

高等学校教材

电 磁 场 与电磁波实验指导书

饶克谨 主编

电子工业出版社

电磁场与电磁波实验指导书

饶克谨 主编

电子工业出版社

内 容 提 要

本书为适应高等院校电子类本科生电磁场理论教学的需要,以平面电磁波的特性和测量方法、静电场边值问题等为重点,选编了十四个实验,汇集了各院校的教学经验,内容较新,便于自学。可供高等院校教师和学生参考使用。

电磁场与电磁波实验指导书

饶克谨 主编

责任编辑 洋溢

*

电子工业出版社出版(北京万寿路)

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

开本 787×1092 1/32 印张: 2.75 字数: 58 千字

1990 年 2 月第 1 版 1990 年 4 月第 1 次印刷

印数: 1000 册 定价: 0.85 元

ISBN 7-5053-0712-6/TN·261

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定,我部承担了全国高等学校、中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力,有关出版社的紧密配合,从1978年至1985年,已编审、出版了两轮教材,正在陆续供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要,贯彻“努力提高教材质量,逐步实现教材多样化,增加不同品种、不同层次、不同学术观点、不同风格、不同改革试验的教材”的精神,我部所属的七个高等学校教材编审委员会和两个中等专业学校教材编审委员会,在总结前两轮教材工作的基础上,结合教育形势的发展和教学改革的需要,制订了1986~1990年的“七五”(第三轮)教材编审出版规划。列入规划的教材、实验教材、教学参考书等近400种选题。这批教材的评选推荐和编写工作由各编委会直接组织进行。

这批教材的书稿,是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐,由编审委员会(小组)评选择优产生出来的。广大编审者、各编审委员会和有关出版社为保证教材的出版和提高教材的质量,作出了不懈的努力。

限于水平和经验,这批教材的编审、出版工作还会有缺点和不足之处,希望使用教材的单位,广大教师和同学积极提出批评建议,共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

机械电子工业部教材办公室

前 言

本书系按电子工业部制定的电子类专业教材 1986 ~ 1990 年编审出版规划,由电磁场与微波技术编审委员会电磁场理论编审小组组织征稿、审定、推荐出版,责任编辑杨铨让。

本书由成都电子科技大学饶克谨担任主编,南京东南大学杨铨让担任主审。

本实验指导书是针对电子类电磁场理论教学需要,以平面电磁波的特性和测量方法、静电场边值问题等为重点,由有关院校供稿,选编了十四个实验,汇集了各院校的教学经验,内容较新便于自学。其中有的实验名称相近,但内容、方法和使用的装置不同,可扩大读者眼界,并为使用者提供选择。

每个实验的执笔人在该实验末列出。

本书在征稿及编写过程中得到有关院校的大力支持,踊跃投稿并提出宝贵建议,编者在此表示衷心的感谢。由于编者水平所限,错误缺点在所难免,希广大读者指正!

编者

目 录

实验一	静电场边值问题实验	1
实验二	电阻网络模拟实验和计算机辅助分析	5
实验三	微带线的电解槽模拟实验	13
实验四	用干涉法测量电磁波波长	19
实验五	平面电磁波的反射和干涉实验	25
实验六	平面电磁波的反射与折射	29
实验七	平面电磁波在介质中的传播和介电常数测量	35
实验八	平面电磁波极化实验	41
实验九	电磁波极化的合成和测量	46
实验十	电磁波极化的合成和测量	53
实验十一	平行双线工作状态的测量	62
实验十二	长线驻波和阻抗测量	69
实验十三	介质基片相对介电常数 ϵ_r 的测量	73
实验十四	矩形波导内横向电场分布的测试	79

实验一 静电场边值问题实验

在实验中,直接测量静电场的分布或电位很困难,其精度也难以保证。本实验根据静电场与恒定电流场的相似性用碳素导电纸中的恒定电流场来模拟无源区域的二维电场,从而测出边界比较复杂的无源区域的静电场分布。

一、实验目的

1. 学习用模拟法则测定静电场的方法;
2. 了解影响实验精度的因素。

二、实验原理

在静电场的无源区域中,电场强度 $\mathbf{E}'$, 电位移矢量 $\mathbf{D}'$ 及电位 ϕ' 满足下列方程:

$$\begin{aligned}\nabla \times \mathbf{E}' &= 0 & \nabla \cdot \mathbf{D}' &= 0 \\ \mathbf{D}' &= \epsilon \mathbf{E}' & \mathbf{E}' &= -\nabla \phi'\end{aligned}\quad (1-1)$$

式中 ϵ 为介质的介电常数。

在恒定电流场中, 电场强度 $\mathbf{E}$ 、电流密度 $\mathbf{J}$ 及电位 ϕ 满足下列方程:

$$\begin{aligned}\nabla \times \mathbf{E} &= 0 & \nabla \cdot \mathbf{J} &= 0 \\ \mathbf{J} &= \sigma \mathbf{E} & \mathbf{E} &= -\nabla \phi\end{aligned}\quad (1-2)$$

式中 σ 为导电媒质的电导率。

因方程组(1-1)与方程组(1-2)在形式上完全相似,故 ϕ (静电场中的电位分布函数)与 ϕ (恒定电流场中的电位分布

函数)应满足同样形式的微分方程。由方程组(1-1)和(1-2)很容易求得:

$$\nabla \cdot (\epsilon \nabla \phi') = 0 \quad (1-3)$$

$$\nabla \cdot (\sigma \nabla \phi) = 0 \quad (1-4)$$

式中 ϵ 与 σ 处于相应的位置,它们互为对偶量。

若 ϵ 与 σ 在所讨论的区域为均匀分布(即其值与坐标无关),则方程(1-3)、(1-4)均可简化为拉普拉斯方程:

$$\text{即} \quad \nabla^2 \phi' = 0 \quad \nabla^2 \phi = 0$$

电位场解的唯一定理可知:满足相同微分方程的两个电位场,若它们具有相同的电位边界条件,则电位场的解是唯一的。因此,在保证电位边界条件不变的情况下,我们可以用恒定电流场的模型来模拟无源区域的静电场。当静电场中媒质为均匀媒质时,其导电媒质也应为均匀媒质,这样测得的恒定电流场的电位分布就是被模拟的静电场的电位分布。

三、实验内容及实验装置

1. 被测模型有两个:一个用来模拟无边缘效应的平行板电容中的电位分布;另一个用来模拟有金属盖的无限长接地槽形导体内电位分布,被模拟的平板电容器,加盖槽形导体的模型如图 1-1 所示。

被测模型是在碳素导电纸上按所需的几何形状、尺寸制成图 1-1 所示的金属“电极”。在金属“电极”上加所需电压(本实验所加电压为 10 伏),以保证所需之边界电位值。

2. 自制“网格板”

为保证各被测点位置,我们采用自制“网格板”来定位。该“网格板”是用透明塑料薄板,板上沿 x 、 y 坐标轴每一厘米打一小孔,这样就形成了一个正方形网格阵,如图 1-2。测试

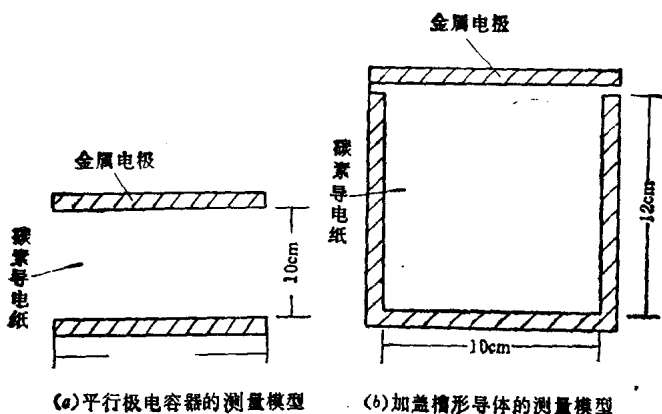


图 1-1

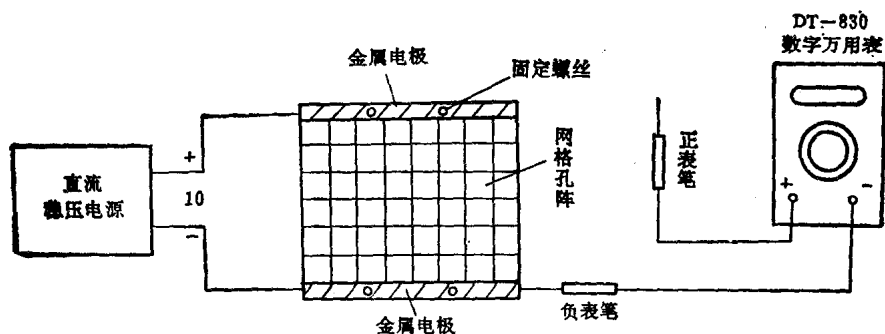


图 1-2

时将“网格板”固定在被测模型上,以使被测点位置精确。

3. 测量时按图 1-2 连接好电路,将电压调到 10 V, 各点电位值由 DT-830 数字万用表读取。该表在直流 20 V 档的测量误差为:

$$0.8\% \times 20 \text{ V (量程)} + 0.02 \text{ V} = 0.18 \text{ V}$$

四、实验报告要求

1. 将平行板电容器的被测模型所测之数据画出距离-电位图象,与平行板电容器理论上的电位-距离比较,并解释为什么在 $y = 0$ 及 $y = 10\text{cm}$ 附近(即“电极”附近)电位有急剧变化?

2. 若要模拟有边缘效应的情况,其被测模型应如何改变?

3. 根据所测得的数据,算出带盖模型空间内 $x = 3$ 、 $y = 7\text{cm}$ 点电场的近似值 $E(3.7) = ?$,若要精确一些求出各点电场值,实验应如何改进?

4. 造成本实验误差因素有哪些?应如何克服?

执笔: 西安电子科技大学 朱鹏九

实验二 电阻网络模拟实验和计算机辅助分析

一、实验目的

1. 了解电阻网络模拟静电场的基本原理；
2. 掌握模拟实验边界条件实现的方法；
3. 练习用有限差分法计算电场的方法；
4. 对模拟实验的电场分布与数值计算结果进行比较。

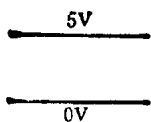
二、实验原理

静电场与恒定电场在无电荷分布的区域中它们的电位函数都满足拉普拉斯方程。如果静电场和恒定电场的边界条件相似，则两种场的分布相同。在实验室中要直接进行静电场实验是困难的；但用恒定电场来模拟静电场则较为方便。电阻网络就是用集中参数的元件来模拟二维位场的差分方程。即把连续场域中位函数的解离散为网格结点上的电位值的集合。把测量得到的节点电位以及边界上的电位输入计算机进行处理，节点之间的电位用线性插值方法求得所需等位面坐标，并由计算机作出电位分布图。

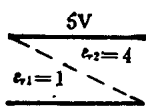
对模拟的静电边值问题可以运用有限差分法进行数值求解。网格的划分可以与电阻网络相似。也可以根据具体情况来划分差分网格。

三、实验内容

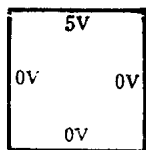
电阻网络模拟实验，可以灵活进行多种电场边值问题的



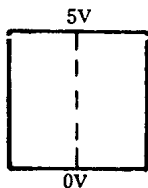
(a)



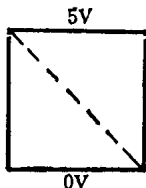
(b)



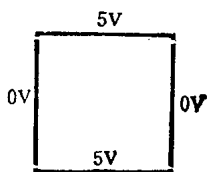
(c)



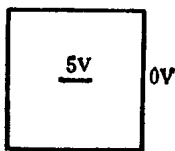
(d)



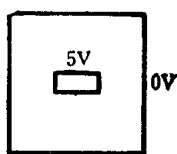
(e)



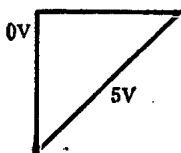
(f)



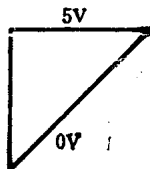
(g)



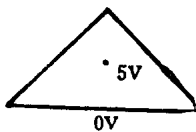
(h)



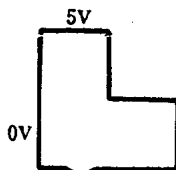
(i)



(j)



(k)



(l)

图 2-1

模拟。对于开放区域的边值问题，只能近似模拟。由于导电媒质的电导率 σ 与介电媒质的介电常数 ϵ 相对应，只要改变相应电阻网格模拟区的电阻值，即可实现不同介电常数介质区域中电场的模拟。图 2-1 (a)~(e) 列出的内容供选作。

四、机辅分析

对满足拉普拉斯方程的二维静电场，拉普拉斯方程可以化为如下离散形式。

$$u(i, j) = \frac{1}{4} [u(i-1, j) + u(i+1, j) + u(i, j-1) + u(i, j+1)] \quad (2-1)$$

由这一离散方程可以将边值问题转化为一组代数方程的求解，采用超松弛叠代的方法加快求解方程组的速度。具体计算方法可以参考有关的计算方法专著。计算过程可由框图

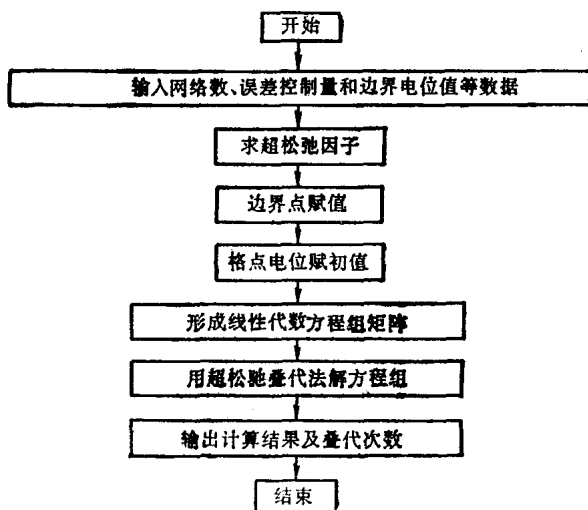


图 2-2

所示。

电阻网络模拟实验和有限差分法求解边值问题所得到的
是网格节点上的电位值。而一般边值问题的等位面不会与网
格节点重合。因此必须用节点上的电位值通过线性插值的方法
求出等位面。计算过程的框图如下：

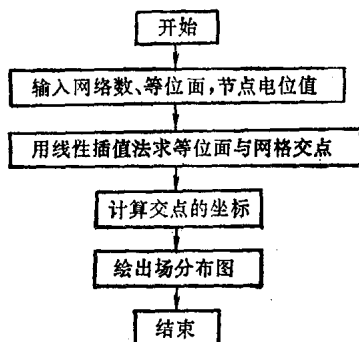


图 2-3

五、实验报告要求

1. 将实测所得电位分布与数值解结果进行比较, 并作讨论;
2. 在两种介质分界面上用几何作图法验证电场分布满足折射定律;
3. 画出与等位线正交的电力线。

六、实验仪器与设备

1. 直流稳压电源
2. 数字万用表
3. 电阻网络模拟板

电阻网络模拟板结构简单、容易制作,使用方便灵活。可以做成一块,也可以分成几块,需要时拼合起来。网格不能太少,太少了模拟的精度差。电阻值应均匀一致性好,阻值不宜太小,还应有足够的功率容量。边界电压值应适宜以便能获得足够的等位面个数。三者应综合考虑。在网格的每个结点处,要安装有小型接线柱,以供联接电阻和测量节点电位。考虑到边界形状、节点电阻的通断用一个小型话筒插座来控制。插入插头,电阻断开如图 2-4 (b)。不需要每个电阻都安上话筒插座来控制,可以根据模拟边界情况来安排。以下参数供参考: 30×30 个网格,电阻用 $1/4 \text{ W}$, 200Ω 的金属膜电阻,最高电压 5V 。

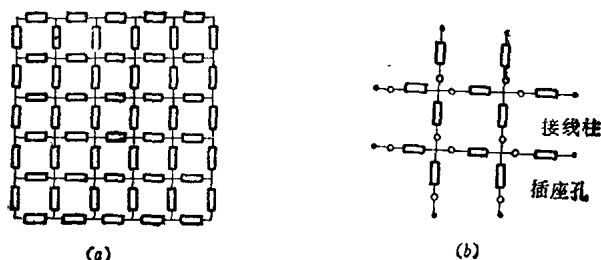


图 2-4

七、注意事项

1. 切忌将稳压电源输出短路;
2. 必须保证电阻与节点接触良好;
3. 使用的电压不能过高、以免因电阻发热影响精度,甚至烧毁电阻。
4. 在整个测量过程中要保证边界上的插头与插孔之间接触良好。

附录 下面给出一组实验结果的计算机模拟图,供参考。

1. 无限大平板间填充两种介质的等位线图

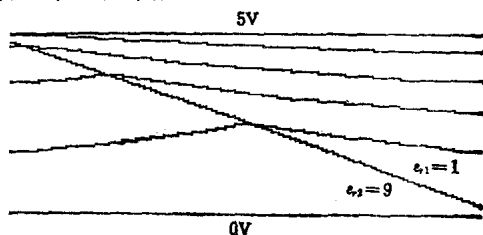


图 2-5

2. 正方形场域等位线分布图

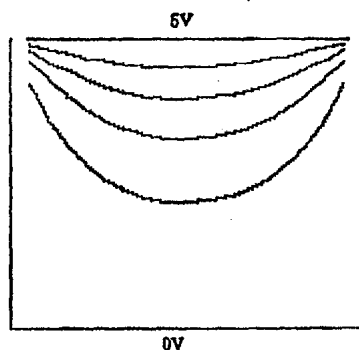


图 2-6

3. 正方形场域填充两种电介质等位线分布图。(见图 2-7)

4. 正方形场域填充两种电介质等位线分布图。(见图 2-8)

5. 正方形场域等位线分布图。(见图 2-9)

6. 正方形金属管中放有一平行板的等位面分布。(见图 2-10)

7. 三角形场域等位面分布图。(见图 2-11)

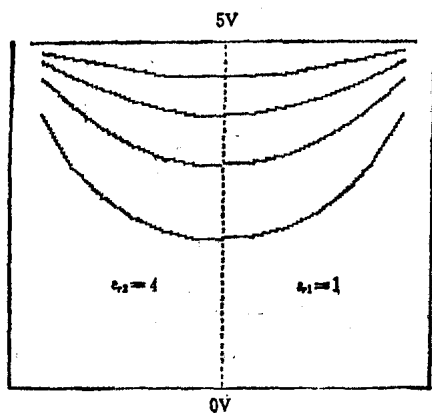


图 2-7

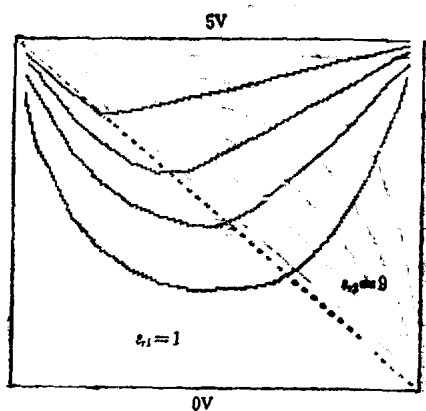


图 2-8

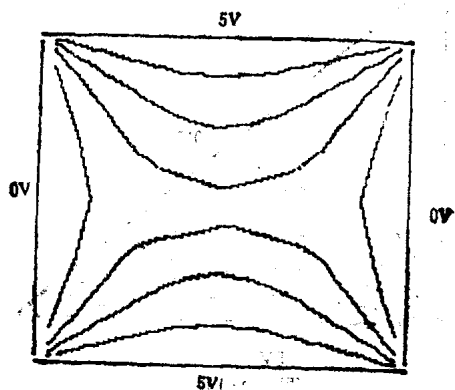


图 2-9