

利用 MATLAB 图形技术实现电磁波的可视化

李丽芬 云彩霞 郝鹏伟

(燕京理工学院, 北京 101601)

摘要: 针对电磁场与电磁波特点, 利用 Matlab 的可视化功能进行三维场图的绘制。本文着重仿真了平面电磁波在无界理想介质、导电媒质中的传输特性, 实现了均匀平面波对媒质分界面的垂直入射和斜入射的动态过程演示。

关键词: Matlab; 仿真; 均匀平面; 电磁波

中图分类号: G434 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-9767 (2016) 03-042-02

平面电磁波在通信系统、光学工程等方面有着重要应用, 而它的实际传输过程是看不到、摸不着的。本文借助 Matlab 对平面电磁波在无界理想介质、导电媒质, 对媒质分界面的垂直入射和斜入射两种情况进行仿真, 增强了电磁波的可视化。

1 均匀平面电磁波的传播

设电磁波沿 z 轴方向传播, 在与 z 轴垂直的平面上, 其电磁场强度各点具有相同的振幅和振动方向, 即电场和磁场的大小只与 z 有关, 而与 x 和 y 无关, 这种电磁波就是均匀平面电磁波。

1.1 均匀平面电磁波在理想介质中的传播

以一频率为 $f=150\text{MHz}$ 的均匀平面波在 $\epsilon_r=4, \mu_r=1, \sigma=0$ 的理想介质中传播为例, 计算 $k = \omega\sqrt{\mu\epsilon} = 2\pi\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = 60\pi$, 电

场的表达式为 $\vec{E}(z,t) = \vec{e}_x \sin(\omega t - 2\pi z)$, 伴随的磁场为 $\vec{H}(z,t) = \vec{e}_y \frac{1}{60\pi} \sin(\omega t - 2\pi z)$ 。

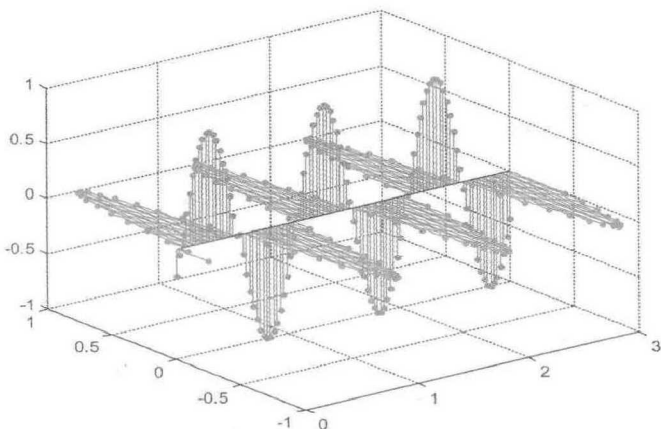


图1 理想介质中的电磁波传播

调用 Matlab 中的 meshgrid、plot3、pause 等函数, 则某一时刻电磁波的波形图如图 1 所示。图 1 中, 竖直方向为电场强度, 水平为磁场强度。本文中, 一个分量的均匀平面波的仿真竖直方向的波均为电场, 水平方向的波均为磁场。通过图形可以直观看到, 电场和磁场互相垂直、相位相同、振

幅不变, 沿 z 轴成正弦变化的规律, 该波是 TEM 波。

1.2 均匀平面波在导电媒质中的传播

以均匀平面波在电参数为 $\mu=\mu_0, \epsilon=81\epsilon_0, \sigma=4\text{S/m}$ 的海水中传输为例, 已知波沿 z 轴正方向传播, 设 $\vec{E} = \vec{e}_x E_x$, 振幅为 1V/m 。

1. 当 $f=1\text{kHz}$ 时, $\frac{\sigma}{\omega\epsilon} = \frac{\sigma}{2\pi f\epsilon_0\epsilon_r} = 8.9 \times 10^5 \gg 1$, 海水是良导体, 电磁波在海水中的传播情况如图 2 所示。

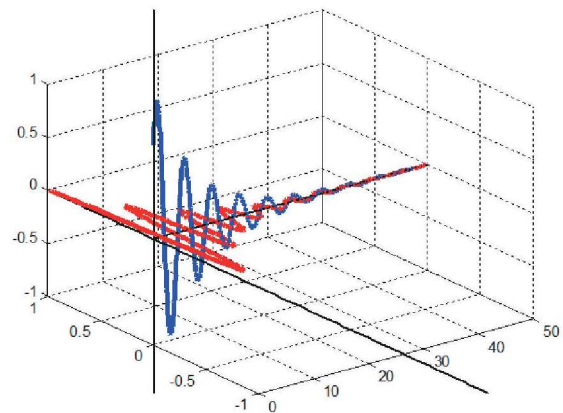


图2 海水中的传播情况

2. 当 $f=1\text{kHz}$ 的均匀平面波在电参数为 $\sigma=5.7 \times 10^7\text{S/m}$ 的铜中传输时, 电磁波的传输距离, 仅为海水中的万分之一。所以, 电磁波在良导体中衰减极快; 电导率越大, 传输距离越短。因此, 良导体中的电磁波局限于导体表面附近的区域。当为理想导体时, 电磁波不能进入导体内部。

1.3 同一媒质中不同频率波的仿真

以均匀平面波在电参数为 $\mu=\mu_0, \epsilon=81\epsilon_0, \sigma=4\text{S/m}$ 的海水中传输为例, 已知波沿 z 轴正方向传播, 设 $\vec{E} = \vec{e}_x E_x$, 振幅为 1V/m 。趋肤深度为:

$$\delta = 1/\sqrt{\pi f \mu \sigma} = 1/\sqrt{\pi \times 4\pi \times 10^{-7} \times 4 \times f} = 251.6461/\sqrt{f}$$

频率从 10Hz 到 1MHz 范围内, 海水中趋肤深度随着频率的增加, 电磁波在海水中衰减得很快。因此, 要保持低衰减, 电磁波的频率必须很低。

基金项目: 河北省高等学校人文社会科学研究教育规划项目 (项目编号: GH152022);

燕京理工学院校级科研项目 (项目编号: 2014YITSRF101)。

作者简介: 李丽芬 (1982-), 女, 河北承德人, 硕士, 燕京理工学院副教授。研究方向: 嵌入式系统设计。

2 均匀平面电磁波的反射和折射

当电磁波投射到两种不同媒质的交界面上时,由于不同媒质的本构参数 ϵ 、 μ 、 σ 不同,因此,在两种媒质中传播的平面电磁波的幅度、相位、极化方式等传播特性都会发生变化。同时,由于媒质的突变,还会引起电磁波传播方向的变化。这就是电磁波在媒质分界面上的反射和折射。

2.1 均匀平面波对分界平面的垂直入射

2.1.1 对导电媒质分界面的垂直入射

假设均匀平面波从媒质1垂直入射到 $z=0$ 的分界平面上, $z<0$ 的半空间为导电媒质1,参数为 ϵ_1 、 μ_1 、 σ_1 , $z>0$ 的半空间为导电媒质2,参数为 ϵ_2 、 μ_2 、 σ_2 。因此,媒质1中为合成波 $\vec{E}_1(z)=\vec{E}_i(z)+\vec{E}_r(z)$,媒质2中只有折射波 $\vec{E}_2(z)=\vec{E}_t(z)$ 。

综上所述,当均匀平面电磁波从一种导电媒质入射到另一种导电媒质中时,波数 k 为复数。因此,电磁波在媒质1和媒质2种均有衰减,但衰减的速度不同,相位常数也不同。

2.1.2 对理想导体分界面的垂直入射

已知入射波电场为 $\vec{E}=\vec{e}_x E_m e^{-j\beta z}$,垂直入射到 $z=0$ 的无限大理想导电平面上,则反射系数 $\Gamma=-1$,全部的入射波被反射形成反向传播的反射波。合成波为驻波,不发生能量传输过程,仅在两个波节间进行电场能量和磁场能的交换。

2.1.3 对理想介质分界面的垂直入射

当媒质1和媒质2均为理想介质时,媒质1中的合成波包含两部分。一部分是包含传播因子的 $e^{-j\beta_1 z}$,振幅为入射波振幅的 $1+\Gamma$ 倍的行波,传输方向为 $+z$ 方向;另一部分是振幅为入射波振幅 2Γ 倍的驻波,投射波的振幅为入射波振幅的 τ 倍, Γ 为反射系数, τ 为透射系数。合成波为行驻波,仿真结果如图3所示。

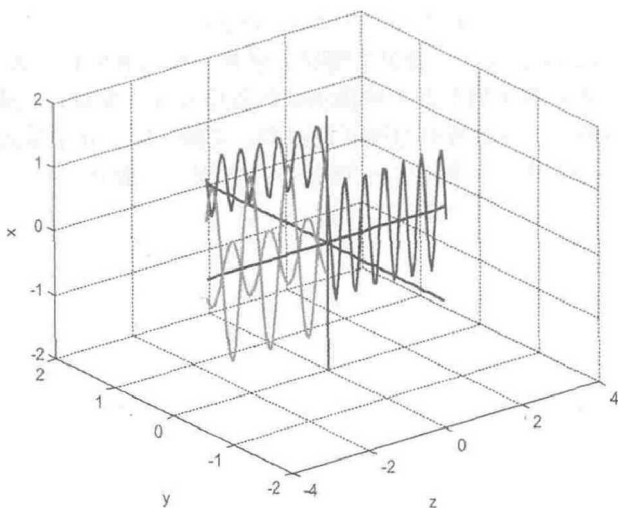


图3 对理想介质的垂直入射

2.2 均匀平面波对分界平面的斜入射

2.2.1 对理想介质分界平面的斜入射

以频率为 $f=300\text{kHz}$ 的垂直极化波从媒质1($\mu_1=\mu_0, \epsilon_1=4\epsilon_0, \sigma_1=0$)斜入射到媒质2($\mu_2=\mu_0, \epsilon_2=4\epsilon_0, \sigma_2=0$)中,入射角为 $\theta_i=60^\circ$ 为例,临界角为 $\theta_c=\arcsin(\sqrt{\epsilon_2/\epsilon_1})=30^\circ<60^\circ$ 。所以,垂直极化波的入射波会发生全反射,波的传播情况如图4所示。图4中,水平方

向为沿介质分界面传输的透射波。

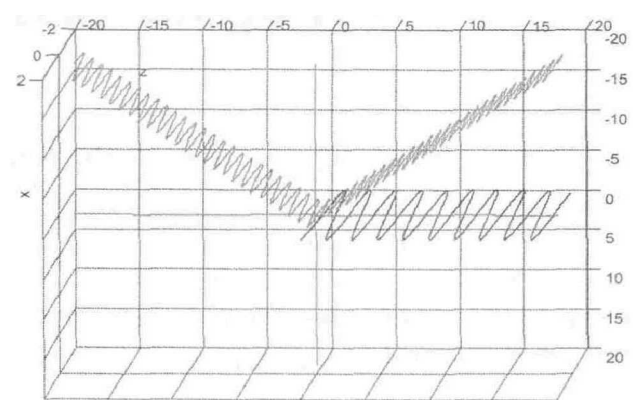


图4 对理想介质的垂直入射

2.2.2 对理想导体分界面的斜入射

以电场为 $\vec{E}_i(x,z)=\vec{e}_x 10e^{-j(6x+8z)}\text{V/m}$ 的均匀平面波从空气斜入射到 $z=0$ 的理想导体平面上为例,反射系数 $\Gamma=-1$,因此反射的电场为 $\vec{E}_r(x,z)=-\vec{e}_x 10e^{-j(6x-8z)}\text{V/m}$ 。入射波和合成波的图形如图5所示,图中左侧为入射波形,右侧为合成波行。

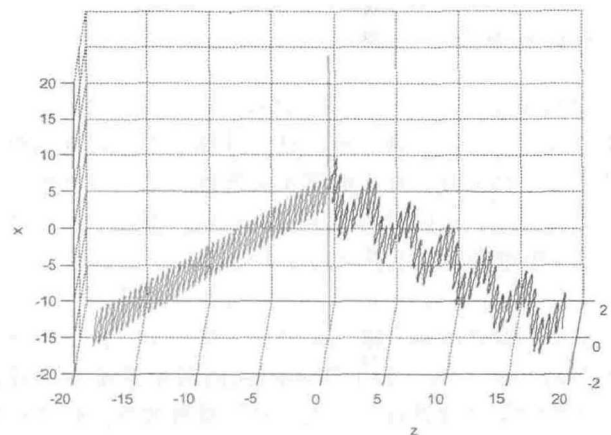


图5 对理想导体的垂直入射

3 结 语

本文利用 Matlab 软件,首先仿真了均匀平面波在理想介质、导电媒质等单一媒质中的传输,分析了导电媒质中电磁波的衰减与频率、电导率之间的关系。从仿真结果可以看出,均匀平面波在理想介质中能够等振幅传输;在导电媒质中,随着频率和电导率的增加,趋肤越来越小。随后,以垂直入射和斜入射两种情况为例,仿真了均匀平面电磁波在不同媒质分界面的反射和透射的动态过程。

参考文献

- [1] 王明军,李应乐,唐静.MATLAB在电磁场与电磁波课程教学中的应用[J].咸阳师范学院学报,2009(2):89-91.
- [2] 宗卫华,曲晓云,王英,等.MATLAB在电磁场与电磁波实验教学中的应用[J].实验室研究与探索,2010(1):53-56.
- [3] 吕秀丽,牟海维,李贤丽.MATLAB在电磁场与电磁波实验教学中的应用[J].实验室研究与探索,2010(1):110-112.