

非均匀场控电流变阻尼器交指状电极电场仿真分析

窦世磊^{1,2}, 黄靖宇^{1,2}, 徐鲁宁^{1,2}, 韩立^{1,2}

1. 电子电气与通信工程学院, 中国科学院大学, 北京市, 北京100049

2. 微纳加工技术与智能电气设备研究部, 中国科学院电工研究所, 北京市, 北京100190

简介: 电流变阻尼器是基于电流变液智能材料开发的一种新型阻尼器, 其阻尼响应特性可通过改变外加控制电场进行动态调节。传统均匀场控电流变阻尼器无法满足高冲击载荷下的应用需求, 现有研究表明控制电场采用具有平行于剪切应力方向分量的非均匀电场可改善这一问题。非均匀场控电流变阻尼器采用交指状电极结构, 可提供满足要求的非均匀控制电场。本文应用COMSOL Multiphysics仿真软件对交指状电极结构所产生的有效电场分布情况进行仿真分析, 并改变相应电极结构参数来分析电流变液工作区域内有效电场强度平均值的变化情况, 最后得到了电极结构参数对有效电场强度平均值的影响规律, 依据此规律可实现对非均匀场控电流变阻尼器电极结构的进一步优化。

计算方法: 阻尼器交指状电极所产生的电场为非均匀静态电场, 对于静电场问题的求解, 可通过规定边界下泊松方程的来进行描述。

$$\nabla \cdot \epsilon \nabla \varphi = -\rho$$

$$\varphi = \varphi_0$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0$$

为解决此电场问题的求解, 可使用COMSOL中AC/DC静电场模块进行仿真分析。由于交指状电极所产生的电场为非均匀电场, 为此可将电流变阻尼器电流变液工作区域中的有效电场强度表示为:

$$E_{eff} = E_z + 0.3 \times \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$$

建立的几何仿真模型如图1所示, 并在模型的上下两侧建立周期性边界条件。几何仿真模型网格划分情况如图2所示。

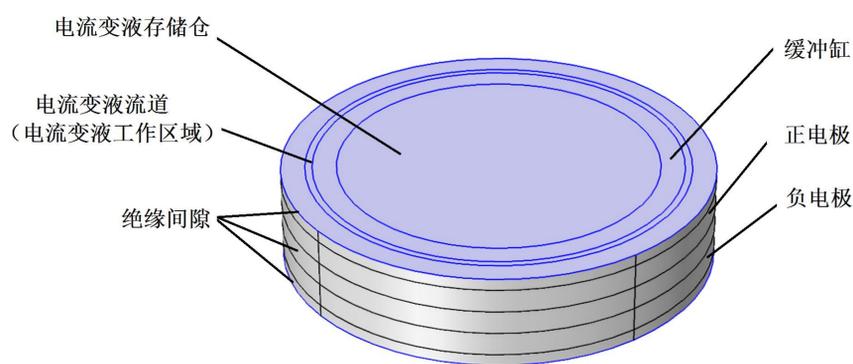


图1. 几何仿真模型及其周期性边界

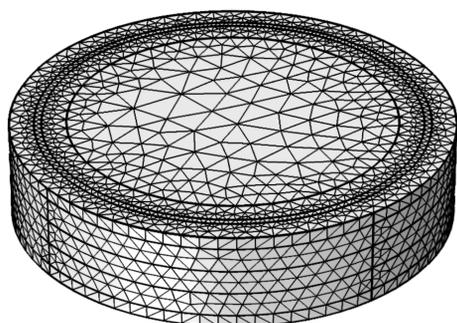


图2. 几何仿真模型网格划分

结果: 通过仿真计算, 可得到仿真模型的电势分布情况以及电流变液工作区域中有效电场强度的分布情况, 如图3及图4所示。通过参数化扫描, 改变阻尼器电极宽度及绝缘宽度参数, 可得到阻尼器几何结构参数改变对电流变液工作区域有效电场强度平均值的影响规律情况, 如图5及图6所示。

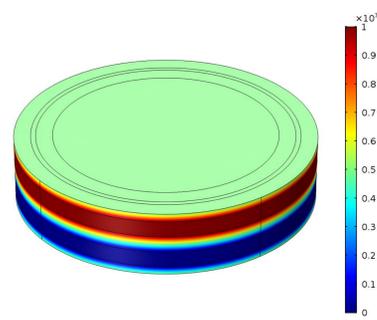


图3. 阻尼器电势分布

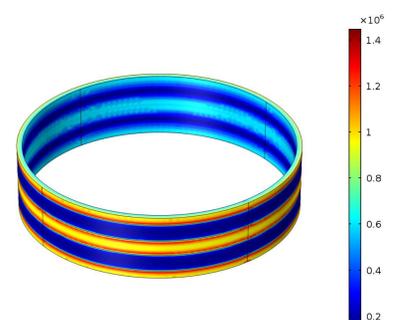


图4. 电流变液工作区域有效电场强度分布

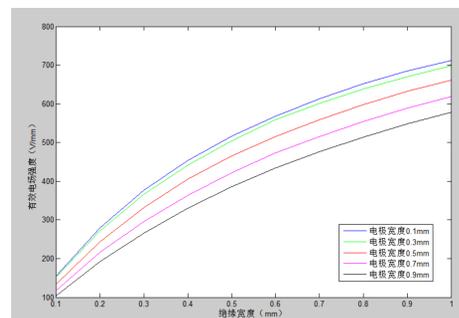


图5. 绝缘宽度改变对有效电场强度平均值的影响规律

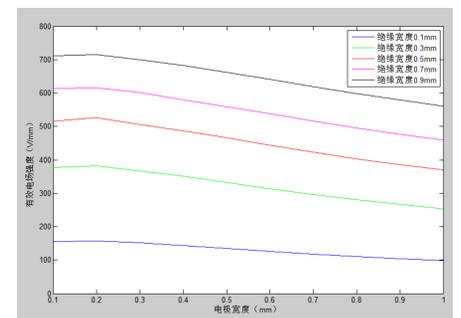


图6. 电极宽度改变对有效电场强度平均值的影响规律

结论: 通过对非均匀场控电流变阻尼器模型的电场仿真结果进行分析, 可得到如下结论:

(1) 当阻尼器电极宽度保持不变时, 电流变液工作区域中有效电场强度的平均值随绝缘宽度的增大而增加。

(2) 当阻尼器绝缘宽度保持不变时, 电流变液工作区域中有效电场强度的平均值随电极宽度的增加呈现出先增大后减小的趋势。当电极宽度为0.2mm时, 有效电场强度的平均值达到峰值。

以上结论说明非均匀场控电流变阻尼器的交指状电极在选型时, 绝缘宽度在条件允许的情况下应选取较大值, 电极宽度选取应尽量接近0.2mm, 这对后续电流变阻尼器几何结构参数的选取具有一定的指导意义。

参考文献:

1. Xu Luning, Han Li, Li Yufei, et al. Operational durability of a giant ER valve for Braille display[J]. Smart Material Structures, 2017, 26(5):054003
2. 颜威利, 杨庆新, 汪友华, 等. 电气工程电磁场数值分析[M]. 机械工业出版社, 2006.
3. 刘亚永, 李尧生, 徐鲁宁, 等. 交指状电极结构仿真分析及其电场分布拟合[J]. 电工电能新技术, 2018, 37(2):61-67.
4. Liu Liyu, Huang Xixiang, Shen Cai, et al. Parallel-field electrorheological clutch: Enhanced high shear rate performance[J]. Applied Physics Letters, 2005, 87(10):373.