

# 太阳磁场望远镜KD\*P电光调制器高压电源的研制

陈在得 蒋晓峰

(福建物质结构所)

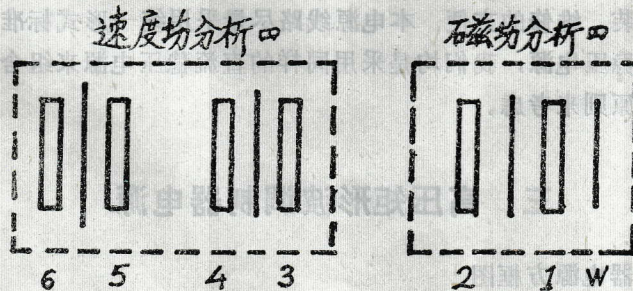
## 一、引言

在太阳磁场望远镜中采用干涉偏振滤光器作单色器，可以在 $\lambda_1 = 5324.198 \text{ \AA}$ 和 $\lambda_2 = 4861.342 \text{ \AA}$ 两个波段上工作，具有电视——计算机、光电倍增管、照相三种接收系统，可以测量太阳大气两层中的磁场、纵向速度场、亮度场等十个物理量，是一台综合性的太阳观测仪器。

望远镜中的磁场分析器和纵向速度场分析器主要由纵调KD\*P电光晶体和高压调制电源组成，KD\*P的状况如图1所示，它与高压电源相互配合，作用如下：

1. 当采用电视——计算机接收时，在KD\*P1和2上加 $0.1c/s$ 、幅度为 $\pm \frac{\lambda}{8}$ 的矩形波电源，与波片W的不同状况相结合，分别测量磁场的三个分量的分布。另外在3和4、5和6上加 $0.1c/s$ 、幅分别为 $\pm \frac{\lambda}{8}$ 和 $\pm \frac{\lambda}{16}$ 的同相矩形波电源，用以来测量纵向速度场。

2. 当采用光电倍增管作接收器时，在KD\*P 1和2上加 $135c/s$ 、幅度为 $\pm \frac{\lambda}{8}$ 的矩形波电源，在3和4、5和6上加频率相同但位相与1和2上所加矩形波相差 $\frac{7}{4}$ 的矩形波，幅度分别为 $\pm \frac{\lambda}{8}$ 和 $\pm \frac{\lambda}{16}$ ，这样可以同时测量纵向磁场和纵向速度。如果在1和2上加频率为 $270c/s$ 幅度为 $\pm \frac{\lambda}{4}$ 的锯齿波，则可以同时获得横向磁场的两个分量。





根据上述的要求,需要研制有关的矩形波和锯齿波高压电源,并能根据波长变化以及测量内容的变化,转换所提供电源的型式以及所对应的电压幅度。

根据仪器的总体指标,对各种电压波形提出了相应的要求,由于矩形波存在有一定上升时间,这个上升时间引起的波形误差,经过了KD\*P调制器及滤光器作用,会引起出射光电流的畸变,这样会影响测量视线速度的精度,以及干扰磁场信号。因此为了保证整个系统测量精度,要求矩形波峰一峰的上升与下降时间控制在74微秒以内,也就是其半波上升与下降时间应在37微秒以内,这相当于矩形波周期的 $\frac{1}{100}$ ,对于电压纹波,要求矩形波顶部不规则起伏应小于幅度的 $\frac{1}{200}$ 。

对锯齿波的要求是(1)由于锯齿波上升沿的非线性,造成顶部下降的数值和锯齿波上升沿完全线性情况下锯齿波幅度之比应为 $\frac{1}{100}$ ; (2)锯齿波的回扫时间,它主要影响所测信号的振幅强度。如原测的信号强度为1,当回扫时间为周期的 $\frac{1}{37}$ 时,测出的强度为 $1 - \frac{1}{37} = 0.973$ ,这个误差可以使用,但不理想,因此要求锯齿波回扫时间最大不能超过周期的 $\frac{1}{37}$ (100微秒),希望尽可能减少回扫时间。

## 二、基本方案

整个太阳磁场望远镜调制器电源,事实上是包括了(1)频率为135c/s、幅度为 $\pm \frac{\lambda}{8}$ 矩形波;(2)频率为135周、幅度为 $\pm \frac{\lambda}{8}$ 、移相 $\frac{T}{4}$ 矩形波;(3)频率为137c/s、幅度为 $\pm \frac{\lambda}{16}$ 矩形波;(4)频率为0.1c/s、幅度为 $\pm \frac{\lambda}{8}$ 矩形波;(5)频率为0.1c/s、幅度为 $\pm \frac{\lambda}{16}$ 矩形波;(6)频率为270c/s、幅度为 $\pm \frac{\lambda}{4}$ 锯齿波。各种类型调制器电源均是加在两块尺寸为 $37 \times 37 \times 2\text{mm}^3$ 的KD\*P晶体上,因此调制器对电源来说等效于一个电容负载,考虑到由电源到调制器联线的分布电容,因此事实上每种调制器电源负载相当于1000pf的电容。

照顾到设计、安装、维修的方便,本电源线路尽量采用统一形式标准化线路,如仪器中使用的各种直流高压稳压电源,我们均是采用同样的直流稳压电源来组合成所需电压,对于其他线路也是以这一原则来考虑。

## 三、高压矩形波调制器电源

### 1. 矩形波调制器电源方框图

因为 $\pm \frac{\lambda}{16}$ 或 $\pm \frac{\lambda}{8}$ 它们要求的波形都是一样的,只不过是幅度不同而已,因此 $\pm \frac{\lambda}{16}$ 或



是  $\pm \frac{\lambda}{8}$  是采用同样的电路。作为形成矩形波的触发信号产生线路也是采用同样的形式。0.1c/s 矩形波由于它必须受摄像系统同步信号的控制，因而在触发信号形成级有差别外其它均和135 c/s同，这样做的结果既方便了印刷电路板的设计，又方便了线路的安装与调试。

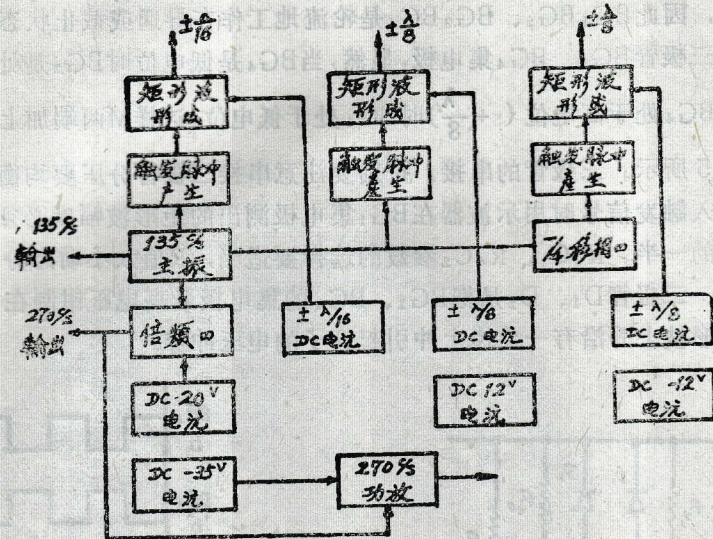


图 2

## 2. 135c/s 矩形波触发信号

图 3 所示为 135c/s 矩形波触发信号产生的方框图及电原理图

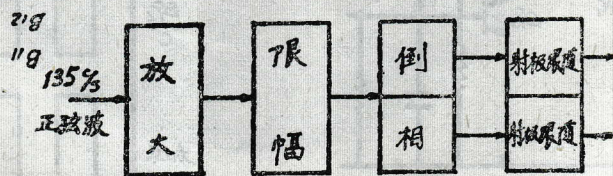


图3(a)

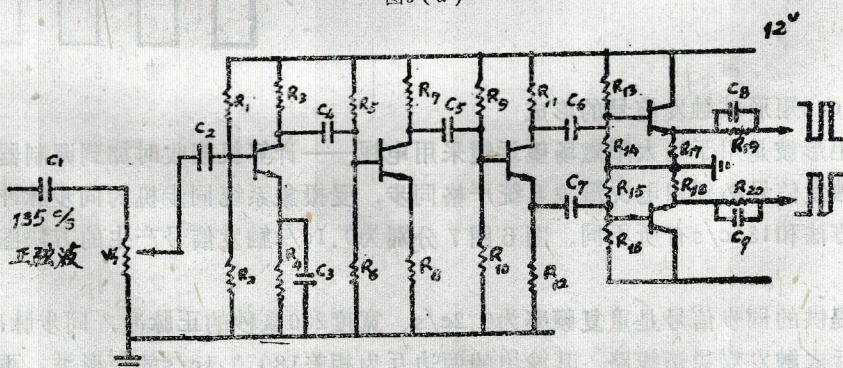


图3(b)

135c/s 的正弦信号经过两级阻容耦合放大、限幅后成为矩形波，经倒相后分别加到两个射极跟随器输出一对相位相差  $180^\circ$  的矩形波触发信号，对于触发信号的要求是前后沿要陡，矩形脉冲宽度精度为周期的  $\frac{1}{2}$ 。



### 3. 135c/s矩形波成级

图4所示是矩形波形成级电原理图，由于我们所能找到最好的高反压三极管，其反压仍旧达不到我们使用的要求，我们现采用两个高反压管串接的办法以提高其工作电压。此线路工作在开关状态，当基极加上触发信号时管子导通。由于在BG<sub>1</sub>和BG<sub>3</sub>的栅极是同时加上相差180°矩形波，因此BG<sub>1</sub>BG<sub>2</sub>、BG<sub>3</sub>BG<sub>4</sub>是轮流地工作在导通或截止状态。调制晶体M是跨接于两对串接三极管BG<sub>2</sub>、BG<sub>4</sub>集电极，显然，当BG<sub>4</sub>是低电位时BG<sub>2</sub>是处于高电位

( $+\frac{\lambda}{8}$ )，而当BG<sub>4</sub>处于高电位( $+\frac{\lambda}{8}$ )时BG<sub>4</sub>处于低电位，这样M两端加上是 $\pm\frac{\lambda}{8}$ 的矩形波，其波形如图5所示。三极管的串接，特别要注意串接三极管分压要均衡，这不仅在静态的情况下，当加入触发信号时用示波器在BG<sub>1</sub>集电极测出的矩形波幅度必须是BG<sub>2</sub>集电极测出的矩形波幅度的一半。R<sub>3</sub>C<sub>1</sub>、R<sub>4</sub>C<sub>2</sub>参数的选择要适当，R值太小动态分压不均衡，C太小波形产生畸变。二极管D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub>是把BG<sub>2</sub>、BG<sub>4</sub>的集电极最高电压钳制在电源电压上，其目的是为消除矩形波上升沿有一尖锐上冲引起管子的电压冲穿。

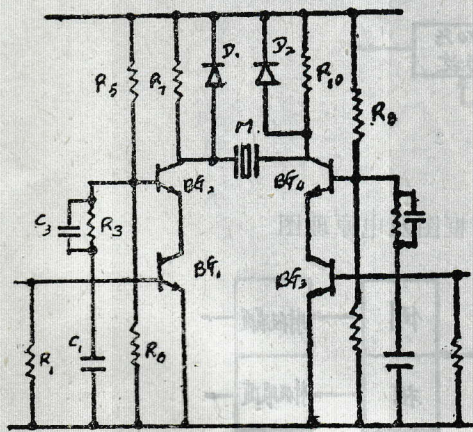


图 4

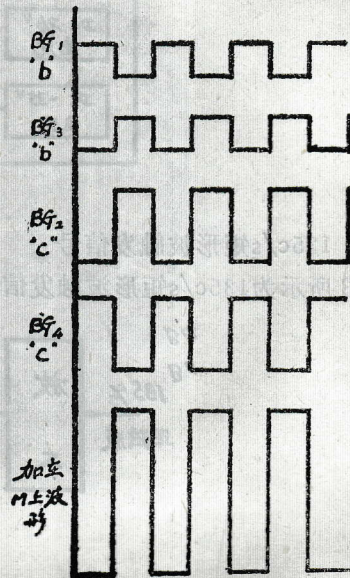


图 5

### 4. 0.1c/s矩形波触发信号的形成

0.1c/s矩形波是用于当太阳磁场望远镜采用电视——计算机接收时加到调制器的信号，因此0.1c/s触发信号必须和电视摄像系统严格同步，受摄像系统同步机的同步脉冲触发。因而其产生的方法和135c/s有所不同。图6图7分别为0.1c/s触发信号产生的方块图和电原理图。

同步机提供的同步信号是重复频率为0.2c/s、宽度200毫秒的正脉冲，同步脉冲经放大、倒相、微分后去触发双稳态线路，其输出的两边互为相差180°0.1c/s的矩形波，再分别经过射极跟随器输送到0.1c/s矩形波形成级。在电视——计算机接收系统中由于器件特有的性能，如它必须要有一定的消除残光时间，因而对于矩形波上升与下降时间允许较长，基于这一情况在电视——计算机接收系统工作时所需的 $\pm\frac{\lambda}{8}$ 和 $\pm\frac{\lambda}{16}$ 矩形波可分别从图4线路上



BG<sub>2</sub>和BG<sub>4</sub>集电极和BG<sub>1</sub>和BG<sub>3</sub>集电极取出，由于串接晶体管的准确分压当BG<sub>2</sub>和BG<sub>4</sub>集电极取出为 $\pm \frac{\lambda}{8}$ 时，BG<sub>1</sub>、BG<sub>3</sub>集电极取出将一定是 $\pm \frac{\lambda}{16}$ 。(0.1c/s矩形波形成级线路和135c/s矩形波形成级线路相同)。

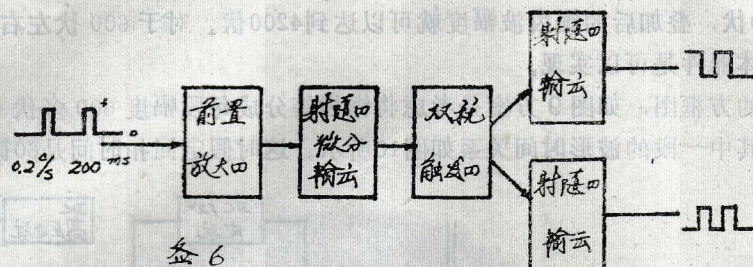


图 6

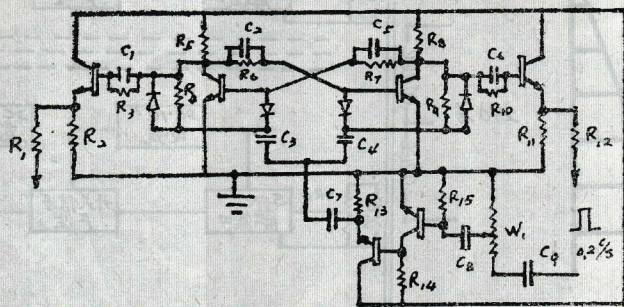


图 7

#### 四、高压锯齿波调制器电源

高压锯齿波调制器电源，主要困难在于幅度高，此外还由于KD\*P电光调制晶体的半波调制电压不是一个常数而和KD\*P晶体所处的环境温度有关。如表1所列就是对某一块KD\*P晶体实测的结果。在太阳磁场望远镜中为保证调制器不受环境温度波动的影响，调制器是工作在42℃的恒温槽内，这样半波调制电压必须从3000多伏（约为25℃时半波调制电压）提高到4000多伏。再由于KD\*P晶体材料本身的原因，晶体表面含氧率的变化也会引起半波调制电压的升高，因此作为器件必须充分考虑到KD\*P晶体“老化”而引起调制电压的升高，因此对调制电源提出比目前所需半波调制电压更高一点的电压要求。当 $\lambda = 5324 \text{ \AA}$ 时 $\pm \frac{\lambda}{4}$ 调制电压要求所产生的锯齿波幅度为4400伏左右。从目前所能找到的高反压晶体三极管是难以实现的，根据我当时（1977年）可能条件，决定把锯齿波分段形成最后再叠加到所需要的幅

表 1

半波调制电压	2790 V	3040 V	3230 V	3390 V	3570 V	3690 V	3900 V	4030 V	4190 V
温度	8.3℃	13.6℃	18℃	23.5℃	27.6℃	32.2℃	36.5℃	40.9℃	45.2℃



度。这样从具体每一段来说是产生幅度较低的梯形波，从而解决了器件耐压低的问题，事实说明只要各段梯形波电压斜率调整的好，按一定时间分配调整准确，最终形成的锯齿波是能够达到预期的要求。

1. 方案的设想：如图8所示我们把锯齿波分成七段（按总幅度七等分），这样每段幅度只要达到600伏，叠加后的锯齿波幅度就可以达到4200伏。对于600伏左右锯齿波的产生目前国产半导体器件是可以实现。

2. 具体的方框图，如图9方案是考虑将锯齿等分成每段幅度600多伏七段的梯形波然后进行叠加，其中一段的波形时间关系如图10所示。这时假定回扣时间是60微秒。

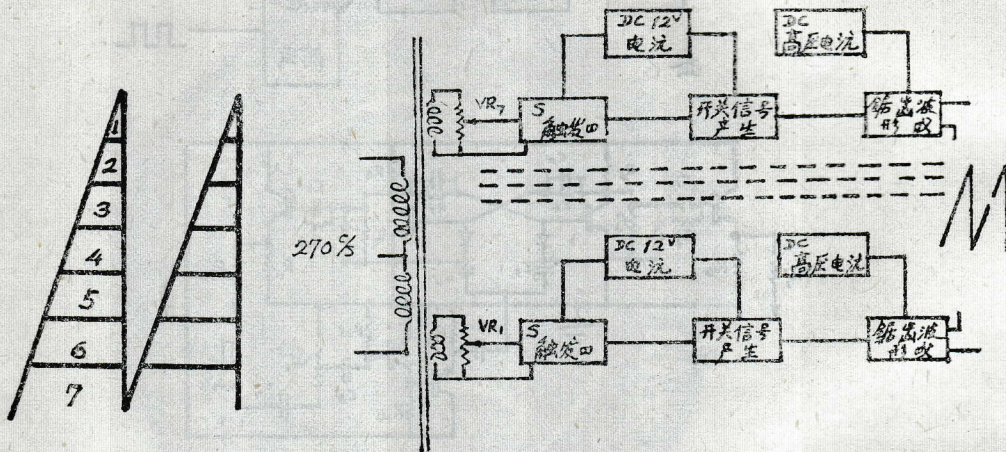


图 8

图 9

图10上所标的 $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ 所代表的时间，对不同的段是不一样的。根据总的周期长度在表二中列出了各级 $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ 时间分配的关系。最后根据表二所列的时间关系，调整所产生各段脉冲的宽度。

根据表二所列的时间关系进行调整，得出各级梯形波应为如图11形式。

表 2

级别	脉宽	$\tau_1(\mu s)$	$\tau_2(\mu s)$	$\tau_3(\mu s)$	$\tau_4(\mu s)$
1		60	520	3120	60
2		580	520	2600	60
3		1100	520	2080	60
4		1620	520	1560	60
5		2140	520	1040	60
6		2660	520	520	60
7		3180	520	0	60

3. 开关信号形成级：这一部份，事实上包括了由正弦波经施密特触发器形成方波，然



后经过微分用负脉冲触发单稳态线路，形成各段梯形波产生的开关信号。图12是开关信号形成级的方框图。各个输出级，相应的输出开关信号波形及其时间关系如图13所示。

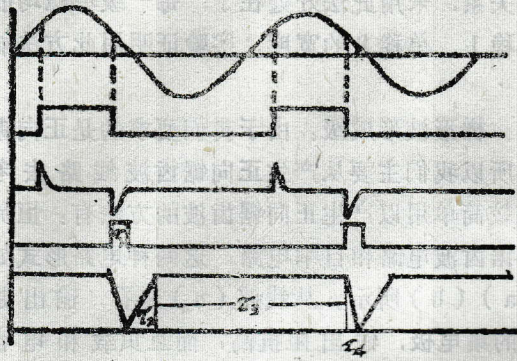


图 10

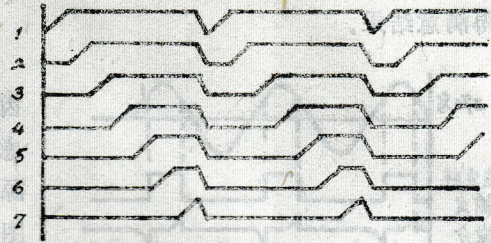


图 11

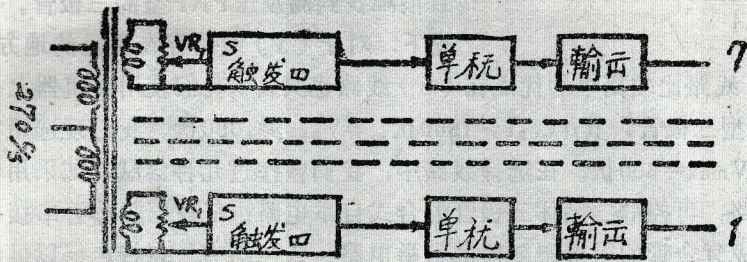


图 12

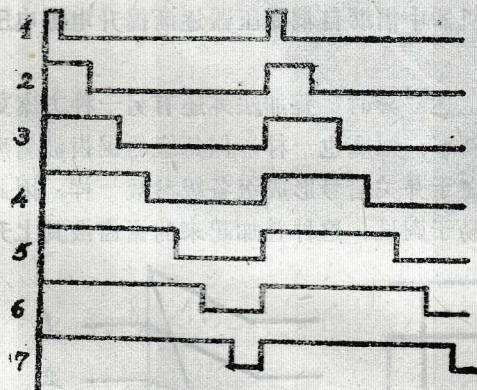


图 13

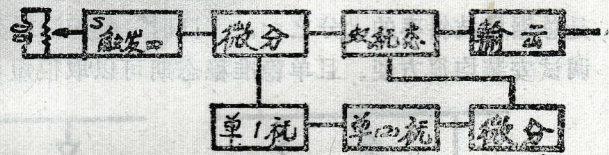


图 14

施密特触发器输出的脉冲宽度的大小决定了单稳线路工作的起点，因此各级施密特输出脉冲宽度要一样。当各级梯形波叠加时，可微调电位器VR，调整施密特触发器输入的正弦波幅度，以达到保证锯齿波后沿对齐的目的。各级单稳态输出正脉冲的后沿决定了各级锯齿波上升沿的起点，因此调整单稳态脉冲宽度，可保证各级锯齿波按预定时间进行叠加。

用上述开关信号形成级来形成开关信号，对第七级是困难的，因为在第七级 $\tau_1=3180$ 微秒而 $\tau_2=500$ 微秒，这对于单稳态线路准稳态期远大于稳态期，必然单稳态线路工作的稳定性



差，为解决这一问题，我们又采用另一方案，作为第七级开关信号的形成级。其原理方框图如图14所示。

根据所述方框图可绘出如图15所示相互波形关系，采用此法好处在于，每一级单稳均能稳定工作，要调节输出脉冲宽度，可分别调整单稳1、单稳2的宽度，实验证明用此方法能获得满意结果。

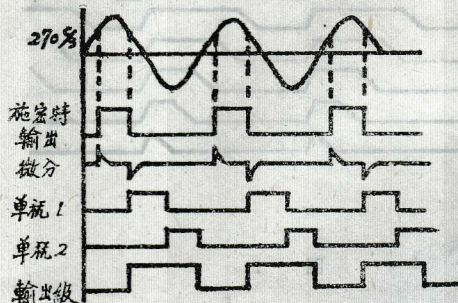


图 15

4. 梯形波形成级：由于我们要求的是正向锯齿波，所以我们主要从产生正向锯齿波线路去考虑，比较简单用以产生正向锯齿波的方法有：恒流源正向锯齿波电路和自举电路，这两种电路形式如图16(a)(b)所示。从线路(a)来看，输出是从 $BG_2$ 的集电极，输出阻抗高，而且负载和电容 $C_1$ 并联，所以负载的电容将影响锯齿波的斜率，且很难找到高反压PNP型的三极管。在目前的情况下，对于(a)线路存在不足的地方，(b)线路

均可解决且(a)线路比较简单的优点在(b)线路也具备。我们使用在机器上是经过特别挑选高反压硅NPN型三极管，其 $\beta V_{CEB} \geq 1900$ 伏， $\beta V_{CED} \geq 1000$ 伏。我们现选用自举线路，每级电压可以做到 $V_{max} = 650$ 伏。在选择线路中，我们曾作过几种尝试，如采用电子管、晶体管混合式自举电路；可控硅、晶体三极管混合式自举电路；低反压晶体管串接自举线路；高低反压三极管组成复合管的射极跟随器的自举电路。各种均有一点特色但以最终情况看还是图16(b)那样的电路好。由于器件是工作在较高的电压接近于器件极限使用条件，所以电路上瞬态的冲击往往很容易使管子损坏，特别是电源电压的通断，往往是在电源通断的瞬间管子被击穿。为避免因瞬态冲击造成管子损坏，在机器中借助自耦变压器逐渐提升电源电压的办法。

5. “同时”叠加法：多级锯齿波叠加方法除上述“异时”叠加法外还有另一种方案如图17所示，七级起点、终点都是一样，每级锯齿波斜率、幅度也一样，但每级的锯齿波斜率是总锯齿波斜率的七分之一。“同时”叠加法好处在于开关信号形成级各级参数一样，因此调试安装均很方便。且单稳准稳态期可以取很短更易于调试。这种叠加起来的锯齿波其上升

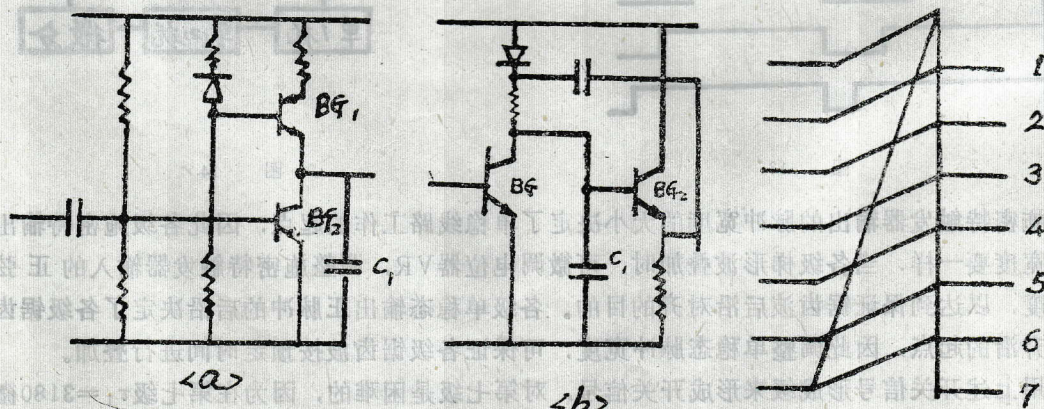


图 17

图 18



沿，不存在由于各级锯齿波的非线性而造成锯齿波终点幅度的下降，而产生的上升沿各段起伏。但是叠加后的总锯齿波由于非线性造成终点幅度下降量将等于各级终点幅度下降量的总和。“异时”叠加法无此问题，其终点幅度的下降是平均到各级去，由它造成锯齿波上升沿的波动，对整个系统影响是较高频率，它比起单个锯齿波顶部下降造成影响反而小。在1981年10月以前是选用“异时”叠加法来产生幅度为3200伏的锯齿波，1981年10月以后，由于指标的修订锯齿波幅度提高到4000伏以上，我们又采用另一种方法即目前仪器上采用的方法。

6. “混合”叠加法：由上述可知“同时”、“异时”叠加法，各有其优缺点。“混合”叠加法是取它们各自的长处混合起来的一种方法。实践证明获得较佳的结果。采用“混合”法时锯齿波开关信号的时间分配如表三所示。表三中的 $\tau_1$ 及 $T-\tau_1$ 的意思如图18所示。叠加情况如图19所示。从图清楚看出2 3、4 5、6 7的叠加是“同时”的。同时叠加后和第一级又是“异时”叠加。

表 3

级 别	1	2	3	4	5	6	7
$\tau_1 (\mu s)$	60	580	580	1620	1620	2660	2660
$T-\tau_1 (\mu s)$	3640	3120	3120	2080	2080	1040	1040

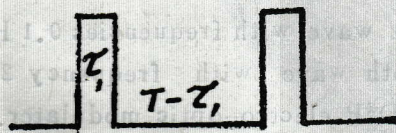


图 18

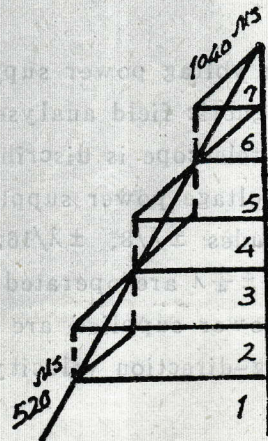


图 19

锯齿波调整中遇到最大的问题是稳定性，特别当锯齿波输出幅度超过2800伏以上时，波形就出现随机的抖动，追查其原因是和元器件安装、高压导线的使用以及各部份之间绝缘好坏有关，电源变压器、灯丝变压器初次级之间绝缘要求特别好，我们使用的变压器用2500伏兆欧表测，初次级之间绝缘电阻均在5000兆欧左右，各级稳压电源（我们目前仍使用电子管稳压电源，每级电压直流660—700伏、50毫安）调整管的阴极和灯丝之间因电位悬殊，在灯丝与阴极之间会出现无规的击穿，这也是使锯齿波不稳定的重要因素之一，必须予以充分注意。



## 五、初步测试结果

上述调制器电源已参加整个太阳磁场望远镜联测，矩形波的幅度可以达到 $\pm 1100$ 伏（连续可调）、峰-峰上升与下降时间为60—70微秒、矩形波正负半波的对稳性可调到1微秒左右，锯齿波回扫时间为60微秒、幅度连续可调最大输出为4400伏，线性无法精确测量，估计非线性系数小于1%。

该电源经1981~1983年联测情况表明，调制器电源性能稳定、工作良好、维护方便基本满足使用要求，和其它部份配合已测试了性能良好的太阳磁图。

# A HIGH VOLTAGE POWER SUPPLY DEVICE OF THE KD\*P ELECTRO-OPTIC MODULATOR FOR THE SOLAR MAGNETIC FIELD TELESCOPE

Chen Zaide Jiang Xiao-feng

### Abstract

A high voltage power supply device of the KD\*P electro-optic modulator for the magnetic field analyser and velocity field analyser of the solar magnetic field telescope is described.

High voltage power supplies of square wave with frequencies 0.1 HZ, 135 HZ and amplitudes  $\pm \lambda/8$ ,  $\pm \lambda/16$ , and sawtooth wave with frequency 270 HZ and amplitude  $\pm \frac{1}{4} \lambda$  are operated with the KD\*P electro-optic modulator.

This power supplies are used to measure the vectorial magnetic field and the viewing-direction velocity field with either the television or optic-electric method.