



# 电容器组大功率可控硅恒流充电电源\*

张泽湘 张长琦

(中国科学院物理研究所)

## 一、本电源性能简介

在受控热核反应和激光工程中,都广泛采用电容器储能技术。一般采用调压器升压的高压电源作电容器组充电电源。我们研制成功了5kV, 20kV两种规格的三台大功率可控硅恒流充电电源。采用闭环控制方式,使输入到高压变压器初级的电压随着电容器组所充电压成比例地升高,从而维持充电电流平均值恒定不变(充电电流仍为脉动直流,不是恒定直流)。在高

压侧仅有阻值很小的限流电阻。如果在充电中电容器短路放电,则输入到变压器初级的电压也很快下降,便于保护电源。另外,控制线路中设置了过流截止保护和快速晶体管过电流保护。此外,充电电流在额定值以下可以随意调节,三相的对称性也可以随时加以调整。

这里介绍5kV恒流电源。其额定充电电流(高压侧)为5安培。采用三相工作方式。

通过两年来的使用表明,这种电源与调压器式电源比较,具有操作方便、过流保护动作迅速可靠、充电

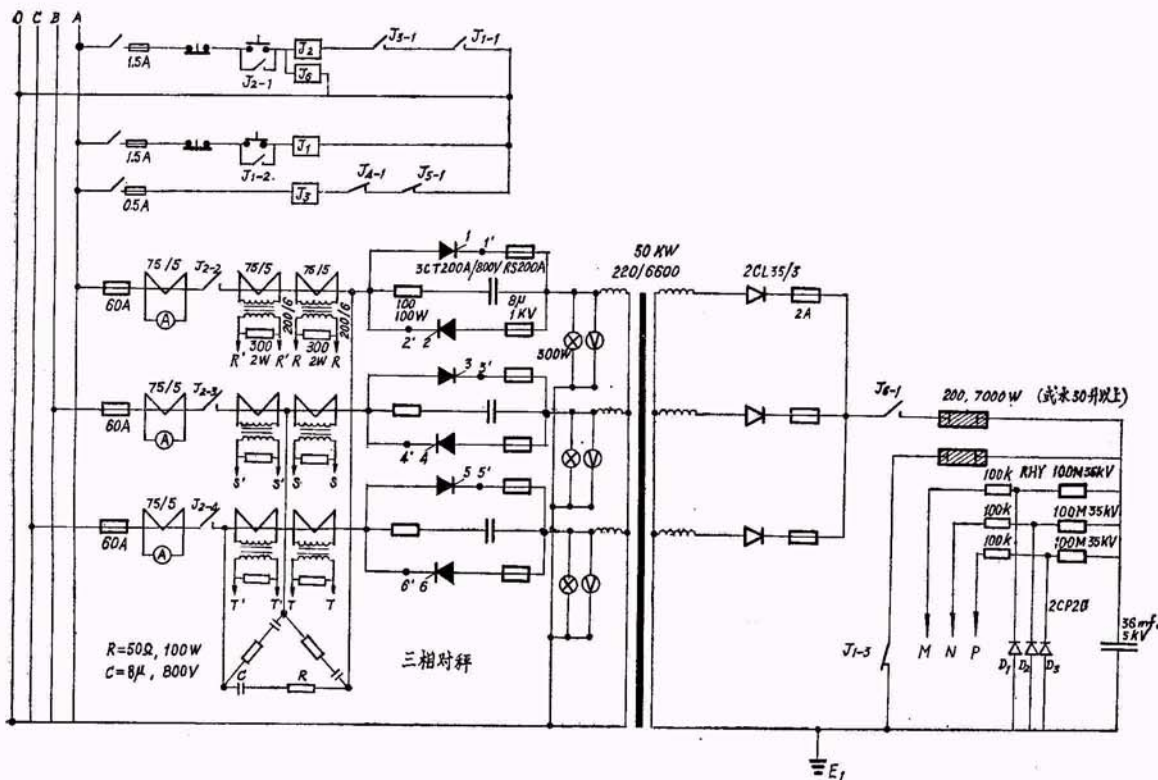


图1 电源主回路

$J_1$ ——泄放继电器,  $J_2$ ——交流接触器,  $J_3$ ——中间继电器,  $J_{4,5}$ ——灵敏继电器(绕组见图3,2),  $J_6$ ——长间隙继电器

快等优点。这种充电方式便于多台电源自动控制,便于做成更大功率的充电电源。由于可控硅的工作方式是断续的,大电流通断有一定干扰,应注意滤波措

施。

\* 1973年12月30日收到。

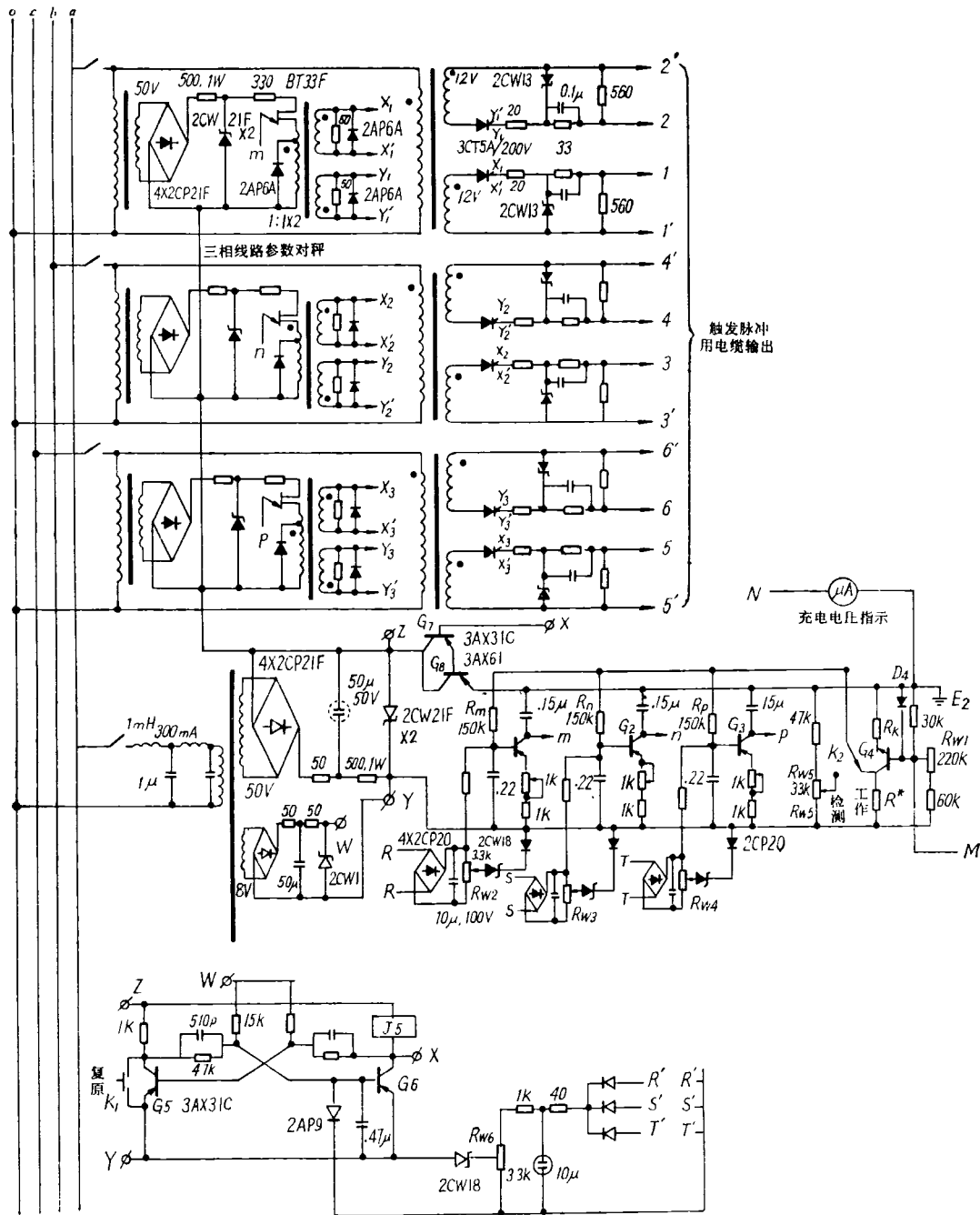


图2 移相触发线路保护线路

$G_1-G_3$ : 3AG70  $G_4$ :  $3D \times 105$   $R^*$ : 调整确定, 3.6k  $R_k$ : 3k 左右  $R_{w1}$ : “初始电流”  
调节电位器  $R_{w2}-R_{w4}$ : “扼流”调节电位器  $R_{w5}$ : 过流动作电流调节

## 二、线路原理

### 1. 主回路

线路见图1。主回路为三相式。可控硅输出端用

灯泡续流。主变压器最好采用三个单相变压器以减少谐波成分。我们用的是—台50kW电力变压器(反用)。高压侧为减少硅堆用量起见,采用半波整流方式。保留的充电限流电阻为200欧姆。电容器不充电时经—水电阻及“泄放”继电器  $J_1$  的常闭触点接地。

充电时提起泄放器、启动接触器就可充电。RR、SS、TT 和 R'R'、S'S'、T'T' 给出主迴路初级相电流取样讯号。实验中,当电容器组经引燃管对负载放电后,原来的正高压会变成负高压。为了使负高压不致对控制线路产生危害,加了二极管  $D_1-D_3$ , 将分压后的负压短路。M、N、P 给出电容器组充电电压取样讯号。

## 2. 移相触发线路

参看图 2。主迴路可控硅之触发采用小可控硅之输出脉冲。小可控硅的触发采用标准的单结晶体管触发线路<sup>[1]</sup>, 不予赘述。这里仅就本线路的某些特殊之点加以说明。

自动移相过程: 开关  $K_2$  打向“工作”这一边。电位器  $R_{W7}$  在调整时已调在适当位置, 使当 M 无讯号输入时可控硅也有脉冲输出, 其前沿位相约在  $150^\circ$  左右, 相应于主迴路可控硅有  $30^\circ$  左右的导通角, 从而一起动就有额定充电电流。改变  $R_{W7}$  可以调节充电电流。此电位器称为初始电流调节电位器。以后, 随着电容器充电电压的上升, 从 M 注入到  $G_1$  管的偏流越来越大, 使  $G_1$  管集电极电流不断加大, 电阻  $R^*$  上电压降不断增加, 从而使  $G_1$ 、 $G_2$ 、 $G_3$  管的偏流加大, 可控硅导通角不断开大。  $R^*$  的大小决定正反馈的强弱和移相速度。调整时, 使由  $R^*$  决定的移相速度略快于电容器电压上升的速度, 从而充电电流有缓缓加大的趋势。但是由于  $G_1$ 、 $G_2$ 、 $G_3$  管还综合了取自过流截止环节(下述)的负反馈, 正负反馈共同作用的结果保证充电电流不变。电阻  $R_m$ 、 $R_n$ 、 $R_p$  是相间隔离用的。有了这电阻后, 各相可控硅导通角的移动可以互不影响, 各相相电流可以分别调节(调节“扼流调节”电位器来实现, 作为三相对称性的辅助调节)。  $K_2$  开关的“检测”档是调试用的。当  $K_2$  打向“检测”位置时, 调电位器  $R_{W7}$ , 同样可达到移相目的。晶体管  $G_7$ 、 $G_8$  是快速保护用的(见下文所述)。

必须特别指出, 图 2 和图 3 中的接地点  $E_1$  和图 1 中的接地点  $E_1$  决不能是同一点, 控制线路的接地线和电容器放电迴路中的接地线必须分开(以防止瞬态高压损坏控制线路), 二者都必须良好接地。

## 3. 保护环节

参看图 2 和图 1。图 2 中 RR、SS、TT 及其后的整流和稳压管线路部分构成电流截止反馈环节<sup>[1]</sup>。当主迴路初级相电流超过某一值时, 在三极管  $G_1-G_3$  的基极迴路中有明显的反向偏流注入, 从而使可控硅导通角关小, 迫使主迴路初级相电流降下来。当相电流小于阈值电流时, 电流截止反馈环节不起作用。阈值电流大小的控制可以通过调“扼流调节”电位器来改变。

晶体管  $G_7$ 、 $G_8$  及图 2 下部的双稳态线路构成快速断电式保护。如主迴路电流超过额定值的 120% (这个整定数亦可通过调电位器  $R_{W7}$  来改变), 则由  $G_7$ 、 $G_8$  构成的双稳态反转,  $G_7$  导通, X 点电位接近 Y 点电位, 从而使  $G_3$  截止, 中断可控硅触发讯号, 切断主迴路电流。此外还通过继电器的动作使接触器跳开。

其它保护都是常规保护, 包括吸收浪涌电压的阻容, 吸收可控硅换向过电压的阻容(参数选得较大, 这一方面因所用可控硅性能较差, 另一方面是因为主变压器是三相的, 谐波分量在小导通角下很丰富, 过电压情况比较复杂之故, 小导通角下主变压器初级相电压波形可见示波图, 图 4), 快速熔断器和低压侧与高压侧的熔丝保护。

另外, 从示波图 5 可见, 在整个充电过程中在每一周内可控硅导通电流的时间并不长。根据这一情况, 我们认为, 两个 200 A 可控硅反并连运用下, 相电流有效值以不超过 60—80 安为宜。现选用的普通熔丝为 60 安。

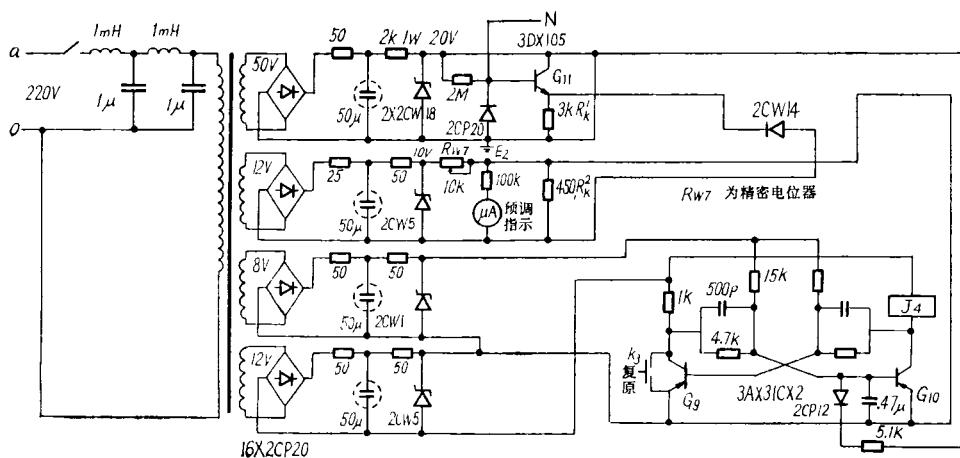


图 3 充电电压预选线路

#### 4. 充电电压预选控制线路

见图3。当希望充至某一电压时,充电启动前可通过调节电位器  $R_{W1}$  来选定,而由预调指示表头指示。充电过程中,充至所需电压后,电阻  $R_K$  上之电压降与电阻  $R_K$  上之电压降的和超过了稳压管 2CW14 的稳压值后,由  $G_9$ 、 $G_{10}$  组成的双稳态反转,  $G_{10}$  导通,继电器  $J_4$  带动  $J_3$  和接触器脱扣,自动停止充电。

### 三、调试方法及问题处理

#### 1. 对称性调节

先调三相触发脉冲(小可控硅输出)移相的对称性。三相控制线路元件的参数应尽可能对称一致。然后调节移相管  $G_1$ 、 $G_2$ 、 $G_3$  发射极电阻,把开关  $K_2$  打向“检测”一边,调动电位器  $R_{W1}$ ,观察触发脉冲的移相是否对称。进一步以续流灯泡或外接电炉丝作为主回路可控硅负载,调动  $R_{W1}$ ,观察主回路可控硅在电阻性负载下的开通是否对称,若不对称,仍然调节移相管射极电阻来补偿。最后接上主变压器给电容器组充电,通过扼流调节电位器  $R_{W2}$ 、 $R_{W3}$ 、 $R_{W4}$  来进行对称性的辅助调节。

#### 2. 正反馈速度调节

调节  $R^*$ (图2),使移相速度略大于电容器电压上升速度,即在电流截止反馈电位器  $R_{W2}$ — $R_{W4}$  全部关死的情况下,工作电流(由初级表头监视)有缓慢增大的趋势。然后拧动电位器  $R_{W2}$ — $R_{W4}$  至适当位置就能维持恒流充电。如果拧动扼流调节电位器还不能影响主回路相电流,那末一般是电流取样线路的参数不当(太微弱),应进行适当修改。

如果正反馈调得太强,或者初始电流电位器  $R_{W1}$  调得不当(初始导通角太大),则主回路初级相电流指示表头的指针会发生快速颤动的现象,这时应减弱正反馈或减小“初始电流”。

如果相电流指示表头发生大幅度摆动,则属于故障情况,一般是晶体管  $G_4$  或移相管  $G_1$ 、 $G_2$ 、 $G_3$  中有损坏。

在夏天气温升高的环境中使用时,“初始电流”调节电位器应拧到小初始导通角的位置。

#### 3. 调定过流动作电位器 $R_{W6}$

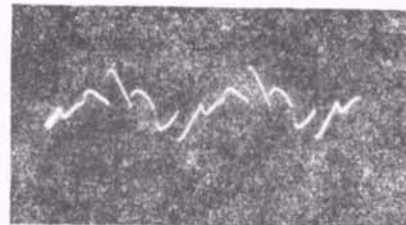
把开关  $K_2$  打向“检测”一边,把扼流调节电位器全部关死(扼流负反馈环节不起作用),选择电位器  $R_{W6}$  的适当位置,使得在突然旋动电位器  $R_{W6}$  使相电流突然加大到额定值的 120% 时过流保护部分能动作,切断电流。

#### 4. 预调表头刻度

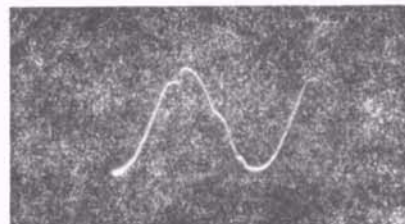
旋动电位器  $R_{W1}$ ,即改变  $R_K$  电阻上之压降(图3),当所需充电电压越高时,此压降调得越小。在  $R_{W1}$  的每一个不同位置,预调指示表头有一读数,同时对应一个充电电压(由实际充电时的充电电压刻度)。如果不能充分利用表头量程,可适当改变乘积  $\beta R_K$ 。这里  $\beta$  是  $G_{11}$  管的电流放大倍数,设计时选择  $G_{11}$  管的电源电压高于稳压管的稳压值二倍以上,以保证预调控制的线性度。

#### 5. 电源性能检测

全部调整工作完成后,就进行电源性能测试工作。包括主变压器初级、次级电流和电压波形观察;恒能特



刚开始充电时



接近充到额定电压时

图4 主变压器初级相电压波形

性曲线检测;过电流动作时间测量;负载电容器完全短路(接地)情况下开大可控硅初始导通角观察电源工作情况(这个实验的目的是考察扼流环节的性能。结果表明,尽管启动前给定了近于输出 210 伏的最大导通角,启动后由于扼流环节的作用,实际导通角自动关小,充电电流仍为整定值)等。关于电源性能检测的实验结果可见文献[2]。这里仅举出部分示波图。另外,还观察了高压侧某一相(或两侧)不接硅堆时电源的工作情况(模拟实用时可能出现的情况),这时初级回路对应的一相(或两相)相电流为零,但工作的两相(或一相)仍正常工作,相电流为额定值不变。显然,这是由于采用了过流截止保护、相间隔离措施和主变初次级均为 Y 形接法之故。

### 四、使用情况

本电源用来给一电容量 38 毫法拉、(下转 242 页)

说既不是定论,也不是空想。假说在得到实践证实之后,才上升为理论。而由假说上升为理论的过程,并非一帆风顺的。在科学史上,科学理论的形成和发展,往往是通过许多互相排挤的假说迅速更替的形式来实现的。在唯物辩证法看来,这是科学认识发展的正常途径。但是,在形而上学看来,这反而意味着人类的认识总是从假说到假说,总是停留在假说阶段,因而很容易引起这样一种观念:我们不可能认识事物的本质。恩格斯指出,这种观点的“最后的形式”,就是康德的所谓不可认识的“自在之物”。而这种观点同自然科学是不相容的,因为“科学正是要研究我们所不知道的东西”(第196页),即研究尚未认识之物的,否认了客观事物的可知性,也就否认了科学研究的必要性。

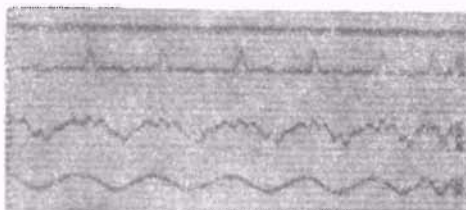
恩格斯对于耐格里、赫尔姆霍茨等人在科学上鼓吹不可知论的开倒车行为的上述批判,对于我们今天在自然科学领域中坚持前进、反对倒退,坚持辩证唯物主义的反映论、反对形而上学的经验论和不可知论,具有重要的现实意义。在科学发展的过程中,利用自然界中一些尚未获得满意解释的现象,以及科学技术上尚未解决的问题,贩卖不可知论等哲学上怪论的事是很多的。1964年,法国物理学家皮埃尔·俄歇曾以《科学的极限》为题发表文章,提出了四个所谓科学的极限:1.人类可观测的范围是有限的,人类无法观测到距地球100亿或150亿光年的河外星系。2.人类的

旅行有极限,不可能访问太阳系以外的行星。3.人类用加速器获得的能量有极限,永远不能达到宇宙射线的能量。4.人类的思维迟早要达到它的极限,那时,不是思维的“贫乏”,就是“重复”过去人类思维的成果。俄歇所谓的《科学的极限》同当年耐格里等人所谓的《自然科学认识的界限》一样,都是企图复活不可知论的在科学上开倒车的行为,同时,也是资产阶级没落思想在科学领域中的反映。我们说,任何为科学技术的发展规定“极限”的做法都是徒劳的。“**在生产斗争和科学实验范围内,人类总是不断发展的,自然界也总是不断发展的,永远不会停止在一个水平上。**”人类在一定历史阶段上作不到的事情,并不等于永远也作不到。事实上,在俄歇提出以上四个“极限”不久,实践的发展已经冲破了他为天文观测规定的100亿光年的“极限”。现代自然科学发展的历史表明:在科学认识的发展上,除了在一定历史阶段有其时代的局限性以外,所存在的毋宁说是资产阶级形而上学和唯心主义世界观的局限。为了克服这种世界观上的局限,必须自觉地学习和逐步掌握唯物辩证法这一强大的理论武器。

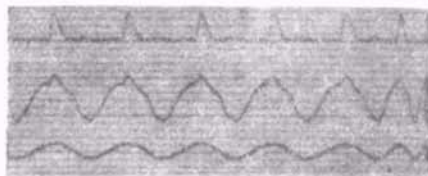
1) 转引自《周恩来总理在第三届全国人民代表大会第一次会议上的政府工作报告》,一九六四年十二月三十一日《人民日报》。

(上接 246 页)

电压5千伏的电容器组充电。投入使用两年来,工作比较正常。有数次电容器在充电过程中突然短路放电,



刚开始充电时摄得



接近充电主额定电压时摄得  
(用SC-16光线示波器拍得)

图5 主变压器初级相电压、相电流的位相关系。  
次级为三相半波整流,给电容充电  
上线:主变初级相电流波形  
中线:主变初级与上线同相之相电压波形  
下线:可控硅输入侧(网侧)同相相电压  
(作比较位相关系之参考波形)

还有一次电容器组中一台电容器爆炸,但电源完好无损。在夏天气温很高,触发线路机壳内的温度高达摄氏40余度,这时“初始电流”明显加大,充电电流指示表头发生抖动。采取调节初始电流电位器的措施后可克服这一现象,进一步改进应考虑风冷措施。充电限流电阻原来用水阻,在每天充电120次的情况下水阻(水量30升)发热很显著,水阻维护工作比较麻烦现在充电电阻改用5根1000瓦电炉丝串接来取代。泄放电阻仍为水阻,它就是一个躺开的水池,其中注入自来水,水中加少量硫酸铜(另有电极)。这样的电阻系统在每五分钟充电一次的频率下可长期工作。

温度漂移对预选电压控制的精度有一定影响。这台电源预选电压控制的精度为 $\pm 150$ 伏。预选电路可考虑进一步改进。

本电源在安装过程中承物理所修理组宋廷昭同志和邢雅娟同志加工了全部触发脉冲变压器和控制线路的电源变压器,由物理所工厂加工了机壳。

### 参 考 文 献

- [1] 清华大学自动化系、北京电机修理厂编,《可控硅整流装置》,(1971)。
- [2] 张泽湘,《恒流电源实验报告》,中国科学院物理研究所104组内部资料,1973年1月。