

Research of the Technology of Grounding Grips at High Frequency

Zhenan GUO

College of Information Science and Technology, NanJing University of Aeronautics
and Astronautics, NanJing, china, 210016
guozhan527@126.com

Abstract: Existing technology of grounding grips are mainly used to protect substations and based at low frequency. There are few simulation researches of grounding grids at high frequency which can be used in aircraft grounding system. The appearance of the technology of grounding grips at high frequency will resolve the problems resulted from using composite material in airframe. At high frequency we will use multipoint grounding technology which will bring coupling interfere voltage because of the nonzero grounding impedance. This paper starting from low frequency grounding technology, analyses the relationship between the voltage and wire radius, grid shape and source frequency, and tried to find the way to reduce the voltage. It will do some help to designing grounding drips for aircraft.

Key words: Grounding Grips; Grounding Technology of Plane; Composite Material; Grounding Technology with High Frequency

高频接地网技术研究

郭朕安

南京航空航天大学电子信息科学与技术学院, 南京, 210016
guozhan527@126.com

【摘要】现有的接地网技术大多是低频的、用于变电站的接地防护,关于飞机上的高频接地网技术仿真研究还很少见。而高频接地网技术的出现将解决因飞机机身采用复合材料而引起的接地难问题。高频时采用多点接地技术将会因为地阻抗非零而引起共模阻抗耦合干扰电压。本文以飞机接地网为研究背景、以低频接地网技术为参考,借助仿真软件研究、分析了导线半径、网格形状以及电流源频率对共模阻抗耦合干扰电压的影响,找出减小它的方法,为飞机接地网设计提供参考。

【关键词】接地网; 飞机接地技术; 复合材料; 高频接地技术

1 引言

飞机设计的研究和发展一直与采用性能优越的新材料密切相关。特别是在今天,以先进的复合材料代替其中部分落后的材料已经引起了飞机设计上重大技术变革。但是复合材料射频阻抗大,导电性差,将直接影响复合材料在飞机上的扩大应用。我国复合材料电磁兼容性研究工作起步晚,一些标准还都没有给出,而飞机上复合材料的应用却越来越普遍。

在复合材料机身中铺设接地网,这样既采用了复合材料减轻了飞机重量同时又能满足飞机上电力和电子系统接地的需要。

本文仿真分析了这种结构,并对一些影响接地网性能的因素进行了分析、比较,最终得出结论,为飞机接地网设计积累了经验。

2 接地技术分析

接地是一个电路概念,就是把电子元件与某个称作“地”的参考点连接起来。电路系统接地的方式基本上有三大类:一是单点接地,二是多点接地,三是混合接地。

飞机上电子设备的接地方式一般是属于多点接地,也就是把一个分系统中的若干个组件的壳体,通过搭接线就近连接到飞机的基本结构上,或者打

磨壳体的底座,使它直接与机体相接触。

这种把飞机机体作为接地参考面的方法的优点就是减少了很多重功率电流回路的重量;缺点就是电流流过机身时,由于地阻抗不为零而产生的干扰电压。当回路电流确定的情况下,干扰电压直接由地阻抗所决定;而地阻抗不但与频率有关而且还与材料的等效半径、电导率和磁导率有关。

2.1 等效阻抗

在交流电路中,随着电流频率的增加,导体的等效阻抗由于趋肤效应的产生而发生变化。

对于圆柱型导体:

$$R_{ia} = \frac{1}{2\pi a d_s \sigma} \quad (1)$$

$$L_{ia} = \frac{R_{ia}}{\omega} = \frac{R_{ia}}{2\pi f} \quad (2)$$

式中: R_{ia} ---- 单位长度的电阻

L_{ia} ---- 单位长度的电感

$d_s = 1/\sqrt{\pi f \sigma \mu_0}$ ---- 趋肤深度

μ_0 ---- 自由空间磁导率

σ ---- 材料的电导率

a ---- 圆截面半径

2.2 公共地阻抗耦合分析

如图1所示,地电流 I_g 流过地平面产生共模电压 U_i 。此电压如同电磁干扰源,使回路ABCDEFHGA及ABCIJFGHA上流动着干扰电流。如果电路接地,即信号基准点和负载基准点接在各自的机壳上,则电压 U_i 出现在两个接地点之间。此电压在两个信号电缆中分别引起电流 I_1 和 I_2 。但是 I_1 和 I_2 流经的阻抗不同,所以在负载输入端由于不平衡引起差模电压 U_0 。本文的主要工作就是围绕着 U_0 进行。

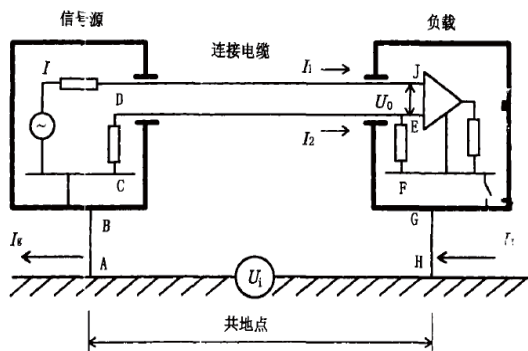


Figure 1 coupling of public grounding impedance

图1 耦合公共接地阻抗

3 仿真结果处理、分析

本文作者用的仿真软件是Feko Suite5.5版。立方体网栅模型,如图3所示:边长 $a=10\text{cm}$,网格间距 $d=1\text{cm}$,在底面中心处加幅度1A相位 0° 的电流源激励。

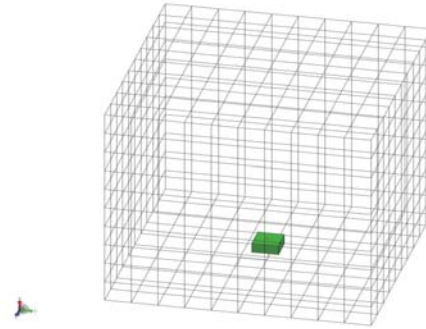


Figure 2 3D view of grounding line

图2 三维看法的接地线

底面视图如图4所示:电流源激励加在a点,频率 f 从100MHz到2GHz,求a、b两点间的电压差 U , U 可通过公式 $U = \int (R + j\omega L) \vec{I} \cdot d\vec{l}$ 求得。 I 是沿导线轴向的电流可由feko结果导出; $R + j\omega L$ 是ab间导线的阻抗,可由前文中的阻抗公式得到。

图3给出了接地网的底面示意图,图4-6分别给出了共模干扰电压与频率、导线半径和网格形状之间的关系,图7改变了电流注入点,图8是采用更精细剖分密网格引起的变化。

针对仿真结果,本文作者根据基尔霍夫电压、电流定律做了以下两方面的验证,验证结果都说明仿真结果的正确性。

1. 回路验证

根据基尔霍夫电压定律,任一集总参数电路中的任一回路,在任一瞬间沿此回路的各段电压的代数和恒为零,即电压的参考方向与回路的绕行方向相同时,该电压在式中取正号,否则取负号。取回路abcda,导线半径 $r=1\text{mm}$ 、频率 $f=100\text{MHz}$ 的情况,此时等长导线的阻抗都是相同的,只需验证导线上电流满足定律即可。即:

$$U_{ab} + U_{bc} + U_{cd} + U_{da} = (I_{ab} + I_{bc} + I_{cd} + I_{da})Z = 0$$

2. 节点验证

根据基尔霍夫电流定律,在任一瞬间流出(流入)该节点的所有电流的代数和恒为零,即就参考方向而言,流出节点的电流在式中取正号,流入节

点的电流取负号。导线半径 $r=1\text{mm}$ 、频率 $f=100\text{MHz}$ 的情况，对于节点d：

$32-12.84-9.664-9.415=0.081\text{ (mA)}$ 约等于零，由于计算误差的存在，可以认为结果满足节点电流定律。

通过回路验证和节点验证可以说明软件采用的算法的正确性以及仿真结果的可靠性。

Feko的剖分标准，线段长度 seg_len 一般取 $\frac{\lambda}{15}$ ， λ 为自由空间波长，导线半径要求 r 不大于线段长度的四分之一，所以综合考虑导线半径，导线可承受的电流强度以及feko的剖分要求，本文取 $f_{\max}=2\text{GHz}$ ， $\text{seg_len}=1\text{cm}$ ， $r_{\max}=2.5\text{mm}$ 。

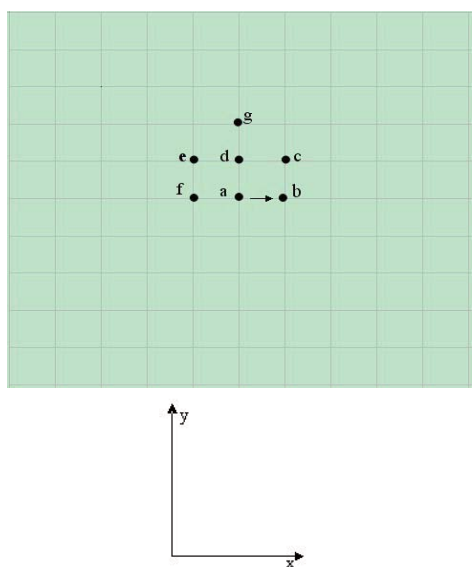


Figure3 view of the bottom face
图3 观点底部透明的脸

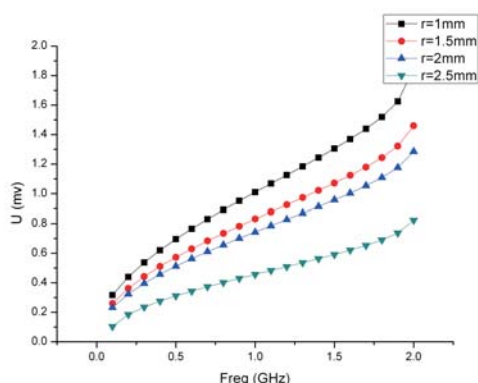


Figure4 relations between voltage and frequency
图4 电压、频率之间的关系

由图可见：频率增加，干扰电压变大，这很容易理解，因为随着频率增大，导线的阻抗增大。 r 代表的是导线半径。

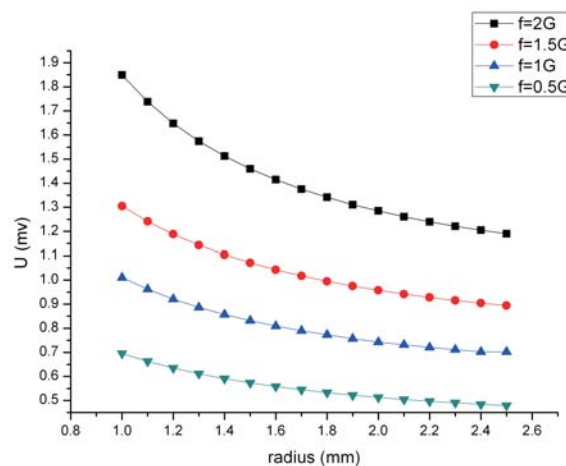


Figure5 relations between voltage and wire's radius
图5 电压和线的半径之间的关系

可见随着导体半径的变大，干扰电压逐渐变小，这是因为导线半径变大的同时导线的阻抗减小的缘故。绿线代表的是 $f=0.5\text{GHz}$ ，蓝线代表 $f=1.0\text{GHz}$ ，红线代表 $f=1.5\text{GHz}$ ，黑线代表 $f=2.0\text{GHz}$ 。

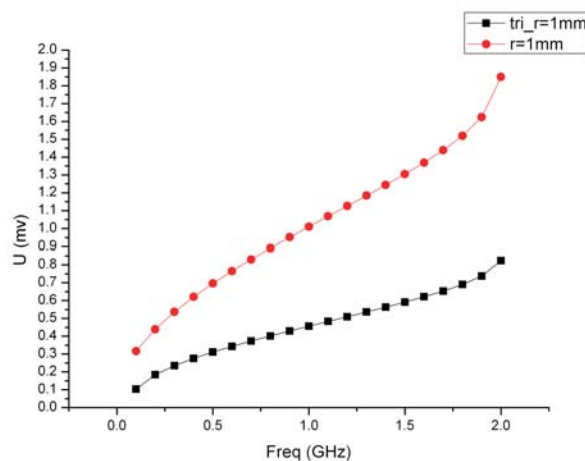


Figure6 compare of different grid shapes' voltage
图6 比较不同网格形状的电压

导线半径同为 1mm ，图中的红线表示的是正方形网格构成的接地网，黑线表示的三角形网格组成的接地网。