

# 200 kV 脉冲电压发生器的研制

米伦, 史愚砾, 刘铁, 张青山, 马蔚珊

(中国工程物理研究院电子工程研究所, 四川 绵阳 621900)

## Development of 200 kV Pulse Voltage Generator

MI Lun, SHI Yu-li, LIU Tie, ZHANG Qing-shan, MA Wei-shan

(China Academy of Engineering Physics, Miangyang 621900, China)

**摘要:** 研制了以 Tesla 变压器为核心组成的 200 kV 脉冲电压发生器, 介绍了高压脉冲变压器以及脉冲极性和限流电阻自动转换的设计、制作与试验。高压脉冲发生器的输出为  $\pm(60\sim 200)$  kV, 连续可调; 输出波形为半正弦波; 波形宽度约  $6\ \mu\text{s}$ ; 限流电阻调节范围为  $2\sim 17\ \text{k}\Omega$ ; 高压脉冲极性和限流电阻可自动转换, 其性能指标满足使用要求, 且操作简单、安全, 性能稳定可靠。

**关键词:** 脉冲电压发生器; 高压脉冲变压器; 自动转换

中图分类号: TM832

文献标识码: B

**Abstract:** A pulse voltage generator based on Tesla transformer technology is developed. The high voltage pulse transformer and the automatic switches are designed and tested. The output amplitude is adjustable continuously from 60 kV to 200 kV. The output waveform is of half-sine wave with approximate  $6\ \mu\text{s}$  width. The current-limiting resistor is in the range of  $2\sim 17\ \text{k}\Omega$ . The automatic switches are safe, reliable to meet the requirement of pulse power technology application research.

**Key words:** pulse voltage generator; high voltage pulse transformer; automatic switch

## 2 高压脉冲发生器的组成及原理

200 kV 脉冲发生器由可调直流高压电源、储能器、高压脉冲变压器、高压开关、触发器、时间控制器、极性与限流电阻自动转换控制器、计数器、高压脉冲分压器、存贮示波器和直流电源等构成, 其原理方框图见图 1。

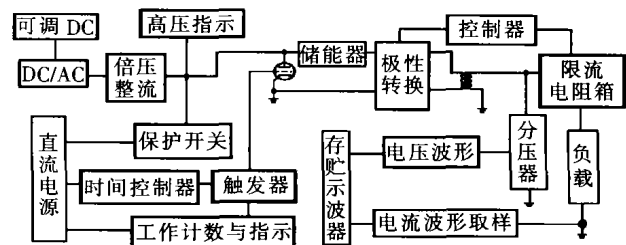


图 1 200 kV 高压脉冲发生器方框图

其工作原理是将“可调直流电源”的输出电压经“DC/AC”变换后产生的高频高压, 经倍压整流滤波后得到一直流高压; 直流高压为“储能器”充电; “储能器”所储存的能量通过“时间控制器”触发“触发器”, 使“高压开关”导通, “储能器”、“高压开关”和“高压脉冲变压器”的初级构成的回路放电, 在“高压脉冲变压器”的次级形成并输出高压脉冲, 该高压脉冲经“限流电阻转换箱”加载到“负载”上, “高压脉冲分压器”与“负载”并联, “存贮示波器”监测脉冲电压/电流波形。

调节“可调直流电源”的输出电压可得到不同的脉冲高压输出幅度; 利用“储能器”可调节输出能量的大小, 通过“时间控制器”可调节高压脉冲输出的频率。

在“触发器”触发“高压开关”的同时, 使“工作计数与指示”工作。

通过“示波器”观察电压和电流波形的变化, 研究负载的工作状况, 由此来决定电压幅度和限流电阻的增加或减少。

通过控制器实现高压脉冲极性和限流电阻的自

## 1 引言

在进行脉冲功率技术应用研究的过程中, 需要  $\pm 200\ \text{kV}$  的高压脉冲发生器, 其输出波形为半正弦波, 且幅度、能量和频率可调, 并能进行脉冲极性、限流电阻的自动转换。

在脉冲功率装置中, 主要采用高压电容等储能方式, 通过高压开关瞬间放电产生高压脉冲<sup>[1]</sup>。通过调节储能器的充电电压、储能器的容量及相关参数, 实现脉冲变压器的输出幅度、能量的调节, 通过控制器实现高压脉冲极性和限流电阻的自动转换。

动转换。

### 3 主要部件的设计与制作

高压脉冲发生器的输出电压高达 200 kV, 在工作时, 储能放电产生数十 kA 的脉冲电流, 因此, 发生器的各种功能、技术指标和可靠性取决于高压脉冲的产生、控制、高压绝缘、抗强电磁干扰等技术, 其中绝缘耐压和抗干扰是高压脉冲发生器的关键问题。高压绝缘决定了高压脉冲变压器、脉冲极性和限流电阻自动转换的可靠性和寿命。在重点设计高压绝缘的同时, 需选用抗电磁干扰能力强的元器件(如: 可控硅、继电器、隔离变压器等)构成特殊的功能单元电路, 以提高系统的抗干扰能力。

#### 3.1 高压脉冲变压器

Tesla 变压器具有性能稳定、外围电路简单等优点。经理论分析和数学推导, 其输出电压由两个不同频率的衰减余弦信号迭加而成, 波形为半正弦波<sup>[2]</sup>。

高压脉冲变压器的设计计算是比较困难的, 这里采用的方法是先根据直流高压  $E_0$  和高压脉冲变压器的输出幅度, 估算初次级匝比, 然后由样品测试, 再作适当调整。高压脉冲变压器的结构示意图见图 2, 绕组采用同轴圆筒式, 这种绕组漏电感小, 结构简单, 加工方便<sup>[3]</sup>。



图 2 高压脉冲变压器的结构示意图

高压脉冲变压器的绝缘包括骨架、绕组与地、层间绝缘、导线的匝间绝缘、灌封材料以及高压引出等, 其中任一环节的损坏都将导致变压器的完全失效。因此, 优化高压绝缘设计, 可以保证或延长其寿命, 提高其可靠性。

骨架采用有机玻璃制作, 将铁心安装在骨架中心, 高压脉冲从高电压端的中心引出, 次级线圈的另一端和初次级线圈导线从低电压端引出, 重点设计各引线端彼此间的耐压, 并在骨架两端做工艺孔, 便于灌封材料的注入和排气。

初次级线圈选择表面质量好, 高强度缩醛漆包圆铜导线, 以保证导线的匝间绝缘。

层间绝缘材料选用绝缘电阻大、电气强度高、介质损耗小、机械强度大和有良好的耐热性的绝缘薄膜, 其厚度根据层间电压差计算。

沿面耐压水平(如图 2 中的尺寸“l”): 由灌封材料的长度来决定绝缘强度。

体绝缘性能(如图 2 中的尺寸“h”): 由灌封材料

和薄膜厚度来决定绝缘强度。

将绕制好的高压脉冲变压器进行真空浸油并密封, 以提高变压器油的绝缘强度, 并在灌封前, 对变压器油进行去杂质、去湿等处理。

#### 3.2 高压脉冲极性的转换设计

为保证高压脉冲正负波形的一致, 在设计极性转换时, 改变脉冲变压器的初级回路参数应不影响脉冲变压器的输出幅度和脉冲宽度。采用真空继电器设计了一种新型的极性转换控制器, 利用继电器的触点对储能器、高压脉冲变压器的初级、高压开关和地之间进行转接实现脉冲高压极性的自动转换, 其原理示意图见图 3。

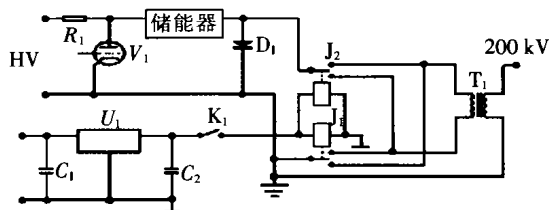


图 3 高压脉冲极性转换的原理图

#### 3.3 限流电阻的自动转换设计

限流电阻是工作在高压脉冲变压器的输出端和负载之间, 因此需对限流电阻的功率、绝缘结构进行设计, 以确保其功能的可靠性。

采用低压继电器、牵引电磁铁和波段开关组成限流电阻的自动转换控制器, 其原理示意图见图 4。

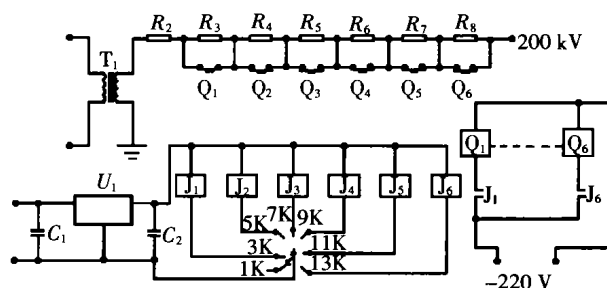


图 4 限流电阻转换原理示意图

绝缘结构是根据牵引电磁铁的行程、绝缘介质、工作电压以及限流电阻的触点和移动触头的良好接触进行综合设计, 采用有机玻璃箱将牵引电磁铁的移动触头、限流电阻、触点浸在变压器油中, 以保证工作电压 200 kV 的耐压强度。

### 4 试验

变压器的变比、分布电容和漏感影响输出脉冲的幅度、宽度、前沿、后沿和顶部振荡<sup>[4]</sup>, 绝缘结构决定了变压器的可靠性和寿命。因此, 对制造好的高压脉冲变压器样品进行耐压试验和参数测试, 根据样品的测试结果, 调整变压器的回路参数(变比、储能器的容量、分布电容等)和绝缘结构(层间绝缘薄膜厚度、沿面尺寸), 使变压器的输出波形、幅度、能量及相关参数满足技术要求。

在初期的加电、耐压试验过程中,随着电压的升高,层间、沿面及体绝缘都发生过高电压击穿,观察击穿情况,同时存在电击穿和气泡击穿现象。

调整变压器的回路参数(变比、储能器的容量、分布电容等)、绝缘结构尺寸和变压器油的洁净、真空浸油及密封等处理工艺,经过反复调整、试验,较好地解决了高压脉冲变压器的耐压和输出波形参数,使其技术指标达到设计要求。

按照图3和图4的原理制作高压脉冲极性和限流电阻自动转换控制器,并进行极性、限流电阻自动转换功能及其耐压试验,发生器的输出波形见图5。

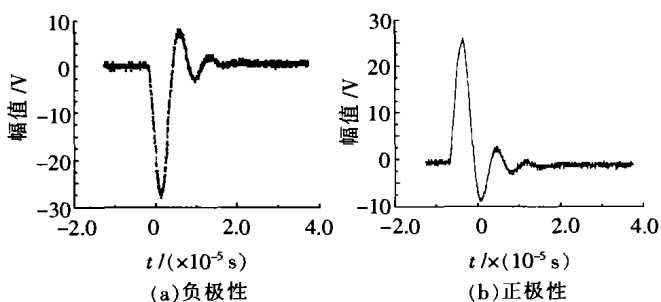


图5 高压脉冲正负极性波形

## 5 结语

200 kV 高压脉冲变压器的层间绝缘、沿面耐压、体绝缘和高压脉冲的引出是设计的关键,通过良好的制造工艺,可以提高产品的可靠性和使用寿命。

采用抗电磁干扰能力强的元器件制作的控制器实现了高压脉冲极性和限流电阻的自动转换。

所研制的高压脉冲发生器可输出连续可调的正、负极性 60~200 kV 的脉冲电压,输出波形为半正弦波,波形宽度约 6  $\mu$ s,限流电阻调节范围为 2~17 k $\Omega$ 。

## 参考文献:

- [1] 白峰,邱毓昌.利用脉冲功率技术对岩石进行钻孔[J].高压电器,2001,37(2):26-28.
- [2] 米伦.200 kV 脉冲变压器的设计与试验研究[R].绵阳:中国工程物理研究院电子工程研究所,2002.
- [3] 王瑞华.脉冲变压器的设计[M].北京:科学出版社,1996.
- [4] 东林.线性脉冲调制器理论基础与专用电路[M].北京:国防工业出版社,1990.

作者简介:米伦(1955-),男,重庆市人,高级工程师,长期从事高电压技术工作。

## 中国高压电器网网委会扩大会议将于9月召开

简讯

中国高压电器网一届二次网委会扩大会议将于9月14~20日在四川省成都市召开。会议将邀请有关领导和业内专家作专题报告,并进行技术交流。主要内容有:①目前中国电网的发展和电力需求状况分析;②高压开关设备运行可靠性及故障情况分析;③中压充气柜技术及市场分析;④高压 SF<sub>6</sub> 断路器热膨胀灭弧技术;⑤真空断路器固封技术专题介绍;⑥中压配网自动化技术专题介绍;⑦中压预装式变电站技术介绍;⑧中国高压电器网网站介绍。

本次会议由西安高压电器研究所主办,成都旭光电子股份有限公司承办。

## 咸阳秦华特种电子元器件厂

1. RIG8B 型大功率(30~800 W),耐高压(30~800 kV),精密( $TCR \leq 100 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $TCV \leq 0.01\%/V$ ),高阻值(1 k $\Omega$ ~100 G $\Omega$ )特种无感膜电阻器。
2. RI80A 型高压玻璃釉电阻器,功率(5~30 W),阻值(1 k $\Omega$ ~100 G $\Omega$ );耐电压(5~30 kV);精密( $TCR \leq 100 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $TCV \leq 0.01\%/V$ )无感电阻器。外形  $\phi 11 \times (45 \sim 130)$ 。
3. RI80P 型高压高阻玻璃釉片式电阻器。
4. 高防潮湿精密膜电阻器。
5. 大功率(5~30 kW);耐高电压(50~100 kV),带强制风冷型电阻柜。
6. 大功率(25~5 000 W),固定,可调,无感,被釉线绕电阻器。
7. RI40A 型玻璃釉高压高阻电阻器。

大功率高压精密电阻分压器,测量用精密分压器取样电阻

地址:陕西咸阳市东郊福利厂内 邮编:712000

电话:(0910)3768660,13609215591 传真:(0910)3768660