

无变压器固体激光电源*

周志康

(重庆光机所)

提 要

本文给出了实用的无变压器固体激光电源方案。在以倍压为基础的充电主回路实验基础上,得出了倍压充电速度公式,此式在较大范围内和实验结果基本相符。给出了几种不同的倍压线路。

一、引 言

脉冲固体激光器件的实验和应用中,固体激光电源是一个重要部分。为了缩小体积,有人^[1]研究了直接由外电激励脉冲氙灯的方案。目前脉冲固体激光电源主回路大都仍由一个很大的升压变压器构成^[2,3],耗材、费时,给实验工作带来了一定困难。我们研究了固体激光电源的使用条件后,试制了以倍压线路为主回路的固体激光电源。原始样机^[4]已工作了两年,证明其基本想法是正确的,实际应用也是可行的。

二、主 回 路

1. 倍压充电过程的分析

(1) 倍压线路的主要特性

图1为半波 n 倍压充电线路。从实验和有关资料可知:

工作过程中,各二极管上的电压 V_D 相等,为输入电压 V_λ 的 $\sqrt{2}$ 倍,即

$$V_{D_1} = V_{D_2} = V_{D_3} = \dots = V_{D_n} = \sqrt{2} V_\lambda;$$

通过二极管上的直流电流相同;

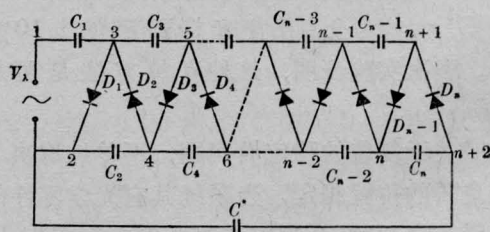


图1 n 倍压半波倍压充电线路

除 C_1 的电压 V_{C_1} 外,其余各电容器上的电压相同,为输入电压的 $2\sqrt{2}$ 倍,即

$$V_{C_1} = \sqrt{2} V_\lambda,$$

$$V_{C_2} = V_{C_3} = \dots = V_{C_n} = 2\sqrt{2} V_\lambda;$$

充电是逐级往下进行的,即第1正半周 C_1 充电,第1周的负半周充电至 C_2 ,这样逐渐充电至第 n 个倍压电容 C_n 。任一电容,一经充电后,以后各周对此电容均有作用;

充电和外电源频率有关,频率高充电速度快。

(2) 充电速度的计算

如图1,设储能电容为 C^* ,电容上的充电电压为 V 。

并设:电容绝缘电阻为 ∞ ; D_1, D_2, \dots, D_n 各二极管反向电阻为 ∞ 。

* 收稿日期: 1977年11月6日。

据此, 充电回路中耗能很少, 外电源供给的能量全部转变为电容器的储能, 故电容器上的储能应等于外电源供给的能量, 即

$$\frac{1}{2} C^* V^2 = I V_{\lambda} t \quad (1)$$

式中, V_{λ} 为外电源电压, I 为回路电流, $I = V_{\lambda} / Z$ (Z 为整个回路的阻抗), t 为充电时间。

因 $I = V_{\lambda} / Z$, 故有

$$\frac{1}{2} C^* V^2 = \frac{V_{\lambda}^2}{Z} t \quad (2)$$

或

$$t = \frac{C^* V^2 Z}{2 V_{\lambda}^2} \quad (3)$$

从方程(2), 当其它参量确定之后可以分别计算充电时间、倍压电容等数值。

由(3)式可知, 当储能电容 C^* 和充电电压 V 确定之后, 充电时间 t (充电速度) 和输入电压平方成反比, 和整个回路阻抗成正比。

从倍压线路的特性: 充电过程是逐渐一级一级向前的, 而且充电速度随着外电源频率提高而加快, 故

$$Z \approx Z_0$$

Z_0 为各个倍压电容串联后的阻抗。

设 $C_1 = C_2 = C_3 = \dots = C_n = C_0$, 则

$$Z_0 = \frac{n}{2\pi f C_0} \quad (4)$$

因此, 当各倍压电容相同的情况下得,

$$t_0 = \frac{n C^* V^2}{4\pi f C_0 V_{\lambda}^2} \quad (5)$$

t_0 为各个倍压电容相同情况下半波倍压的充电时间。

在较大范围内(5)式和实验结果基本符合。由此说明方程(1)成立, 也表明倍压充电有很高的效率。

(4)、(5)式只给出了倍压充电的一般情形。全波倍压、预充电和全波倍压不对称时(4)、(5)式应作适当修正。全波倍压可视为缩短了倍压级 1 半; 预充电情形可将预充部分扣除后再行计算。

还应指出, 如图 1 所示的倍压线路, 只有当偶数倍倍压输出才能得到较好的充电效果, 而奇数倍倍压输出充电效果不好。即点 2.4、2.6、2.8、2. n 、2. n + 2 等输出效果较好, 和(5)式基本符合。而 2.5、2.7、……2. n + 1 输出, 其充电效果不好。

2. 几种倍压线路

根据应用特点, 我们对倍压线路略作了一些改进, 简述如下。

(1) 全波倍压线路和双向倍压线路

通常的倍压线路如图 1 所示, 为半波倍压整流线路。略加改进, 得图 2、图 3 所示的双向或全波倍压线路。外电源如图所示, 由 A、B 或 C、D 输入。偶数倍全波倍压比半波倍压充电速度约提高 1 倍。

如前述, 半波奇数倍压充电效果不好, 而改成如图 2 的双向倍压线路, 则效果很好, 充电速度提高了很多。如输入 50 伏, 电容数值相同, 充到 150 伏, 5 倍压半波倍压线路需 28.8 秒, 而 5 倍压全波倍压只用 8.7 秒。

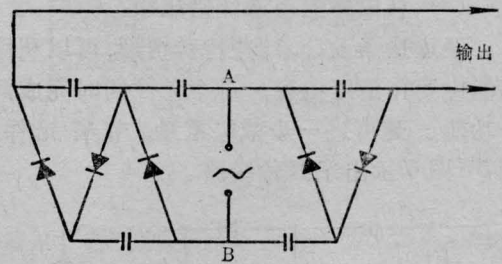


图 2 双向 5 倍压充电线路

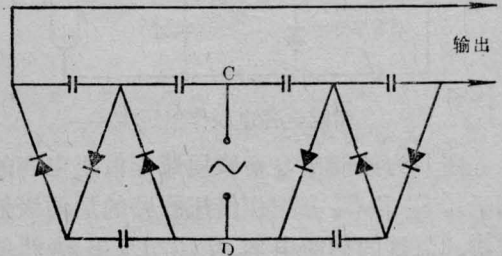


图 3 全波 6 倍压充电线路

(2) 储能电容的预充

适当选择倍压线路或增加一些整流元件, 可以不经倍压先向储能电容预充以

$\sqrt{2}V_A$ 的电压, 这样可进一步提高充电效率, 降低倍压元件的负载。通常奇数倍压级的倍压线路, 可通过倍压二极管直接向储能电容预充电, 如图 2。而偶数全波倍压线路需通过附加二极管才能预充, 如图 4。图 4 所示的预充, 实际上是通过 D_5 、 D_6 分别向倍压电容 C_3 、 C_4 充电。 C_3 、 C_4 向储能电容 C^* 放电。 R_1 、 R_2 起限流作用, 避免起始充电电流过大。也可以用电容限流, 用桥式整流预充。

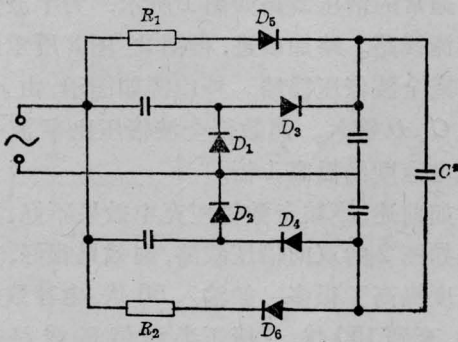


图 4 预充电倍压线路

(3) 利用储能电容作倍压级

经过适当设计, 某些特殊情形, 可以利用储能电容作倍压电容, 一个元件同时完成两个功能。这可进一步减轻重量, 节省元件。图 5、图 6 示出了两种线路。

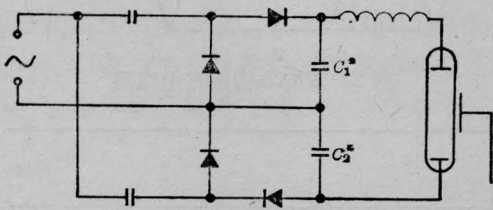


图 5 储能电容串联后兼作倍压电容

图 5 为储能电容串联后兼作倍压电容的例子。 C_1^* 和 C_2^* 分别作倍压线路的后两级倍压级。氙灯的储能电容为 C_1^* 、 C_2^* 串联后的电容, 通常取 C_1^* 和 C_2^* 相等, 则 $C^* = C_1^*/2$ 。

图 6 直接利用倍压电容作倍压级, 对工作电压要求不高的情形, 极为方便。如图 6 的线路, 储能电容为 500~1000 微法, 工作电

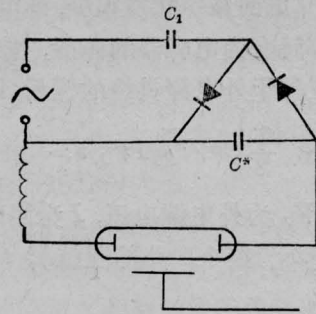


图 6 储能电容作倍压电容

压低于 1000 伏, 重复频率约 1 次/秒, 其主回路的重量只约 1 公斤左右。这是很轻的。

(4) 高频倍压充电

由(5)式可知, 当电源频率提高, 则充电速度也成比例地提高。由于正向电压时, 二极管正向电阻不为零, 倍压级实际上是一个 RC 回路。所以外接电源的频率也不可能无限提高。如整流二极管 2CZ5 正向压降约 0.5 伏, 导通电流 5 安, 设倍压电容为 10 微法, 则倍压级的时间常数 $\tau = 1$ 微秒。考虑到整流二极管的高频性能不好, 外接电源的频率可选在 5 千周以内。

图 7 为高频倍压充电线路方框图。一倍压级为 8 级的倍压线路, 外接电源频率约为 3 千周, 对 1000 微法储能电容充电, 充至 500 伏为 2 秒, 1000 伏为 8 秒。对应相同条件, 外接电源为市电, 其充电速度 500 伏为 65 秒, 950 伏为 6 分 30 秒, 1000 伏 > 10 分。表明速度有显著提高。

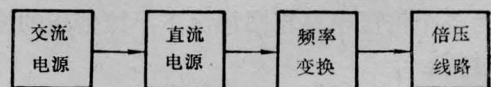


图 7 高频倍压电路方框图

这种办法的主要优点是可以较小的电容获得较高的充电速度, 同时还可以得到较高的充电精度。因为充电精度

$$A = 1 - \frac{\Delta T_z}{T_z} \quad (6)$$

当频率提高 n 倍时, 则 ΔT_z 缩小 n 倍, 充

电精度大幅度提高。为了提高充电精度,有人采用电压比较电路^[5,6]。(6)式给出的充电精度,未考虑到电容器充电是按指数上升的,是一个近似的结果。

三、交流开关、信号耦合和控制

1. 交流开关

通常交流开关由两只可控硅,或一只可控硅和四只二极管构成。利用二极管反向截止的原理,如图8所示,可由一只二极管,一只可控硅和一个电容构成交流开关(电容限流式交流开关)。外电源接通后,电源正半周通过二极管 D 、电阻 R 向电容 C 充电,电容的充电电压等于交流电的峰值。负半周时,如果可控硅SCR未导通,电容 C 上的电荷无放电回路,当下一个正半周时,由于电容 C 上的正电位使二极管反向截止,整个回路断开。若SCR导通,则在负半周时,电容 C 上的电荷通过SCR、电阻 R 放电,正半周通过电阻 R ,二极管 D 重新对电容 C 充电。因此电阻 R 上有交流电通过,其波形和输入电源一样。

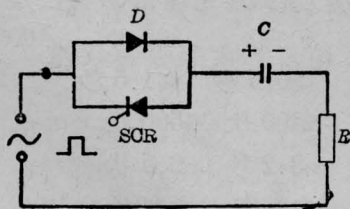


图8 由一只二极管、一只可控硅、一个电容构成的电容限流式交流开关

设回路的等效电阻为 R' ,则线路具有时间常数

$$\tau = R'C。$$

因此,通断过程不是立刻的开或关,而是经过受 τ 影响的短暂过程后才达到稳态。

实际上,由于电容通过 R 、二极管 D 、可控硅SCR放电及电容本身的漏电,电容 C 上的电压略低于交流峰值电压。因此,切断后还有幅度很低的交流电流流过,没有完全切

断。不过,这种幅度很低的电流完全不影响线路工作。

此电路中,电容 C 又起限流作用,其交流阻抗 $Z_c = \frac{1}{2\pi fC}$ 。倍压线路中,电容 C 除起开关作用外,还具有倍压电容的作用,可进一步节省元件(参阅图10)。

这种交流开关线路,也可以作一般的交流开关。如图9所示,开关电容 C 和变压器初级绕组 L_1 构成了一个谐振回路,可以获得比原变压器输出高得多的电压。例如一个750伏的变压器,初级用此开关,次级半波整流后向储能电容 C^* 充电,最高充电电压 ≥ 1350 伏。这样,用此方法,除了可不用限流电阻和克服由限流电阻带来的增加机器体积、重量、发热和浪费不少功率等缺点外,又能得到比变压器输出高的电压。

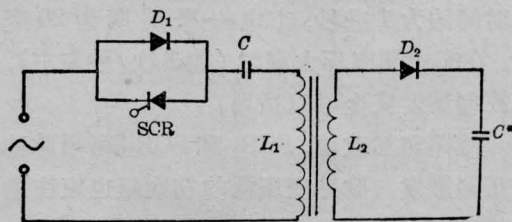


图9 用在变压器初级的电容限流式交流开关

还应指出,前述的振荡,对 C 、 L_1 及次级负载等参数要求不严,可以在较宽的范围内得到谐振。

利用这种开关办法可望简化现有的用变压器制作的激光电源,提高整机效率。

2. 信号耦合与自动控制

信号耦合和自动控制部分,参阅图10。应指出,由于无公共点,线路设计和元件选择应该注意以下几点。

1. 晶体管低压电源变压器,应有足够高的绝缘强度,初级和次级间的绝缘电压应大于储能电容的最高充电电压(我们制作时,初级和次级间的绝缘强度 >2000 伏)。

2. 交流开关SCR₁、触发氙灯用的可控硅SCR₂(参阅图10),也处于不同的电位。因

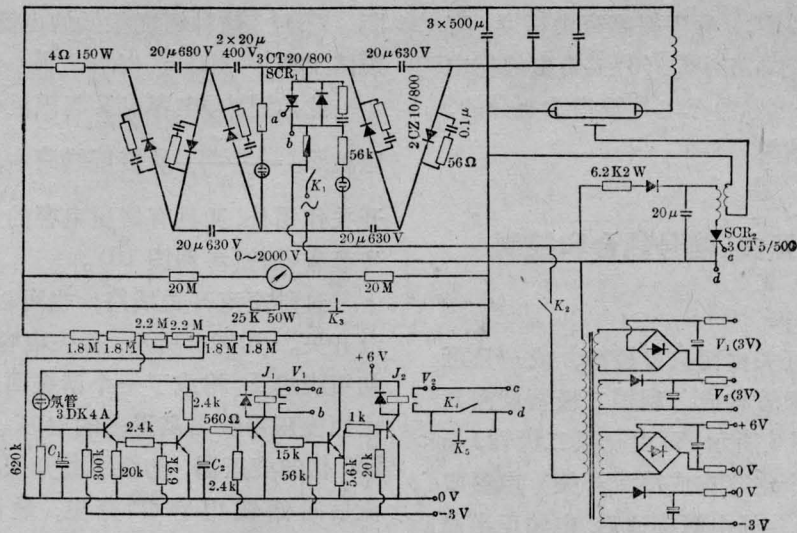


图 10 无变压器固体激光电源线路图

此耦合触发信号时也要考虑到足够的绝缘。我们的样机中用继电器 J_1 、 J_2 耦合信号并以此绝缘。 J_1 、 J_2 为微型干簧继电器，其动作时间约为 1 毫秒，市电一个周期为 20 毫秒，在充电频率不太高时（如 1 次/秒左右），其控制精度完全可以适用。

线路略加改动， SCR_1 和 SCR_2 可用脉冲变压器触发。脉冲变压器的初次级也应注意绝缘。

3. 氙灯触发变压器的初次级，元件底板和机壳间也应注意绝缘。机壳接地。

在采取上述措施后，安全问题得到了切实保证。

C_1 的作用是为了滤去外界干扰的电脉冲。 C_2 的作用是保证触发氙灯时，线路切断，氙灯很好地消电离（参看图 10）。

晶体管都处于开关工作状态（而不是放大状态），因此线路工作较可靠，温升性能和抗干扰性能均较好。如样机可在 $\leq 50^\circ\text{C}$ 下及高频火花放电附近正常工作。

四、讨 论

1. 据实验表明，利用倍压线路可以作固体激光电源的充电主回路。和目前常用的用

变压器制成的同等容量的固体激光电源相比，其重量、体积、造价、工时都可成数倍降低，稳定性良好。而且，变压器往往是单件制作，而电容器有正规的产品，不同的电容量可通过串、并得到，这又给工作带来了不少方便。因此，此种电源具有一定的经济和实用价值。4 号样机的主要指标如下：

最高充电电压：1550 伏；

充电速度（储能电容 1700 微法）：

电压 500 伏 800 秒 1000 伏

时间 ≤ 0.5 秒 ≤ 1.5 秒 2 秒

电压 1200 伏 1500 伏

时间 3.2 秒 6.5 伏

重复充电精度 $> 99\%$ ；

温升性能： 44°C — 52°C 连续运转 2 小时，每分钟 30 次，无异常现象；

工作方式：自动充电，自动停机，可自动触发或外触发；

整机重量：12 公斤；

外接电源：380 伏。

2. 对储能电容预充电，将储能电容兼作倍压电容等方法，可以进一步缩小体积，提高充电速度。

倍压整流也可用于谐振充电，直流电源的储能电容也可作倍压电容。

3. 在一定范围内,实验结果表明方程式(2)成立,这表明倍压充电原则上可以获得较高的整机效率。

4. 由于倍压线路没有公共点,所以信号耦合、自动控制应注意绝缘或隔离。这是此种电源的一个缺点。

5. 文中所述电容限流式交流开关,和通常的办法相比,省去了一只可控硅和限流电阻。用到倍压线路中还可节省一个倍压电容。

为了提高充电效率,有人不用电阻而采用电感限流^[7]。而另外的工作^[8]用较多的线路控制可控硅,对储能电容线性充电。用此办法除有开关作用外,兼有限流作用,可进一步简化线路。

此开关用于变压器回路中(如图9所示),还可得到谐振,提高变压器输出电压,并可望简化现有的用变压器制作的激光电源,提高整机效率。

6. 高频倍压充电,除可进一步降低倍压

电容的容量外,并可得到更高的充电精度。

高频倍压充电的关键问题是高功率、高电压、工作频率较高的开关元件。

参加本实验工作的还有刘洪、王蔚、雷秀德同志。

参 考 文 献

- [1] “激光电源”,《激光与红外》,1976, No 9, 20~22.
- [2] 中国科学院上海光机所206组,“重复率固体激光器电源”,《激光》,1976, 3, No 1, 26~34.
- [3] 重庆光机所视网膜膜焊接电源组,“脉冲固体激光电源”,《激光与应用》,创刊号(1974年).
- [4] “简易农用固体激光电源试制成功”,《重庆科技情报》,1976年, No 12 (总第95期).
- [5] “激光电源整置”,《激光与红外》,1976, No 9, 23~25.
- [6] C. C. Lo, B. Far; *Rev. Sci. Instrum.*, 1976, 47, No. 1, 1.
- [7] “高重复率激光器光泵浦系统”,《激光与红外》,1976, No 9, 26~29.
- [8] *ИТЭ*, 1974, No 3, 81.

山东省召开激光测距技术经验交流会

为了交流应用激光测距仪的经验,促进激光测距仪的研制和配套生产,在山东省科委、建委、科协等有关领导关怀和支持下,山东省测绘学会、激光学会筹委会于1978年11月18日至23日在济南联合召开了山东省激光测距技术经验交流会。

会议期间,特邀的外省、市代表及省内有关单位作了激光测距仪的国内外动态、原理、误差分析及测程等的专题报告,介绍了山东省研制和使用的几种激光测距仪的结构、性能等,并在南郊的千佛山下观摩了该省现有各种激光测距仪和红外、光电测距仪(包括国外进口、外省市生产、本省研制、改制)的测距表演,对红外及光电测距技术也进行了一定的探

讨。

参加这次会议的有来自山东省大专院校、科研、激光测距仪研制和元器件生产单位、测绘部门等近80个单位及部分外省市单位共120名代表。会上,代表们本着实事求是的精神,对现有的几种国产激光测距仪的优点给予了充分肯定,并指出其不足之处和改进意见,以便使激光测距仪更趋小型、轻便、完善,并向自动化、数字化和多能化发展,使其更能适应测绘部门的要求,在水利、工程、地质、地震等野外测量方面发挥更大的作用,为四个现代化作出更大的贡献。