

# 高重复频率高压脉冲发生器\*

赵福潭 曹丽芸 李多录 陈连春 秦世栋

(中国科学院长春物理研究所)

## (一) 引言

激光电光调制技术以及其它一些物理实验需要重复频率高、电压幅度高、宽度可变的快速高压矩形脉冲发生器<sup>[1]</sup>。根据需要,我们设计了“双臂式充放电”电路。同时调试安装了两种规格的高压脉冲发生器。

采用国产 FM-30 束射四极管作为高压充放电管,达到的指标如下:

- (1) 脉冲幅度: 最高 5kV (250V—5kV 连续可调,“零”电位为 250V)。
- (2) 前后沿时间: 负载电容为 100pF 时,  $\tau < 0.5\mu\text{s}$ ; 负载电容为 200pF 时,  $\tau < 0.8\mu\text{s}$ 。
- (3) 重复频率: 最高 10kHz。
- (4) 占空比: 1:1—10:1 连续可调。

另一种是采用国产 FM-14 金属陶瓷管作高压充放电管,达到的指标如下:

- (1) 脉冲幅度: 最高 8kV (600V—8kV 连续可调。“零”电位是 600V)。
- (2) 前后沿时间: 负载电容为 56pF 时,  $\tau < 1.5\mu\text{s}$ ; 负载电容为 112pF 时,  $\tau < 1.8\mu\text{s}$ 。
- (3) 占空比: 1:1—10:1 连续可调。
- (4) 重复频率: 最高 30kHz。

## (二) 电路设计

采用“双臂式充放电”电路产生高压脉冲。实际电路如图 1 所示。图 1 中,  $U_1$  用 FM-30 作高压开关管。因  $U_1$  是  $U_2$  的动态负载,基本上一个导通一个截止。当  $U_1$  导通时图 1 可近似等效成图 2 所示的间歇振荡器电路,可用此电路来进行脉冲前沿的计算。图 2 的等效电路如图 3 所示,写出该等效电路的微分方程,设解的形式为  $e^{Pt}$ ,则特征方程式的根为<sup>[2]</sup>:

$$P = \pm \left[ \left( \frac{r_p}{2\sigma} + \frac{1}{2r_g c} \right)^2 + \frac{\mu}{\sigma c} \left( 1 - \frac{1}{A} \right) \right]^{1/2} - \left( \frac{r_p}{2\sigma} + \frac{1}{2r_g c} \right), \quad (1)$$

式中,  $\mu$ ——高压开关管的放大系数,  $r_p$ ——板极电路中的全部电阻,  $r_g$ ——栅极动态电阻,  $\sigma$ ——脉冲变压器  $T_1$  的漏感,  $A$ ——电路的回路增益,  $A = \frac{\mu T_g}{r_g + r_p}$ ,  $c$ ——旁路电容,它包括: (1) 脉冲变压器初次级间的分布电容  $C'$ , (2) 栅极回路上的有效输入电容  $C_s$ , (3) 板极上的输出电容  $C_o$ , (4) 杂散接线电容  $C''$ , (5)  $U_1$  管灯丝变压器初、次级间的

\* 1981年7月6日收到。

1982年10月28日修改定稿。

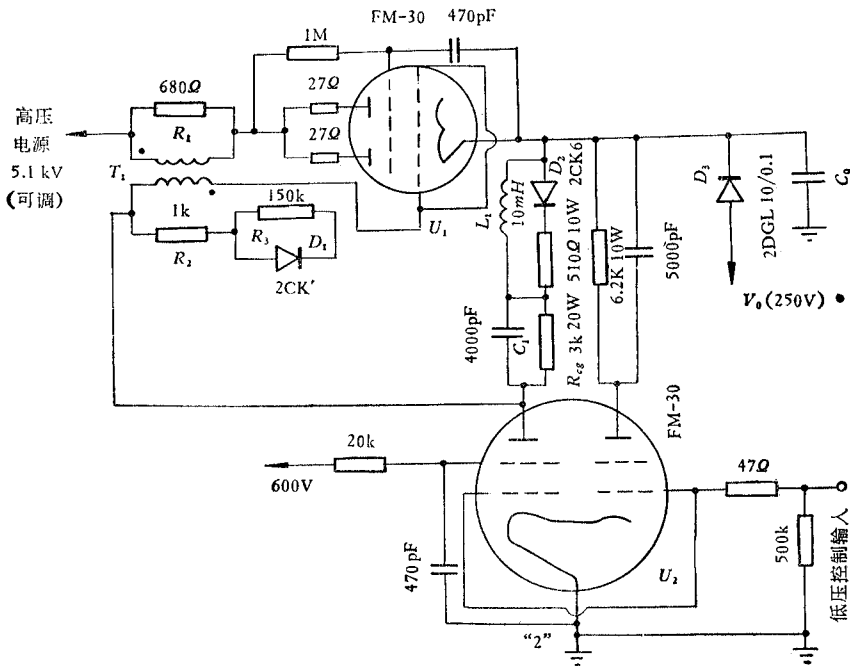


图 1 采用 FM-30 作高压开关管的线路图

Fig. 1 The complete circuit diagram with tube FM-30

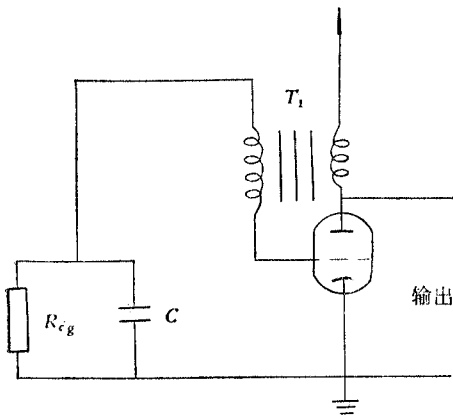


图 2 图 1 的简化电路

Fig. 2 The simplified circuit of Fig. 1

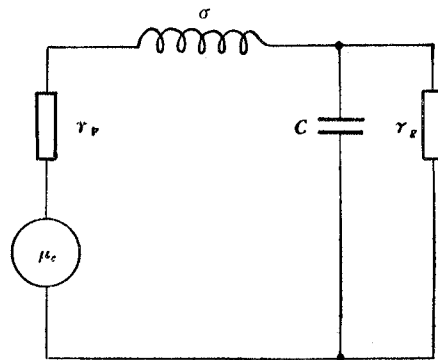


图 3 用来计算脉冲前沿的等效电路

Fig. 3 The equivalent circuit for computing the rise time of the pulse

电容  $C_T$ .

脉冲前沿可用下式计算

$$T_r = 2.20/P. \tag{2}$$

由 (2) 式知:  $\sigma$ ,  $C$ ,  $\mu$ ,  $r_p$  和  $r_g$  对脉冲前沿均有影响. 图 4 为  $\sigma$  值对  $T_r$  值的关系曲线, 图 5、图 6、图 7 分别为不同  $C$ ,  $r_p$ ,  $r_g$  值下  $T_r$  随  $\mu$  值的变化曲线. 由上述后三条曲线看出,  $\mu$  值愈大,  $C$ ,  $r_p$ ,  $r_g$  对  $T_r$  的影响愈小. 对 FM-30 管来说  $\mu = 25$ ,  $r_p$  和  $C$  值

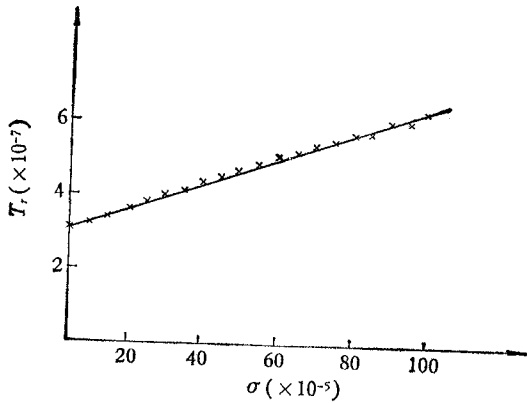


图 4  $T_r$  随  $\sigma$  的变化曲线

Fig. 4 The dependence of the rise time ( $T_r$ ) on the leakage inductance ( $\sigma$ )

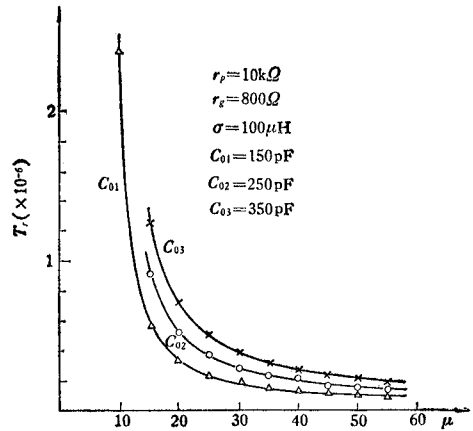


图 5  $T_r$  随  $\mu$  的变化曲线,  $C$  为参变量

Fig. 5 The dependence of the rise time ( $T_r$ ) on the magnifying ratio ( $\mu$ ) with the capacity  $C$  as parameter

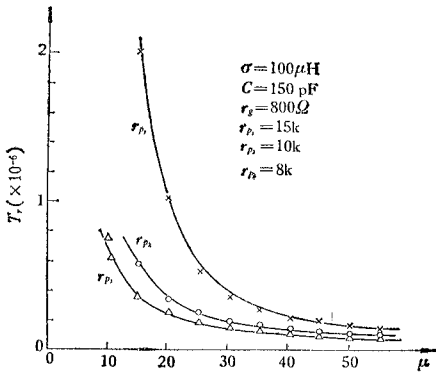


图 6  $T_r$  随  $\mu$  的变化曲线,  $r_p$  为参变量

Fig. 6 The dependence of the rise time ( $T_r$ ) on the magnifying ratio ( $\mu$ ) with  $r_p$  as parameter

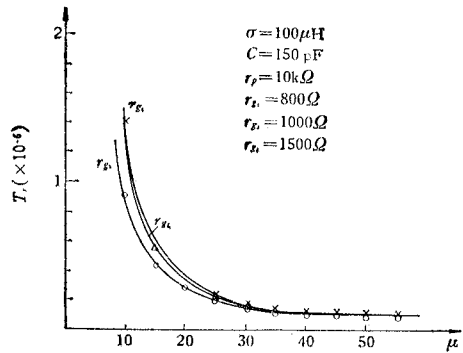


图 7  $T_r$  随  $\mu$  的变化曲线,  $r_g$  为参变量

Fig. 7 The dependence of the rise time ( $T_r$ ) on the magnifying ratio ( $\mu$ ) with  $r_g$  as parameter

比  $r_g$  值对  $T_r$  的影响要大。因此绕制变压器时要尽量减小分布电容。  $r_p$  应取小些为好，线路中的  $R_1$  是为了防止振荡而加的。在保证不振荡的前提下， $R_1$  应尽量大些。

用  $Q$  表可测出变压器的漏电感  $\sigma \approx 100\mu\text{H}$ ，表 1 所示为各参量下  $T_r$  的计算值和实验值的比较。由表 1 可见，计算值与实验值基本吻合。

对于脉冲平顶部分，相当于负载直接与电源接通，无论持续期多长，平顶部分都不会发生畸变。现可作到脉宽为 1s 或更长。

脉冲下降时间  $T_d$  可用下式来计算

$$T_d = C(R_{cg} + R_i), \tag{3}$$

式中， $R_i$  为开关管的内阻，表 2 所示为不同管型和不同  $C$  值下计算值和理论值的比较。

选取  $R_{cg}$  时，一方面要照顾  $T_d$ ，同时还要照顾  $T_r$ 。电路中  $R_2$ 、 $R_3$ 、 $D_1$  也是为了防止产生振荡而加的。  $L_1$ 、 $C_1$  是为了形成时延，以避免  $U_1$ 、 $U_2$  同时处于导通状态。脉冲变压

表 1  $T_r$  计算值与实验值的比较Tab. 1 Comparison between the calculated results and the experimental ones of  $T_r$ 

管 型	$\mu$	$\sigma(\mu\text{H})$	$r_p(\text{k}\Omega)$	$r_g(\Omega)$	$C(\text{pF})$	$T_r(\mu\text{s})$	
						计算值	实验值
FM-30	25	100	10	800	150( $C_0 = 100$ )	0.34	0.5
					250( $C_0 = 200$ )	0.52	0.8
FM-14	30	100	15	800	350( $C_0 = 56$ )	1.16	1.5
					400( $C_0 = 112$ )	1.32	1.8

表 2 不同管型和不同  $C$  值下  $T_d$  的计算值与实验值的比较Tab. 2 Comparison between the calculated results and the experimental ones of  $T_r$  of different type tubes under different  $C$  values

管 型	$C(\text{pF})$	$T_d(\mu\text{s})$	
		计算值	实验值
FM-30	150	0.45	0.5
	250	0.75	0.8
FM-14	350	1.05	1.4
	400	1.2	1.7

器  $T_1$  的磁心是  $E_{10}$  型高频铁氧体, 线径为 0.2mm,  $n_1:n_2 = 75:100$ .

### (三) 低压控制部分

高压电路的工作状态完全由  $U_2(\text{FM-30})$  栅极上加的控制信号而定. 该控制信号可以是 (1) 函数发生器的输出, (2) 激光数字显示的编码输出, (3) 计算机的终端输出, (4) 控制中心的某个指令. 这里举一种能产生前后沿  $\tau < 0.2\mu\text{s}$ 、输出幅度为 0—200V 的控制电路 (图 8), 其前级为一个可变频率的多谐振荡器和一个同步双稳电路. 多谐振荡器中的 3AK33B 的作用是当多谐振荡器的某一臂导通时, 它导通, 将 (330k $\Omega$ ) 的电位器  $V_R$  短路, 以维持导通管的基极电流. 当这一臂截止时, 它亦截止, 电位器起到调节作用. 这种电路能保证输出脉冲幅度不变, 调节范围大, 工作稳定. 因为图 1 中 FM-30 要求低压控制信号的幅度在 0—200V 之间, 为此后级再用一级放大和一个同步双稳电路. 射极输出器则是用来降低输出阻抗的.

### (四) 用途

本机可用于激光高频调制和激光数字显示等工程技术中, 也可用于电致发光晶体的一些基础研究, 以及其它材料的高频高压性能的测试.

### (五) 几点说明

(1) 低压控制部分加一个同步双稳是为了同时获得两个输出极性相反的控制脉冲. 由图 8 输出端 I 和 II 取出, 来交叉驱动两个完全相同的高压电路, 以便交叉驱动电光晶体来提高激光调制的开关速度. 仅作为一路高压方波发生器的驱动源而言, 则可用 I 或 II 任一输出端都可.

(2) 如采用 FM-14 管的电路并改进绝缘, 电压幅度还可以提高.



出很多宝贵意见,在此一并表示感谢.

### 参 考 文 献

- [1] C. F. Haugh, *Applied Optics*, **15**(1966), 1777.  
[2] J. Millman and H. Taub 著, 杨龙生等译, 脉冲与数字电路, 科学出版社, 1963年, 第229页.

## A HIGH REPETITION-RATE HIGH VOLTAGE PULSE GENERATOR

Zhao Fu-tan, Cao Li-yun, Li Duo-lu,

Chen Lian-chun, Qin Shi-dong

*(Changcun Institute of Physics, Academia Sinica)*

In this paper, a double arm charge-discharge circuit is described. A high repetition-rate high voltage and variable width rectangular pulse has been obtained. Its technical data are as follows: Its amplitude is 600 V—8 kV continuously adjustable; The maximum repetition-rate is 30kHz; The rise and fall time is less than 1.5  $\mu$ s when the load capacity is 56 pF, less than 1.8  $\mu$ s when the load capacity is 112 pF; The pulse duration ratio is 1:10—1:1 continuously adjustable. Theoretical analysis for the circuit has been made.