

大电流脉冲方波激光电源

薛彬 汪永一 姚建铨

(天津大学精仪系)

摘要: 采用可控硅开关元件和大功率三极管放大元件相结合的方案, 得到稳定大电流脉冲方波激光电源, 脉冲电流可达 80 A, 平顶电流波动小于 2%。

Large current rectangular pulsed laser power supply

Xue Bin, Wang Yongyi, Yao Jianquan

(Department of Precision Instruments, Tianjin University)

Abstract: By combining thyristor switch with large power transistor, large current rectangular pulsed laser power supply with stable smooth top is obtained, pulsed current of 80A and top current fluctuation within 2% are achieved.

准连续激光电流可以采用谐振充电加上脉冲成形网络, 也可用多个大功率三极管等放大元件串并联来实现。后者用控制基极电流的办法同时起斩波和稳流两个作用。当要求的电流及平均功率较大时, 上述方案由于成本及可靠性等问题不宜采用。由可以承受大电流的可控硅一类开关元件, 能获得大电流脉冲, 但脉冲顶部电流不稳定。本文将上述放大元件和开关元件结合起来, 使用少量元器件实现了大电流方波脉冲的形成和稳流。

准连续激光电源方框图见图 1。电源负载为两只串联的氙灯或氩灯。 U_1 为主电路电源, U_2 为预电离电源, U_3 为辅助电源, 是为使斩波器能正常工作而设。斩波器使用可控硅类开关元件, 形成大电流脉冲。使用大功率三极管等放大元件完成稳流。由于大电流脉冲已由斩波器形成, 而所需稳定的只

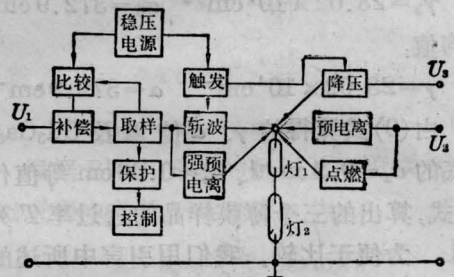


图 1 准连续激光电源方框图

是脉冲顶部占整个脉冲幅度 10~15% 的波动, 故可以只针对这部分绝对值相对低得多的电流波动进行补偿, 从而大大降低对放大元件的要求。

一、斩波电路

图 2 和图 3 是两种不同关断方式的可控

收稿日期: 1985年3月28日。

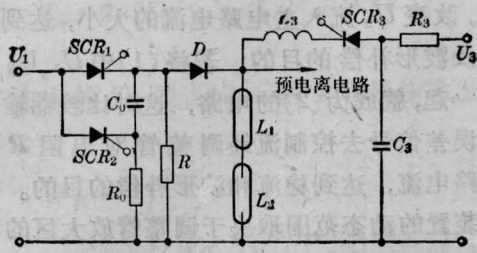


图 2

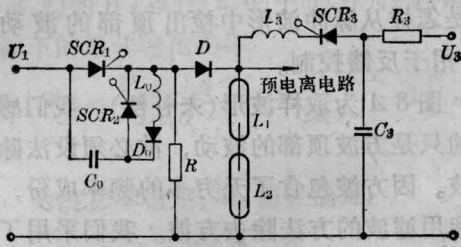


图 3

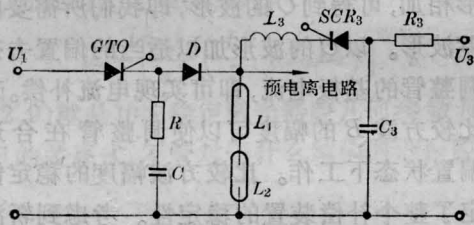


图 4

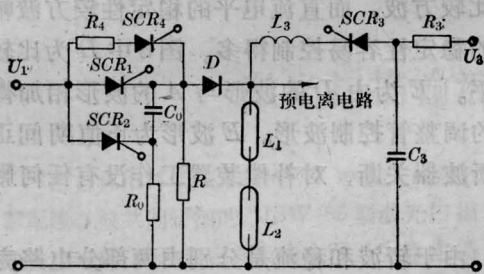


图 5

硅斩波电路。图 2 为 RC 充电关断电路，图 3 为 LRC 谐振充电关断电路。

对气体放电灯来说，由于其负阻特性，预电离状态下的灯压降 U_i 很大，一般都大于用于弧光放电的主电路电压 U_1 。提高 U_1 使满足正偏条件 $U_1 > U_i$ 是不可取的，只能设法降低 U_i 。图 2 和图 3 中的 R_3 、 C_3 、 L_3 、 SCR_3 就是降低 U_i 的电路。从 SCR_3 被触发到满足

$U_1 > U_i$ 一般有一毫秒级的延迟。为方便起见， SCR_1 和 SCR_3 一般同时触发。为避免因 SCR_1 的触发脉冲持续时间与上述延时互相错开导致斩波器开通失败，加入了续流电阻 R 和电位隔离二极管 D 。选择 R 使 SCR_1 开通后流过 SCR_1 的电流大于维持电流，这样当 SCR_1 被触发后，可以经电阻 R 的通路维持其导通状态直到 U_i 降到使二极管 D 正偏，主电压加在灯上，从而在灯内建立起弧光放电。斩波器关断时，灯内弧光放电停止，恢复到辉光放电（预电离）状态，为下一个脉冲的形成作准备。 L_3 是为防止 C_3 放电将辉光放电“吹”灭而加入的。上述电路的特点是斩波可靠，缺点是使用了流过大大电流的二极管 D 。

图 4 为 GTO 斩波开关用于气体放电灯电路，基本结构与图 2、图 3 完全相同。唯一需要提出的是 GTO 的维持电流比一般可控硅大得多，前者为 $1 \sim 3 \text{ A}$ ，而后者仅为几十到几百毫安。故在图 4 电路中用 RC 串联电路代替了图 2 及图 3 中的 R 作为 GTO 的续流回路，可以大大降低无用功耗。

图 5 是带有强预电离的斩波电路。在 SCR_4 被触发以后， U_1 通过 R_4 和 SCR_4 向灯提供一个几安培的低于激光器阈值的强预电离电流， SCR_1 开通时电流才跳变到所需的值。这样可以使激光器工作稳定，同时可以提高灯的发光效率。 SCR_2 触发时将 SCR_1 和 SCR_4 同时关断。为使 SCR_4 正常开通， SCR_3 需与 SCR_4 同步触发。

二、斩波工作时电源滤波器的输出特性

主电路电源 U_1 通常是由三相全波整流后经滤波器供给。一般连续电流工作时认为滤波电容和电感越大输出的电压或电流波形越平坦。对稳态过程这是正确的，但在斩波工作时必须考虑滤波网络的暂态过程。分析

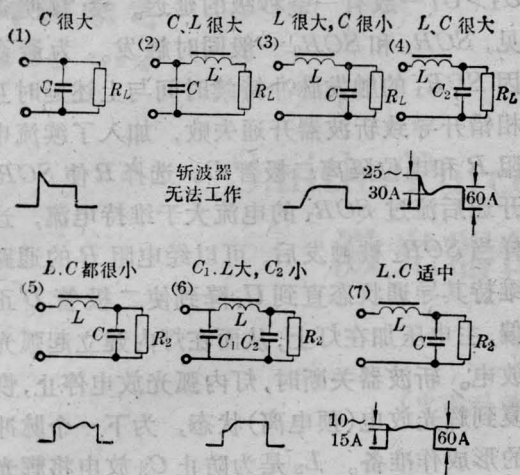


图6 不同滤波电路时的不同灯光波形

表明,滤波电容电感并不是越大越好。图6为不同滤波网络参数对应的电流或灯光波形。大的电容和电感只能使脉冲顶部变得更加不平坦,给补偿带来困难。正确的网络设计应该兼顾交流纹波成份和滤波器本身瞬态响应带来的波动,使整个脉冲顶部的波动绝对值尽可能小。具体的 L 、 C 参数由实验选定。

三、波形补偿

由上节的讨论可知,不能指望用滤波的方法将脉冲顶部补平,必须采用有源补偿。图7为有源补偿原理图。(1)中 U_1 为主电路电源, U_2 为补偿电源。取样装置检测出电流的波动送入比较器,经与基准电平比较后的误差信号以适当的相位关系送入调整管的基极,即可实现电流补偿。改变比较方波 B 的幅度可以使调整管在合适的偏置状态下工作。比较方波幅度的稳定性决定了整个补偿装置的稳定性。考虑到斩波工作方式的特点,我们可以用一直流电平代替比较方波,而直流电平的稳定性较方波幅度的稳定性容易控制得多。图8中 D 为比较电平。 E 为由 D 的波形与 A 的波形相加得到的调整管控制波形。 E 波形为正值期间正好斩波器关断,对补偿装置工作没有任何影响。

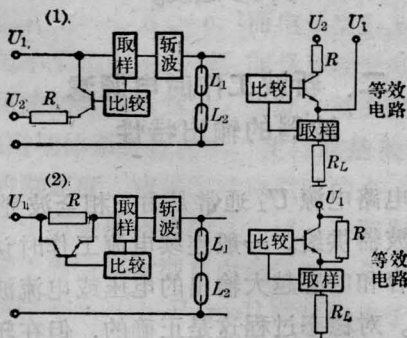


图7

极,改变 U_2 流入主电路电流的大小,达到稳流及波形补偿的目的。若将(1)中 U_1 、 U_2 合在一起,就成为(2)的电路,这时比较器输出的误差信号去控制流经调整管对电阻 R 的旁路电流,达到稳流和波形补偿的目的。补偿装置的动态范围取决于调整管放大区的动态范围及最大功耗。只要脉冲顶部的波动在上述范围之内,就可以实现稳流。余下的问题是怎样从脉冲波形中检出顶部的波动信号,用于反馈控制。

图8A为取样波形(未补偿)。我们感兴趣的只是方波顶部的波动,故必须设法除去方波。因方波包含了无穷多的频率成份,故不能用滤波的方法除去方波。我们采用了与另一基准方波相减的方法。将图8中 A 、 B 波形相加,可得到 C 的波形,即我们所需要的误差波形。以 C 的波形加以适当的偏置去控制调整管的基极电流,即可实现电流补偿。改变比较方波 B 的幅度可以使调整管在合适的偏置状态下工作。比较方波幅度的稳定性决定了整个补偿装置的稳定性。考虑到斩波工作方式的特点,我们可以用一直流电平代替比较方波,而直流电平的稳定性较方波幅度的稳定性容易控制得多。图8中 D 为比较电平。 E 为由 D 的波形与 A 的波形相加得到的调整管控制波形。 E 波形为正值期间正好斩波器关断,对补偿装置工作没有任何影响。

由于斩波和稳流是分别由两部分电路完成,所以相对于整个脉冲幅度来说,补偿范围

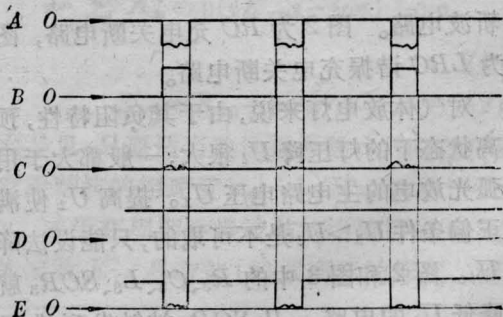


图8

是比较窄的。这个相对窄的补偿范围对电流波动的补偿是足够的，但若人为地大幅度改变弧光电流(如大范围改变 U_1)，将使调整管工作范围移出放大区。所以，当人为地大幅度改变电流时，要相应地改变比较电平 B 或 D 的幅度，使补偿装置始终能工作在放大区。这是本装置的主要缺点。这个缺点可以通过采用电流调节装置与比较电平调节装置联动或用示波器监测波形的方法解决。

实验发现，某些放电灯的灯光波形与灯电流波形不太一致。图 9 照片为未经补偿的电流波形(上)和灯光波形(下)。图 10 照片为经过补偿的电流波形(上)和灯光波形(下)。

为了得到平坦的灯光波形，可以用灯光作为取样对象。图 11 为实际装置的电路图。该装置采用了两套补偿装置串联工作。第一级将交流纹波和随机波动补偿掉，第二级可以作进一步电流补偿或在第二级引入光反馈，以得到平坦的灯光波形。当然，也可以在第二级引入其它所需的波形函数，如锯齿波、三角波等，以满足某些特殊要求。

图 11 虚线方框中为简易脉冲峰值检测电路。点划线方框中为斩波失败保护电路。将电流取样波形与斩波器触发波形一起送入

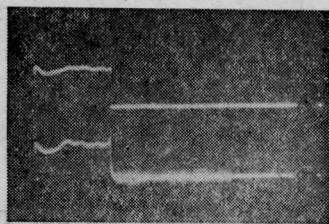


图 9

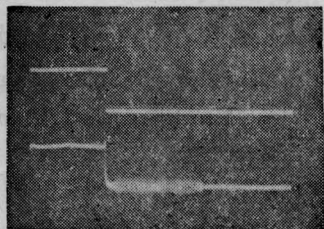


图 10

逻辑门电路进行判断，当两个波形不同步(即斩波失败)时，发出保护信号关断有关电路。

由于脉冲电流的大部分流过电阻 R_A 和 R_C ，故流过作为稳流调整元件的大功率管的电流很低，不超过脉冲电流的 20%，并且是脉冲工作。用一只或两只管子就可以解决问题。大大降低了装置的成本，缩小了体积，提高了可靠性。在自然风冷情况下，最大峰值电流可达 80 A，平顶波动小于 2%。电阻 R_A 、 R_B 、 R_C 、 R_D 为发热元件，用电炉丝改制。

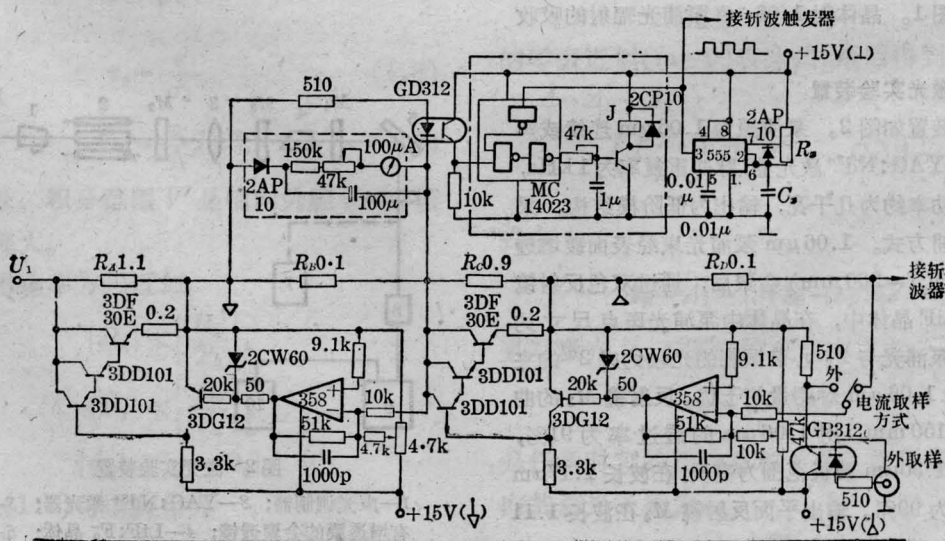


图 11