

大功率环形器热流仿真

谭雅琪¹, 朱铨丞¹, 杨阳¹, 黄卡玛¹

1. 电子信息学院, 四川大学, 成都市, 四川省, 中华人民共和国

简介: 随着电磁波应用功率的提高, 大功率环形器的电磁损耗造成的温度变化及性能波动不可忽视。针对大功率环形器在工作过程中温度变化对性能的影响, 通过在Comsol Multiphysics中对工作频率为3GHz、输入功率为500W的微波环形器进行3D建模, 建立电磁-热-固体力学多物理场耦合方程, 对环形器在大功率作用下的温度、热应力、形变以及性能变化情况进行分析, 为大功率环形器的热设计提供理论依据。

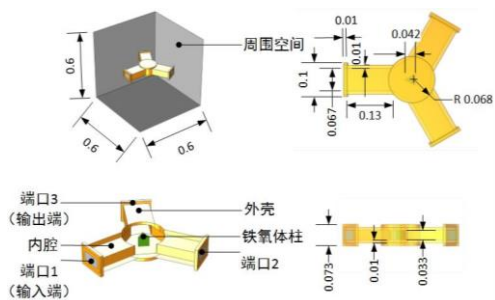


图 1. 模型结构及尺寸 (单位: m)

计算方法:

$$\text{波动方程: } \nabla \times \mu_r^{-1}(\nabla \times \vec{E}) - k_0^2 \left(\epsilon_r - \frac{j\sigma}{\omega\epsilon_0} \right) \vec{E} = 0$$

$$\text{传热方程: } \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} - k \nabla^2 T = Q_e$$

$$\text{电磁-热耦合方程: } Q_e = \frac{1}{2} \omega \epsilon_0 \epsilon_r'' |\vec{E}|^2$$

$$\text{热膨胀方程: } \epsilon_{th} = \alpha(T)(T - T_{ref})$$

结果1: 饱和磁化强度不变时环形器温度场分析

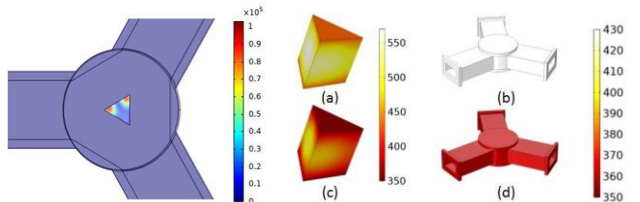


图 2. 环形器电磁功率损耗分布 (单位: W) 图 3. 无散热及外壳表面散热时, 铁氧体柱及外壳于200min时温度 (单位: K) (a) (b) 无散热 (c) (d) 外壳表面散热

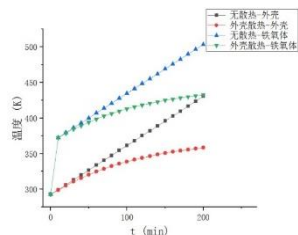


图 4. 无散热及外壳表面散热时, 铁氧体柱及外壳温度变化曲线

结果2: 饱和磁化强度不变时环形器温度场分析

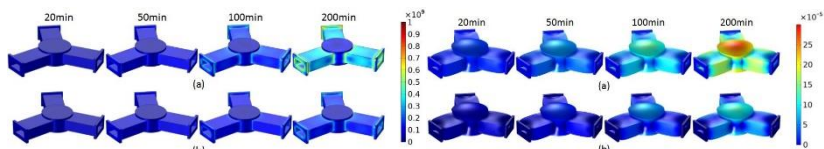


图 5. 环形器外壳所受热应力分布变化 (单位: N/m²) (a) 无散热 (b) 外壳表面散热 图 6. 环形器外壳变形情况 (单位: m) (a) 无散热 (b) 外壳表面散热

结果3: 饱和磁化强度对环形器发热的影响

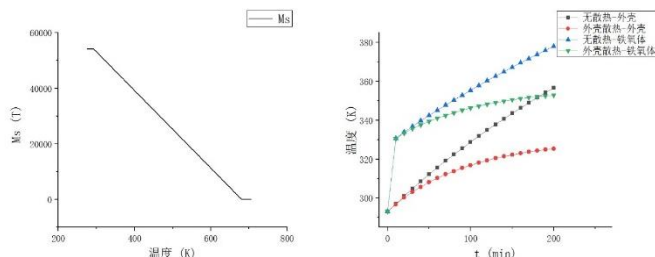


图 7. 设置铁氧体饱和磁化强度与温度的变化关系

图 8. 饱和磁化强度随温度变化后, 铁氧体及外壳温度变化曲线

结果4: 外部风冷对环形器发热及性能的影响 (风速Uz)

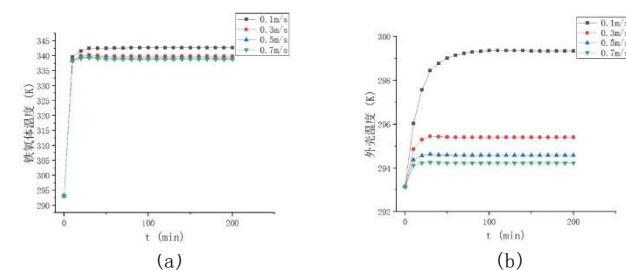


图 9. 不同风速时, 铁氧体柱及外壳温度变化曲线 (a) 铁氧体柱 (b) 外壳

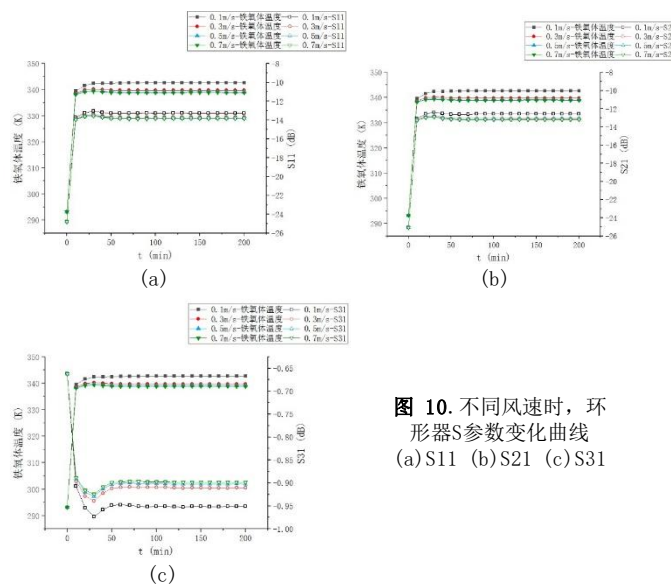


图 10. 不同风速时, 环形器S参数变化曲线 (a) S11 (b) S21 (c) S31

结论: 本文通过对工作在500W/3GHz的大功率微波环形器进行电磁-热-固体力学耦合分析, 且在分析过程中加入铁氧体的饱和磁化强度这一温度敏感型参数, 得到了 (1) 在不同散热条件下, 环形器工作时内部铁氧体柱及外壳温度升高的变化趋势 (2) 环形器性能参数随铁氧体柱温度升高而趋向恶化的对应关系及该模型的最佳散热风速为0.3m/s。本研究成果可为今后大功率微波器件的设计提供一定的理论依据。

参考文献:

- Fay C E, Comstock R L. Operation of the Ferrite Junction Circulator[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2003, MTT-13(1):15-27.
- S. V. Mishakin and S. V. Samsonov, "An Approach to Thermal Analysis of Helically Corrugated Waveguide Elements of Vacuum Electron Devices," in IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 66, no. 12, pp. 5206-5211, Dec. 2018, doi: 10.1109/TMT.2018.2873362.
- 马丽娟. MnZn铁氧体烧结过程中温度场模拟[D]. 南京理工大学, 2010.