

Design of Measuring Probe in High Voltage Fast Pulse System

Jian Zou, Naigong Zeng, Chuan Wang, Tianjue Zhang

China Institute of Atomic Energy, Beijing
Email: jou981@126.com

Received: Oct. 2nd, 2018; accepted: Oct. 17th, 2018; published: Oct. 24th, 2018

Abstract

According to the coaxial cylindrical structure of oilline on 1 MV, 30 ns pulsed power source, an annular capacitive voltage divider was designed in the end of the oilline as pulsed voltage monitor. A stainless steel film connecting the outer tube and load was designed as pulsed current monitor. The capacitive voltage divider's probe and the stainless steel film monitor's probe were calibrated on line. The results show that the capacitive voltage divider and the current monitor are ideal probes for measuring high pulsed voltage and current.

Keywords

Oilline, Calibrate, Annular Capacitive Voltage Divider, Stainless Steel

高压快脉冲系统的测量探头设计

邹 俭, 曾乃工, 王 川, 张天爵

中国原子能科学研究院, 北京
Email: jou981@126.com

收稿日期: 2018年10月2日; 录用日期: 2018年10月17日; 发布日期: 2018年10月24日

摘 要

根据1 MV, 30 ns上升沿脉冲源的同轴油介质传输线的结构特点, 在传输线的末端设计了环形电容分压器作为脉冲源的高电压测量探头, 利用不锈钢薄膜连接传输线外筒与负载外筒, 构成回流测量负载的电流. 电容分压器的分压比和不锈钢薄膜的灵敏度采取直接标定的方法测定. 实验结果表明, 该探头性能稳定、时间响应快、功率负荷大, 是测量脉冲电流与电压的一种理想工具。

关键词

油介质传输线, 测量, 环形电容分压器, 不锈钢薄膜

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

快脉冲发生器所强调的是很快的上升沿, 追求在很短的时间达到一个很高的电压或电流。目前主要应用于军事领域, 如制造核致电磁脉冲模拟器、驱动高功率微波发生器等, 民用领域的应用主要处在研究阶段, 如生物净化等[1] [2] [3] [4] [5]。

本文介绍的 1 MV, 30 ns 上升沿脉冲源是配合目前电力系统中正在进行的特高压(≥ 1 MV)工程, 模拟电力系统中的特快速瞬态过电压以测试绝缘材料的耐压强度。该装置的输出电压电流指标是十分重要的电气参数, 要求测到的电压和电流数值真实准确, 因此对测量设备的稳定性, 响应时间和灵敏度有极高的要求。在脉冲功率技术中, 对于电压的测量, 一般采用电阻分压器或电容分压器[6] [7]。电流的测量, 一般采用罗柯夫斯线圈或分流器[8] [9]。下面介绍 1 MV, 30 ns 上升沿脉冲源的测量设计。

2. 系统

图 1 展示的为 1 MV, 30 ns 上升沿脉冲源装置的机械图, 由 Marx 发生器直接对负载放电进行能量传输的机理, Marx 发生器由 10 台 15 Pf/100 kV 的电容器构成, 单台电容器工作充电电压 75 kV, 输出电压峰值 ≥ 1 MV。为了使负载在空间上便于安装, 设备加入了一根 1 m 长、传输阻抗 50 Ω 的油线。所以测量探头必须安装在负载前, 油线末端的位置。

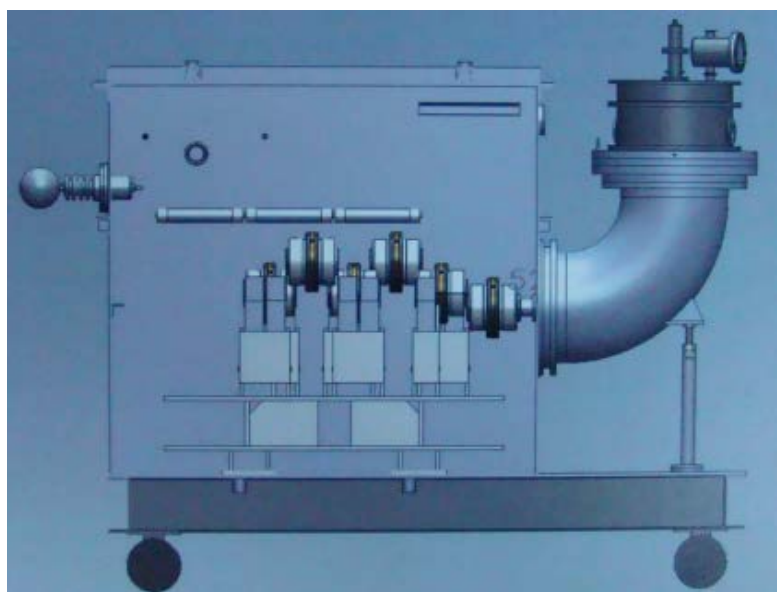


Figure 1. Simulate figure of device

图 1. 装置效果图

2.1. 电压测量的选择和参数

在脉冲功率技术中，由于脉冲能量的瞬时性，对电压测量探头有极高的要求，特别是对频率相应要宽同时可避免相应电磁干扰的影响，电容分压器通过一定的设计可以不直接接触高压电极并极大的降低脉冲幅值，满足测量量程需求，分压器采用油介质电容分压器，分压器内导体为与传输线外筒半径相同的环形结构。

电容分压器的高压臂电容 C_{HV} 为电容分压器内导体杆与传输线内筒之间的电容，传输线电容其大小由下式估算： $C_F = \frac{\tau}{2Z_{PTL}} = 0.1nF$ ，式中 $\tau = 10\text{ ns}$, $Z_{PTL} = 50\ \Omega$ 分别为该装置油线的脉宽和特性阻抗

[10]-[15]，环形分压器的长度为 0.02 m ，油线的长度为 1 m ，传输线等效电容 0.1 nF ，可计算出高压臂电容 $C_{HV} = 2\text{ pF}$ 。电容分压器的低压臂电容 C_{LV} 为电容分压器内导体杆与电容分压器外筒之间的电容，大小为： $C_{LV} = \frac{\epsilon S_I}{d_i} = 1060\text{ pF}$ ， S_I 为内导体杆横截面积， d_i 为内导体杆与电容分压器外筒之间的距离，

ϵ 为油的介电常数。故估算的电容分压比为： $k_c = \frac{C_{LV} + C_{HV}}{C_{HV}} = 1100$ 。

为了能够在测量负载电压时得到平顶波，在电容分压器输出接阻容耦合电路，输出的总分压比需要在线标定。

2.2. 电流测量的选择和参数

在脉冲高压下的电流测量，一方面要求测量部件具有较高的耐压能力，一方面具有检修和更换的快捷性。常规的并联大量小电阻不具备检修更换快捷性，金属膜具有两方面共有的优势，利用金属膜构成回路进行测量。

薄膜采用平均厚度 $\delta = 17\ \mu\text{m}$ 的不锈钢，圆周长度 $L = 106\text{ cm}$ ，薄膜宽度 $\Delta w = 7.8\text{ cm}$ ，不锈钢的电阻率 $\rho = 90 \times 10^{-6}\ \Omega\cdot\text{cm}$ (在环境温度 20)，则金属膜电阻环的阻值 $R_{film} = \rho\Delta w/L\delta = 4\text{ m}\Omega$ 。

3. 方法

标定系统由标准方波发生器、衰减器、双屏蔽电缆、示波器等组成，连接被测系统后的整个标定系统如图 2 所示。



Figure 2. Diagram of calibration system
图 2. 标定系统示意图

为了保证数据的稳定性，方波发生器采用一台上升前沿约 1 ns，脉宽 100 ns，输出阻抗 50 Ω ，稳定工作的幅值 10 kV 连续可调的信号源，图 3 为该方波发生器经过 300 倍阻抗变换器衰减后的输出波形。方波发生器输出两路信号，一路作为监测信号经过约 626 倍的分压比直接进入示波器用于幅值监测及波形触发；另一路作为输入信号进入被测系统，标定时为了保证输入信号不会发生畸变，系统各部分必须阻抗匹配，信号源输出阻抗 50 Ω ，传输线特性阻抗 1.25 Ω ，所以在信号源与传输线之间引入阻抗变换器使其阻抗匹配，同时以电容分压器与金属膜回流器分别引出信号进入示波器进行测量。

图 4 为实际测量到的电流和电压输出信号，表 1 为根据测量信号计算出的电容分压器分压比和金属膜的电阻值。

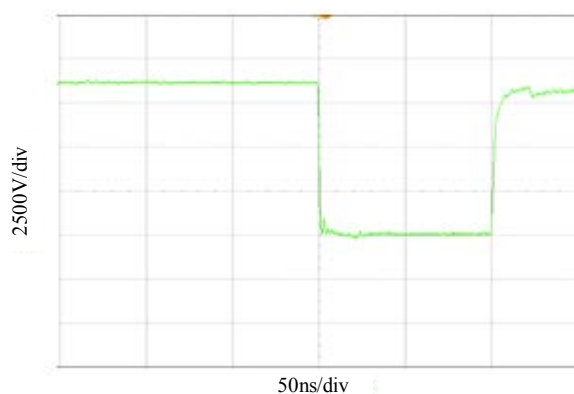


Figure 3. Square wave generator

图 3. 方波发生器

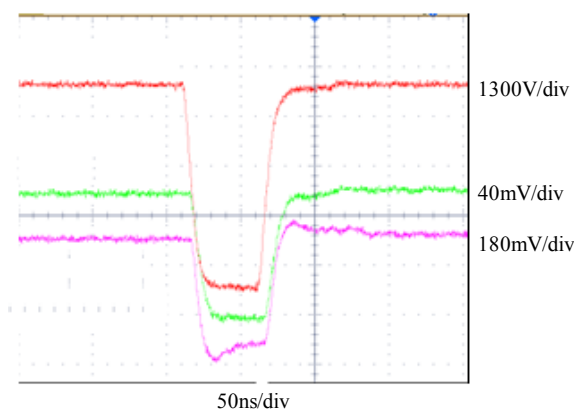


Figure 4. The output voltage and current waveforms

图 4. 输出电压电流波形

Table 1. The output voltage and current guide line

表 1. 电流电压诊断刻度性能指标

14 $^{\circ}$ C	signal/V	voltage/mV	current/mV	voltage divider rate	steel resistance /m Ω
1	5231	109	472	47991	4.51
2	5037	104	448	48433	4.45
3	5900	124	636	47581	5.39
		average		48001	4.78

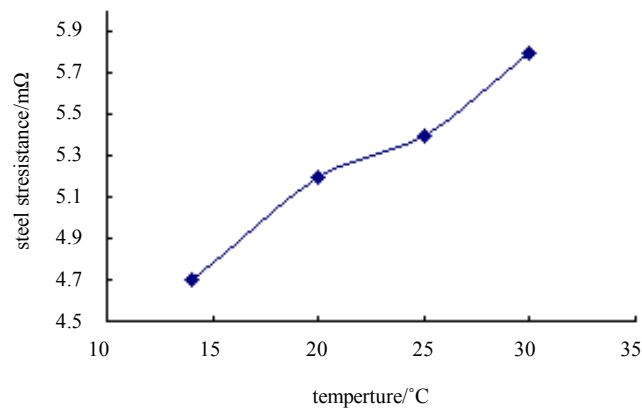


Figure 5. Curve of the steal resistance changed with temperature

图 5. 膜电阻值随温度变化曲线

实验中发现, 不同的温度测量到的膜电阻值是变化的, 由于该膜电阻为不锈钢薄膜材料, 其电阻率随着温度的变化而变化, 所以在不同的温度下测量得出的曲线如图 5, 由图可知, 该不锈钢膜电阻值正比于温度值, 在实验中可根据图 5 选定准确的电阻值。

4. 总结

本文对目前电力系统中正在进行的特高压工程 1 MV, 30 ns 上升沿脉冲源测量系统的设计, 根据装置特点在传输线的末端设计了环形电容分压器作为脉冲源的高电压测量探头, 利用金属膜构成回路测量电流. 结果表明: 电容分压器在线标定后的总分压比为 48001, 膜电阻在线标定值为 4.78 mΩ. 经过多次测量, 该电容分压器和金属膜回流器性能稳定, 响应快, 是测量负载前的电压值与电流值的理想工具。

参考文献

- [1] 叶芳, 曾蒙苏, 严福华, 等. MRI 结合数字化钼靶诊断乳腺癌的临床研究[J]. 放射学实践, 2007, 22(11): 1139-1143.
- [2] 谭辉, 张宏伟, 顾宇叁, 等. SPECT/CT 和乳腺专用伽玛显像对乳腺癌诊断价值的对比研究[J]. 复旦学报, 2015, 42(6): 716-721.
- [3] 邹晓兵, 朱宏林, 曾乃工, 等. 纳秒级高压快脉冲发生器的研制[J]. 高电压技术, 2011, 37(3): 787-792.
- [4] 邹俭, 王川, 曾乃工, 等. 紧凑型 X 箍缩脉冲功率发生器[J]. 强激光与粒子束, 2012, 24(3): 663-667.
- [5] 杨大为, 曾乃工, 王晓军, 等. 变阻抗线及预脉冲开关的设计与调整[J]. 强激光与粒子束, 1991, 3(3): 398-404.
- [6] 邹俭, 曾乃工, 王川, 等. 天光 II-B 光源的初步实验[J]. 原子能科学技术, 2013, 47(7): 1268-1271.
- [7] 邹俭, 曾乃工, 王川, 等. 天光 II-B 强流脉冲电子加速器的设计[J]. 原子能科学技术, 2013, 47(5): 875-879.
- [8] 杨大为, 王乃彦, 张奎方, 等. 强流脉冲电子加速器充电调整[J]. 原子能科学技术, 1988, 22(2): 134-147.
- [9] 邹俭, 王川, 郑侠, 等. 紧凑型 X-pinch 装置探头标定[J]. 强激光与粒子束, 2011, 6(6): 1687-1691.
- [10] 邹俭, 曾乃工, 王川, 等. 天光 II - B 装置的诊断刻度[J]. 原子能科学技术, 2011, 45(12): 1502-1505.
- [11] 曾乃工, 杨大为, 姜兴东, 等. 天光 II 号强流脉冲电子加速器[C]//第五届全国高功率会议论文集. 合肥: 高电压新技术分委会, 1993: 207-211.
- [12] 邹俭, 王川, 曾乃工, 等. 混合电极结构下的 X-pinch 研究[J]. 原子能科学技术, 2015, 49(12): 2251-2254.
- [13] 邹俭, 曾乃工, 王川, 等. 基于 X-pinch 丝负载的背光照相研究[J]. 原子能科学技术, 2017, 51(8): 1484-1487.
- [14] Shelkovenko, T.A., Pikuz, S.A., Cahill, A.D., et al. (2010) Hybrid X-Pinch with Conical Electrodes. *Physics of Plasmas*, 17, 112707
- [15] 曾正中. 脉冲功率技术引论[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2003: 147-180.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2332-7111，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：nst@hanspub.org