

一种小型的高压毫微秒脉冲 发生器及其应用

钟辉煌 沈龙根 李传庐 刘存华

(应用物理系)

摘要 本文讨论了一种小型的高压毫微秒脉冲装置。该装置可以产生幅值120kV, 上升前沿陡度大于5kV/ns、脉宽100ns的高压脉冲, 并已被用作REB加速器的触发源、高压EMP模拟器的脉冲源和研究介质击穿特性的能源。

关键词 毫微秒脉冲, 高电压发生器

分类号 TN 789.1

近20年来, 高压毫微秒脉冲发生器的重要性正在迅速增长。它在量子辐射物理、核物理、加速器技术、X射线探伤及快速照相技术, 特别是产生大功率脉冲激光和快速加热等离子体等方面的潜在应用, 引起了人们的极大关注^{[1],[2]}。通常这种发生器结构庞大, 耗资较大。本文介绍一种利用高压脉冲变压器和折叠式的容条有机玻璃介质油浸传输线为主体构成的新型发生器和它的初步应用。该发生器能产生脉冲幅值120kV、上升前沿陡度大于5kV/ns、脉宽100ns的毫微秒高压脉冲。

1 实验装置及工作原理

图1为实验装置原理图。电压经 T_1 调压至升压变压器 T_2 , 经硅堆 D_1 整流后向电容器 C_1 充电。充电范围为0至30kV。同时由于闸流管 T_r 处于闭锁状态, 电容器 C_2 充以7kV的电压。此时发生器处于等待状态。点火脉冲 $u_1(t)$ 一到来, T_r 导通, C_2 向电阻 R_3 放电, R_3 上产生幅值7kV的

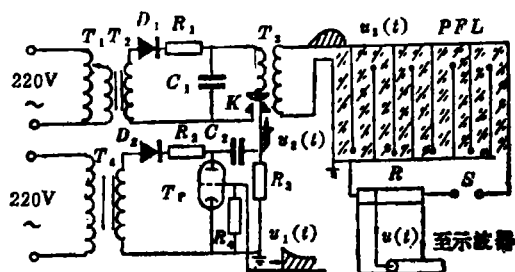


图1 实验装置原理图

陡脉冲 $u_2(t)$ 直接加在三电极火花隙 K 的触发极上,利用短时间击穿过程的原理, K 迅速导通, C_1 迅速向脉冲变压器 T_3 放电,从而在 T_3 次级产生高压微秒脉冲 $u_3(t)$ 。此脉冲幅值可达240kV,上升前沿陡度0.68kV/ns,脉宽0.35 μ s。 $u_3(t)$ 向脉冲形成线PFL充电,当开关 S 闭合时,在 R 上输出毫微秒脉冲电压。可将电阻 R 同时用作分压器来测量此脉冲电压。

脉冲形成线的脉冲形成开关采用小间隙油开关。开关电极为直径6mm的黄铜棒,间隙距离为2.5mm,间隙击穿电压为160kV。工作场强高,因而电阻态上升时间短。同时,小间隙油开关的分布参数小。在开关结构上,又注意在保证开关区高电压绝缘情况下,尽量减小开关的回路电感,这样,就保证了脉冲形成线的输出脉冲电压有高的电压上升速率。

脉冲变压器 T_3 原线圈120匝,付线圈120 \times 11匝,其层间和匝间以及高、低压方之间的绝缘足以保证其额定运行。PFL采用折叠式结构,并放入油中,它由两根宽40mm,其间距15mm,等效长度10m的有机玻璃介质的平行带构成。可算得它的波阻抗 $Z=50\Omega$,波速 $v=198\text{m}/\mu\text{s}$ 。脉冲形成的原理可以

从图2得以解释。传输线充以 U_0 电压,若不考虑开关过程和放电回路的寄生参数影响,在负载电阻 R 与波阻抗 Z 理想匹配情况下,开关 S 闭合瞬间,传输线对 R 的放

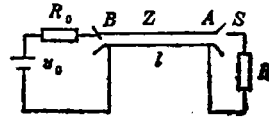
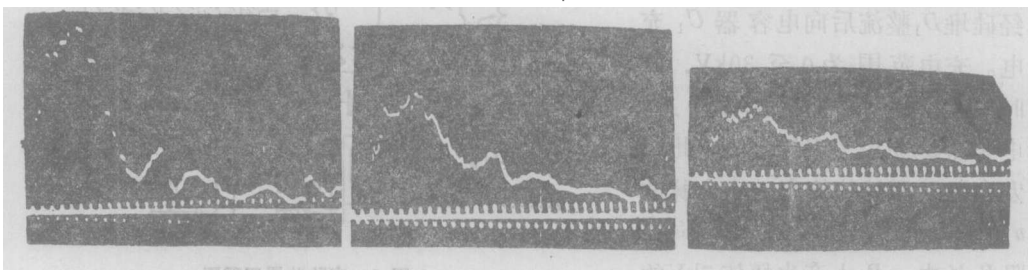


图2 脉冲形成原理图

电电流 $I=U_0/(Z+R)=U_0/2R$,负载上的电压 $U_R=U_0/2$ 。与此同时,将有 $-U_0/2$ 电压波以速度 v 从 A 端向 B 端传播,经过时间 $t=l/v$, $-U_0/2$ 电压波到达 B 端。所到之处电压皆为 $U_0-U_0/2=U_0/2$ 。由于 R_0 为脉冲变压器瞬态输出阻抗,阻抗很大,即 $R_0\gg Z$,在 B 端发生全反射, $-U_0/2$ 电压波又从 B 端向 A 端传播,再经过 $t=l/v$ 时间, $-U_0/2$ 电压波到达 A 端。所到之处,电压皆为 $U_0/2-U_0/2=0$,由于 $R=Z$,此后不再发生波的反射,负载电阻上的电压下降至零。因而在 R 上形成一个幅度为 $U_0/2$,宽度 $T=2l/v$ 的脉冲。若 $R>Z$,则在 R 上形成呈阶梯衰减的电压波形,第 k 次阶梯电压表达式为:

$$U_k = U_0 \frac{R}{R+Z} \left(\frac{R-Z}{R+Z} \right)^{k-1} \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

图3分别为 $R=75\Omega$ 、 150Ω 、 600Ω 时,发生器输出的高压毫微秒脉冲电压波形,从图中可知脉冲幅值在85至120kV之间(由 T_3 的调压决定),上升前沿大于5kV/ns,输出波形



(a) $R=75\Omega$, 2410V/mm (b) $R=150\Omega$, 4821V/mm (c) $R=600\Omega$, 8571V/mm

图3 发生器输出电压波形,时标100M

的包络线随 R 值变化。 R 愈大，波形变化愈平缓。因而在保证输出幅度的前提下，根据不同实验的脉冲宽度要求增大 R 值可得到不同的电压波形。

2 实验装置的应用

2.1 REB加速器的触发电源

REB加速器对其触发电源有较高的要求。触发脉冲的幅值应在加速器处于不同的充电电压时，均能可靠地触发；脉冲的上升前沿陡度应不小于 2kV/ns ，以保证多个火花间隙在尽可能短的时间内同步点火，不致因间隙的分散性而影响REB加速器中Marx发生器的串联运行；触发脉冲的宽度必须大于开关间隙的始动时间。被触发的Marx发生器火花间隙的串通时间为 400ns 。为了稳定可靠触发，触发脉冲宽度须大于火花间隙的串通时间。在脉冲形成线末端接以 800Ω 的电阻，就得到了虽呈阶梯形衰减但变化较小的波形。此波形在 400ns 处的电压值为 50kV 。由于Marx发生器的触发电阻远大于脉冲形成线末端电阻，因而毫微秒脉冲发生器不因带负载而使输出波形变化。此触发脉冲满足了Marx发生器的触发要求^[3]。

2.2 高压EMP模拟器的脉冲源

为研究核爆EMP对电设备的影响，我们设计制造了一个有界波EMP模拟器。用发生器输出的高压毫微秒脉冲作为该模拟器的脉冲源。模拟器由三段传输线和终端负载构成。负载阻值和传输线的波阻抗相匹配。

EMP模拟器要求脉冲源，电压上升时间不超过 20ns ，脉宽为 400 至 800ns ，电压幅值应保证在模拟器空间产生的场强最大值约在 10^5V/m 量级。选择合适的 R 值，从模拟器终端测得的电压波形可知，脉冲源能很好地满足上述要求。通过对置于模拟器空间中不同器件感应信号的测试，得到了一些颇有实际意义的结果^[4]。

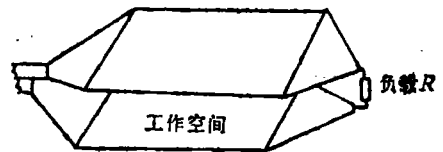


图4 EMP模拟器

2.3 研究水介质击穿特性的脉冲源

由于水具有较其它介质优越的特性，已被广泛用作高脉冲功率机器的中间能量存储介质。人们已对微秒电压作用下的水介质击穿特性作了大量的研究^[5]，^[6]。本文对在毫微秒电压作用下各种不同结构尺寸的水介质开关的击穿特性作了实验研究，获得了一些不同于微秒电压作用下水介质击穿实验的结果。这一结果可望对水开关结构和用水作为介质的高功率脉冲装置的设计有所裨益。

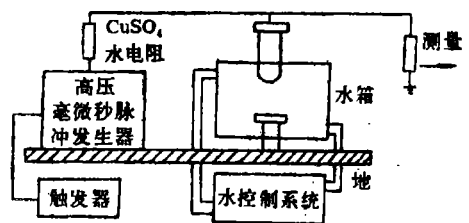


图5 水击穿特性实验装置简图

3 结 语

设计制造的新型高压毫微秒脉冲发生器不仅具有体积小、结构简单、造价低廉、运行维护方便等特点,而且其性能稳定可靠、应用范围广。该发生器是脉冲功率技术研究领域必不可少的小型设备。除上述用途外,它还可用来产生电子束,同时根据需要稍加改进可周期性运行。

参加本研究工作的还有谭启璞、刘金亮、胡淑玉、王勇四位同志。

参 考 文 献

- [1] Г.А.米夏兹(苏)。大功率毫微秒脉冲的产生。原子能出版社,1982
- [2] Fesor K. Steep Front Linpulse Generators. 3rd International Symp. On High Voltage Engineering, 1979;2; PP41
- [3] 国防科技大学206室。REB加速器鉴定资料汇编,1986
- [4] 葛兆军。硕士研究生毕业论文。1987
- [5] Fenneman D B. Electrical Breakdown in Water in the Microsecond Regime. 2nd International Pulsed Power Conference, 1979;PP122
- [6] 杨大为等。水介质耐压性能实验研究。高功率粒子束学术会议文集,1985

A Small-sized H. V. Nanosecond Pulse Generator & its Applications

Zhong Huihuang

Shen Longgen

Li Chuanlu

Liu Cunhua

(Department of Applied Physics)

Abstract

This paper discusses a small-sized H.V. nanosecond pulse generator which can produce a H.V. pulse with 120kV amplitude, more than 5kV/ns front gradient and 100 ns width. The generator has been used as a trigger to REB accelerator, the pulse resource of H.V. EMP simulator and the energy resource for studying discharge properties of different mediums, as well.

Key words: nanosecond pulse, H.V. generator