一种激励脉冲氙灯的电路

林 敬 与

(北京航空学院)

这里仅对红宝石激光电源中的主电路部分，也即对脉冲氙灯的放电回路和对储能电容的充电电路进行讨论。

电路如图1:

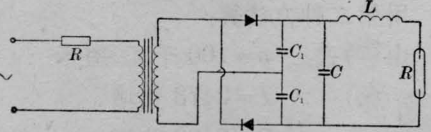

图 1

1. 放电回路，也就是单网眼的 LCR 电路。有电路方程:

$$L\frac{di}{dt}+Ri+\frac{1}{C}\int_0^t idt=0$$

初始条件　　　$U_c=U_0$

注意到这里的 R 是脉冲氙灯，它在通常情况下是工作在类稳放电状态，灯内等离子体可等效为一电阻 $R(t)$ 的导体，长度为两电极间距 l，半径为内半径 r

$$R(t)=\rho(t)\frac{l}{\pi r^2}$$

对于 $\rho(t)$ 有经验公式:

$$\rho(t)=1.15j(t)^{-1/2}$$
$$=1.15\left[\frac{i(t)}{\pi r^2}\right]^{-1/2}$$

令:

$$K_0=\left(\frac{2}{\sqrt{\pi}}\times 1.15\times\frac{l}{d}\right)$$

$$d=2r \text{ 为直径} \qquad (1)$$

代入方程.

$$L\frac{di}{dt}+K_0 i^{1/2}+\frac{1}{C}\int_0^t idt=0$$

归一化之: 令

$$\sqrt{LC}=T_0;\quad \sqrt{\frac{L}{C}}=Z_0;\quad \tau=\frac{t}{T_0};$$

$$i=I\frac{U_0}{Z_0};\quad \alpha=\frac{K_0}{(U_0Z_0)^{1/2}}$$

得归一化方程:

$$\frac{dI}{d\tau}+\alpha I^{1/2}+\int_0^\tau Id\tau=0$$

对于这方程，由计算机求出一系列曲线解(参阅“闪光灯激励电路设计”科技译报1974. 1)，知道当 $\alpha=0.75$ 时为临界状态; $\alpha=0.2\sim0.75$ 为减幅振荡，$\alpha=2.0\sim3.3$ 为过阻尼状态。对于 $\alpha=0.75\sim2.0$ 的解，一般认为都好用。

对应于 $\alpha=0.75$，从功率曲线上可以求得闪光时间

$$T_L=2.2T_0 \qquad (2)$$

显然当给定了氙灯的数据 l、d，便可确定 K_0 (由式(1))，而当又给定了 T_L 和总能量 E_0 时便完全可以设计 C、L、U_0，

$$\because\quad C^3=\frac{2E_0\alpha^4T_0^2}{K_0^4} \qquad (3)$$

$$L=\frac{T_0^2}{C} \qquad (4)$$

$$U_0=\sqrt{\frac{2E_0}{C}} \qquad (5)$$

从前面知道，脉冲氙灯在类稳放电状态下，灯内等离子体可以等效看成一导线，电阻为 $R(t)$；而从实际实验结果看，$R(t)$ 在某一时间间隔内是近于一个常数(也是 $R(t)$ 的极小值)。《激光技术》一书中介绍的方法就是干脆认为灯管内阻是一常值，运用匹配的办法来求 L、C 值(图2)。

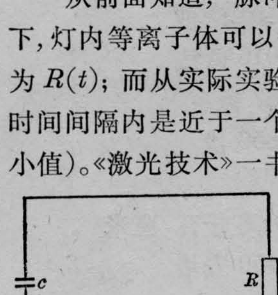

图 2

假设网络处于

* 收稿日期: 1978年5月4日。

匹配状态下，且其放电波形为矩形波图3，则有：灯阻 $R=ET^{-1}I^{-2}$

氙灯中通过的电流与单位长度上电功率损耗间有一关系式：

$$I=(0.77pd)^{2/3}\ (\text{安培}) \tag{6}$$

其中

$$p=\frac{E}{Tl}\ (\text{瓦/厘米}) \tag{7}$$

是单位长度上电功率损耗，因而电阻

$$R=plI^{-2} \tag{8}$$

另外电容

$$C=T(2R)^{-1} \tag{9}$$

电容上电压

$$U_0=2IR \tag{10}$$

电感

$$L=R^2C=\frac{1}{2}RT \tag{11}$$

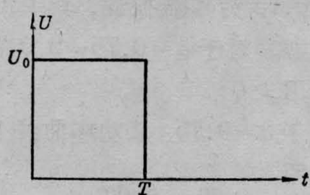

图 3

下面举二个例子进行计算：

例1 脉冲氙灯直径2厘米、弧长76.2厘米，在2毫秒内放电12000焦耳。

已知：$E_0=12000$ 焦耳；$T_L=2$ 毫秒；

$l=76.2$ 厘米； $d=2$ 厘米；

用第一种方法算：

取 $\alpha=0.75$

由(1)式： $K_0=49.4$

(2) $T_0=0.91$ 毫秒

(3) $C=1016$ 微法

(4) $L=967$ 微亨

(5) $U_0=4856$ 伏

用第二种方法算：

由(7)式： $p=78.8$ 千瓦/厘米

(6) $I=2450$ 安培

(8) $R=1$ 欧姆

(9) $C=1000$ 微法

(10) $U_0=4900$ 伏

(11) $L=1$ 毫亨

例2 脉冲氙灯口径16毫米，弧长20厘米在2毫秒内放电4000焦耳

已知：$T_L=2$ 毫秒， $E_0=4000$ 焦耳，

$l=20$ 厘米， $d=1.6$ 厘米，

用第一种方法算：

取 $\alpha=0.75$

由(1)式 $K_0=16.2$

(2) $T_0=0.91$ 毫秒

(3) $C=3120$ 微法

(4) $L=265$ 微亨

(5) $U_0=1602$ 伏

用第二种方法算：

由(7)式： $p=100$ 千瓦/厘米

(6) $I=2473$ 安培

(8) $R=0.33$ 欧姆

(9) $C=3065$ 微法

(10) $U_0=1615$ 伏

(11) $L=330$ 微亨

从计算结果看，这两种方法的设计数据是相近的。

事实上，由第一种方法得到的结果，是近似满足匹配条件的，这是可以证明的。由它得出的结果当然是不应与匹配下求出的 LC 相距很大。而且应当讲，由于它的分析过程，更细致地揭示了设计的合理性。

对上述讨论过程中为什么要取临界状态或假设脉冲为矩形，这是因为脉冲氙灯发光激发红宝石时，对于一定激励能量，激光输出随闪光时间的缩短而增加；对于一定的激光输出能量，脉冲时间愈短，所需要的激励能量愈少。当闪光时间小于红宝石的荧光时间时，阈值能量几乎与脉冲时间无关，这时可以用最小的能量激起稳态激光输出。因此我们希望氙灯放电时全部能量集中在小于红宝石荧光时间3毫秒内放光。另一方面，若瞬间有极大能量通过氙灯，又会引起严重的冲击波和电极溅射而损坏灯，因此又不能使放电时间太短或时间虽不短但有尖峰能量。故希望放电脉冲波形是近于矩形波或矩形波。这也

就是为什么不是电容直接对氙灯放电，而要加进一个电感的原因。

我们还重提一下上面的一句话，“对于 $\alpha=0.75\sim2.0$ 的解，一般认为都好用”。从式(3)中可以看出，对应一个 E_0，最佳状态的选择，只有一个 C 值。这对一个设备来讲未免使用上限的太死了。给出 α 取值的一个范围，使得给定 C 的时候，E_0 仍可有一定变化使用范围。对应于 $\alpha\pm\Delta\alpha$ 时

$$\Delta E=\mp4E_0\frac{\Delta\alpha}{\alpha},$$

现在 $\Delta\alpha=0.6$，取 $\alpha=1.4$ 代入算出，

$$\Delta E_0=\mp1.7E_0,$$

也就是放电能量使用变化范围可达3.4倍。为此在设计时应当取 E_0 的可能最大值与 $\alpha=0.75$ 对应进行计算，来选取 C、L 的值，这样的设备适用性就大了。

2．充电电路(图4)，这里要讨论的仅是将限流电阻从次级移到初级后发生的变化。考虑的是最简单的情况：变压与整流过程的损耗可以忽略，即下面整个方框内的线路只相当于一个变压作用，其变压比 $N=nK$

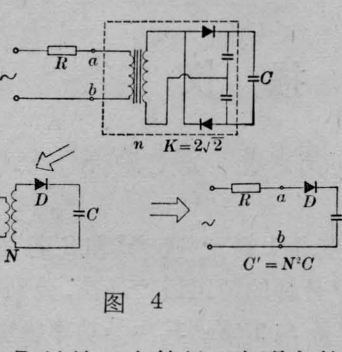

图 4

这里的 D 只是一个符号，表明它的左边是交流而右边是直流。

做这种简化的目的在于使物理图象明朗化。它躲开了比较繁杂的阻抗转换运算，在我们的实验中证实也还可行。下面就用它来讨论。

(1) 它完全是 RC 充电回路，充电时间 RC'。

(2) U_{ab} 是随着电容器的充电电压的上升而升高；也就是对电容 C 的充电电压是随着电容器两端的电压上升而升高的。

从第一点，充电时间常数

$$RC'=n^2K^2CR,$$

显然 R 的值取比它在次级时小 n^2K^2 倍。这电阻不仅躲过了高压绝缘的问题，而且量小，又是交流通过，给采用扼流圈提供了有利条件，甚至在设计变压器时利用其漏感来取代这个限流电阻也是可能的。

从第二点看，可以选择适当的 n、K 值(主要是 n 值)，使得电容 C 上的充电选在充电曲线的线性段，这样不采用可控硅开关，电路也能获得近于线性充电，这就躲过了可控硅的使用带来的一系列问题。而且变压器、整流管、电容器的耐压要求都只要根据 U_0 的数值来考虑(当然是在有定压控制系统存在的情况下)(图5)，可以大大减小体积、重量和绝缘要求。

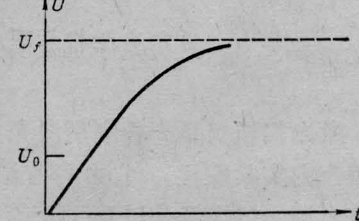

图 5

*U_f 是电容器上可能达到的最大电压