

亚纳秒高压脉冲发生器的研制及仿真

李军浩, 王晶, 王颂, 袁鹏, 李彦明

(西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710049)

Simulation and Development of Subnanosecond High-voltage Pulsed Source

LI Jun-hao, WANG Jing, WANG Song, YUAN Peng, LI Yan-ming

(School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

摘要: 以高压脉冲放电管为开关元件研制了一种亚纳秒高压脉冲发生器, 实验和仿真表明该发生器可产生上升时间为 360 ps, 幅值不低于 4 kV 的亚纳秒高压脉冲信号, 并且具有放电稳定、重复性好的特点, 可作为研究 GIS 和电力变压器中局部放电信号超高频特性用的信号源。

关键词: 亚纳秒; 高压脉冲; 脉冲放电管; 局部放电

中图分类号: TM89

文献标识码: A

Abstract: This paper presents a pulse circuit using subnanosecond discharge tube. The pulse signal produced is steady, wide spectrum. The rise time is 360 ps and the amplitude is higher than 4 kV. The device has characteristics of stability and repeatability. Therefore, it can be used as the PD source in the study on the UHF PD measuring for GIS and power transformer.

Key words: subnanosecond; high-voltage pulse; pulse discharge tube; partial discharge

1 引言

亚纳秒上升沿的高压脉冲产生技术已经在电力系统高压绝缘试验、激光技术、微波技术和电磁兼容试验技术等得到了广泛的应用。在亚纳秒高压脉冲产生的研究中, 更快的脉冲前沿、后沿、更窄的脉宽以及更高的幅值是研究的重点^[1-2]。

在 GIS 和电力变压器局部放电检测的超高频方法研究中, 使用亚纳秒高压脉冲源作为一个已知特性的、能够产生特定超高频信号的局部放电信号源来研究超高频电磁波信号在设备内外的传播特性。产生亚纳秒高压脉冲的方法有: ①对已有的纳秒脉冲进行锐化, 削波处理得到亚纳秒脉冲^[3]; ②非线性传输线来压缩能量, 实现亚纳秒脉冲^[4]; ③开关元件直接产生亚纳秒脉冲。笔者即利用亚纳秒高压脉冲放电管为开关元件来实现高压亚纳秒脉冲。

2 脉冲发生器的设计

2.1 基本工作原理

亚纳秒高压脉冲发生器的电路接线原理见图 1, 利用高压电源 H.V 通过充电电阻 R 向储能电容 C 充电, 当储能电容上的电压超过放电管 G 的击穿电压(击穿电压为一固定值, 取决于放电管特性)时, 放电管击穿导通, 储能电容通过脉冲放电管向负载电阻 $R_L(t)$ 放电, 在负载电阻上便产生了具有亚纳秒上升沿的高压脉冲。

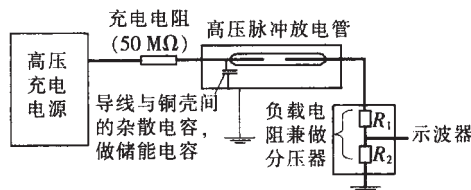


图 1 脉冲发生器接线图

装置的开关元件采用的是亚纳秒高压脉冲放电管^[5-6], 该放电管内装有两个被水银浸润的金属电极, 并充入 10 个大气压的高压氢气。高压氢气的采用, 既能保证脉冲的幅值较高, 又使放电管导通放电后能迅速熄灭, 减小脉冲的拖尾。放电管的击穿电压为 6 kV。

2.2 电路结构及参数的选择

图 1 的电路可分为 RC 充电部分和 RLC 放电回路, 电路中器件参数的选择原则及参数数值如下:

(1) 电容和电感。储能电容越小, 则脉冲的上升沿会越陡^[7], 将放电管密封在圆形的屏蔽铜壳中, 做成同轴结构, 利用放电管阳极和充电电阻间的导线与铜壳间的杂散电容作为储能电容, 这样既可保证电容值稳定, 又可将电容值做到一个比较小的数值, 使上升沿做到最陡。铜壳的外半径 r_2 为 4.5 cm, 导线的半径 r_1 为 2 mm, 根据同轴电缆的电容计算公式来

收稿日期: 2005- 12- 09

基金项目: 国家自然科学基金, 项目编号(50377034)。

作者简介: 李军浩(1980-), 男, 硕士研究生, 从事电力设备故障诊断技术的研究。

估算导线与铜壳之间的电容,可得单位长度的容值 $C = \frac{2\epsilon_0}{\ln(r_2/r_1)}$, 式中: ϵ_0 为真空下介电常数, 其值为 8.85×10^{-12} ; ϵ_r 为介质的相对介电常数, 这里为空气, 取为 1。该段导线长度为 6 cm, 则可得 $C_a = 1.07 \text{ pF}$ 。

由于负载电阻采用的是无感电阻, 则回路电感主要是由放电管阳极与充电电阻间的导线所引起的, 该段导线的电感值约 $1 \mu\text{H/m}$, 导线长度为 6 cm, 则电感 $L_a = 0.06 \mu\text{H}$ 。

(2) 负载电阻。放电管的内阻 $R_G(t)$ 是随时间变化的。由文[8]可知, $R_G(t)$ 的最大值约为 100 Ω , 简化计算时, 取 $R_G(t) = 100 \Omega$, 而由上面分析可得放电回路: $L_a = 0.06 \mu\text{H}$, $C_a = 1.07 \text{ pF}$, 非周期性放电条件为 $R(t) > 2\sqrt{L_a/C_a} = 500 \Omega$, 这里取为 650 Ω 作为负载电阻兼做分压器的高压臂, 为了测量该脉冲, 取负载电阻的一部分兼做分压器的低压臂, 取为 10 Ω , 因而分压比为 65 1。为了保证测量准确, 负载电阻采用无感工艺制作。同时由于放电管击穿放电时会辐射出高频信号, 为了使测量准确, 将兼做分压器的负载电阻屏蔽在一个专用的屏蔽壳中, 尽量减少由于干扰造成的测量误差。

3 电路的仿真

为了验证电路参数的选择是否正确, 笔者对整个电路进行了仿真分析。仿真电路见图 2。

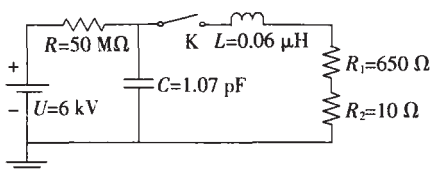


图 2 仿真电路

仿真电路中, 高压脉冲放电管用理想开关 K 代替, 并在取样电阻 R_2 上来观察产生的脉冲波形。取样电阻 R_2 上的仿真波形见图 3。

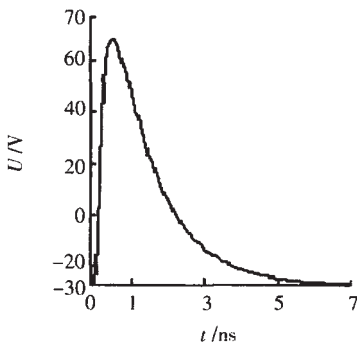


图 3 仿真电路中取样电阻上的波形

4 试验结果及分析

利用负载电阻兼做分压器的测量系统对产生

的脉冲进行测试。所用示波器为 Tektronix 680B, 采样率为 5 GHz, 带宽 1 GHz。图 4 为测量到的波形。

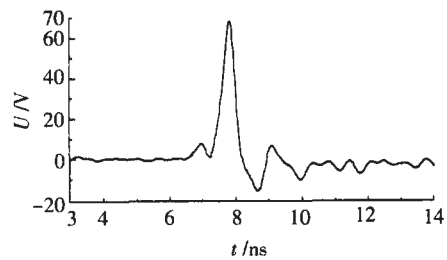


图 4 测量到的脉冲信号

图中脉冲波形前沿为 360 ps, 半峰脉宽为 700 ps, 幅值 70 V, 按照变比 65 1, 则负载电阻上的电压幅值为 4 550 V。对照仿真分析, 结果是一致的。试验所得波形较仿真波形下降要陡一些, 并在下降沿略有振荡, 由于仿真时是按照放电管的最大内阻仿真并且以理想开关来代替脉冲放电管, 实际的电路中放电管并不是理想的开关元件, 其导通和关断有一定的时延并且其内阻是变化的, 此外回路参数的估计也会有误差, 故仿真波形与实际波形相比存在一定的差异。

5 结语

- (1) 采用高压脉冲放电管并选择适当的回路参数可产生亚纳秒上升沿的高压脉冲。
- (2) 高压亚纳秒脉冲发生器产生的脉冲波形稳定, 上升沿小于 500 ps, 脉宽小于 1 ns, 幅值可达到 4 kV 以上。

参考文献:

- [1] Mesyts G A. Compact High-current Accelerator Based on RANDN SEF-303 Pulsed Power Source[C]// IEEE 9th Pulsed Power Conference, 1993: 835-838.
- [2] Shpak V G. 1 000 pps Sub Nanosecond High Voltage Generator[C]// IEEE 11th Pulsed Power Conference, 1997: 1 575-1 580.
- [3] 刘淑华, 杨康. 超宽带亚纳秒级脉冲形成方式的探讨与实践[J]. 沈阳工业学院学报, 2003, 22(4): 17-19.
- [4] 顾冠清, 陈绍和. 3 kV 皮秒冲击波的产生 [J]. 中国激光, 1995, 22(7): 497-500.
- [5] 王桂芹. 亚纳秒脉冲放电管的脉冲特性研究[J]. 西安交通大学学报, 1985(3): 1-7.
- [6] 翁明, 王桂芹. 高压快速脉冲放电管特性函数脉冲特性的研究[J]. 西安交通大学学报, 1994, 28(1): 1-4.
- [7] 张乔根, 丘毓昌, 冯允平. 亚纳秒前沿高压脉冲发生器[J]. 电工电能新技术, 1996(2): 1-4.
- [8] Tuan T D'Alessio et al. Discharge Mechanism in Gases in the Subnanosecond Region[J]. Rev. Scien Instr, 1968, 39(7): 1 029.

欢迎投稿! 欢迎订阅! 欢迎评刊! 欢迎刊登广告!