

脉冲激光器电源的设计

提要：透彻讨论了建造红宝石、钇铝石榴石和玻璃激光器专用电源的工艺和原理，尤其着重设计方程式和元件的选择。

脉冲激光器的电源需要特殊的设计技术。周期地释放出储蓄的能量要求这种电源除具有一般直流电源的特点之外，还须具备其他特点。一般直流电源在每天早晨接通，然后上升到某一负载值，在工作过程中，随着负载或线路的变化而变化。在负载接近恒定的情况下，电源元件以稳定的电压、电流和损耗运转。瞬变状态主要存在于接通和切断的过程中。

脉冲激光器电源则不是这样的。在重复工作的激光系统里，电源是从满载到空载周期地运转着。满载时电源的输出端如同短路一样。一般直流电源在刚接通时出现的那些半周电涌可持续几个周期，在脉冲激光电源中，其重复出现的频率达 60 赫芝。

在小的低功率的激光系统里，可适当地选择元件去对付最坏的情况，即电压、电流和功率损耗最大的情况。但是，在几千瓦或者功率更高的大型系统里，这种保守的设计在价格、尺寸和重量上都是很经济的。

射频电感的存在是激光器电源的另一种特殊困难。在脉冲激光器里，射频电感是由辐射场引起的，在接地回路中则是由电容器放电和闪光灯触发脉冲所产生的。要是不特别小心地减小这种射频电感，那末假信号就能干扰控制线路，导致反常的性能，甚至自

破坏。

设计者必须正确地确定主要的电源元件，把它们和控制线路装配在一起，以避免刚提到过的困难。为了帮助技术人员，这篇文章提供了有关下列电源参数的一级设计方程式：氙灯、储能网络和它们的元件、网络的充电方法、氙灯的触发技术和导线的捆扎及排列。所提出的是一级近似方程。在适当的地方给出了参考资料，供更精密的分析。

闪光灯特性的考虑

电源设计者和工程物理人员协力合作，共同选择供特殊应用的闪光灯是一个好办法。通常工程物理人员是确定他所考虑的系统所需要的输入能量和脉冲宽度^[1]。他也可以指定灯的型号、灯的数目和发光弧长。电源设计者的工作是用这些数据决定或者检验根据这些工作参数选择出来的闪光灯。我们这里考虑的是以脉冲方式工作的、弧长有限的充氙闪光灯。

脉冲激光器系统里，通常采用两种形式的灯：螺旋灯和直管灯。由于螺旋灯几乎完全包围着激光晶体，所以它的光泵作用比较均匀。这种灯所特有的长电弧以及由此引起的高电弧电阻，也使得螺旋灯能用在长脉冲激光器里。螺旋灯最主要的缺点是调换复

杂，以高重复频率工作时适当冷却的要求不易得到保证。直管灯冷却比较容易，这是因为冷却剂在整个闪光灯表面上比较容易流通。这种闪光灯通常在调换时也不要重新调整激光器。

闪光灯的第一个重要参数是最大输入能量。典型的直管闪光灯的爆炸能量和脉冲宽度之间的关系如图 1 所示。

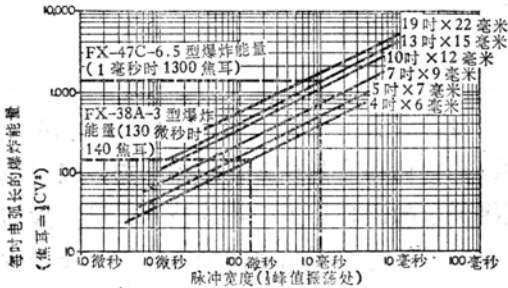


图 1 直管石英闪光灯的爆炸-点负载。(根据 EG&G 公司的图表资料 1002-B) 以长脉冲缓慢地供给能量允许灯能在更高的功率下安全地运行。

图 1 表示方程式：

$$W_{\text{最大}} = 12edT^{1/2}, \quad (1)$$

$W_{\text{最大}}$ —— 爆炸能量；

式中， e —— 电弧长，用厘米表示；

d —— 内径，用厘米表示；

T —— 脉冲宽度，以微秒表示。

对于减幅正弦波， T 定义成 $1/3$ 光输出峰值点之间的时间；对于准矩形波，则为 $1/2$ 光输出峰值点之间的时间。方程 1 对螺旋灯是不适用的。螺旋灯的最大额定值可询问制造者。

闪光灯平均功率的额定值同样不是那么容易预先估计出来的，虽能参考制造者的资料，但往往制造者并没有所要求的那种闪光灯的资料。在这种情况下，长期平均功率额定值能从其他的灯推算出来，即根据两根灯的内壁面积的比值大略估计出未知的额定功

率。用 McAdams 的公式和图表较透彻地进行热分析也是可能的。

在选择闪光灯时，寿命也是重要参数之一。图 2 绘出了典型直管灯的寿命与可容许的最大输入能量的百分数的关系。

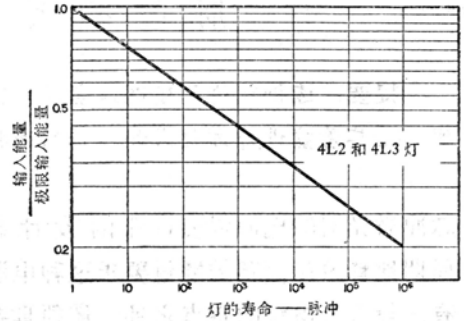


图 2 ILC 公司制造的直管闪光灯的寿命和功率的关系。不足额地操作能大大地延长灯的寿命。

图 2 表示方程式：

$$m = k^{8.58}, \quad (2)$$

式中， m 是放电次数， k 是爆炸能量和工作能量的比值。

这里的寿命由初始光输出的 $1/2$ 来决定。激光器的有效运转取决于这一激光系统的运转特性。如果闪光灯仅仅在激光阈值运转所需要的能量边缘以上运转，那末甚至稍微减少一点输出光，就会导致激光的熄灭。闪光灯虽“活着”，但系统已不工作了。工程物理人员必须告诉电源设计者他所需要的工作曲线，然后才能估计灯的寿命。

早在一开始设计激光器电源的时候，就已经明白氙灯的阻抗不是恒定的。氙灯的一个重要电参数是电阻率，经分析后已能表示成一种有用的形式。在感兴趣的工作范围内，闪光灯的电阻率和电流密度的关系为：

$$\rho = 1.15j^{-1/2}, \quad (3)$$

其中 ρ 用欧姆—厘米表示， j 用安培/平方厘米表示。进行适当的代换，以安培表示的通过氙灯的电流为：

$$I = [0.77pd]^{2/3}, \quad (4)$$

其中 p 是每单位电弧长度损耗的电功率，用瓦/厘米表示。而

$$p = \frac{W}{Te}, \quad (5)$$

式中 W 是在 T 秒钟内灯管放电所消耗的能量(以焦耳计)。对于各种灯口径，在图 3 中绘出了方程式 4 的曲线。进一步适当地代换，下面的设计方程式也能应用：

$$R = peI^{-2}, \quad (6)$$

$$C = T(2R), \quad (7)$$

$$V = 2IR, \quad (8)$$

式中

R ——灯的电阻；

C ——整个电容器组的电容量；

V ——电容器 C 上的充电电压。

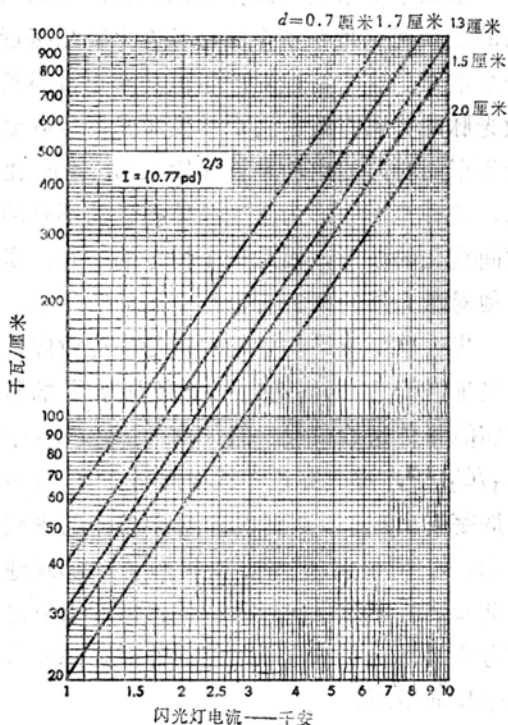


图 3 典型内径的直管灯，其每单位长度的灯电流和功率的关系。为便于设计者使用，将文中的方程式 4 画成上图。

尽管这些方程式是就理想矩形脉冲的情况获得的，但它对下面将要讨论的脉冲形成网络也很适合。而且所得到的电容量、电压与 Markiewicz、Emmett 精确求解非线性 RLC 微分方程所得的结果是一致的。

例如，要求在口径为 2 厘米、电弧长为 30 吋 (76.2 厘米) 的闪光灯中，在 2 毫秒期间内，放电 1,2000 焦耳能量。从方程 1 得， $W_{最大} = 82,000$ 焦耳。这样，这种灯就大约以爆炸能量的 15% 工作，其放电寿命超过 10^6 次。采用 EGGF × 67B-6.5 灯的图表资料特性进行估算，口径 2 厘米、长 30 吋的灯的平均功率额定值是 71 千瓦。因此，这支灯能在 5~6 赫芝之间的重复频率和每脉冲 12,000 焦耳能量的情况下工作。

从方程式 3 到方程式 8：

$$p = 78.8 \text{ 千瓦/厘米}$$

$$I = 2,450 \text{ 安培}$$

$$R = 1 \text{ 欧姆}$$

$$C = 100 \text{ 微法}$$

$$V = 4,900 \text{ 伏}$$

这支灯通过充电到 4,900 伏的 1,000 微法电容器组的放电而闪光 (本文稍后将讨论触发方法)。为获得所要求的寿命，制造者建议，若灯的放电能量高于几百焦耳，灯电流的增长时间须大于 120 微秒。因此要求采用储能网络而不使用电容器组。

储能网络

激光电源储能的最普通方法是充电到一个电容器里。电容器经一适当的电感线圈放电将能量释放到闪光灯中。电感线圈的选择取决于所要求的脉冲形状。图 4 给出了随着电感量递增而出现的各种波形。在图 4(a) 中，电感 L 的最小值将使 L/R 等于 40~50 微秒，因此灯电流的增长时间至少为 120 微

秒，光输出波形的降落时间和具有与 RC 相近似的初始常数的 RC 放电相似，而 RC 可参照上文决定。

但在脉冲后沿，时间常数变大。当放电电流减小时，灯电阻增加，因而时间常数也增大了。这种波形在高功率系统里不是所要求的，因为许多有用的能量是当脉冲接近低功率的后沿时才送入灯里。

当电感量允许增大时，放电最终将经过临界阻尼值进行振荡。图 4(b) 中的网络对于 250 微秒左右的短脉冲特别有用，因为脉冲的一半是所需要的上升时间，有 97% 的能量在时间间隔 T 之内进入灯中。

在图 4(c) 中，充电传输线的瞬时特性能

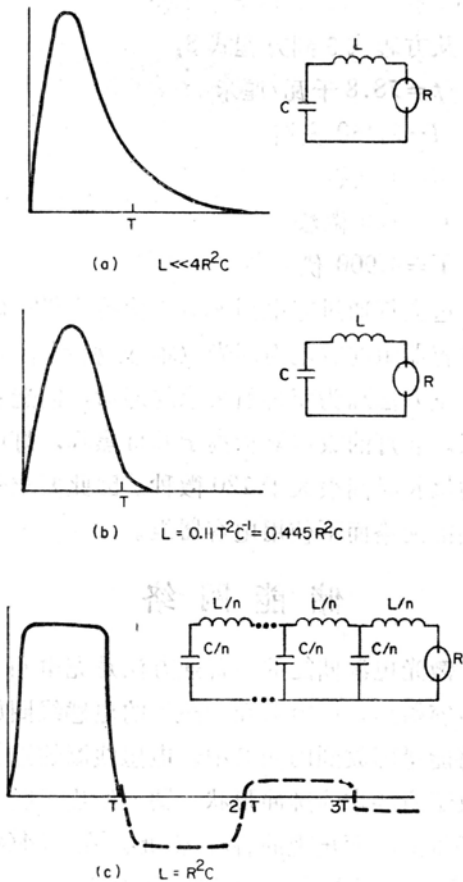


图 4 典型的储能网络和输出波形。从线路图(a)到(c)，其电感量是递增的。

用来产生脉冲。将开路的充电传输线与等于它的特征阻抗的电阻接通，通过此电阻将产生一矩形脉冲，脉冲宽度等于线路传输时间的两倍。这种技术也能用于集中参量电路^[5]。下面是一端开路、另一端接上等于其特征阻抗的传输线的近似方程：

$$T = 2RC, \quad (9)$$

$$L_1 = R^2C_1, \quad (10)$$

$$T_r = 0.53T n^{-2/3} \quad (11)$$

式中

T ——脉冲宽度

R ——等于线路阻抗的灯阻抗

C_1 ——每一节网络的电容量

L_1 ——每一节网络的电感量

T_r ——脉冲增长时间

n —— L_1C_1 节数

用集中参量延迟线作为储能脉冲形成网络的主要优点是在整个脉冲长度上输出接近一个常数。这个特性对产生恒功率正常模长激光脉冲特别有益。当正常模激光器达到激光作用阈时，输出功率就和输入功率成比例。这种矩形波形为激光晶体提供的不是随时间变化的波形，而是一个恒定的输入，所以他对于激光器的研究者也是有用的。

集中参量网络的主要缺点是失配效应，适当地匹配后，网络通过一个宽度为 T 的脉冲将能量传送给负载。但如果负载 R 小于 $(L_1/C_1)^{1/2}$ ，那么穿过零线而间隔为 T 的减幅振荡就出现了，其情况如图 4(c) 中的虚线所示。如 R 很大，波形就以间隔 T 阶梯式地逐渐减弱。电压反向或阶梯的幅值的求取可参考资料 5。在指定了网络元件后，必须考虑这反向电压。

在确定选用来组成脉冲形成网络的节数时，首先应考虑增长时间，其次再考虑到元件数目的方便问题。

早先引用的例子要求将 1,000 微法电容器的储能放电到 1 欧姆的灯里, 那末整个网络的总电感量是 1 毫亨, 若为 10 节的网络, 则每节的电容量为 100 微法, 电感量为 100 微亨, 脉冲增长时间为 233 微秒。

储能网络元件

脉冲形成网络用的电感可由各种形式的线圈构成, 如铜管线圈, 铜带或铝带绕成的扁平线圈和带有铁芯的电感线圈。绕制给定电感量的空心线圈时, Brooks 线圈设计法需要的导线量最少。这点是很重要的, 因为线圈的电损耗必须最小, 但是对于大电感量和高重复频率, 空心线圈中的损耗所引起的发热可能严重到会损坏绝缘。

由于每单位电流变化所导致的磁通量变化在铁芯里比空心线圈里的大, 那末采用铁芯时, 对于给定电感量, 其线圈的匝数能大大减少。如果铁芯饱和, 它基本上就变成一个空心线圈, 并且电感量明显的减小。因此, 指定在峰值电流下所要求的电感量是重要的。对于电感设计者, 其他重要的参量是工作电压和电流的有效值。工作电压不仅出现在绕组和地之间, 而且也存在于线圈之间。为了确定电感的适当大小和绝缘, 必须知道电流的有效值, 通常的方程式 $I_{\text{有效}} = I_{\text{最大}}(Tf)^{1/2}$ (式中 f 是重复频率) 在大多数情况下已经够用。

在指定激光器用的电容器时, 须考虑的问题是: 寿命; 放电电流的峰值、有效值和增长时间; 电压反向; 环境以及电容器的大小和重量。当然, 所有这些因素都不是独立的量, 特别是电容器的大小、重量、寿命和电压在设计时是需要综合考虑的。工作电压的微小变化会导致寿命的显著变化。图 5 绘出了某些电容器参量之间的关系。注意, 电容器充电电

压变化 20% 时, 寿命会有一个数量级的变化。还需要注意的是, 如果所要求的放电次数低于 1,000 次, 10 千伏的设计就能在 10 千伏以上使用。在某些情况下可节省一半体积。

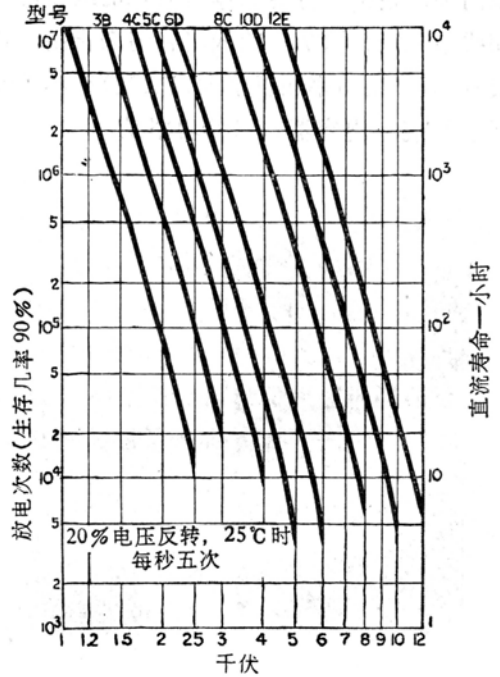


图 5 电容器寿命与电压的函数关系。
数据取自麦克斯韦实验室的 M 和 L 系列电容器。

即使电容器几乎将它所有储存的能量都送到负载上去, 但微小的内损耗将引起发热而减短寿命。电容器必须配备热散或者用空气冷却, 以除去内部产生的热量。电容器设计者对于特定工作的电容器必须知道电流峰值和有效值、安装结构、环境情况以及寿命和电压。

Hayworth^[7] 介绍了关于储能电容器的寿命的研究结果。图 6 绘出了几种典型的激光器电源元件。

充电电源

考虑基本的充电效率方程。图 7 示出了

一个采用恒压电源和电流控制元件的理想化充电系统。效率通常定义成输出功率和输入功率之比。然而，在设计高功率激光系统时，电气工程技术人员关心的是另一种效率。他们必须指出一特定工作所要求的线路电压和线路电流。图7中的线路将用来指出，伏安效率(输出功率除以最大伏安数)决不可能高于50%。电容器输出的功率是：

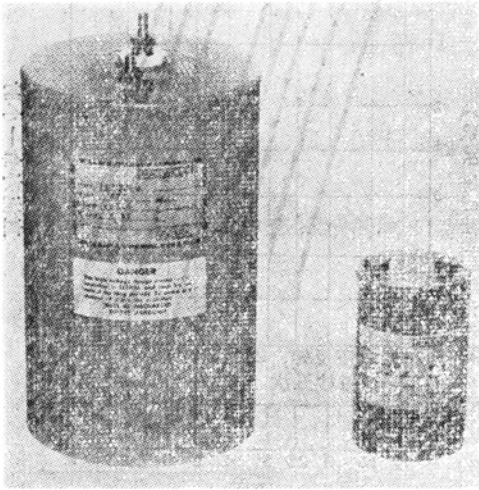


图6 用于激光器电源的脉冲放电电容器和电感。
电容器的额定值为33微法、6千伏；
电感为25微亨。

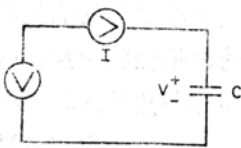


图7 通过电流控制元件对激光器电容器进行充电的恒压线路。

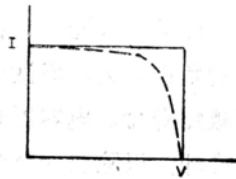


图8 恒流电源的伏-安特性。

$$P = \frac{1}{2} CV^2 f \quad (12)$$

式中 f 是重复频率。一个系统所需要的额定伏安数是：

$$VA_{\text{最大}} = VI_{\text{最大}} \quad (13)$$

式中 V 是恒压电源的电压， $I_{\text{最大}}$ 是从这电源

中输出的最大电流。电容器以平均电流 I_a 在时间 $1/f$ 内充电到电压 V 。因此：

$$V = I_a(Cf)^{-1} \quad (14)$$

以方程13除方程12，并以方程14代入得：

$$\frac{P}{VA_{\text{最大}}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{I_a}{I_{\text{最大}}} \quad (15)$$

由于从电源输出的平均电流显然不能超过最大电流，因此电容器所输出的功率至多只能为电源所能供给的最大伏安数的50%。在电源功率因数偏离1的系统里，有效功率转换能接近100%。在这些系统里，由于电流中存在无功部分，功率将返回到发电机里。但是，所需要的线路伏安数比有效输出功率要大两倍以上。对于高功率系统，这些考虑特别重要。例如从方程式15可以看出，欲供给闪光灯电源500千瓦功率，就要求发电机功率为1兆瓦。

电容器通过电阻充电

电容器充电的最简捷方法是由恒压源用电阻限流充电。图7的电压源是一电池组，电流控制元件是一个电阻器。时间常数低于重复频率的1/3时，所要求的峰值电流是：

$$I_R \approx I_{av}(fRC)^{-1} \quad (16)$$

以3倍的时间常数充电时， f 是 $(3RC)^{-1}$ ，所要求的峰值电流就3倍于平均值；对于4倍时间常数，则为4倍等等。在 I_a 很小的低重复率系统里，这些流入的电流通常是能够容许的。对于高重复频率运转，灯的自续效应又给设计者增加麻烦。

产生自续效应的原因是因为闪光灯在几安培电流和几十伏电压下能连续工作。产生自续的真实数值取决于所使用的闪光灯，但对于弧长为2吋、内径为4毫米的灯，典型的数值为6安培电流和70伏电压。如果电阻低到电源能供给2安培电流，那末在电容器

放电之后灯不会熄灭，而是继续发光，此即自续效应。Edgerton 和 Cohlander 用图表表示了这种效应。因此，当为了增加充电速率而降低充电电阻时，就会出现闪光灯不消电离的情况。为了超过这个工作频率，使用限流电阻，充电电流必须用继电器或半导体开关切断。

注意，如果充电时间为三倍或者大于三倍时间常数时，在限流电阻上所耗散的最小功率就等于电容器所储存和放出的功率。若充电时间较短，则在电阻上甚至会有更大的功率耗散掉。对于指数电流波形，这能从计算 I^2R 值并与 $\frac{1}{2}CV^2f$ 比较便能证明这一点。

铁磁共振变压器

铁磁共振线路调节变压器的恒压和短路电流特性已用来作为电容器充电的一种近似的恒流电源。图 8 给出的是一种理想的恒流电源的伏安特性曲线。图 9 是一只典型的铁磁共振变压器和有关的元件。

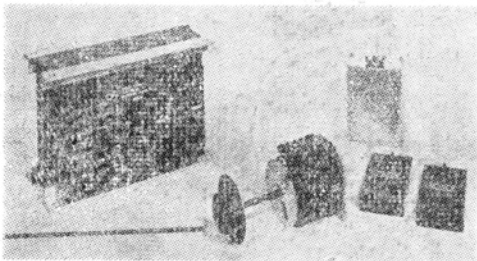


图 9 澳巴什磁学系统公司的铁磁共振激光器电源的元件。系统的输出为 4 千伏、1 安培或 2 千伏 2 安培。

与理想情况非常接近的真实的恒流电源的工作特性由图 8 中的虚线表示。其电压特性可用来获得可调节的输出电压。然而，达到恒压水平所需要的时间比根据平均电流和电容量计算出来的要长得多，这是因为当电压接近调节值时，电流降到平均数值以下。因此设计变压器时其最高电压要比所需值略高些

(典型的是 100 伏到 1000 伏以上)。调节工作是在变压器的初级回路中用可控硅整流器截断处于所需要的电压的充电电流而完成的。

变压器的额定伏安值是 VI_a 值加上变压器的损耗(损耗的典型值是 15%)。如上文所指出的， VI_a 值为电容器的放电功率的两倍。

用电抗限流

图 10 表示如何用初级回路中的电感限制充电电流的方法。放电电容器引起次级的短路，而次级则反射初级。因此只有感抗在电路上出现；输入电流等于电源电压除以这个电抗。次级的感抗近似等于初级回路的电抗乘上匝数比的平方。那么我们能象分析电阻限流充电线路一样来进行分析。

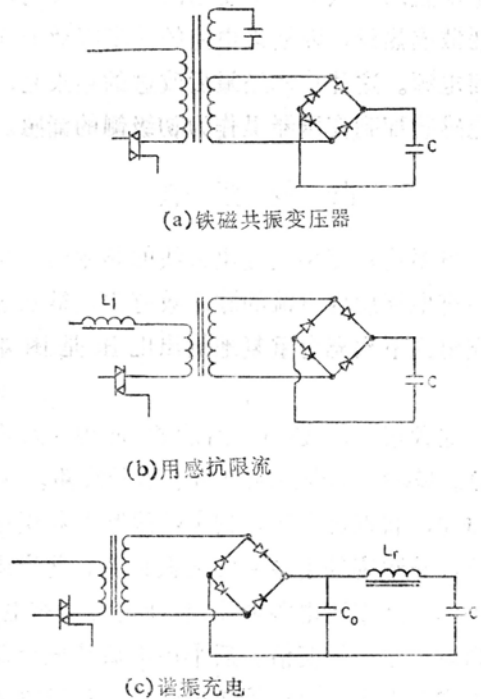


图 10 脉冲激光器的电源充电线路。

电容器充电所能达到的电压选择为初级电压的有效值与匝数比的乘积。若作更精确的分析，就必须考虑电容器充电时导角的变

化，以及每一半周上的平均电流。但上述的较简单的方法已经够用了。

举例分析，一电源在1分钟内将1000微法的电容器充电到4900伏。充电时间常数选为15秒。四倍的时间常数将允许电容器充电到电压的98%。次级回路限流阻抗为15千欧。匝数比为4,000/120，即33.3:1。次级回路的限流阻抗反射到初级的值是 $15,000/(33.3)^2=14.3$ 欧姆。线路频率为60赫芝时，这是一个38微亨扼流圈的电抗。电流的有效值是 $120/14.3=8.4$ 安培。要注意的是：输入伏安值是 $120 \times 8.4=1000$ 伏安。电容器输出的功率是每60秒钟12,000焦耳，即200瓦；充电所需要的伏安数比电容器放电所给出的功率大5倍。采用电感而不采用电阻的优点是，未使用的800伏安功率不耗散成热量，因初级电路的功率因数低而返回电源。这种技术经最后改进的结果是，将电感装配到变压器里作为初级侧的漏感。

谐振充电

当系统重复率接近电力线的频率时，由于在充电周期内电流的脉冲数有限，欲从这次充电到下次充电重复地输出电压是困难的。

这种情况，必须采用谐振充电（见图10c）。Glascoc全面地分析了这种线路。众所周知，将直流电压加到LC线路上将引起振荡，其频率等于线路的谐振频率。前半周内，电流从直流电源内流出，使电容器充电，达到电源电压的两倍。后半周电荷从电容器组内流入电源，电容器放电到零。如线路上没有电阻，这个循环将无限地延续下去。

但若在线路中放置一个二极管，电流仅能在前半周内流出。在这个时间内，电容器充电到两倍电源电压。因为除了漏电以外，

电流不从电容器流出，故电容器仍然保持充电状态。从这充电线路推算出的峰值电流是 $V(2fL_r)^{-1}$ ，式中 f 是工作频率，而

$$L_r = (\pi^2 f^2 C)^{-1} \quad (17)$$

必须注意， V 是电容器的充电电压。电源电压的平均值必定是 $\frac{1}{2}V$ 。对于各种整流线路，电压的平均值和有效值之间的关系已载于“国际电话和电报公司手册”中。图10(c)中的电容 C_0 是用来帮助调节电压的滤波器，其容量可取从0到几倍于电容器组 C 之间的任一值。一半导体元件已包含在充电电源的初级电路中。在早期的激光器电源中，输出电压是用可调自耦变压器或继电器来控制的。这个可调自耦变压器对于系统和有击穿危险的继电器说来是一个附加电感。这些控制元件后来已改用成可控硅整流器。可控硅整流元件在充电周期开始时接通，在达到预定的充电电压时切断。除了这种简单的接

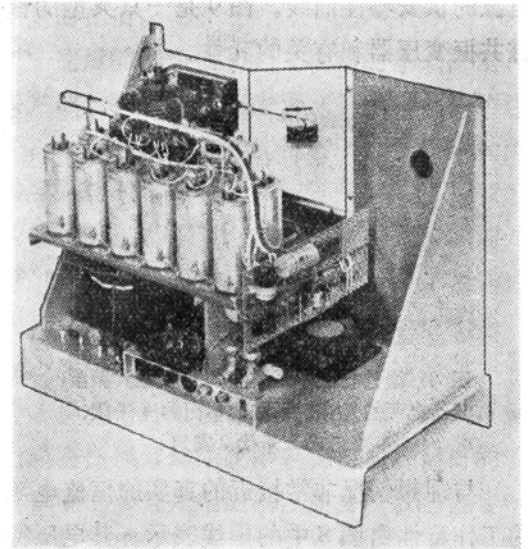


图11 黑德伦公司激光器用的LMP型电源以每秒60个脉冲输出500焦耳能量。如正文所述，电源系通过初级电抗限流。在脉冲间隙当中，连续调节能维持电容器的电压；这就有可能使用电解电容器，结果装置不过2呎宽。右边的备用空间可插入激光头和头的水冷连结设备。

通和切断控制以外，还能改变相角以实现甚至更精密的调节。黑德伦公司在图 11 所示的电源中采用了这种技术，使调节精度达 0.25%，象在通常设计直流电源那样，控制信号是从电容器电压取出的。

闪光灯的触发

触发闪光灯是一门艺术。尽管在概念上有几种触发方法，但在实际应用中常常遇到以下几个问题：和地之间的高压触发脉冲击穿、灯连接器绝缘体介质的击穿、在闪光灯内建立适当的高压场结构以及多灯的同时电离。

最原始的电离方法是利用过电压。闪光灯在气体发生电离之前基本上是开路的。如果超过气体的电介质强度，击穿和电离即发生了。完成这种过程的一种方法，是将电容器接到灯上并增加电压，直到超过气体的电介质强度。但当闪光灯已用这种方法触发几次以后，击穿电压就不能再重复，因为管壁已被电极材料沾污。电离前电容器充电所能达到的电压，因而输入到灯上的能量，将一次接一次地改变。

令闪光灯及脉冲形成网络与饱和脉冲变压器串接(见图 12)，是一种比较可靠的过电压系统。

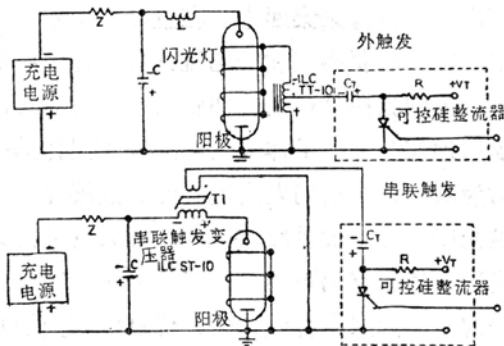


图 12 闪光灯触发线路(根据 ILC 公司的图表资料 4L2)。

电容器充电到低于最小的自闪电压。脉冲由串联着的触发变压器产生，其典型峰值为 30 千伏、脉冲宽度为 2 微秒。这个脉冲引起灯的初始电离，随之而来的巨大的灯电流将使变压器饱和，使其电感量减小，或者能和末节脉冲形成网络的电感量相比拟。

这种方法并非没有困难，最明显的是闪光灯电极周围的绝缘体必须有足够的电介质强度。虽然绝缘体在特别设计时可具有足够的长度，但材料内部的疵瑕仍会导致过早的击穿。

另一个主要的问题是外加电场的方向。理想电场应加在两电极之间。但在某些情况下，在这个方向上电场不是足够强，因此电离不是从一电极到另一电极。在闪光灯的外壁建立一等电位条件以保证可靠的触发是有必要的。例如在灯周围包上一层金属箔，在低脉冲幅值情况下能大大提高触发的可靠性，但采用这种方法时尚不知道如何从灯得到光输出。但若用金属线缠绕闪光灯，这种等电位条件便能近似建立。这根金属线的形状、位置和电性连结只能通过试验和修正来确定。对一个闪光灯线路适用的，对另一支灯并不合适。一种好的方式是将金属线的一端系住闪光灯连接器的一端，并且让金属线缠绕闪光灯，最后终止于距灯的另一电极 1/2 吋处。

图 12 所示的外触发是可靠性稍差的另一种触发方法。此方法是将高压脉冲加到缠绕着闪光灯的触发丝上。这种系统不象串联方法那样需要接入笨重的变压器，因为闪光灯电流并不流过它。因此，产生脉冲时所需要的初级电压和电流就比串联变压器的低。但是这种方法，特别是在高重复率系统里，不如串联法可靠，但其原因尚不清楚。

设备的装配

闪光灯放电回路中产生的电流可达几千安培。频率为 500 千赫的高压触发脉冲的电压数值达 30 千伏，峰值功率可达 1 兆瓦。由此产生了一个辐射场，电流通过甚至几毫欧电阻的地回路亦能产生几伏的电压。另一方面，控制线路一般已晶体管化，工作在毫安和数伏的水平上。所以控制系统对射频电感必须具有特别的抗干扰性。同时要求地回路、闪光灯触发电场和主放电脉冲不产生乱真信号。

必须采用一切抗干扰和抵制射频电感的措施。可采用低阻抗回路，用屏蔽电缆将信号从一个地方传送到另一个地方，地回路只用一个共用点，机壳一点接地，不把机壳作为导体；保持所有导线紧靠机壳，这样耦合匝就可能最小；可能时要利用距离使灵敏的控制元件与闪光灯场隔绝开；也可采用去耦

合网络。最后一个建议仅能部分实现：在闪光灯脉冲期间将系统断开。

结 论

上面所列举的各种因素在脉冲激光器电源的设计中必须仔细考虑。对特定的工程设计，须对比各种方法进行选择。必须特别注意各个元件的额定值，还要注意的，高功率、高重复率激光器的一般性质所导致的电流和电压波形，本质上是瞬变过程，因而不适宜进行稳态分析。设计者还必须知道与主要功率元件有关的冷却问题，诸如可控硅整流器、变压器和脉冲形成网络用的电感。这些设备的制造者能供给有关冷却的专门资料。

参 考 资 料(略)

取自 L. Waszak, *Microwaves*, 1969 (May), 8, №5, 130~138

各种高功率连续掺钕钇铝石榴石激光器灯的比较

钨丝灯是用以泵浦以连续方式运转的掺钕钇铝石榴石激光器的第一种灯，而且在目前也是最普通的灯。由于钨-碘循环的发展，这种灯是较紧凑的并且能在钨的熔点附近长时间持续运转。即使在这样的温度下，与某些气体放电灯相比，钨灯的发光度还是低的。但是，欲使连续放电的发光度与钨丝的发光度相比拟，灯就必须具有能经受住在高电流密度下耗散出的平均功率的电极和管壳。

由于高平均功率时产生径向热梯度和考虑到生长条件，连续应用中使用的掺钕钇铝石榴石棒的直径限制在 1 厘米数量级。在任

何成象的泵浦腔内，灯的直径比棒直径大是没有好处的，因为成象的发光度决不会比光源的发光度大，而且是希望把整个 4π 球面度内的辐射都聚集起来。在直径 1 厘米放电中，在可能获得连续的电流密度条件下，等离子体的光性是薄的。那就是说，连续灯的辐射远较与等离子体有同样温度的黑体的辐射为弱。线光谱的发光度可能比连续光谱的发光度大几个数量级。因此，如果气体的线光谱与掺钕钇铝石榴石的吸收光谱能很好重迭的话，那末这种气体便是优良的激光器泵浦气体。不过，虽然谱线很强，但一般是很窄的，所以灯所耗散的能量只有很小的一部