Lesson 29

Electromagnetic Fields and Waves

复习

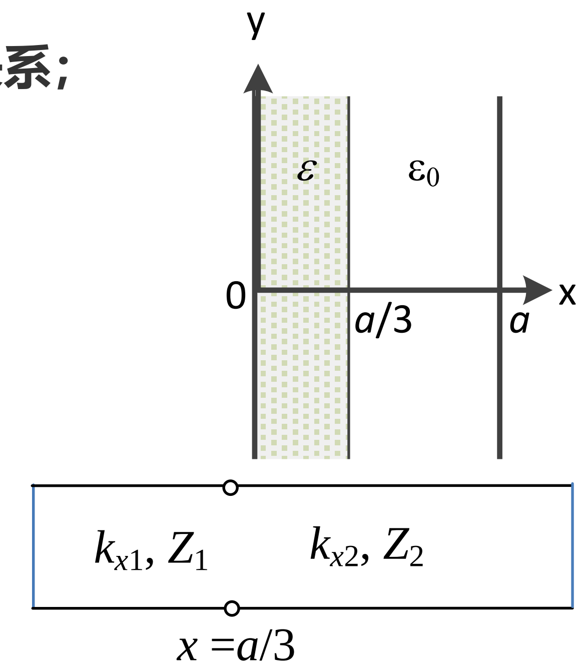
James Clerk Maxwell
1831 – 1879

2020年6月16日星期二

1. 一平行板波导相距为a，$x>a/3$区域是自由空间(ε_0，μ_0)， $x<a/3$区域充满(ε，μ_0)的介质。假设波矢k在x-z平面， 波在x方向谐振，沿z方向传播。

(1)求该波导最低阶TE模（电场y方向）的色散关系；

(2) 若 $\varepsilon = 4\varepsilon_0$，$a$=4cm，求截止频率。



解：（1）用传输线等效

$$k_{x1}=\sqrt{k_1^2-k_z^2}=\sqrt{\omega^2\varepsilon\mu_0-k_z^2}$$

$$k_{x2}=\sqrt{k_2^2-k_z^2}=\sqrt{\omega^2\varepsilon_0\mu_0-k_z^2}$$

$$Y_1=\frac{k_{x1}}{\omega\mu_0}，\quad Y_2=\frac{k_{x2}}{\omega\mu_0}$$

以 $x=a/3$ 处为参考面，

$$\overleftarrow{Y}=-jY_1\mathrm{ctg}(k_{x1}\frac{a}{3})；\quad \overrightarrow{Y}=-jY_2\mathrm{ctg}(k_{x2}\frac{2a}{3})$$

由 $\overleftarrow{Y}+\overrightarrow{Y}=0$，

得色散方程： $jY_1ctg(k_{x1}\dfrac{a}{3})+jY_2ctg(k_{x2}\dfrac{2a}{3})=0$

整理后得：

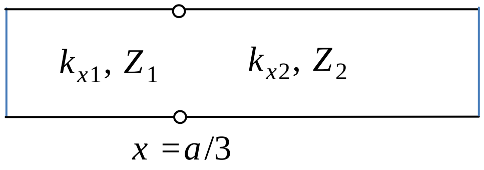
$$\sqrt{\omega^2\varepsilon\mu_0-k_z^2}\,\mathrm{ctg}(\frac{a}{3}\sqrt{\omega^2\varepsilon\mu_0-k_z^2})+\sqrt{\omega^2\varepsilon_0\mu_0-k_z^2}\,\mathrm{ctg}(\frac{2a}{3}\sqrt{\omega^2\varepsilon_0\mu_0-k_z^2})=0$$

（2）截止时， $k_z=0$ ， $k_{x1}=k_1=\sqrt{\omega^2\varepsilon\mu_0}=2k_0$ ， $k_{x2}=k_2=\sqrt{\omega^2\varepsilon_0\mu_0}=k_0$ ， $Z_2=2Z_1$

$$2k_0\,\mathrm{ctg}(\frac{a}{3}2k_0)+k_0\,\mathrm{ctg}(\frac{2a}{3}k_0)=0,\Rightarrow \mathrm{ctg}(\frac{2a}{3}k_0)=0$$

$$k_0\frac{2a}{3}=\frac{\pi}{2}\Rightarrow\frac{2\pi}{\lambda_c(\mathrm{cm})}\times\frac{16}{3}=\pi\Rightarrow\lambda_c=10.67\mathrm{cm}$$

$$f_c==\frac{c}{\lambda_c}=\frac{3\times10^8}{10.67\times10^{-2}}=0.281\times10^{10}\,\mathrm{Hz}=2.81\mathrm{GHz}$$



作业题

1 设一平行板波导中z<0区域是自由空间，z>0区域充满电容率为ε的介质，试分析两个区域中的波型；如TM波从z<0区域投射在分界面上，当 $f/f_c=(1+\varepsilon_0/\varepsilon)^{1/2}$，试证明无反射波，并将结果与平面波以布鲁斯特角 θ_B 投射在半空间介质上的情况进行比较。

思路：写出场在z<0和z>0两个区域中的表示式，并使之满足z=0处的边界条件。

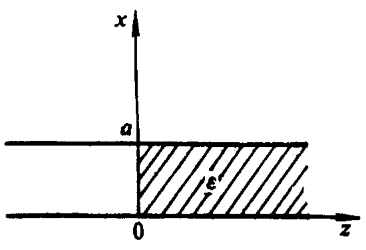


图18. 1

解：(1) 横向谐振原理， x 方向的波矢 $k_x=\dfrac{m\pi}{a}$

(2)z<0 区域， $k_{0z}=\sqrt{\omega^2\mu_0\varepsilon_0-(m\pi/a)^2}$ ； z>0 区域， $k_z=\sqrt{\omega^2\mu_0\varepsilon-(m\pi/a)^2}$

(3)z<0 区域 特征阻抗 $Z_1=\begin{cases}\dfrac{\omega\mu_0}{k_{0z}} & TE\\ \dfrac{k_{0z}}{\omega\varepsilon_0} & TM\end{cases}$ ； z>0 区域 特征阻抗 $Z_2=\begin{cases}\dfrac{\omega\mu_0}{k_z} & TE\\ \dfrac{k_z}{\omega\varepsilon} & TM\end{cases}$

(4)要使得 TM 波无反射波， $\Gamma=\dfrac{Z_2-Z_1}{Z_2+Z_1}=0$,即 $\varepsilon k_{0z}=\varepsilon_0 k_z$ 可得当 $f/f_c=(1+\varepsilon_0/\varepsilon)^{1/2}$ 时，式中 $f_c=m/\left(2a\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}\right)$。

2) 矩形波导（截面为a×b）宽边中间为厚度a_1的介质填充（介电常数为ε_1），求该波导的色散关系。

X 方向的等效电路如下。然后按照对称面开路和短路进行分析

具体见作业答案。

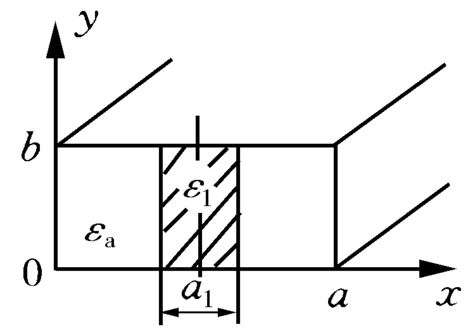
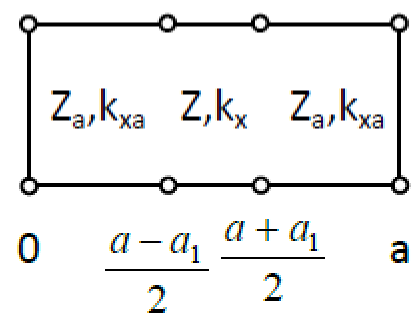


图19. 2



Chap1

1）复矢量的概念

2）复矢量与时谐矢量的转换

3）梯度，散度，旋度的运算

4 ）电磁波谱及其应用

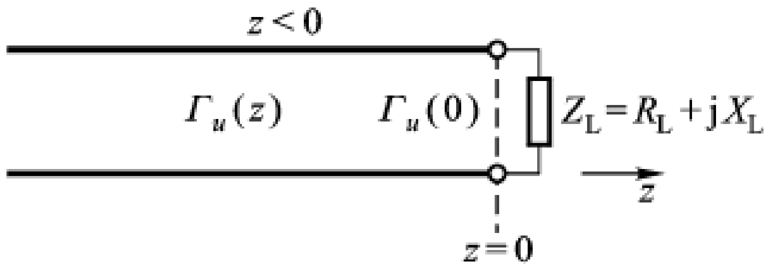
5）静态场是ω=0的特例

6）波动基本特征

Chap2

1）常用传输线及其特征参数

2）传输线上5组参数的转化以及它们在传输线上的变换，用公式和圆图求解均应掌握。 **已知负载，求传输线上任意点的各个参数**



3）阻抗圆图与导纳圆图上的点、线与阻抗、反射系数、驻波系数等之间的关系

4）阻抗匹配的概念，掌握1/4波长阻抗匹配器以及单可变电纳匹配器

强调：沿着圆图转，转的是波导波长（有效介电常数）。

Chap3

1）Maxwell方程的物理意义

（电磁波的源、产生以及传播，位移电流的引入，电流的分类）

2）已知E或者H，求E(r,t), H(r,t),,S(r,t),<S(r,t)>,U_E和U_H.

3）物质的本构关系，关于μ、ε、σ的分类

线性与非线性： ε、μ、σ**与**E、B**的强度无关，就是线性介质**

均匀与非均匀： ε、μ、σ**与空间坐标无关**

各向同性与各向异性： ε、μ、σ**与电磁波在空间传播的方向性无关**

色散与非色散： ε、μ、σ**与频率无关称为非色散介质**

Chap4

1）波方程及其解，平面波的主要特征

（方向，波长，波速，E、H、K相互垂直，等相位面，波阻抗，极化）

2)有耗介质中平面波的传播及其特点

(与均匀平面波相比)

k, η是复数

$$\tilde{\varepsilon} = \varepsilon - \mathrm{j}\frac{\sigma}{\omega}$$

3）各向异性介质中波的传播

(单轴晶体，o\e光，极化面的改变等，1/4波片)

4）波传播的传输线模型

Chap5

- 1)边界条件（尤其是导体的边界条件）

- 2）两介质交界面的反射与透射问题
- 场量匹配法（TE TM）
- 入射波反射波投射波的表示

光密-光疏，光疏-光密，
无耗-有耗介质，
空气-等离子体
反射角，布儒斯特角

- 传输线模型法
- 3）电磁波在波导传播的传输线模型以及利用该模型简化多层介质中波的反射与透射问题

Chap6

❖ 波导色散方程的推导问题

矩形波导为例：模式 TEmn, TMmn、主模、高次模、简并、截止条件、截止波长、、截止频率、波导波长、有效介电常数、特征阻抗、等效阻抗、群速、相速、

圆波导： 极化简并

❖ 色散：波导色散、模式色散、材料色散

❖ 波导的传输线模型

❖ 横向谐振：矩形波导，介质波导

❖ 光纤的基本概念基本参数：数值孔径，相对折射率差

❖ 光纤的弱导分析，光纤的模式，截止条件，光纤的色散

Chap7

- 谐振器的功能，谐振器的特征参数
- 传输线型空腔谐振器色散特性、场分布
- 利用场分布求矩形空腔谐振器的品质因素
- 波长计的原理
- 谐振器特征参数的测量——谐振器是一个对频率敏感的负载

Chap 8

- 天线参数：
  - 天线方向性和天线增益、方向图 主瓣 旁瓣电平、辐射电阻 有效面积
- 电偶极子天线的场分布
  - 电偶极子天线——线天线——阵列天线
  - 磁偶极子天线——缝隙天线——口径天线
- 阵列天线的阵因子
  - 场的方向
  - 场的矢量叠加
  - 镜像定理的应用

The End.

郑史烈

zhengsl@zju.edu.cn