

高等学校试用教材 冯慈璋 主编

电磁场实验 与演示

高等教育出版社

1 /
高等学校试用教材

电磁场实验与演示

冯 慈 璋 主编

高等教育出版社

内 容 简 介

本书是在1985年10月全国高等学校工科电磁场实验工作经验交流会评选的优秀和比较优秀的实验基础上编写的。全书共编入教学实验18个，其中有电磁场实验10个，电磁波实验8个；演示实验8个。另有6个附录，包括场的实验研究、典型场图示例等。实验内容满足电类专业“电磁场”及电子、通信类专业“电磁场与电磁波”两门课程的教学基本要求，并有高于基本要求的部分可供各学校选用。经高等学校工科电磁场课程教学指导小组审查，同意作为实验试用教材出版。

本书可供高等学校工科电类（包括电子、通信类）专业使用，也可供有关工程技术人员参考。

责任编辑 楼史进

高等学校试用教材

电磁场实验与演示

冯 慈 璋 主编

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

国防出版社印刷厂印装

开本787×1092 1/16 印张7.75 字数175 000

1987年4月第1版 1987年4月第1次印刷

印数：00 001—3 640

书号15010·0863 定价1.25元

序 言

一九八五年十月,高等学校工科电工课程教学指导委员会电磁场理论课程教学指导小组召开了“全国高等学校工科电磁场理论实验工作经验交流会”,总结交流了自一九七九年“电磁场理论”单独设课,特别是近一年来各高等学校在《中共中央关于教育体制改革的决定》精神指引下,大力加强实践环节,积极开展电磁场理论教学实验工作方面所取得的成果。通过学习观摩,交流经验,大家一致认为,电磁场实验不仅是对基本理论的验证,也是对学生在电磁场实验技能方面的基本训练,更为重要的是培养学生会用“场”的观点和方法来分析、检测 and 解决一些工程实际问题的初步能力。这是电磁场理论课程教学中不可缺少的重要环节,必须切实加强。

为了进一步促进“电磁场理论”课程的教学改革,加强实践环节,提高教学质量,电磁场理论课程教学指导小组决定,以这次经验交流会上展出的项目为基础,评选一批优秀和比较优秀的实验及演示,尽快地编写一本适合学生使用的电磁场实验教材,以填补这方面的空白。编入本书的实验及演示都是比较成熟的。既有对传统电磁场实验的改进与提高,也有新开发和设计的实验。其内容不仅可以满足电类专业“电磁场”及电子、通信类专业“电磁场与电磁波”两门课程的基本要求,而且有高于基本要求的部分可供各学校选用。

全书包括两大部分:第一部分为供学习“电磁场”及“电磁场与电磁波”课程的学生选作的教学实验18个,其中电磁场方面10个,电磁波方面8个。对于性质相近的实验,书中用同一实验编号但标以(A)、(B)和(C)等字母加以区别。第二部分为供教学选用的演示实验8个。此外,关于场的实验研究,特别是模拟的基本原理与方法、相似理论等,以及供学生参阅的电磁场场图示例20个,均作为附录,置于正文之后。

由于各校各专业具体条件不同,因此实验时数的多少,选做哪几个实验,均可由各校自行决定;但应该注意体现国家教委颁发的电磁场理论课程“教学基本要求”中的有关规定。

本书由冯慈璋主编,参加编写的有13所高等学校的同志,他们是(按执笔的实验顺序排列):哈尔滨电工学院胡思胜,重庆大学谭邦定、谢品芳,西安交通大学郭咏红、张永涛、章锡元,清华大学马信山、王建生、王革、王百宽,武汉水利电力学院电工原理教研室,成都电讯工程学院李永庆、余恒清,武汉工学院周省三,华中工学院陈崇源、黄力元,北京工业学院蒋坤华,浙江大学吕品,解放军电子工程学院汪大录、张振怡,上海科技大学梅宏明、朱融,西北电讯工程学院朱鹏九。附录六中场图1至6是由哈尔滨电工学院电工原理教研室提供的,场图7至20是由西安交通大学钱秀英同志收集的。书稿完成后,承成都电讯工程学院饶克谨教授进行初审,提出了宝贵的意见和重要的建议,并经电磁场理论课程教学指导小组一九八六年九月复审通过,同意作为实验试用教材出版。

欢迎使用本书的教师和学生,提出批评和改进意见。

编 者

一九八六年九月

目 录

序言

第一部分 电磁场实验	1
实验一(A) 二维电场的模拟.....	1
实验一(B) 电场的电阻网络 模拟.....	3
实验二 分片均匀导电媒质内 恒定电场的研究.....	7
实验三 螺线管磁场的研究.....	10
实验四 二维磁场的固体模拟.....	14
实验五 计算机辅助电磁场网 络模拟实验.....	17
实验六(A) 部分电容的测定.....	21
实验六(B) 接地电阻的测定.....	24
实验六(C) 两线圈间互感的 测定.....	27
实验七 电磁力的研究.....	30
实验八(A) 无损耗传输线的 研究.....	33
实验八(B) 均匀传输线的模 拟研究.....	36
实验九(A) 电磁波参量的测定.....	44
实验九(B) 电磁波的反射与 折射.....	47
实验九(C) 电磁波的极化.....	52
实验十 无耗媒质参量的测定.....	56
实验十一 矩形波导中场的研究.....	60
实验十二 偶极子天线的场.....	65

第二部分 电磁场演示实验.....70

演示一 二维直流电晕场.....	70
演示二 静电集尘.....	73
演示三 洛伦兹力.....	74
演示四 电磁波的传播特性.....	78
演示五 高频电路中的长线效 应、辐射特性和趋肤 效应.....	82
演示六 电磁波绕射现象的观 察 I——夫琅和费区.....	86
演示七 电磁波绕射现象的观 察 I——菲涅尔区.....	89
演示八 谐振腔.....	93
附录一 场的实验研究	98
§ 1-1 概述	98
§ 1-2 电模型法	98
§ 1-3 相似理论	98
§ 1-4 边界条件相似.....	100
§ 1-5 导电纸模拟.....	101
§ 1-6 电解槽模拟.....	103
§ 1-7 电网络模拟.....	104
附录二 CT3型高斯计的使用方法	105
附录三 晶体管检波器的工作原理	105
附录四 实验二的数值解结果 (供核对用)	109
附录五 椭圆积分K及E与k^2的关系	110
附录六 电磁场场图示例	111

第一部分 电磁场实验

实验一(A) 二维电场的模拟

一、实验目的

1. 了解电磁场模拟的原理。
2. 掌握二维电场的模拟方法。
3. 通过几种典型二维场的模拟, 了解实验装置的结构设计原理、使用方法。

二、实验原理与说明

1. 关于电模型法 参阅附录一 (§ 1-2)
2. 关于相似理论 参阅附录一 (§ 1-3)
3. 关于导电纸模拟 参阅附录一 (§ 1-5)
4. 二维场模拟测绘仪的结构原理

该仪器主要由工作面板, 几何比例尺、测量探针与电磁记录头联合体, 参考电

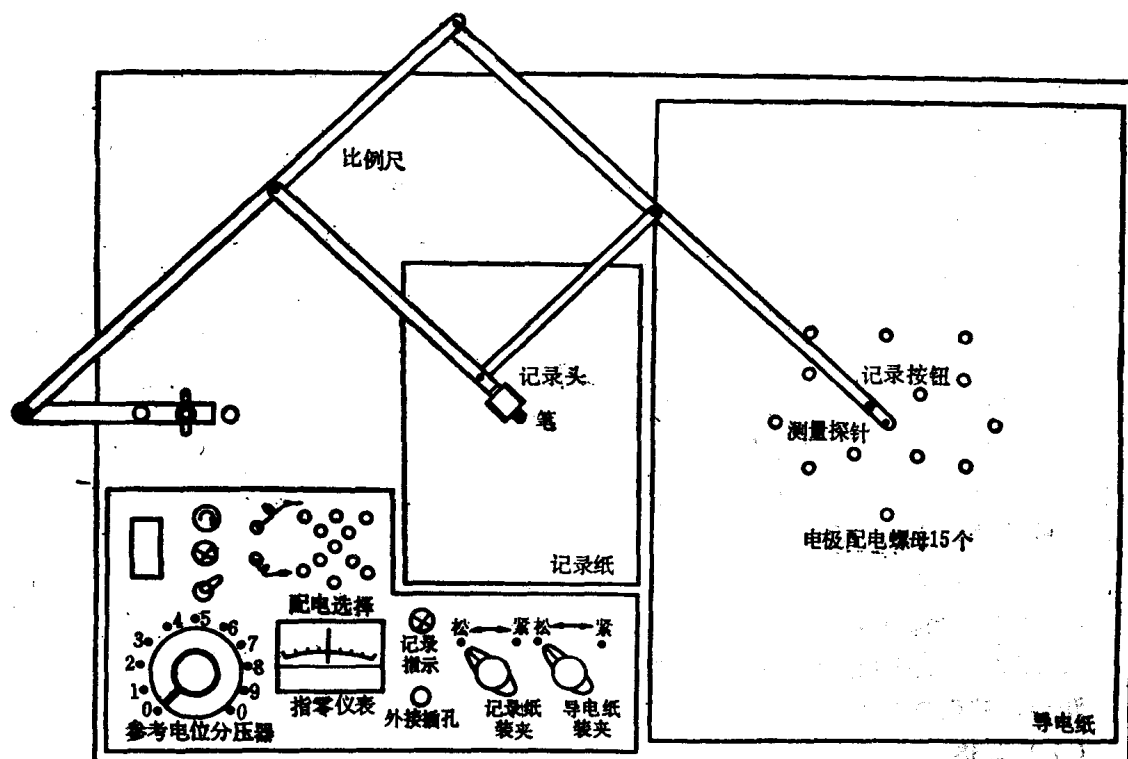
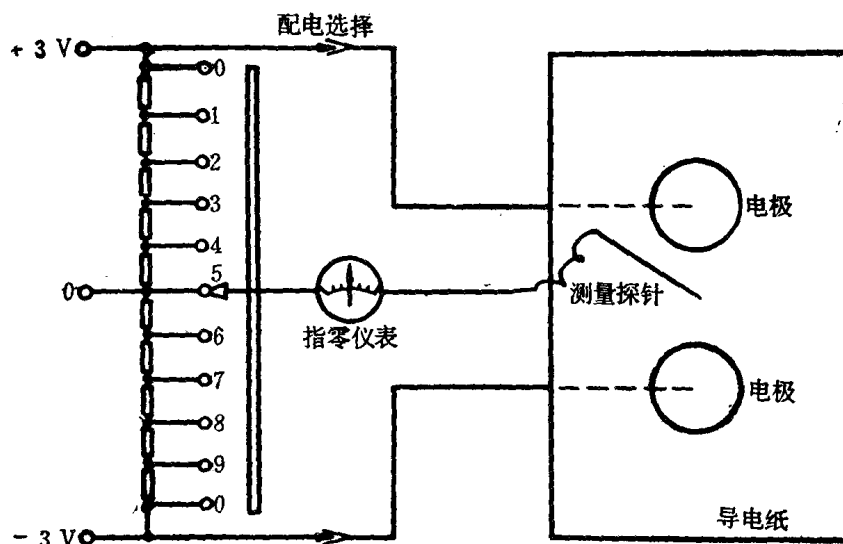


图 1(A)-1

位分压器, 等位点补偿测量网络, 电极配电网, 导电纸、记录纸装夹机构和稳压电源组成。

使用时只需接通电源, 通过安装或更换电极, 选择适当配电, 便可在 $200(\text{mm}) \times 280(\text{mm})$ 导电纸上进行各种形状电极的二维静电场或恒定磁场的模拟研究, 并将模拟测量结果自动记录在 $120(\text{mm}) \times 160(\text{mm})$ 的记录纸 (普通白纸) 上, 得到包括电极、中性线在内的11条等位虚线或数据。点的数目和疏密程度均可任意选定。

仪器的面板和测量电原理图分别如图 1(A)-1, 图 1(A)-2 所示。



〔图 1(A)-2〕

三、实验内容

1. 测绘二线输电线电场的等位线, 并根据等位线作电场力线图。
2. 结合专业选做某些结构场的造型 (如凸极同步电机、变压器、电抗器、同轴或三芯电力电缆等)。
3. 改变模拟测试系统中的边界形状、边值和介质, 观测场图变化, 并进行对比分析。

四、实验报告要求

1. 分析实验结果 (包括绘制力线图)。
2. 讨论观察记录到的现象、问题。
3. 提出改进实验、改革装置的设想和方法。

五、实验仪器与设备

- | | |
|-------------------------|-----|
| 1. 金属成型电极 | 1 套 |
| 2. 实验消耗材料: 导电纸、记录纸、记录笔。 | |
| 3. 二维场模拟测绘仪 RHD-2 型 | 1 台 |

测绘仪使用方法简介

(1) 调整

调整前应阅读仪器使用说明书, 结合仪器熟悉面板上各旋钮的作用, 然后进行

调整。

调整步骤：伸展比例尺；装夹导电纸、记录纸；选定和安装电极，选定电极配电；移动比例尺使测量探针、记录笔分别对准导电纸和记录纸几何对称中心点上，并观察有无偏离；如有偏离，应以探针位置为准，调节记录头固定螺钉使记录笔对准；将参考电位分压器置于“5”（零电位）；接通电源。

此时，指零仪表的指示为零（电极不对称或安装不对称时，不为零）。移动测量探针，仪表指示随之变化。按动记录按钮，电磁记录头即动作，自动记录该点的位置。

（2）试测

试测是正式测量前，全面检查所有准备工作是否就绪的第一步，可以及时发现问题并加以解决，保证实验顺利进行。同时也是摸索经验，掌握实验技巧不可缺少的实践过程。

试测不给具体任务，学生可使用仪器，熟悉操作，并总结经验。在试测过程中要注意观察仪表（不过载），比例尺只能平行移动，不要上提、下压，不能用力过猛。

（3）等位点（线）的测量

步骤：切断电源；更换记录纸（或导电纸）；调整参考电位分压器位置（共11档，上电极或下电极做起点均可），直至做完11条等位线为止。

测量等位点时应以仪表指零为依据，但也要兼顾点的疏密匀称。发现不均匀时，应及时补测。

六、注意事项

1. 实验中要保证模拟电极与导电纸的良好接触。接触不良会使场图产生畸变。
2. 导电纸须妥善保管，防止因受潮和污染引起阻值不均造成局部区域场图畸变。
3. 如成型电极形状不能满足实验要求时，可用导电胶（银粉配制）在导电纸上绘制。

（哈尔滨电工学院电工原理教研室 胡思胜执笔）

实验一(B) 电场的电阻网络模拟

一、实验目的

1. 了解电磁场模拟的原理。
2. 掌握电阻网络模拟的基本方法。

二、实验原理与说明

1. 关于电模型法 参阅附录一（§1-2）
2. 关于相似理论 参阅附录一（§1-3）
3. 关于电阻网络模拟 参阅附录一（§1-7）
4. 作为电磁场的数值解法之一的有限差分法，其基本特点是通过场域的网格状离散化处理，应用差分原理，把偏微分方程转化为差分方程，进而把连续场域中位函数的解答归结为若干离散上位函数解答的集合。电阻网络模拟实验，就是用多个电阻值相等

的电阻联接成网络来模拟遵循二维拉普拉斯方程的场分布。容易证明, 对于满足拉普拉斯方程的二维平行平面场, 在将场域分割成图 1(B)-1(a) 所示正方形网格的情况下, 电位的拉普拉斯方程的差分格式为

$$\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4 - 4\varphi_0 = 0 \quad (1)$$

上述拉普拉斯场可用图 1(B)-1(b) 所示的平面电阻网络进行模拟, 该网络内部每个电阻均为 R , 边界上的电阻为 $2R$ 。对图 (b) 中的节点 O , 用节点电位法列写的节点方程为

$$\frac{\varphi_1 - \varphi_0}{R} + \frac{\varphi_2 - \varphi_0}{R} + \frac{\varphi_3 - \varphi_0}{R} + \frac{\varphi_4 - \varphi_0}{R} = 0$$

即

$$\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4 - 4\varphi_0 = 0 \quad (2)$$

可见方程 (1) 和 (2) 具有相同的数学形式。如果给出网络外部边界相应的条件 (电位) 时, 在电阻网络的每个节点上测得的电位就相应于被模拟的场中对应点的电位。

本实验仅对满足拉普拉斯方程的二维平行平面电场进行模拟研究。

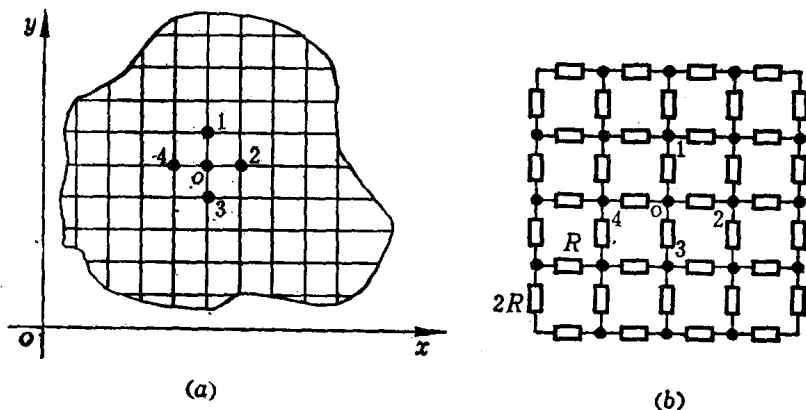


图 1(B)-1

三、实验内容

1. 均匀电场的测试

先把图 1(B)-2 所示节点 $A_1, A_2 \dots A_{n-1}, A_n$ 和 $F_1, F_2 \dots F_{n-1}, F_n$ 分别联接, 它们

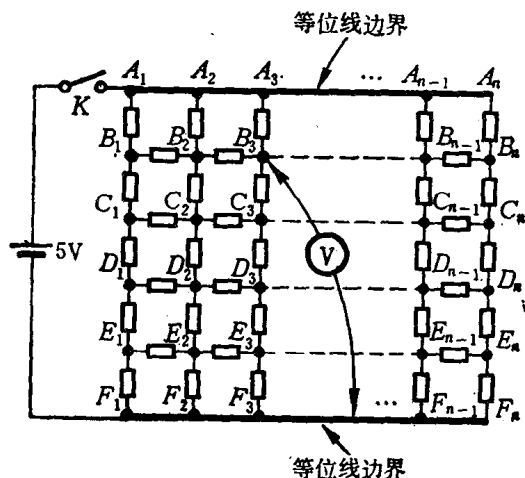


图 1(B)-2

各为一根等位线边界。然后接通电源。此时，节点 $A_1, B_1 \dots E_1, F_1$ 以及 $A_n, B_n \dots E_n, F_n$ 各形成一根电流线边界。

用数字万用表的电压档按行测量各点电位，测试结果应满足：

$$\varphi_{B_1} = \varphi_{B_2} = \dots = \varphi_{B_n}, \quad \varphi_{C_1} = \varphi_{C_2} = \dots = \varphi_{C_n}$$

$$\varphi_{D_1} = \varphi_{D_2} = \dots = \varphi_{D_n}, \quad \varphi_{E_1} = \varphi_{E_2} = \dots = \varphi_{E_n}$$

把测得的电位值直接标注在坐标纸上的相应节点处。

2. 二线传输线电场的测试

因为二线传输线的电力线是一些圆弧，用电阻网络模拟时，电流线边界也是圆弧。为了简单起见，我们把圆弧边界用折线边界来近似。折线边界为电流线边界。将电阻网络板按图 1(B)-3 接线。此图形为被研究场域的一半。鉴于场分布的对称性，另一半场域无需测试。

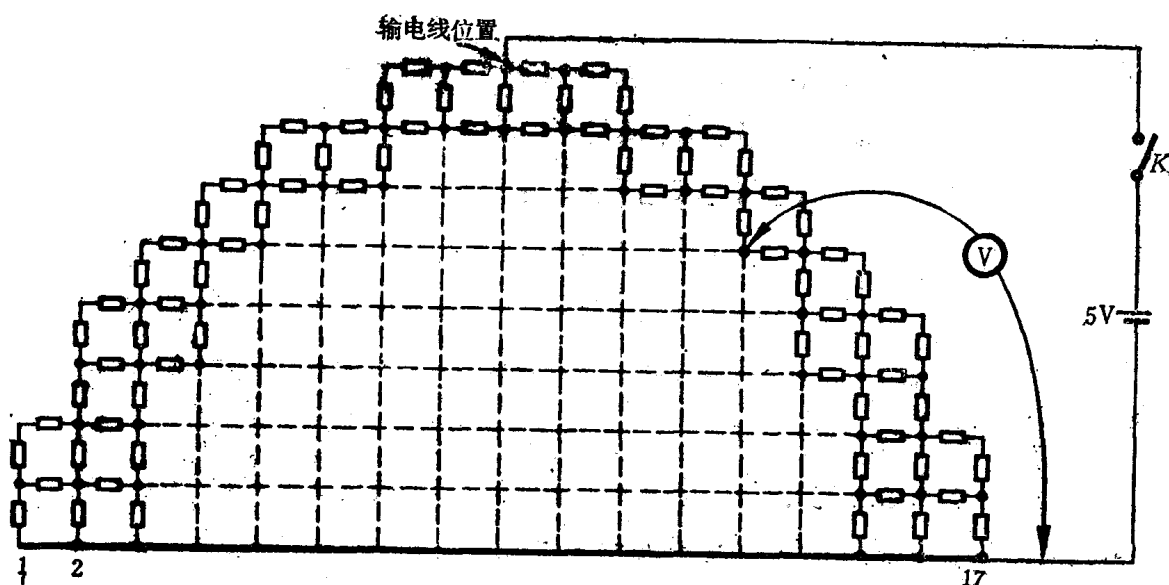


图 1(B)-3

测量各节点电位，并将所得结果记录在坐标纸上。

3. 平板电容器边缘效应的研究

为减小电阻网络边界对场的影响，应将几块模拟板拼凑起来用。按图 1(B)-4 接线以研究场域的四分之一。测量各节点电位，并记录在坐标纸上。

4. U形槽内二维平行平面电场的研究

鉴于场分布的对称性，可以仅研究实际场域的二分之一。此U形槽是接地的，在开口处的电位按半个正弦波分布，最大值为5V，其余各节点电位如图 1(B)-5 所示。它们可由稳压电源的输出电压经过电阻箱分压获得。应当注意，这些边界电位值必须经过多次反复仔细地调节分压电阻才能获得。在完成这一步骤后，再测量内部各节点电位，并将测量结果记录在坐标纸上。

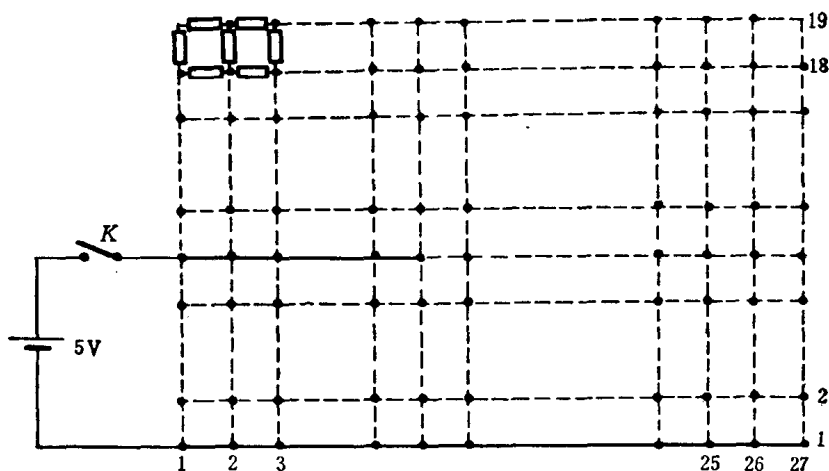


图 1(B)-4

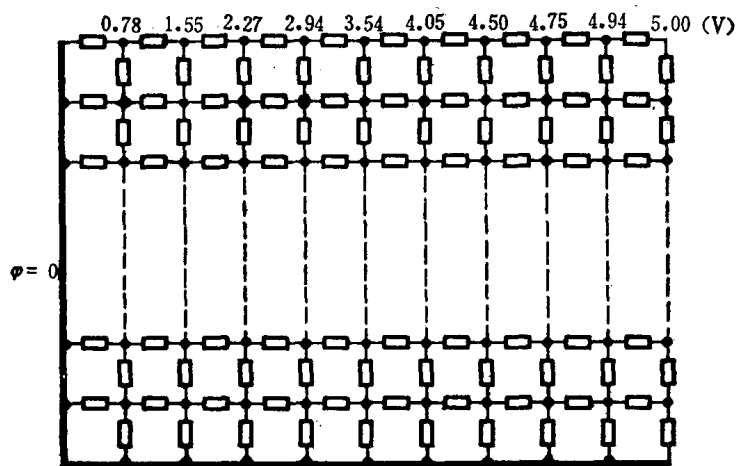


图 1(B)-5

四、实验报告要求

1. 根据测试数据，在坐标纸上描出每一种场的等位线分布图。
2. 根据曲线“方块”的原则，画出与等位线正交的电力线。
3. 如果被测的场曾经用有限差分法作过计算，比较对应的节点电位的实测值与计算值。

五、实验仪器与设备

- | | |
|-------------|-----|
| 1. 直流稳压电源 | 1 台 |
| 2. 数字万用表 | 1 只 |
| 3. 联接导线及短接片 | 若干 |
| 4. 分压电阻箱 | 9 个 |
| 5. 电阻网络板 | 1 套 |
- 网络板可作成几块，每块结构形状基本相同，根据需要可拆开亦可拼凑使用。每个

网络板有 15×22 个网格，网格的“边”均由标称值为 300Ω 的金属膜电阻组成。为了便于测试，在面板的每个节点处都安装有小型接线柱。为获得不同边界形状，节点间电阻的通断由一个小型话筒插座来控制。另外，在网络板的边缘还应装有由 47Ω 和 680Ω 电位器串联组成的边界补偿电阻，每个补偿电阻可在较大的范围内连续变化，以适应边界附近部分单元呈不规则形状时调节网格电阻值的需要。每个补偿电阻的两个端点可以从面板上的两个接线柱接到需要进行补偿的地方。

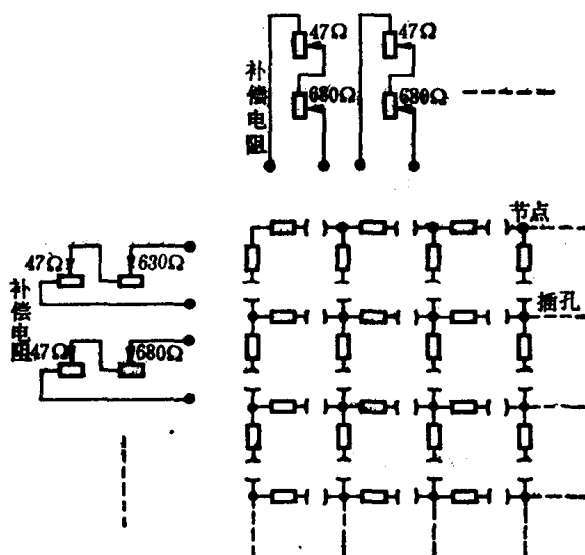


图 1(B)-6

六、注意事项

1. 使用的电源电压不能过高，以免因电阻发热影响其精确度甚至损坏电阻。为此，对每项实验内容都给出了电压的参考值。

2. 在整个测量过程中，要保证插舌与插孔之间的接触良好。

(重庆大学电工原理教研室 谭邦定、谢品芳执笔)

实验二 分片均匀导电媒质内恒定电场的研究

一、实验目的

1. 测定分片均匀导电媒质内恒定电场的等位线分布。
2. 测定两种不同导电媒质分界面上电位梯度的切向分量，以验证分界面上电场强度切向分量应满足的边界条件。
3. 验证电场强度线的折射定律。

二、实验原理与说明

1. 关于电模型法 参阅附录一 (§1-2)
2. 根据电磁场理论，电源以外导电媒质中恒定电场基本方程的积分形式与微分形

式分别为

$$\oint_l E \cdot dl = 0 \quad (1)$$

$$\oint_S \delta \cdot dS = 0 \quad (2)$$

和

$$\nabla \times E = 0 \quad (3)$$

$$\nabla \cdot \delta = 0 \quad (4)$$

在各向同性的导电媒质中, 电场强度和电流密度的关系为 $\delta = \gamma E$, 并且 δ 和 E 的方向一致。 γ 为导电媒质的电导率, 单位是 S/m , 其值因媒质而异。

由基本方程可知, 电源外导电媒质中的恒定电场是无旋场, 且其电流线是连续的。对于无旋场, 可以用一个标量位函数 φ 表征它的特性, 它和电场强度向量之间满足如下关系:

$$E = -\nabla \varphi \quad (5)$$

在各向同性的均匀导电媒质内, 电位函数 φ 满足拉普拉斯方程

$$\nabla^2 \varphi = 0 \quad (6)$$

如果恒定电场中的导电媒质是由电导率分别为 γ_1 和 γ_2 的两种媒质所组成, 那么可以导出分界面上的边界条件为

$$E_{1t} = E_{2t} \quad (7)$$

$$\delta_{1n} = \delta_{2n} \quad (8)$$

若用电位函数 φ 描述, 则二种不同导电媒质分界面上的边界条件为

$$\varphi_1 = \varphi_2 \quad (9)$$

$$\gamma_1 \frac{\partial \varphi_1}{\partial n} = \gamma_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial n} \quad (10)$$

由以上公式 (7)、(8), 可得描述分界面上电场强度线和电流密度线的折射定律:

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \alpha_2} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2}$$

式中 α_1 、 α_2 分别为紧挨分界面的媒质 1 与 2 中的场量与分界面法线的夹角。

3. 在给定边界条件(例如电极的电位或电流)下, 通过求解拉普拉斯方程可得出导电媒质中电场分布, 然而, 对于一些边界形状较复杂的问题, 往往很难求得它的解析解, 此时, 常借助于近似算法, 例如有限差分法、有限元法等数值方法, 通过计算机运算求得相应的场的分布问题的数值解。而通过实验方法直接测定媒质中的电场分布则是一种简便、直观的有效方法。

4. 为了保证电极与导电媒质接合处是等位面, 应用导电性良好的材料制作电极。本实验的电极可用以银粉为导电媒质的导电胶 ($\rho = 6 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$) 绘制, 而导电纸的电阻率远大于导电胶的电阻率 (约为 10^3 数量级)。本实验由电导率分别为 γ_1 和 γ_2 ($\gamma_2 = 2\gamma_1$) 的两种导电媒质按图 2-1 所示的形式构成。具体制做时, 在分界面的边缘处均匀地涂上以碳粉为导电媒质的导电胶 ($\gamma_{\text{碳粉}} = \gamma_{\text{导电胶}}$), 采取粘合导电纸的方式来实 现不同电导率

的要求。为了改变导电纸的电导率 γ ，除了采用粘合导电纸的方法外，也可以采用在导电纸上打孔的方法。

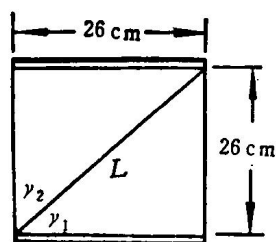


图 2-1

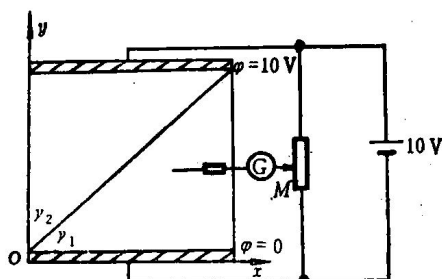


图 2-2

三、实验内容

1. 用补偿法测定等位线的分布

按图 2-2 所示的电路，利用补偿法，通过调节多圈电位器的滑动端 M ，分别在其电位 $\phi_M = 2V$ 、 $4V$ 、 $6V$ 、 $8V$ 的情况下，由探针测得相应的等位点，并由此描绘出等位线分布。

2. 两种不同导电媒质分界面上的切向边界条件的验证

用双探针如图 2-3 所示在紧邻分界线 L 的两侧，测定其上相应的电位梯度 $U = \Delta\phi/h$ ，以验证该处的电场强度的切向分量 $E_{1t} = \Delta\phi_1/h$ 和 $E_{2t} = \Delta\phi_2/h$ 是否满足连续性的要求。实验中要求选定分界线上的两个点分别予以验证。

四、实验报告要求

1. 在坐标纸上绘出电位分别为 $2V$ 、 $4V$ 、 $6V$ 、 $8V$ 的四条等位线。
2. 由所得等位线的分布，讨论本模型中电流密度的分布情况。
3. 用几何作图法求出入射角 α_1 和折射角 α_2 ，以验证折射定律。
4. 将实测所得的等位线分布与数值解结果（见附录四）进行比较，并作讨论。

五、实验仪器与设备

- | | |
|-------------------------------|---------|
| 1. 直流稳压源 WYJ-4 | 1 台(自制) |
| 2. 多圈电位器 $1k\Omega/5W$ | 1 个(自制) |
| 3. 检流计 $L3 \times 10^{-6}/mm$ | 1 个 |

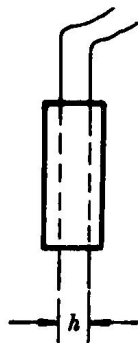


图 2-3

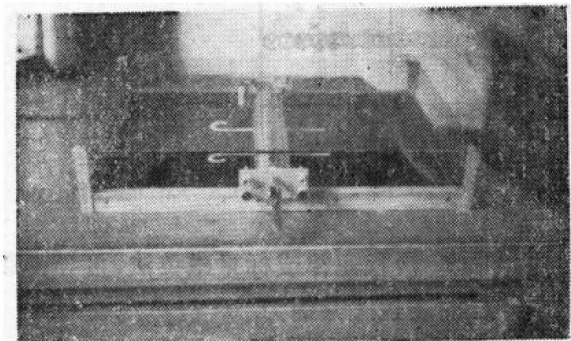


图 2-4

- | | |
|------------------|---------|
| 4. 数字万用表 PM2517X | 1 个 |
| 5. 双探针 | 1 个 |
| 6. 模拟装置 | 1 套(自制) |

本模拟装置主要由滑轨、指示灯、继电器和探针等部分组成,如图 2-4 所示。指示灯和继电器均需加 6 V 直流电压方可正常工作。

滑轨的横向移动和其上手柄的纵向移动,便可使探针作任意移动。当接通继电器开关时,继电器动作使探针与导电纸接触,调节多圈电位器,当检流计指零时,指示灯的光点即为所要记录的等位点。

六、注意事项

1. 纵向移动手柄时要轻、慢,以免折断手柄。
2. 继电器的开关很小,使用时要轻按。

(西安交通大学电工原理教研室 郭咏红执笔)

实验三 螺线管磁场的研究

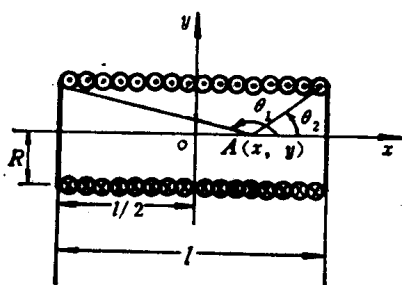
一、实验目的

1. 学习测量磁场的方法
2. 研究载流螺线管轴线上磁场的分布,并观察铁磁物质对磁场分布的影响。

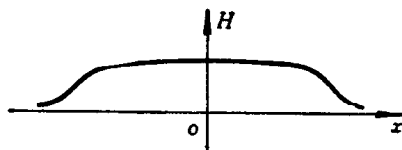
二、实验原理与说明

1. 螺线管磁场分析

螺线管是在空心圆柱面上密绕 w 匝的单层螺旋线圈,如图 3-1(a) 所示。设螺线管的半径为 R ,长度为 l ,当线圈通有电流 I 时,每匝导线相当于一个圆形线圈,且在螺线管轴线上任意点 A 产生的磁场强度只有轴线方向分量。整个载流螺线管在该点产生的磁场强度,则为各匝线圈在该点所产生的磁场强度的总和。



(a)



(b)

图 3-1

应用毕奥-沙伐定律或标量磁位法,可得载流螺线管轴线上各点的磁感应强度 B 及磁场强度 H 的表达式分别为

$$B = \frac{1}{2} \mu_0 I \frac{w}{l} (\cos \theta_2 - \cos \theta_1) \quad (1)$$

$$H = \frac{1}{\mu_0} B \quad (2)$$

式中

$$\cos\theta_1 = \frac{-\left(-\frac{l}{2} + x\right)}{\sqrt{R^2 + \left(-\frac{l}{2} + x\right)^2}}$$

$$\cos\theta_2 = \frac{-\frac{l}{2} - x}{\sqrt{R^2 + \left(-\frac{l}{2} - x\right)^2}}$$

磁场强度的方向为螺线管轴线方向。按上式计算结果而作的螺线管轴线上磁场强度的分布曲线如图3-1(b)所示。

如果螺线管是多层的，只要最外层半径和最内层半径之差 ($R_n - R_i$) 远小于螺线管长度 l ，则上式中的半径 R 可取最内、最外两层线圈半径的平均值：

$$R = \frac{R_i + R_n}{2}$$

2. 用感应法测磁场强度 H

当螺线管线圈中通以交变电流时，它所产生的磁场将随时间变化。若把一个很小的测试线圈，放在位于螺线管线圈内的被测点上，则根据法拉第电磁感应定律，此线圈中的感应电动势为

$$e = - \frac{d\psi}{dt}$$

式中的 ψ 为与测试线圈交链的磁通链。

如果通以正弦电流，那么，感应电动势有效值与磁通幅值的关系为

$$E = \frac{2\pi f}{\sqrt{2}} w \Phi_m$$

由于测试线圈所占空间很小，可以认为测试线圈内的磁场是均匀的，故有

$$\Phi_m = B_m S = \mu_0 H_m S$$

从而

$$H_m = \frac{\sqrt{2} E}{2\pi f \mu_0 w S} \quad (3)$$

式中 S 为测试线圈的等效面积， f 为正弦电流的频率，实验中 $f = 50\text{Hz}$ 。

3. 用霍尔效应法测磁场强度

当一矩形半导体霍尔薄片通有电流 I 并置于外磁场 B 中时，薄片在由电流和磁场方向构成平面的垂直方向上将呈现霍尔电压 U_H ，这种现象称为霍尔效应。参阅图 3-2，霍尔电压可表示成

$$U_H = \frac{R_H}{d} I B f \left(\frac{l}{b} \right) \quad (4)$$

式中

R_H 为霍尔常数, 由半导体材料性质决定。

d 是半导体薄片的厚度。

$f\left(\frac{l}{b}\right)$ 是霍尔元件的形状系数。

从式 (4) 可见, 电流可以是直流或交流, B 也可以是恒定或交变的。(本实验采用 CT3 霍尔效应高斯计, 可以测量交变及恒定磁场)。在 R_H 、 d 、 I 、 $f\left(\frac{l}{b}\right)$ 等参数一定时, $U_H \propto B$ 。测量时, 把装有霍尔片的探棒置于磁场中, 就可读得磁感应强度的平均值 $B_{\text{平均}}$ 。对于正弦磁场,

$$H_m = \frac{\sqrt{2}}{\mu_0} \times 1.11 B_{\text{平均}} \times 10^{-4} \text{ A/m} \quad (5)$$

式中 μ_0 是真空的磁导率 ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$); $B_{\text{平均}}$ 是高斯计的读数, 单位是 Gs (高斯) ($1 \text{ Gs} = 10^{-4} \text{ T}$)。

4. 在螺线管中放入中空铁心时的磁场分析

在螺线管磁场中放入铁磁介质后, 除电流所产生的磁场外, 还存在一个被磁化后磁介质中磁化电流所产生的附加磁场, 这时, 对于各向同性媒质有

$$B = \mu_0 H + \mu_0 M = \mu_0 (1 + \chi_m) H = \mu H$$

当螺线管内放入中空铁心后, 由于磁场中存在两种不同媒质, 按照两种媒质分界面的边界条件, 当分界面上无面电流分布时, 分界面两边磁场强度的法向分量不连续 (与磁导率成反比), 而磁场强度的切线分量连续, 即

$$\mu_1 H_{1n} = \mu_2 H_{2n} \quad H_{1t} = H_{2t}$$

由于螺线管中的磁场强度方向在轴线附近与轴线是平行的, 如图 3-3 所示。故空腔中测得的磁场强度 H_c 就是铁心中的磁场强度 H_b , 即

$$H_c = H_b$$

但在铁心端部分界面两边, 磁场强度 H_b 与 H_c 都垂直于分界面, 故

$$\mu H_b = \mu_0 H_c$$

式中 μ 为铁心材料的磁导率, 由于 $\mu \gg \mu_0$, 因此 $H_b \ll H_c$, 但当测试点逐渐远离端面时, 磁场强度又将逐渐减小。

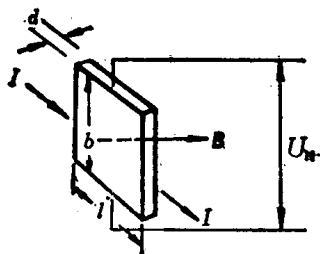


图 3-2

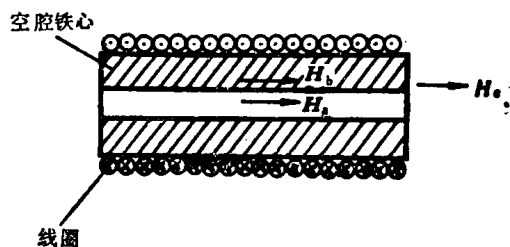


图 3-3