

# Marx型脉冲形成网络的研究

龙霞锋<sup>1)</sup> 刘永贵

(国防科技大学光电科学与工程学院 长沙 410073)

**摘要** 介绍了Marx型脉冲形成网络的基本原理,用PSpice软件对整个脉冲形成网络进行了模拟,通过优化网络器件参数,获得了等电容条件下平整的波形输出.研制了一台4级Marx型脉冲形成网络的脉冲功率源,在充电电压为20kV的情况下,在18Ω的匹配负载上获得了40kV的电压输出,脉冲半高宽为3μs,平顶宽度2μs.

**关键词** 脉冲形成网络 长脉冲

## 1 引言

脉冲宽度为μs级的高压功率源可以用来作为长脉冲高能激光<sup>[1]</sup>和高功率微波<sup>[2]</sup>的激励源.为了获得一定宽平顶的高压长脉冲,采用脉冲形成网络是最有效的途径之一.根据不同的构成形式,脉冲形成网络可以分成Blumlein型和Marx型<sup>[3]</sup>.脉冲形成网络可以实现高电压、脉宽可调、快前沿、重频运行、模块化<sup>[4,5]</sup>等目标.

## 2 脉冲功率源的设计

本脉冲源是4级Marx型脉冲形成网络,单级采用雷利型脉冲形成网络.雷利脉冲形成网络是依照脉冲形成线的原理,用集中参数元件代替分散参数的脉冲形成线来获得脉冲输出.脉冲形成网络的基本参数由下式<sup>[6]</sup>确定:

$$\text{网络阻抗: } Z = \sqrt{L/C}, \quad (1)$$

$$\text{脉宽: } \tau = 2\sqrt{LC}, \quad (2)$$

$$\text{输出电压: } U = U_0 N/2, \quad (3)$$

其中 $L$ 为脉冲形成网络的总电感, $C$ 为脉冲形成网络的总电容, $U$ 是在匹配负载上的输出电压, $U_0$ 是单级脉冲形成网络的充电电压, $N$ 为脉冲形成网络的Marx级数.

本脉冲功率源设计为4级Marx型脉冲形成网络,脉宽前沿约500ns,脉冲半高宽为3μs,平顶宽度2μs.单级脉冲网络包括5个L-C单元,单级网络阻抗设计

为4.5Ω,4级串联后整个网络阻抗为18Ω.

电容采用最高耐压为100kV的无感脉冲电容器,电容值为57nF.根据脉冲形成网络的基本参数网络阻抗表达式(1)和脉宽表达式(2),取电感值为1μH.制造电感的圆柱体材料为聚乙烯,在其上锯出螺纹,沿螺纹绕上漆包铜线.电感值依据公式(4)确定:

$$L = \mu_0 \omega^2 d \Phi / 4\pi, \quad (4)$$

其中是 $\mu_0$ 真空磁导率, $\omega$ 是螺线管匝数, $d$ 是螺线管直径, $\Phi$ 是随比值 $a/d$ 变化的数值<sup>[7]</sup>, $a$ 是螺线管的长度.

## 3 脉冲形成网络的数值模拟

由于单级脉冲形成网络只有5个L-C单元,最后一级电感的大小直接影响输出波形:其值太小将导致输出波形的过冲过大以及影响整个波形平整度;其值太大则增大脉冲的前沿时间.同时,可以依照文献[8]

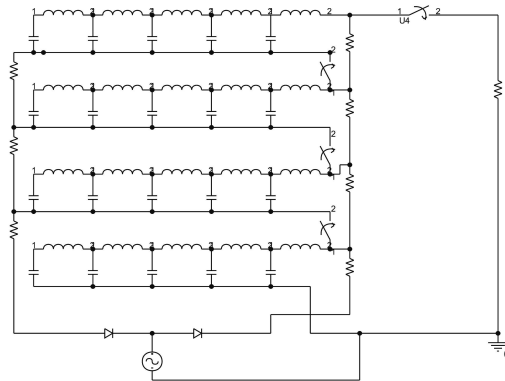


图1 脉冲形成网络原理图

的分析, 适度调整各级电感的值可以获得更好的输出. 模拟用的 PSpice 程序原理图如图 1 所示. 单级脉冲形成网络内各级电感依次取 1000nH, 980nH, 1050nH, 950nH, 1800nH 时, 模拟时输入电压 20kV, 可以得到如图 2 的输出电压波形. 从图可以看出输出电压峰值为 40kV, 半高宽约 3 $\mu$ s, 平顶宽度约 2 $\mu$ s.

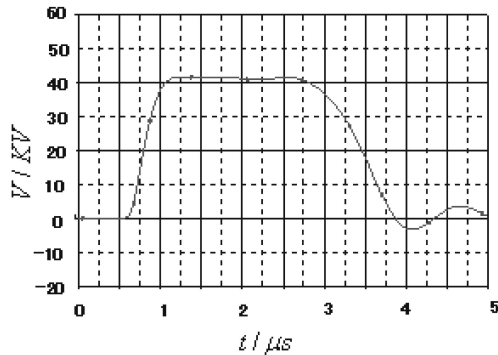


图 2 模拟负载上的电压输出

#### 4 脉冲形成网络的搭建

整个脉冲形成网络由 4 级雷利脉冲形成网络构成, 每一级由 5 个电容、5 个电感相连接而成. 近地的两级雷利脉冲形成网络之间用触发开关隔离, 其余均使用自击穿开关. 为减小连线电感, 连接线均采用铜皮连接.

触发系统由触发信号发生器、升压器和陡化开关构成. 触发信号发生器产生一个幅值 100V 的脉冲信号, 传至升压比为 1:300 的升压器, 产生 30kV 的高压信号. 升压器产生的高压信号经过陡化开关陡化前沿后加载到脉冲功率源的触发开关的触发盘上, 从而实现脉冲功率源的长脉冲输出.

脉冲功率源的负载为硫酸铜水电阻, 阻值 18 $\Omega$ . 实物图如图 3 所示.

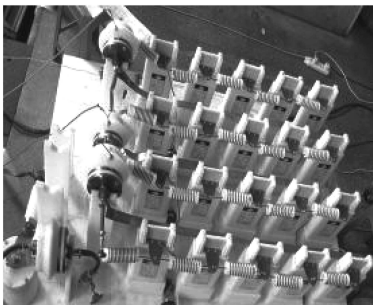


图 3 装置实物图

#### 5 实验结果

系统首先进行了单级网络的低压冷测, 证实匹配负载上能产生符合设计要求的脉冲. 当充电电压为 12V 时, 输出电压为 6V, 其前沿约 500ns, 半高宽 3 $\mu$ s, 平顶 2 $\mu$ s. 低压冷测波形如图 4 所示.

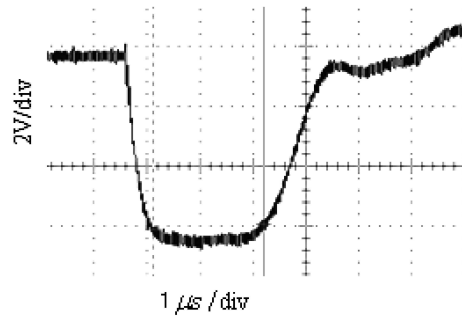


图 4 低压冷测时负载上的输出

对全系统进行高压实验时, 首先由高压充电机经 2 个高压整流硅堆进行对电容正负充电, 充电电压为 20kV; 然后触发 2 个触发开关, 在 18 $\Omega$  水电阻负载上形成脉冲输出. 经过 1:30000 两级电阻分压后进行测量, 高压输出波形如图 5 所示. 从图中数据可以得到输出电压约 40kV, 脉冲半高宽约 3 $\mu$ s, 平顶宽度约 2 $\mu$ s.

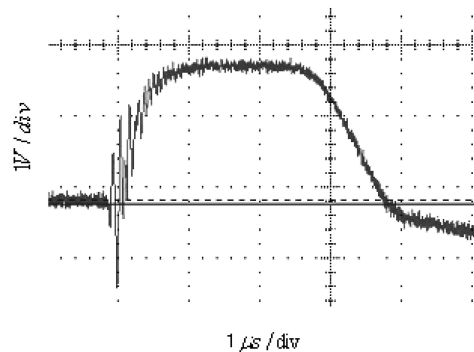


图 5 高压情况下负载上的输出

#### 6 结论

本文设计了一台由 4 级 Marx 型脉冲形成网络组成的脉冲功率源. 用 Pspice 软件对该脉冲功率源的工作过程进行了数值模拟; 根据模拟结果, 搭建了实验平台, 在充电电压为 20kV 的情况下, 在 18 $\Omega$  负载上获得了 40kV 的电压输出, 脉冲半高宽为 3 $\mu$ s, 平顶宽度 2 $\mu$ s, 实验结果与模拟结果符合很好.

### 参考文献(References)

- 1 WU Jin, WAN Chong-Yi. Laser Journal, 2002, **23**(2): 15—17 (in Chinese)  
(吴谨, 万重怡. 激光杂志, 2002, **23**(2): 15—17)
- 2 HUANG Hua, FAN Zhi-Kai, MA Qiao-Sheng et al. High Power Laser and Particle Beams, 2002, **14**(6): 915—919 (in Chinese)  
(黄华, 范植开, 马乔生等. 强激光与粒子束, 2002, **14**(6): 915—919)
- 3 GAO Feng, XIA Lian-Sheng, ZHANG Li-Wen et al. High Power Laser and Particle Beams, 2005, **17**(2): 311—316 (in Chinese)  
(高峰, 夏连胜, 章利文等. 强激光与粒子束, 2005, **17**(2): 311—316)
- 4 Kekez M M. 11th IFFF International Pulsed Power Conference, 1997, **2**: 1524—1529
- 5 Hammon J et al. 11th IEEE International Pulsed Power Conference, 1997, **1**: 147—152
- 6 Glasoe G N et al. Pulse Generator. NewYork: Mcraw-Hill, 1948. 179—185
- 7 К а л а н т а р о в П Л, Ц е й т л и н Л А. Calculating Manual of Inductance. Beijing: China Machine Press, 1992, 252 (in Chinese)  
(卡兰它罗夫ПЛ, 采伊特林ПА. 电感计算手册. 北京: 机械工业出版社, 1992, 252)
- 8 PAN Ya-Feng, ZHANG Jian-De. High Voltage Engineering, 2003, **29**(1): 33—34 (in Chinese)  
(潘亚峰, 张建德. 高电压技术, 2003, **29**(1): 33—34)

## Investigation of Marx-PFN

LONG Xia-Feng<sup>1)</sup> LIU Yong-Gui

(Collage of Photoelectric Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract** The principle of Marx- pulse forming networks (PFN) is introduced in this paper. The PSpice simulation result of the Marx-PFN is presented and a smooth waveform is obtained in the condition of equal capacitance. Through optimizing the parameters of the networks, a 4-stage Marx-PFN has been built, a 40kV output with a FWHM of 3 $\mu$ s and a flat-top of 2 $\mu$ s is obtained on the marched resistance of 18 $\Omega$  when the Marx-PFN is changed to 20kV.

**Key words** pulse forming network, long pulse