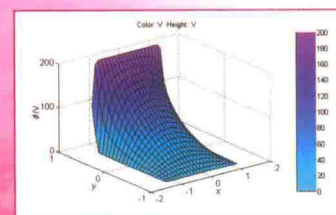
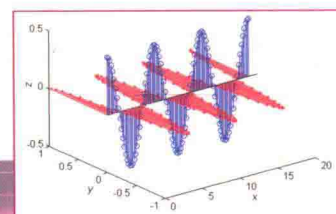
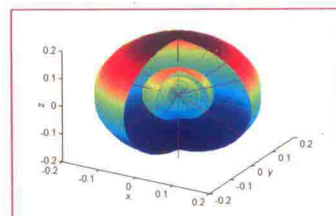


电磁场 与微波仿真 实验教程

赵玲玲 杨亮 张玉玲 王丽丽 编著



POST/DataRetrieve HTTP/1.1

Host: 92.168.1.1

Content-Type: application/octet-stream; charset=utf-8

Content-Transfer-Encoding: base64

Content-Length: 6239

<?xml version="1.0"?>

<encrypted-wrapper>

<m:SecureHeader>

<m:SecurityArray>

</encrypted-wrapper>

<verifiedToken>

report value 88268;

</verifiedToken>

</xml>

webSecurity.TrackLocation();

清华大学出版社





电磁场 与微波仿真 实验教程

赵玲玲 杨亮 张玉玲 金丽丽 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书由电磁场与微波技术两部分实验内容组成。实验一到实验四是电磁场硬件实验。包括电磁波感应器的设计与制作、电磁波传播特性实验等。实验五到实验十一是电磁场软件实验。包括电磁场中的基本运算、点电荷的电场与电势分布仿真等。实验十一到实验二十是微波技术硬件实验。本部分主要从工程应用的角度出发,重点对几类具有代表性的微波无源元器件的相关特性进行实验测量。包括环形器、定向耦合器等。实验二十一到二十三是微波技术软件实验。包括矩形波导 TE₁₀ 的仿真、魔 T 的设计与仿真等。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电磁场与微波仿真实验教程/赵玲玲等编著. —北京:清华大学出版社,2017
ISBN 978-7-302-47784-6

I. ①电… II. ①赵… III. ①电磁场—实验—高等学校—教材 ②微波技术—仿真—实验—高等学校—教材 IV. ①O441.4 ②TN015-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 168522 号

责任编辑:梁 颖

封面设计:常雪影

责任校对:李建庄

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×230mm 印 张:8.25

字 数:119 千字

版 次:2017 年 12 月第 1 版

印 次:2017 年 12 月第 1 次印刷

印 数:1~1000

定 价:39.00 元

产品编号:073226-01

前言

FOREWORD

“电磁场与微波技术实验教程”是电子、通信、电气等专业本科生必修的一门专业基础课,课程涵盖的内容是电子、通信、电气等专业所应具备的知识结构的重要组成部分。

本书包括电磁场与微波技术两部分实验内容。实验一到实验四是电磁场硬件实验。电磁场硬件实验使学生能够透彻地了解法拉第电磁感应定律、电偶极子、天线基本结构及其特征等重要知识点,深刻理解电磁感应定律的原理和作用,深刻理解电偶极子和电磁波辐射的原理,掌握电磁波测量技术原理和方法,帮助学生建立电磁波的形象思维方式,加深和加强学生对电磁波产生、发射、传输、接收过程,培养学生对电磁波分析和应用的创新能力。实验五到实验十一是电磁场软件实验。电磁场软件实验根据电磁场课程的现状,在实验中引入 MATLAB 软件。借助 MATLAB 模拟和实现结构的可视化,把抽象概念变得清晰,对复杂公式进行计算和绘图,动态直观地描述了电磁场的分布和电磁波传播状态,帮助学生理解和掌握电磁场传播的规律,有助于学生对这门课程的理解。本书利用 MATLAB 对点电荷的电场、静态场的边值、环形载流回路轴线上磁感应强度等进行了仿真。实验十一到实验二十是微波技术硬件实验。本部分主要从工程应用的角度出发,重点对几类具有代表性的微波无源元器件的相关特性进行实验测量。射频和微波技术实验的基本教学要求是了解射频和微波的传输特性,掌握射频和微波功率、频率、波导波长、驻波比及衰减、相位等的测量方法,了解射频和微波技术的简单应用。定向耦合器本身的特性参量定义简单,被测量均为基本测量量,测量理论与方法简单且容易接受;仪器使用方法简单,不必经过调谐等烦琐

过程,有助于学生把精力放在对射频和微波实质的理解和射频及微波技术的应用上。开设相关微波元器件的实验十分必要,有助于引导学生初步领会技术开发的思路,也有利于提高学生思维的开阔性和系统性,培养创新意识和开拓精神。实验二十一到二十三是微波技术软件实验。HFSS 提供了简洁直观的用户设计界面、精确自适应的场解器、拥有空前电性能分析能力的功能强大后处理器,能计算任意形状三维无源结构的 S 参数和全波电磁场。通过本部分的学习,学生可利用 HFSS 软件加强对微波器件以及天线相关知识的理解,提高在射频领域的应用能力,理论联系实际,提高分析问题、解决问题和进行科学实验的独立工作能力。

本书前十一个实验由赵玲玲执笔,后十二个实验由杨亮执笔。

本书经张玉玲和王丽丽审阅,提出不少宝贵意见。本书在编写过程中也得到学院领导和程月波、臧睦君等教师的支持与协助,谨在此表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促,加上编者的水平有限,书中不当之处在所难免,希望读者不吝批评指正。

赵玲玲

2017 年 4 月

目录

CONTENTS

实验一 电磁波感应器的设计与制作	1
1.1 实验目的	1
1.2 实验原理	1
1.3 实验内容	3
1.4 注意事项	4
1.5 实验报告要求	4
1.6 接收天线参考形状	5
实验二 电磁波传播特性实验	6
2.1 实验目的	6
2.2 实验原理	6
2.3 实验内容	8
2.4 注意事项	9
2.5 实验报告要求	9
实验三 电磁波的极化实验	10
3.1 实验目的	10
3.2 实验原理	10
3.3 实验内容	12
3.4 注意事项	13



3.5	实验报告要求	14
实验四	天线方向图测量实验	15
4.1	实验目的	15
4.2	实验原理	15
4.3	实验内容与步骤	17
4.4	注意事项	17
4.5	实验报告要求	18
实验五	电磁场中的基本运算	19
5.1	实验目的	19
5.2	实验原理	19
5.3	实验内容	21
5.4	实验报告要求	24
实验六	点电荷的电场与电势分布仿真	25
6.1	实验目的	25
6.2	实验原理	25
6.3	实验内容	26
6.4	实验报告要求	28
实验七	静态场的边值问题	29
7.1	实验目的	29
7.2	实验原理	29
7.2.1	静态场问题的分类	29
7.2.2	边值问题的分类	29
7.2.3	边值计算方法分类	30

7.3	实验内容	33
7.4	实验报告要求	37
实验八	使用偏微分方程工具箱对电磁场的仿真	38
8.1	实验目的	38
8.2	实验原理	38
8.3	实验内容	40
8.4	实验报告要求	43
实验九	环形载流回路轴线上磁感应强度分布	44
9.1	实验目的	44
9.2	实验原理	44
9.3	实验内容	45
9.4	实验报告要求	46
实验十	均匀平面波及电磁波的极化	47
10.1	实验目的	47
10.2	实验原理	47
10.3	实验内容	48
10.4	实验报告要求	52
实验十一	电偶极子辐射仿真	53
11.1	实验目的	53
11.2	实验原理	53
11.3	实验内容	56
11.4	实验报告要求	58

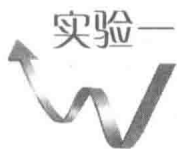


实验十二	环行器	59
12.1	实验目的	59
12.2	实验设备	59
12.3	实验原理	59
12.4	实验内容	60
12.5	实验步骤	60
12.6	实验报告要求	61
实验十三	定向耦合器	62
13.1	实验目的	62
13.2	实验设备	62
13.3	实验原理	62
13.3.1	耦合度及其测量	63
13.3.2	方向性及其测量	64
13.4	实验内容	64
13.5	实验方法和步骤	65
13.6	实验报告要求	65
实验十四	衰减器	66
14.1	实验目的	66
14.2	实验设备	66
14.3	实验原理	66
14.4	实验内容	67
14.5	实验步骤	67
14.6	实验报告要求	68

实验十五	功率分配器	69
15.1	实验目的	69
15.2	实验设备	69
15.3	实验原理	69
15.4	实验内容	70
15.5	实验步骤	70
15.6	实验报告要求	71
实验十六	混合环	72
16.1	实验目的	72
16.2	实验设备	72
16.3	实验原理	72
16.4	实验内容	73
16.5	实验步骤	73
16.6	实验报告要求	74
实验十七	滤波器(LPF、HPF、BPF、BSF)	75
17.1	实验目的	75
17.2	实验设备	75
17.3	实验原理	75
17.4	实验内容	78
17.5	实验步骤	78
17.6	实验报告要求	79
实验十八	分支耦合器	80
18.1	实验目的	80

18.2	实验设备	80
18.3	实验原理	80
18.4	实验内容	81
18.5	实验步骤	81
18.6	实验报告要求	82
实验十九	匹配负载	83
19.1	实验目的	83
19.2	实验设备	83
19.3	实验原理	83
19.4	实验内容	85
19.5	实验步骤	85
19.6	实验报告要求	86
实验二十	测量线	87
20.1	实验目的	87
20.2	实验设备	87
20.3	实验原理	87
20.4	实验内容	91
20.5	实验步骤	92
20.6	实验报告要求	92
实验二十一	矩形波导 TE_{10} 的仿真	93
21.1	实验目的	93
21.2	实验设备	93
21.3	实验原理	93
21.4	实验内容	96

21.5	实验步骤	96
21.6	实验报告要求	99
实验二十二 魔 T 的设计与仿真		100
22.1	实验目的	100
22.2	实验仪器	100
22.3	实验原理	100
22.4	实验内容	103
22.5	实验步骤	103
22.6	实验报告要求	106
实验二十三 半波偶极子天线的仿真设计		107
23.1	实验目的	107
23.2	实验仪器	107
23.3	实验原理	107
23.4	实验内容	110
23.5	实验步骤	110
23.6	实验报告要求	119
参考文献		120



电磁波感应器的设计与制作



1.1 实验目的

- (1) 认识时变电磁场,理解电磁感应的原理和作用。
- (2) 通过电磁感应装置的设计,初步了解天线的特性及基本结构。
- (3) 理解电磁波辐射原理。

1.2 实验原理

随时间变化的电场在空间产生磁场。同样,随时间变化的磁场也在空间产生电场。电场和磁场构成了统一的电磁场的两个不可分割的部分。能够辐射电磁波的装置称为天线,用功率信号发生器作为发射源,通过发射天线产生电磁波。

如果将另一个天线置于电磁波中,就能在天线体上产生高频电流,可以称为接收天线,接收天线离发射天线越近,电磁波功率越强,感应电动势越大。如果用小功率的白炽灯泡接入天线馈电点,能量足够时就可使白炽灯发

光。接收天线和白炽灯构成一个完整的电磁感应装置,如图 1-1 所示。

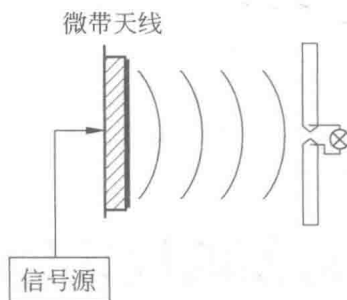


图 1-1 电磁感应装置

电偶极子是一种基本的辐射单元,它是一段长度远小于波长的直线电流元,线上的电流均匀同相,一个做时谐振荡的电流元可以辐射电磁波,故又称为元天线,元天线是最基本的天线。电磁感应装置的接收天线可采用多种天线形式,相对而言性能优良,且又容易制作,成本低廉的有半波天线、环形天线、螺旋天线等,如图 1-2 所示。

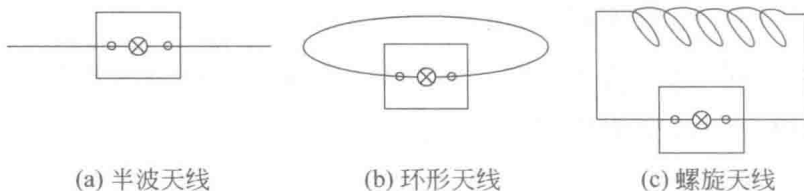


图 1-2 接收天线

本实验重点介绍其中的一种——半波天线。

半波天线又称半波振子,是对称天线的一种最简单的模式。对称天线(或称对称振子)可以看成是由一段末端开路的双线传输线形成的。这种天线是最通用的天线形式之一,又称为偶极子天线。而半波天线是对称天线中应用最为广泛的一种天线,它具有结构简单和馈电方便等优点。

半波振子因其一臂长度为 $\lambda/4$,全长为半波长而得名。其辐射场可由两根单线驻波天线的辐射场相加得到,于是可得半波振子的远区场强,归一化方向性函数为:

$$|E| = \frac{60I}{r} \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2}\cos\theta\right)}{\sin\theta} = \frac{60I}{r} f(\theta)$$

式中, $f(\theta)$ 为方向性函数, 对称振子归一化方向性函数为:

$$|F(\theta)| = \frac{|f(\theta)|}{|f(\theta)|_{\max}} = \left| \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2}\cos\theta\right)}{\sin\theta} \right|$$

由上式可画出半波振子的方向图如图 1-3 所示。

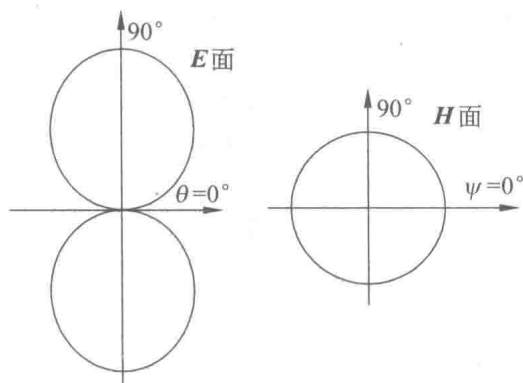


图 1-3 半波振子的方向图

半波振子方向函数与 ψ 无关, 故在 H 面上的方向图是以振子为中心的一个圆, 即为全方向性的方向图。在 E 面的方向图为 8 字形, 最大辐射方向为 $\theta = \pi/2$, 且只要一臂长度不超过 0.625λ , 辐射的最大值始终在 $\theta = \pi/2$ 方向上; 若继续增大 L , 辐射的最大方向将偏离 $\theta = \pi/2$ 方向。

1.3 实验内容

(1) 打开功率信号发生器电源开关, Signal 灯亮, 机器工作正常, 按下 Tx 按钮, 观察功率指示表有一定偏转, 此时 Standby 灯亮, 说明发射正常。

(2) 用金属丝制作天线体, 用螺丝固定于感应灯板 (或电流表检波板) 两端, 并安放到测试支架上, 调节感应板的角, 使其与发射天线的极化方向一

致。调节测试支架滑块到最右端,按下功率信号发生器上的 Tx 按钮,同时移动测试支架滑块,靠近发射天线,直到小灯刚发光时,记录下滑块与发射天线的距离。

(3) 改变天线振子的长度,重复上面过程,记录数据,得出灯泡亮暗(用亮、较亮和暗)与天线长度、半波天线与极化天线距离之间的关系。

(4) 选用其他天线形式制作感应器,重复上面过程,记录数据在表 1-1 中。

表 1-1 实验数据

次数	天线形式	天线长度	接收距离	灯泡亮暗情况
1				
2				
3				
4				

1.4 注意事项

(1) 按下 Tx 按钮时,若 Alarm 红色报警灯亮,应立即停止发射,检查电缆线与发射天线接口是否旋紧,其余接口是否用封闭帽盖上,Output 接口与电缆是否接好,或请老师检查,否则会损坏机器。

(2) 测试感应器时,不能将感应灯靠近发射天线的距离太小,否则会烧毁感应灯(置于 20cm 以外,或视感应灯亮度而定)。

(3) 尽量减少按下 Tx 按钮的时间,以免影响其他小组的测试准确性。

(4) 测试时尽量避免人员走动,以免人体反射影响测试结果。

1.5 实验报告要求

(1) 按照标准实验报告的格式和内容完成实验报告。

(2) 制作两种以上天线,观察接收效果。画出天线形状,记录接收距离。

(3) 对实验中的现象分析讨论。

(4) 提出改进意见及建议。

1.6 接收天线参考形状

电磁感应装置的接收天线可采用图 1-2 中的天线形式,也可以参考图 1-4 中的天线形式。

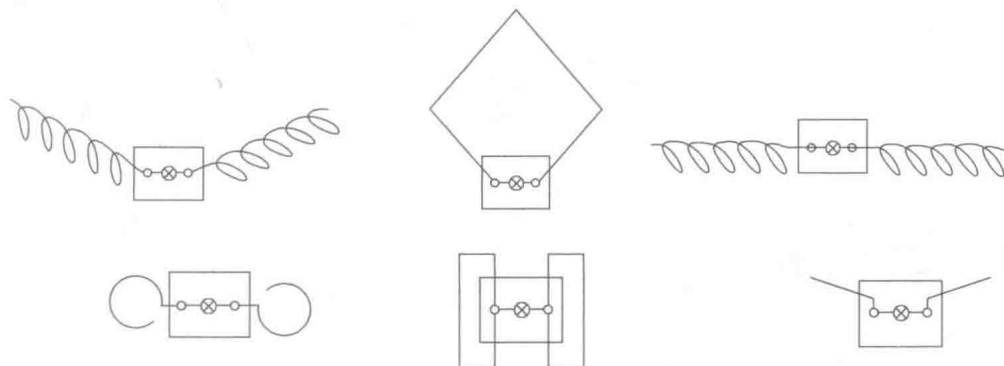


图 1-4 接收天线参考形式