

介质阻挡放电参数计算软件设计及应用

龙凯华^{1,2}, 邵涛¹, 严萍¹

(1. 中国科学院电工研究所, 北京 100190; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 介质阻挡放电是产生低温等离子体的一种重要方法,其应用近年来受到关注。笔者基于介质阻挡放电中经常测量的电压和电流,设计用于介质阻挡放电实验的人机界面,有利在不同的外电压波形、阻挡介质参数、间隙距离等条件下的大量实验数据的分析和计算,得到介质阻挡放电相关的气隙电压、电流及放电功率、电荷量等参数。最后利用交流和脉冲条件下介质阻挡放电的实验波形对其进行了测试。

关键词: 介质阻挡放电; 参数计算; 人机界面

中图分类号: TM213

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2008)06-0548-03

Program and Application of Calculation Software for Electrical Parameters in Dielectric Barrier Discharge

LONG Kai-hua^{1,2}, SHAO Tao¹, YAN Ping¹

(1. Institute of Electrical Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Dielectric barrier discharge is an important way to produce low-temperature plasma. Based on the measured DBD voltage and current, a human-computer interface is designed for DBD experiments, which extremely facilitate the analysis and calculation of the data under different experimental conditions including applied voltage, dielectric barrier and gap spacing. Some important parameters, such as discharge voltage, current, power, and charge quantity, are calculated through the software. In addition, the function of the software is tested using the experimental DBD data with AC and unipolar pulse voltage.

Key words: dielectric barrier discharge(DBD); parameter calculation; human-computer interface

0 引言

介质阻挡放电(DBD)具有特殊的光、热、声、电等物理过程及化学过程,能在大气压下或高于大气压下产生大体积、高能量密度的低温等离子体,应用领域非常广泛,例如工业臭氧合成发生器、环境保护、消毒杀菌、材料表面改性等。DBD是在放电空间中插入固体绝缘介质的一种气体放电形式,固体绝缘介质有效地抑制了电弧的形成,从而在气隙间形成稳定且具有较高电子能量的低温等离子体^[1-4]。

DBD实验过程中经常从外电路中测量施加的电压、电流及传输电荷等参数,但实际研究DBD时,需要了解DBD中气体间隙上的电压、电流及放电功

率的变化情况,得到关于DBD放电过程的相关信息。因此,通常根据DBD实验外部测量的电压、电流等数据,分析内部放电情况,先对DBD模型化再进行计算^[5-7]。随着对各种实验条件下放电特性研究的逐渐深入,常常进行频繁的DBD电学参数计算,产生大量的实验数据,分析和计算工作变得更加繁杂。针对这些问题,设计了一款基于MATLAB的参数计算人机交互友好软件,将参数设置、模型计算和结果输出等功能集合在一起,极大地简化和规范了实验研究的后期工作。

1 介质阻挡放电参数计算原理

通常,DBD的气体间隙可以等效为电容和可变电阻的并联,见图1(a), C_g 和 C_d 分别是放电间隙和

收稿日期:2007-12-19; 修回日期:2008-06-21

基金项目:国家自然科学基金重点项目(50437020);中国科学院优秀博士学位论文、院长奖获得者科研启动专项资金、中科院电工所青年优秀人才自由探索项目资助。

作者简介:龙凯华(1984-),男,硕士研究生,从事高电压技术、介质阻挡放电的研究。

阻挡介质的等效电容。放电开始后,由于放电空间带电粒子数目的增加,间隙气体的介电常数也随之变化,而 C_g 是非线性变化的,若用可变电阻来等效存在一定误差^[5],若采用随 C_g 非线性变化的动态电压控制的电流源更为合适,见图 1(b)^[6]。

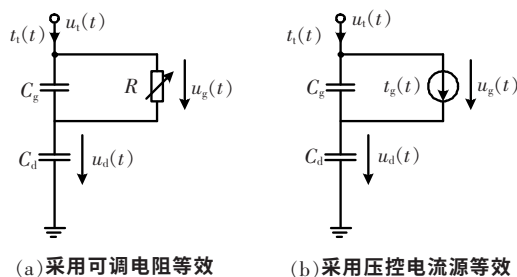


图 1 DBD 电极部分等效电路图

其中 $u_i(t)$ 为外加电压; $u_d(t)$ 为介质上的电压; $u_g(t)$ 为放电间隙电压; $i_t(t)$ 为 DBD 放电总电流; $i_g(t)$ 为间隙放电电流。实际能够测量的是外加电压 $u_i(t)$ 和放电总电流 $i_t(t)$, 而不能直接得到放电间隙上的电压、电流和功率等, 需要根据模型计算^[6,7]。

$$i_g(t) = (1 + \frac{C_g}{C_d}) i_t(t) - C_g \frac{du_i(t)}{dt} \quad (1)$$

$$i_d(t) = \frac{1}{1/C_g + 1/C_d} \frac{du_i(t)}{dt} \quad (2)$$

$$u_d(t) = \frac{1}{C_d} \int_0^t i_t(\tau) d\tau + u_d(0) \quad (3)$$

$$u_g(t) = u_i(t) - u_d(t) \quad (4)$$

$$P_t(t) = u_i(t) i_t(t) \quad (5)$$

$$P_g(t) = u_g(t) i_g(t) \quad (6)$$

$$Q_g = \int_{t_1}^{t_2} i_g(\tau) d\tau \quad (7)$$

$$E_g = \int_{t_1}^{t_2} u_g(\tau) i_g(\tau) d\tau \quad (8)$$

其中, $i_d(t)$ 为介质位移电流; $P_t(t)$ 为总功率; $P_g(t)$ 为放电功率; Q_g 为一次放电电量; E_g 为间隙一次放电消耗能量。

交流电压情况下

$$u_d(0) = -\frac{1}{2C_d} \int_0^{T/2} i_t(\tau) d\tau \quad (9)$$

脉冲电压且重复频率不是很高的情况下, $u_d(0)$ 的大小可忽略。

2 MATLAB 下的人机界面设计

采用 MATLAB 数学计算工具, 并结合式(1)~(9), 利用示波器采集的 DBD 电压电流信号, 设计了人机界面软件, 界面的主要设计流程见图 2。绘制界面之后, 主要有 4 个按钮命令: 开始计算、作图、保存、退出, 每个按钮操作对应一个流程。按照上节中介绍的参数计算原理, 在开始计算按钮流程中加入了参数计算程序, 并具有操作错误提示功能。另外,

为方便操作, 当改变界面上某些参数时, 其他能够确定的参数随之自动更新。

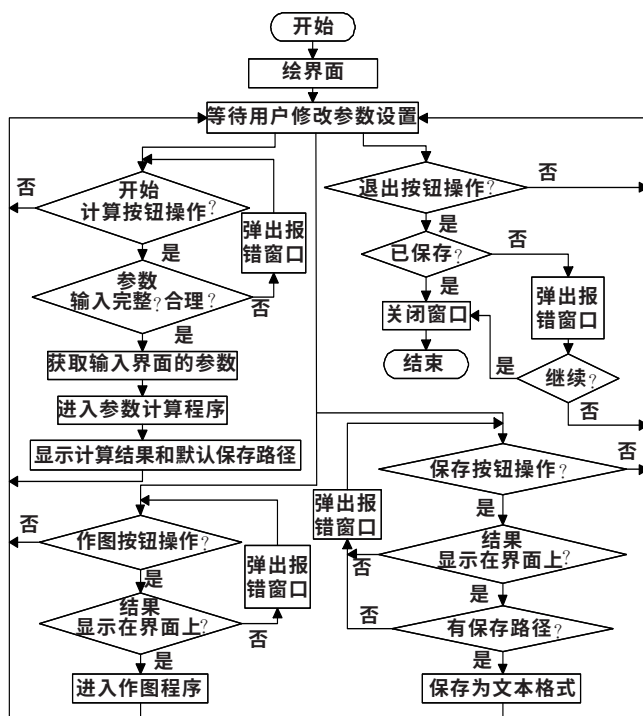


图 2 界面设计流程图

软件涉及的输入输出参数见图 3, 设置的参数包括了 DBD 实验时涉及到的输入参数和需要得到的所有电气参数。设计基于 MATLAB 的人机界面, 见图 4, 此界面主要由 5 部分组成: 参数设置、测量数据、外加电压类型、计算结果和命令按钮。将界面上的各项设置完成后, 操作“开始计算”按钮即可进行计算, 结果显示在界面上; 点击“保存结果到”按钮将结果保存为 txt 格式文本; 操作“作图”按钮可得电压、电流和功率的比较图。

3 应用实例

依据对交流 DBD 和单极性脉冲 DBD 实验波形的测量结果, 分别对设计软件进行了测试:

(1) 交流 DBD

交流 DBD 实验的条件是: 220 V 工频交流电压经整流逆变电路转换为幅值 0~20 kV、频率 1~100 kHz 的可调交流电压, 进行交流 DBD 的测试^[8]。输入参

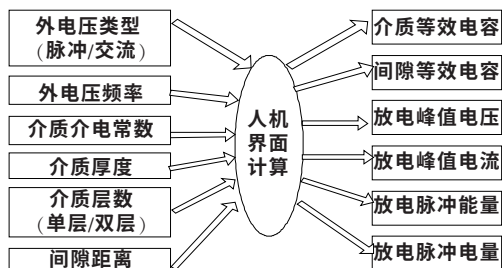


图 3 界面输入输出示意图



图4 DBD参数计算人机界面

数为:外加电压频率选择 10 kHz;上下电极均为直径 50 mm 的圆形铝电极;单层阻挡;阻挡介质为直径 80 mm、厚度 3.5 mm 的石英玻璃;气隙间距 5 mm;采样频率 10 MHz。输出的参数计算结果见图 5,电压、电流及功率变化曲线见图 6。

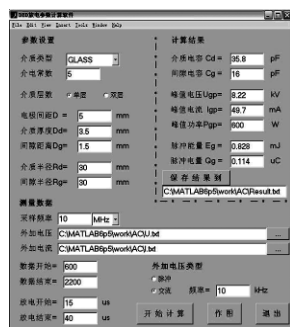


图5 交流 DBD 参数计算结果

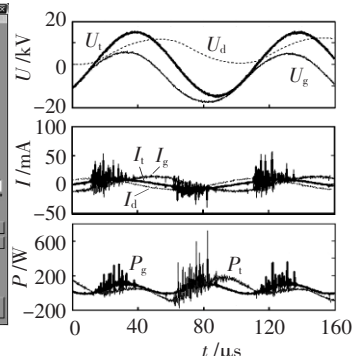


图6 交流 DBD 参数波形

(2)脉冲 DBD

产生单极性脉冲 DBD 的电源为基于半导体断路开关的电感储能方式的电源 SPG200N^[9,10]。脉冲 DBD 的输入参数为:外加电压频率 1 kHz;上下电极均为直径 50 mm 的圆形铝电极;单层阻挡;阻挡介质为直径 100 mm、厚度 1.1 mm 的玻璃;电极间距 5.2 mm;间隙距离 4.1 mm;采样频率 1 GHz。由软件计算的输出参数见图 7, DBD 输入电压、电流及气隙上的电压、电流及放电功率见图 8。

4 结语

设计基于 MATLAB 的实验数据处理人机交互软件为 DBD 电气参数的计算提供了一个非常实用的工具,可以方便、快捷、直观地得到 DBD 气隙上电

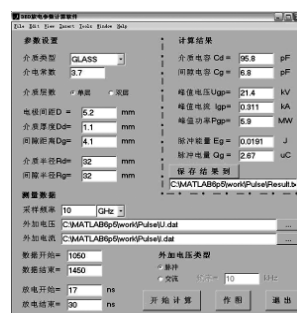


图7 脉冲 DBD 参数计算结果

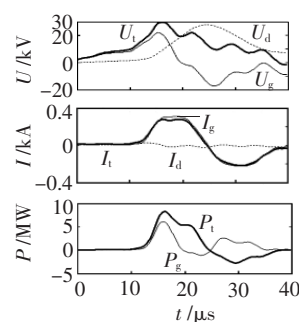


图8 脉冲 DBD 参数波形

压、电流以及放电功率的变化趋势,并应用交流 DBD 及单极性脉冲 DBD 的实验结果对设计软件进行测试,界面输出简洁直观,满足实验的需要。此界面已经用于中科院电工所实验室的 DBD 研究,提高了 DBD 电学特性研究后期工作的效率。

5 致谢

感谢南京工业大学方志博士提供高频交流 DBD 实验波形数据。

参考文献:

- [1] 王辉,孙岩洲,方志,等.不同电极结构下介质阻挡放电的特性研究[J].高压电器,2006,42(1):25-27.
- [2] 孙岩洲,邱毓昌,谢建民.大气压下辉光放电的产生[J].高压电器,2003,39(6):41-46.
- [3] 邵建设,严萍,袁伟群.大气压空气中同轴介质阻挡放电微放电特性[J].高电压技术,2006,32(10):65-68.
- [4] 王辉,方志,孙岩洲,等.管状电极介质阻挡放电和介质阻挡电晕放电的研究[J].高压电器,2006,42(2):128-130.
- [5] 王辉,方志,邱毓昌,等.介质阻挡放电等效电容变化规律的研究[J].绝缘材料,2005,38(1):37-40.
- [6] LIU Shu-hai, NEIGER M. Electrical Modeling of Homogenous Dielectric Barrier Discharges under an Arbitrary Excitation Voltage [J]. J Phys, D: Appl. Phys., 2003(36): 3 144-3 150.
- [7] LIU Shu-hai, NEIGER M. Excitation of Dielectric Barrier Discharges by Unipolar Submicrosecond Square Pulses [J]. J Phys. D: Appl. Phys., 2001(34): 1 632-1 638.
- [8] 章程,方志,赵龙章,等.基于 SIMULINK 的介质阻挡放电的仿真[J].高压电器,2007,43(3):218-221.
- [9] 邵涛,严萍,龙凯华,等.重复频率纳秒脉冲介质阻挡放电实验研究 [C]// 中国电机工程学会高压专委会学术年会论文集(下册),2007:1 268-1 271.
- [10] 龙凯华,邵涛,严萍.纳秒高压脉冲下介质阻挡放电仿真研究 [C]// 中国电机工程学会电压专委会学术年会论文集(下册),2007:1 263-1 267.

简讯

中国电机工程学会变电专业委员会和中国电工技术学会输变电设备专业委员会于 2008 年 11 月 14~16 日在浙江省宁波市召开了 2008 年度工作会议,两个专委会中有 47 个委员单位共计 55 名代表参加了本次会议。