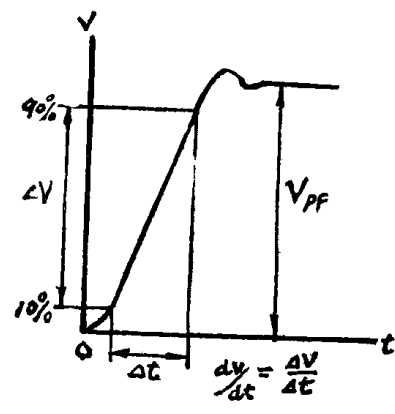


图 3

3. 电压上升率

在控制极断路情况下，元件在单位时间内所能允许上升的正向电压（电压从零升到阻断峰值电压）。在计算电压上升率时，取电压的10%到90%时的电压差 ΔV 除以它上升所需的

时间

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (\text{如图 3})$$

4、电流上升率

元件用控制极开通时，单位时间内允许上升的阳极电流。上升率超过此值时，在控制极附近的结引起局部过热而使元件损坏。在计算电流上升率时，以峰点电流的50%降以它上升所需的时间

$$\text{即} \quad \frac{di}{dt} = \frac{I_F}{2t_i} \quad (\text{如图 4})$$

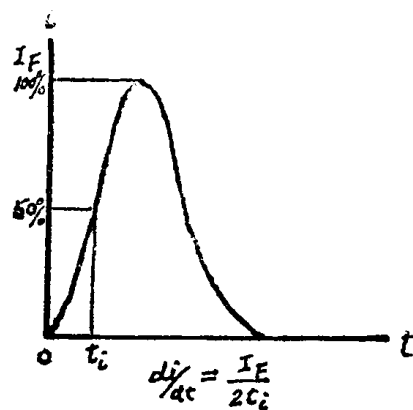


图 4

二、测试方法

1. 开通时间

交流电正半周时通过二极管对 C 充电，负半周时触发可控硅元件。 C 通过 R 、 R_3 对被测元件放电，将控制极电流讯号（即 R_2 上的电压）及阴极电流讯号（即 R_3 上的电压）送至示波器，根据图 1 波形进行测量。

这里：

1) C 、 R 、 R_3 回路时间常数要大于 $10t_i$ （上升时间）。故对于不同电流大小的元件，所需 R 与 C 的值也不同。

2) 电容器 C 的放电回路中电感 L 和回路电阻 $(R + R_3)$ 之比值 $\frac{L}{R + R_3}$ ，必须小于 $\frac{1}{10} t_r$ 。

2. 关断时间

如图 6，首先触发 g_1 、 g_2 ，被测元件流通正向电流，经 $50\mu s$ 后触发 g_3 ， C_2 上的负电压加至被测元件上，将其正向电流切断，经一定的时间间隔触发 g_4 ，重加正向电压加至被测元件二端。 g_4 与 g_3 二触发脉冲的时间间隔可调节。测量时，将电压及电流讯号（即 R_4 上之电压）送至示波器，调节 g_4 与 g_3 触发脉冲的时间间隔由小至大，直至重加电压刚刚能加上，出现如图 2 的波形，即可按图 2 波形测量。

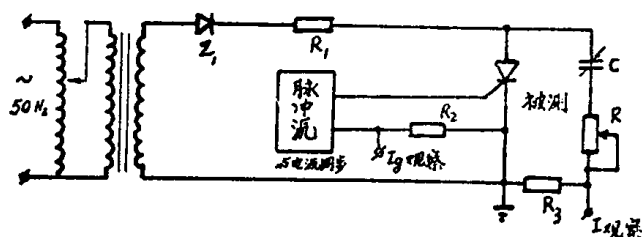


图 5

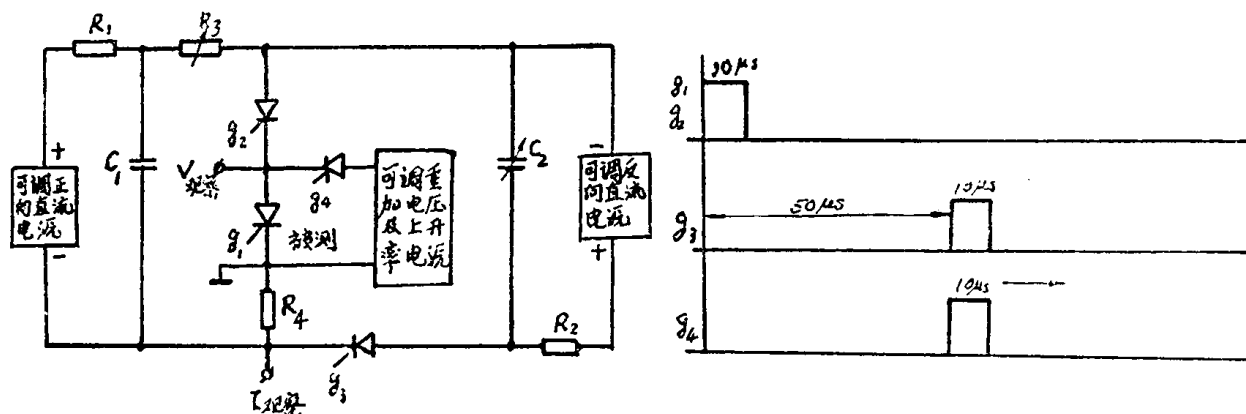


图 6

这里:

- 1) C_1 要足够大, 以至在 $50\mu S$ 的放电时间内放电量不超过 2%。
- 2) 对于不同电流的元件, 反向关断的电荷量不同, 故 C_2 之大小也应不同。
- 3) 为避免 g_3 不适当导通, g_3 之维持电流应尽可能大。

此线路主要优点在于: 元件处于正向导通的时间短, 故工作时元件不发热, 保证测量之准确, 并且电源功率也小, 这对于测量大功率的元件尤其有利。

3. 电压上升率

如图 7 交流电正半周通过二极管对 C_1 充电, 负半周时触发 g_1 , C_1 通过 L, R 对 C 放电。改变 L, R, C 的大小可改变 C 上电压上升率 (也即被测元件上的电压上升率)。在 C 的二端接有二极管限幅器, 它由一个可调直流电源和一个二极管串联组成, 改变可调直流电源的大小, 可以改变 C 二端电压上升的幅度 (也即被测元件二端电压上升的幅度), 将元件二端的电压送至示波器, 就可按图 3 波形测量。采用 L 和二极管限幅器是为了改善上升率的线性。

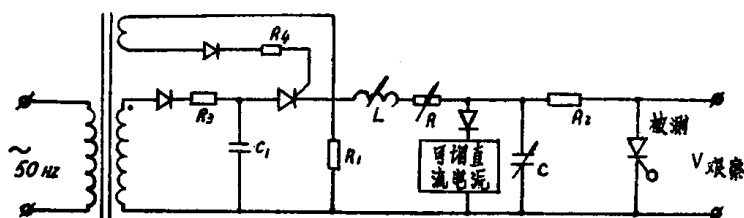


图 7

4. 电流上升率

如图 8, 交流电正半周时通过二极管对 C 充电, 负半周时触发被测元件。 C 通过 R, L 放电, 改变 R, L, C 的大小可改变流过被测量元件电流的幅度及上升率。将电流讯号 (即 R_2 上的电压) 接至示波器, 可按图 4 的波形测量。这里, L, R, C 的值可近似由下式决定:

$$L = 1.68 \frac{t_i V_0}{IF}$$

$$C = 5.6 \frac{t_i IF}{V_0}$$

$$R = 0.54 \frac{V_0}{IF}$$

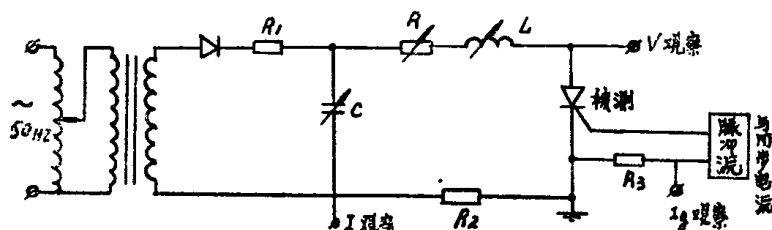


图 8

这里 V_0 是元件导通前的电压, 也即 C 上充上的最高电压。

三、部分试验结果

可控硅元件的开关时间, 电压上升率和电流上升率与测试条件关系极大。为了分析测试条件的影响, 我们做了各种测试条件的开关时间和电压上升率试验。电流上升率因时间关系还未进行, 这里仅就前二部分试验的典型结果介绍如下:

1. 开通时间

影响较大的因素主要有: 控制极触发脉冲的幅度、宽度、前沿, 开通后阳极正向电流大小, 导通前阳极电压大小和结温等六项。

1) 控制极触发脉冲幅度的影响

图 9 是 5 A、50 A 二种可控硅元件的试验结果。当控制极脉冲幅度大于额定 触发值几倍时, 开通时间仍有变化。

2) 控制极触发脉冲宽度的影响

如图10。当宽度大于某值时，其开通时间不变。而此值与不变的开通时间值极相近。

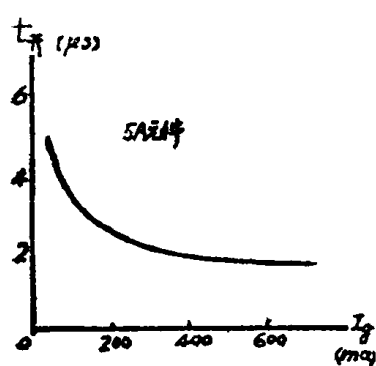


图 9

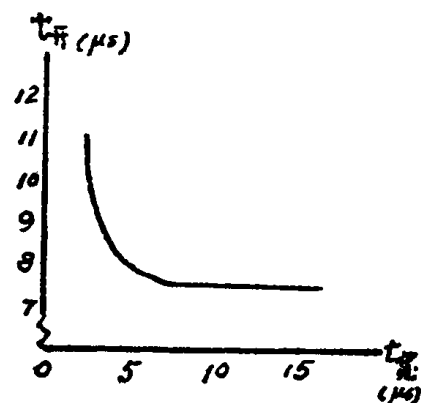
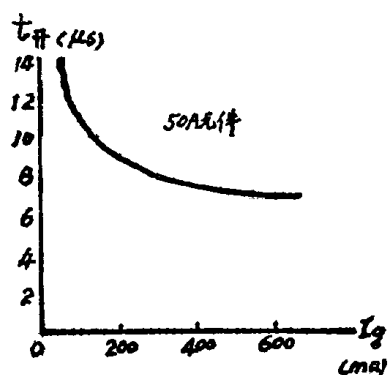


图 10

3) 控制极脉冲前沿的影响

如图11。随着前沿的变坏，开通时间也增大。

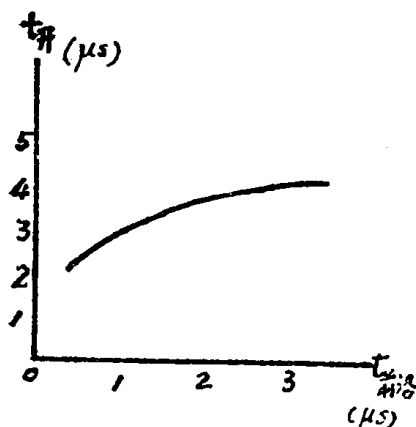


图 11

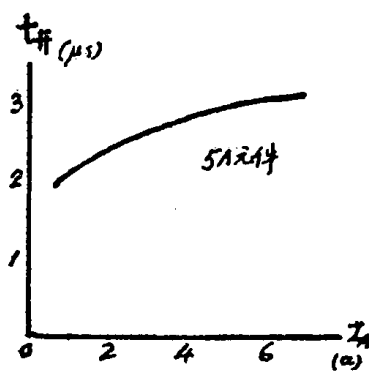
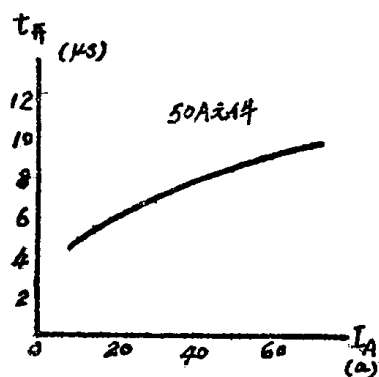


图 12

4) 导通后正向阳极电流的影响

如图12。开通时间是随阳极电流增加而增大，而且当达到等于其额定平均电流值时仍有明显之变化。

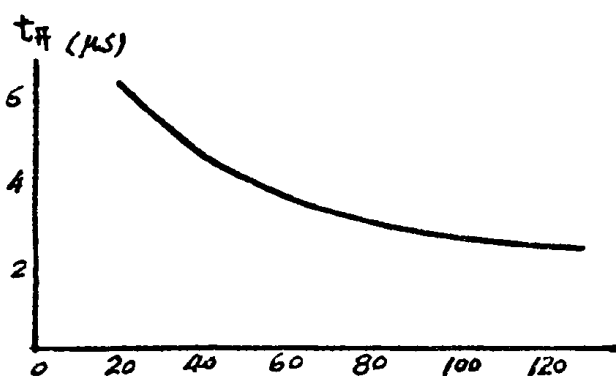


图 13

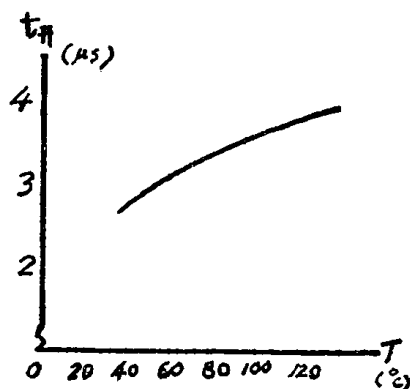


图 14

5) 导通前阳极电压的影响

如图13。随着开通前阳极电压的增高，开通时间变短。

6) 结温度的影响

如图14。随着结温的增加, 开通时间略有增加。

2. 关断时间

影响较大的因素主要有: 结温, 导通时正向阳极电流, 关断后重加电压之大小, 关断时反向电流、电压大小, 关断时反向电流上升率以及关断后重加电压的上升率等六项。

1) 结温度的影响

如图15。结温对关断时间, 有很明显的影响。

2) 导通时正向电流的影响

如图16。与对开通时间的影响相似, 当正向电流达到等于其额定平均电流值时仍有较明显的变化。

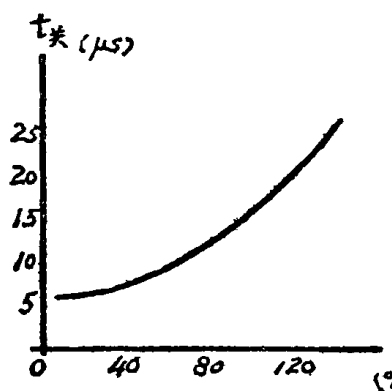


图 15

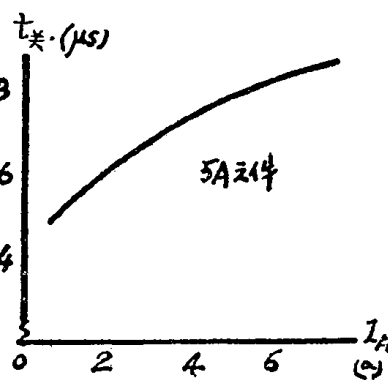


图 16

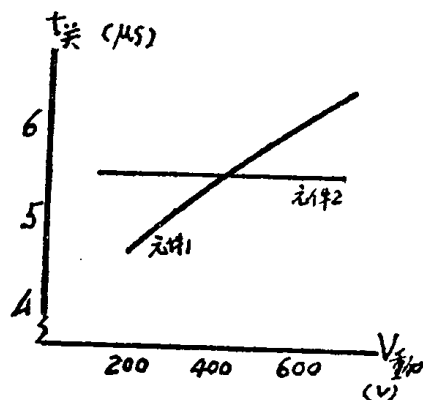


图 17

3) 关断后重加电压大小的影响

如图17。发现有的元件有明显的影响而有的元件则影响不大。

4) 关断时反向电流、电压大小的影响

如图18。随着反向电流、反向电压的增加, 关断时间减短, 此项影响也较显著。

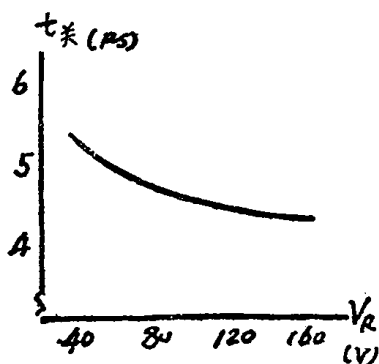
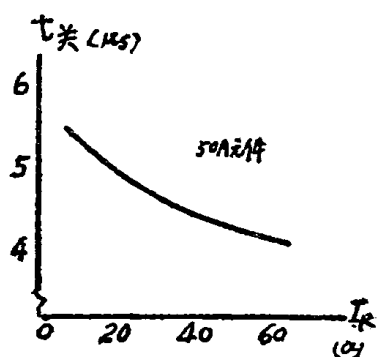


图 18

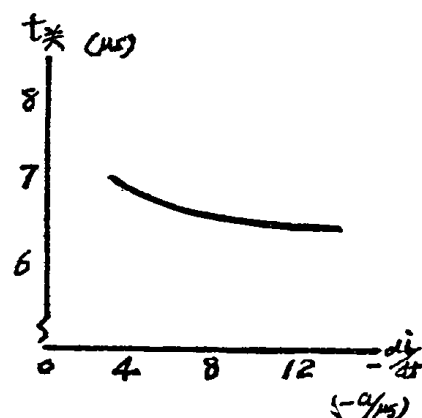


图 19

5) 关断时反向电流上升率的影响

如图19。反向电流上升率对关断时间的影响是较小的。

6) 关断后重加电压上升率的影响

如图20。与重加电压大小的影响相似, 有的元件影响较大, 有的元件几乎没有影响。

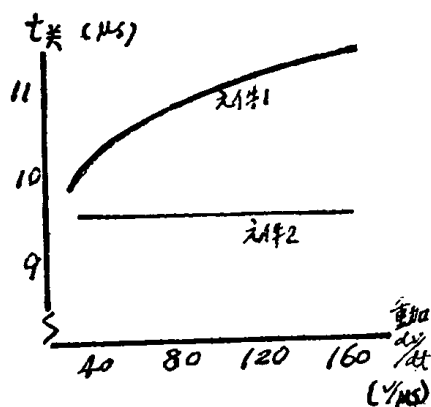


图 20

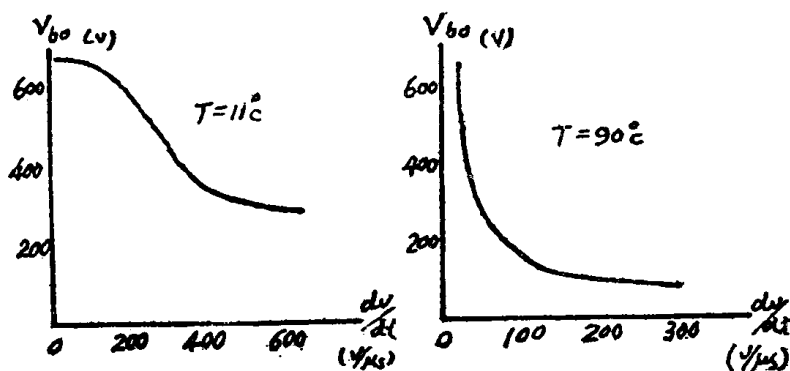


图 21

3. 电压上升率

图 21 给出的是结温在 $T = 11^{\circ}\text{C}$ 和 $T = 90^{\circ}\text{C}$ 下，元件正向转折电压随电压上升率增加而下降的情况。同时可以看出，对于同样的转折电压，随着结温的增高，元件所能承受的电压上升率也显著下降。

四、测试条件与测试线路

从上述实验结构可知，各种条件对开关时间的影响极大。为了保证测量的准确性，有必要将各种条件进行一定的限制和规定。选择和规定这些条件时应当考虑到：

(1) 为保证测试的一致性，对于影响较大的条件，应当规定较小的变化范围。

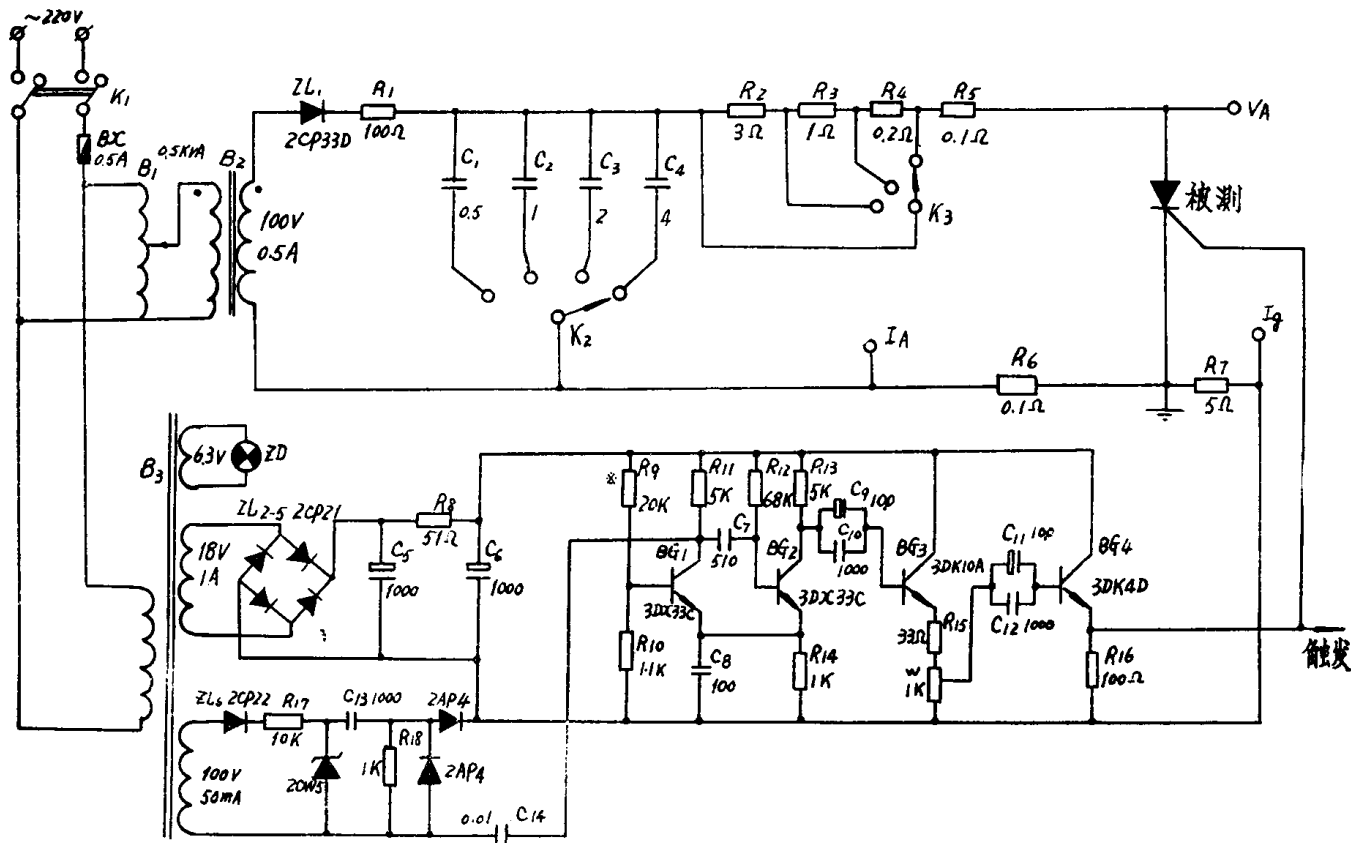


图22 可控硅整流元件开通时间测试线路图。

注： $R_2 \sim R_7$ 均为无感电阻。

(2) 应当在最不利的情况下测量。

(3) 照顾到实际使用水平和使用情况。例如，测量开通时间，决定控制极触发脉冲的前沿时，要考虑到一般能达到的水平。

具体测试条件与测试线路

考虑到上述原则，经过 70 年 9 月在上海召开的全国机电系统 2CZ、3CT 技术标准修订会的讨论，规定如下测试条件。

1 开通时间 ($t_{\text{开}}$):

室温，控制极脉冲幅度等于二倍控制极触发电流，宽度 10 微秒，前沿 0.5 微秒，导通前阳极电压 50 伏（电流容量大于 100 安的为 100 伏），导通后阳极电流峰值等于其额定平均值。测试线路见图 22。

2 关断时间 ($t_{\text{关}}$):

额定结温，开始关断时正向阳极电流等于其额定平均值，反向电流等于 1/3 关断时正向电流值，重加电压大小为 1/2 阻断电压，电压上升率为 20 伏/微秒。测试线路见图 23。

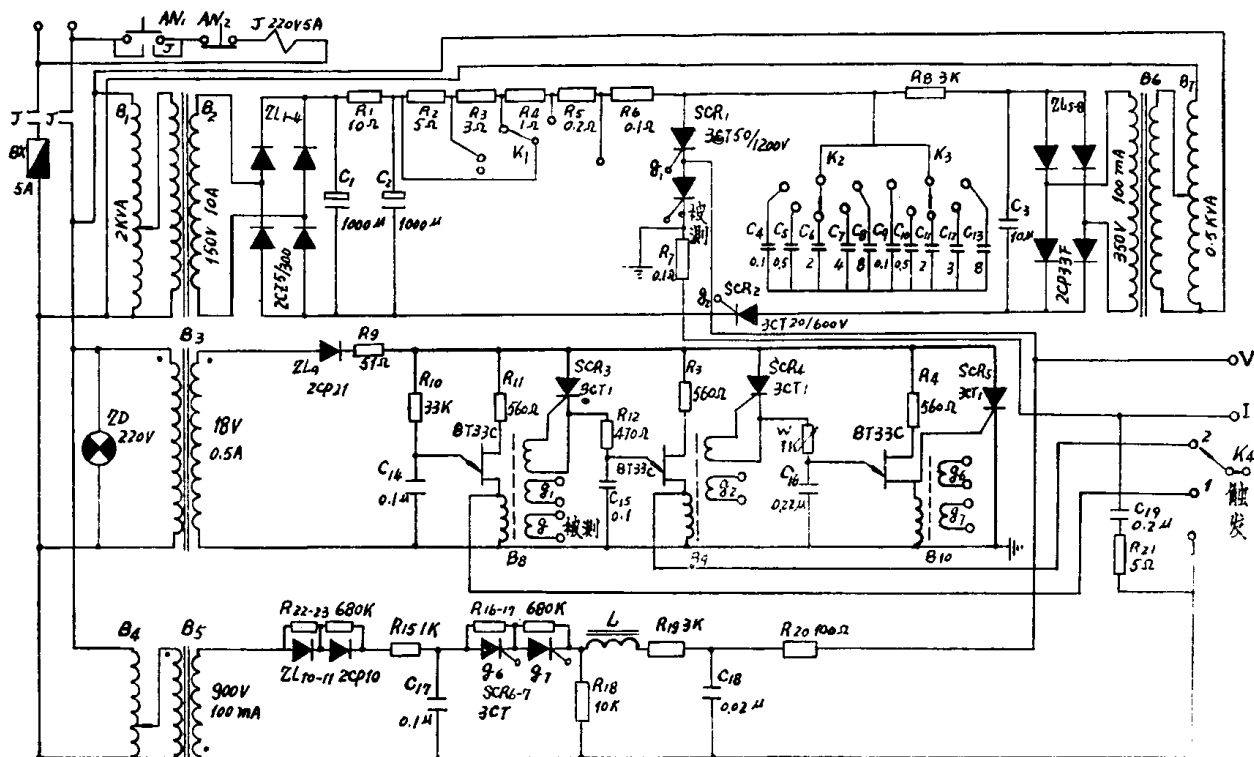


图23 可控硅整流元件关断时间测试线路图。

注：B₈~₁₀ 采用 F₂H₁₀ 型或 M200A $\phi 10 \times 6$ 型脉冲变压器磁芯或 E7 型磁芯初级、次级每组 60 匝， $\phi 0.3$ 漆包线
 SCR₁ 之反向恢复时间应较被测元件长，但不能大于被测元件之关断时间，一般选择 5 μ S 左右
 SCR₂ 之维持电流应大于 30mA
 SCR₃~₅ 之维持电流应小于 3mA
 L 采用 $\phi 45$ 之环形磁芯 $\phi 0.3$ 漆包线 300 匝。

3 电压上升率

额定结温，控制极开路，加 1/2 阻断电压。测试线路见图 24。

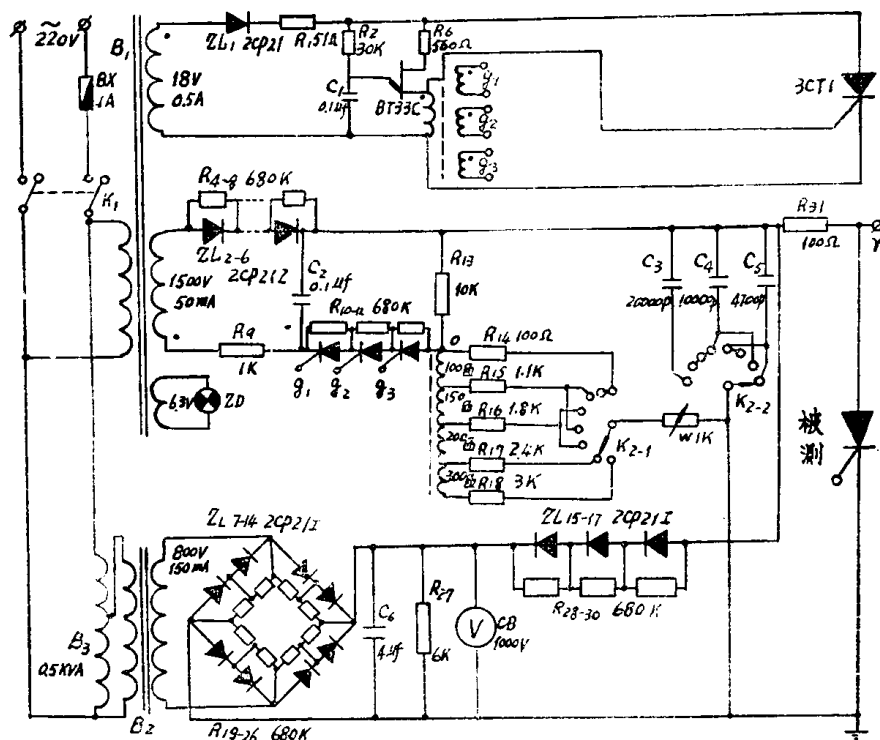


图24 可控硅整流元件 dV/dt 测试线路图。

注: L 采用 $\phi 45$ 之环形磁芯 $\phi 0.3$ 漆包线 300 匝, 在 100, 150, 200 匝处抽头

B_4 采用 F_2H_{10} 型或 $M-200A \phi 10 \times 6$ 型脉冲变压器磁芯或 $E7$ 型磁芯初级、次级每级 60 匝, $\phi 0.3$ 漆包线

硅功率器件特性参数测试线路

一机部整流器研究所

在毛主席“**独立自主、自力更生**”的伟大方针指引下，全国发展可控硅的群众运动蓬勃兴起，可控硅元件的试制与生产已遍及全国各省市，为了进一步促进可控硅元件生产的发展，提高质量，增加产量和统一技术标准适应战备的需要；我们选编了硅整流元件与可控硅元件的特性参数测试线路。（其中包括硅整流元件、雪崩硅整流元件、可控硅元件、可关断可控元件、双向可控硅元件）供有关制造厂参考使用，由于我们工作做得不够仔细，缺点与错误在所难免，请广大工农兵批评指正。

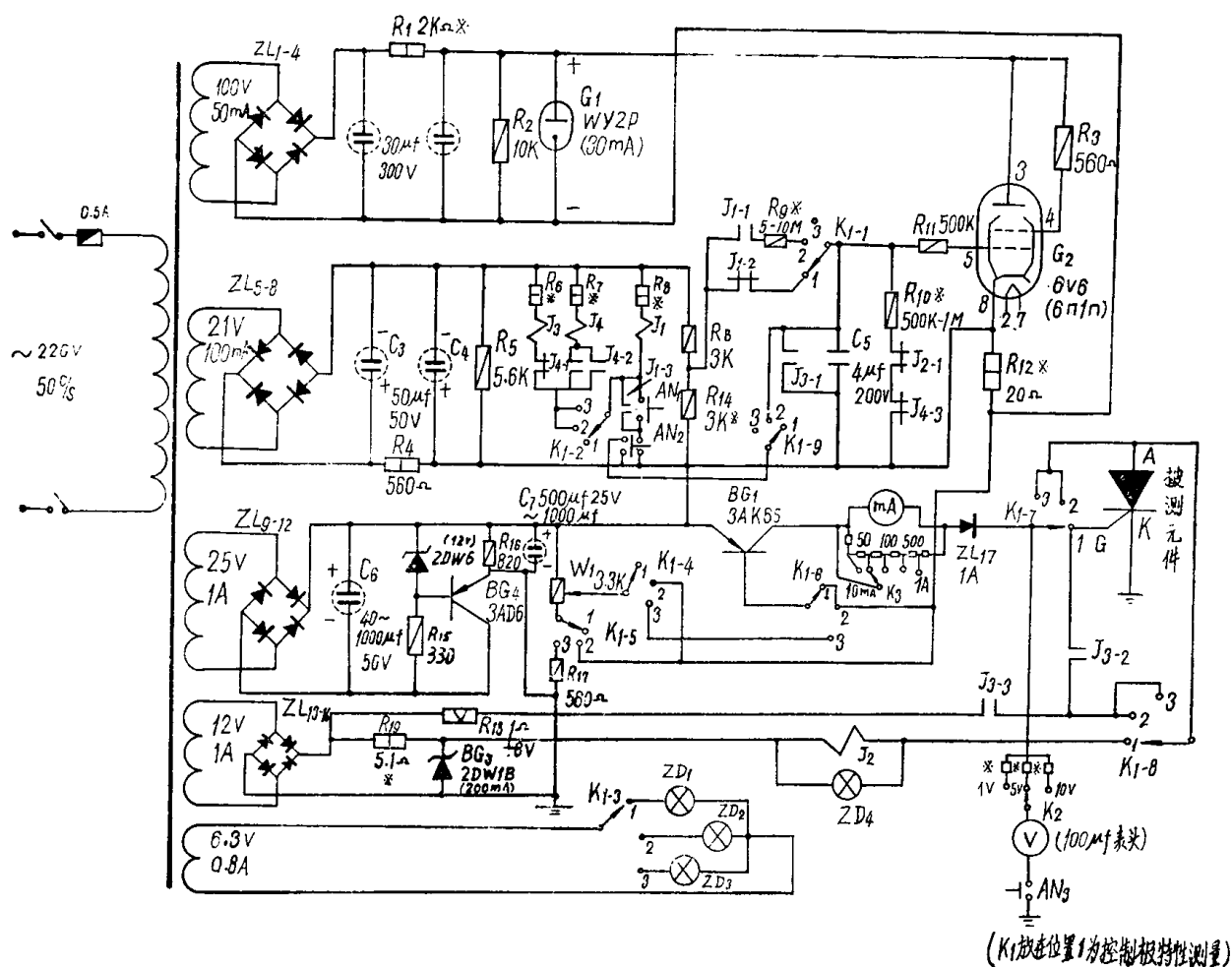


图 1 控制极特性, 维持电流半自动测量电路。

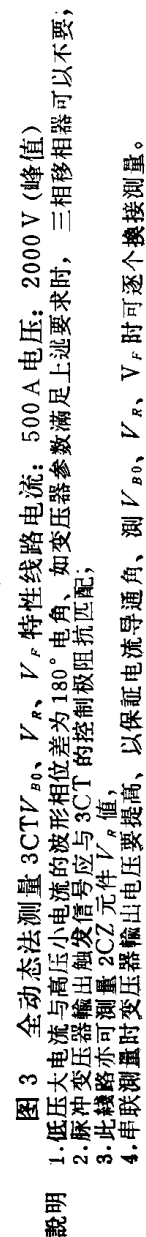


图 3 全动态法测量 3CTV_{B0}、 V_R 、 V_F 特性线路电流: 500 A 电压: 2000 V (峰值)