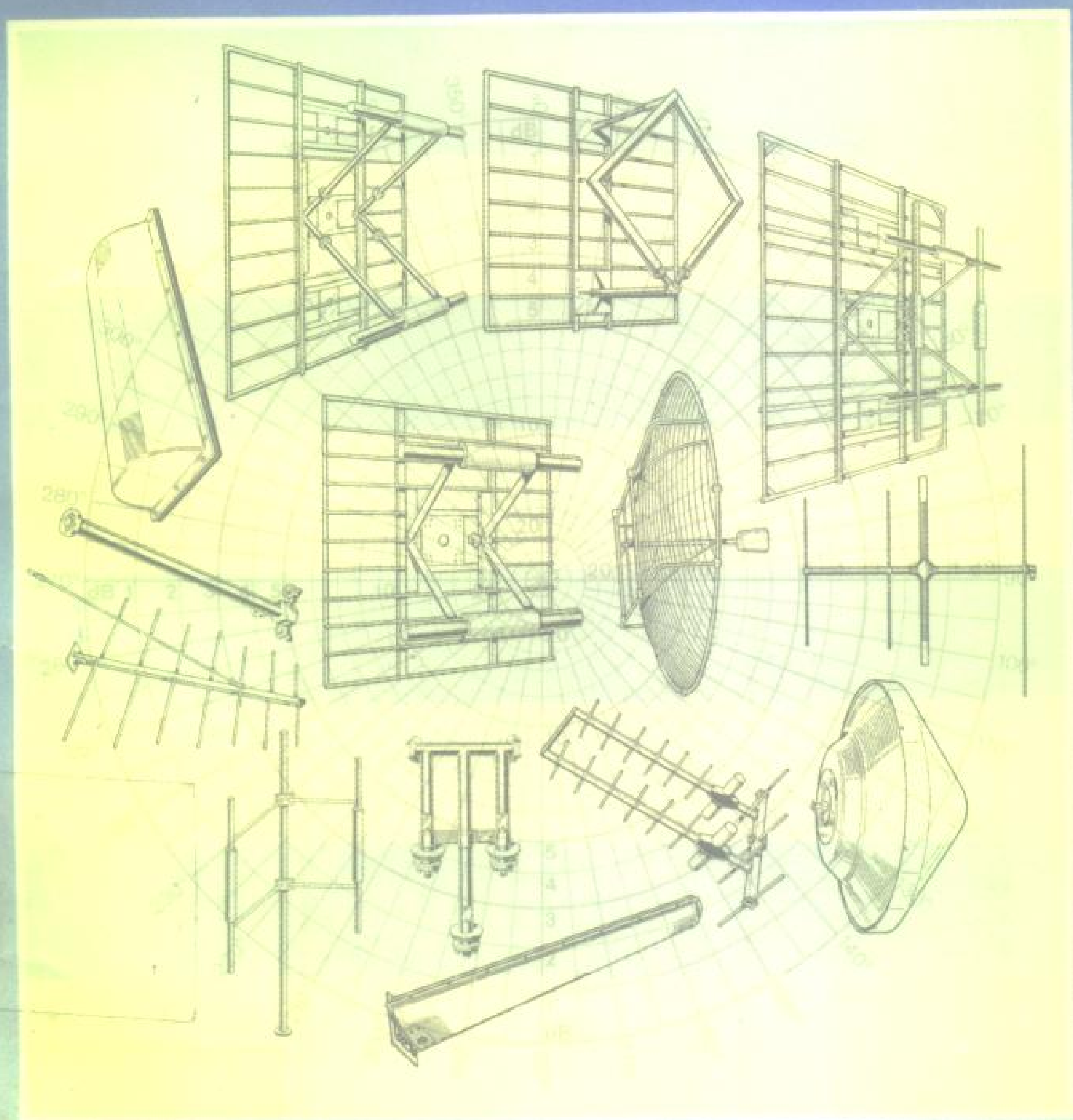


电波与天线

蔡南先 著



中国广播电视出版社

DV17/04

电波与天线

蔡雨先 编

中国广播电视出版社出版发行
(北京复外广播电影电视部灰楼 邮政编码100366)

北京大兴沙窝店印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

850×1168毫米 32开 13.875印张 312(千)字

1992年7月第1版 1992年7月第1次印刷

印数: 1—11000册 定价: 9.10元

ISBN 7-5043-1827-2/TN·161

(京)新登字097号

内容简介

本书共分三部分：一、电磁波的基本理论。介绍了电磁波的产生及其性质；二、无线电波传播。介绍了电波在各种媒介质中的传播规律及各波段电波传播特点；三、天馈线。介绍了天线的基本理论；广播电视系统常用的接收、发射天线，以及它们的结构、性能、工作原理、馈电方法和调试匹配等。

本书内容比较系统、通俗，着重基本物理概念介绍。并附有大量图表及应用实例，实用性强。适合于从事广播电视工程技术人员和自学“广播电视技术”的读者阅读，也可供无线电类中专学生阅读。

出版者的话

为了适应广播电视中等教育事业发展的需要，不断提高教材质量，广播电影电视部教育司和各广播电视中专课程组，在对第一轮中专工科教材修订的基础上，组织力量编写了第二轮广播电视中专工科教材，由中国广播电视出版社出版，并公开发行。这批规划出版的专业基础课教材有：《电子线路》，《电工基础》、《无线电技术基础》、《无线电测量》、《微型计算机原理及应用》、《脉冲与数字电路》、《电视原理》，共计7种。专业课教材有：《电波与天线》、《发送设备》（含广、电、调）、《广播播控设备》（含广播声学、有线广播、录音设备）、《电视播控设备》（含摄像）、《电视接收设备》、《数字通信》、《微波技术》、《录音、录像技术》，共计8种。在教材编写过程中，力求做到立论正确，概念清楚，理论联系实际。

这些教材仍暂作试用教材，适于招收初中毕业生、学制为四年的学校使用。鉴于目前各学校招生对象和学制不尽相同，各校可根据教学大纲的要求选用有关内容。设有相近专业的其他中等专业学校和职业高中也可选用本教材。

这批教材还可以作为干部培训的中级教材和职工自学参考书之用，也可以供具有高中文化程度和一定无线电基础知识的读者阅读。我们殷切希望广大读者对本教材提出意见和建议，帮助我们做好教材出版工作。

前 言

本教材是根据1991年5月广播电视中专工科教材大纲审定会所通过的《电波与天线》教学大纲编写的。

1984年11月，广播电影电视部教育司出版过一本广播电视中专学校试用教材《电波与天线》。本教材是在原书的基础上，结合多年来各校的教学实践加以修订编成的。

本课程的任务是使学生掌握电磁波的基本理论，无线电波传播的基本规律和广播电视系统常用天线的结构、基本工作原理、主要性能、馈电方法及调试匹配。因此，在编写形式上是以阐明物理概念和实际应用为主。在教材安排上，先讲述天线的基本理论及其共性，然后按频率高低、增益大小的规律分析各波段天线的特性。为了适应电台、电视台的需要，本书对天馈线系统，例如馈电设备以及各种天线阵的天馈线连接匹配方式，都作了较详细的介绍。

本教材注意到理论的完整性，作了一些必要的数学分析，但有的公式仅指明了它的来源出处，没有作具体推导。同时在教材中还列举了各种数据、经验公式、图表曲线等，以便读者进行工程计算。

本教材编写过程中，曾得到广播电影电视部广播电视中专发送设备专业课程组的大力支持与帮助，在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中缺点错误在所难免，恳请读者批评指正。

编 者
1991年9月

绪 论

人们在日常生活和生产的过程中，经常会接触到各种各样的波，例如水波、声波、光波、无线电波。无线电波波动虽然一般不能直接感觉它，但它确实是客观存在的物质。广播、电视、通讯以及所有的无线电系统，都利用无线电波来传递信息，都涉及无线电波传播的问题，它是传递信息过程中重要的一环。

一、什么是无线电波

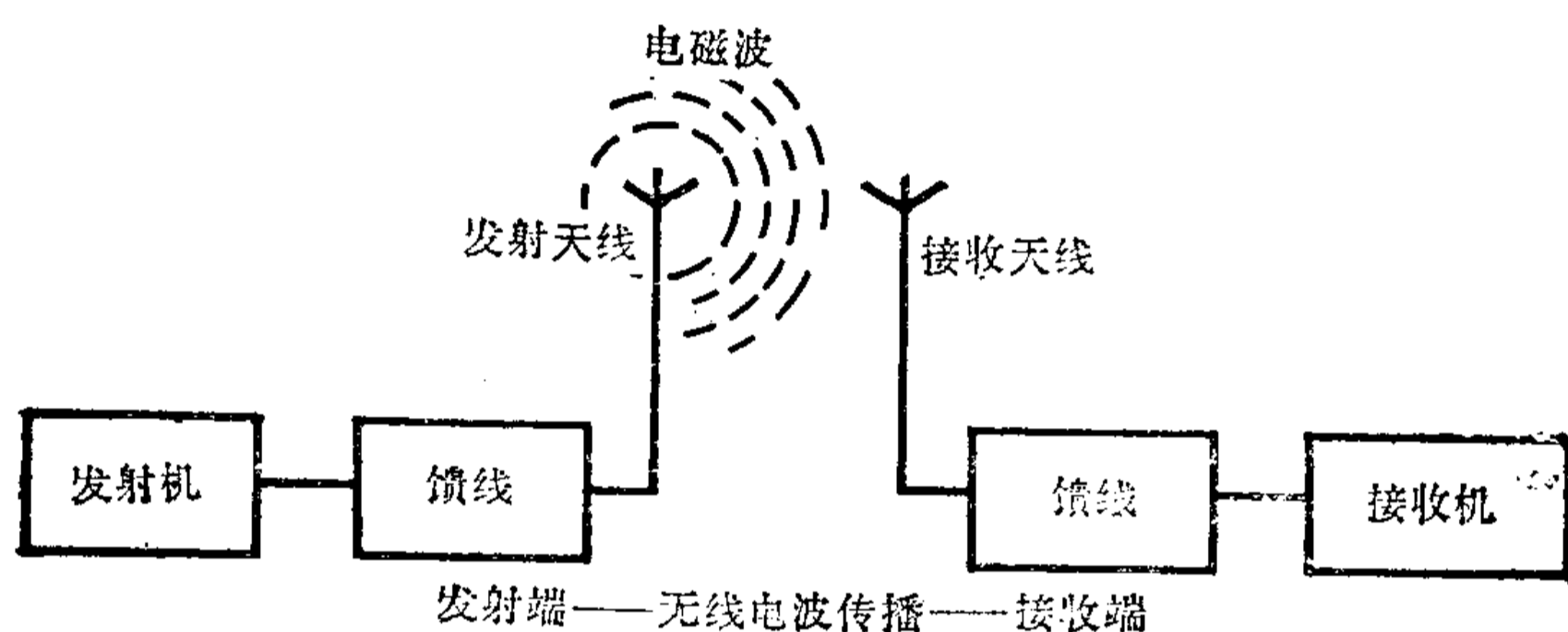
无线电波对我们来说并不陌生，但要回答究竟什么是无线电波？也不那么容易。我们在这里只能简单的说：电磁波是电和磁的波动过程，是向前传播的交变电磁场。电磁波频谱范围极其宽阔，按波长从长到短可分为无线电波、红外线、可见光、紫外线、X射线、 γ 射线等。无线电波是电磁波中波长最长的部分。

虽然，电磁波与光波一样都是自然界客观存在的物质，但人们对电磁波的认识却经历了漫长的岁月。1873年英国科学家麦克斯韦在法拉第电磁感应定律的基础上，以严密的数学形式发表了电磁场的一般理论，预言了电磁波的存在，并且从理论上探讨了电磁波的特性。1887年德国科学家赫芝用实验方法证明了电磁波的存在，他还指出，无线电波也具有光波的特性，光波也是电磁波。1895年意大利的马可尼和俄国的波波夫分别发明了接收无线电波的装置，马可尼并于1897年获得了专利权。现在，电波传播已经发展成为无线电电子学的一个重要分支，对国防和国民经济

建设都具有重要的意义。

二、利用无线电波传递信息的过程

任何利用无线电波传递信息的系统，都包括“发射端——无线电波传播——接收端”三个环节。为此就必须有能够辐射和接收电磁波的设备，这个设备就是天线。所以说，天线的重要作用就是辐射或接收电磁波。下图是进行无线电广播路线的简图。



无线电广播路线简图

无线电发射机和接收机都是有线设备，无线电实际上是指从发射天线到接收天线这段传输距离来说的。

发射天线是将发射机所产生的已调制高频振荡电流的能量转换为电磁波的能量，并把它辐射到预定方向的装置。接收天线则是捕捉传来的电磁波能量并把它转换成高频电流能量的装置。

通常，天线离开发射机或接收机有相当远的距离，需要用馈线连接。高频振荡电流经馈线传送到天线，就在天线周围产生电磁场，交变的电场和磁场是相互作用的，电场能量和磁场能量在空间相互转化，并向远方传播，这就是电磁波的辐射。

对于无线电定点通信，要求发射天线具有定向性，即它向空间辐射的电磁波能量集中在某一方向，而在空间其他方向的辐射则很弱。对于无线电广播电视，多数情况下，并不要求发射天线

具有定向性，它在水平面内向各个方向的辐射应该均匀。在某些情况下，为了实现定向广播，也要求发射天线具有定向性。

三、天线的分类

天线的型式很多，分类方法也有几种，按工作性质分为：发射天线与接收天线；按用途分为：通信天线、广播天线、雷达天线；按波长分为长波天线、中波天线、短波天线、超短波天线等；但这些分类方法都不太明确。目前绝大多数教材都采用按天波原理来分类，即把天线分为线天线和面天线两大类。线天线是由导线组成，导线的长度比横截面大得多；面天线则由金属板或导线栅格组成。这种分类方法，从理论上分析比较清晰，系统性比较强。

四、电波传播与天线在广播电视工程中的作用

广播电视作为一种大众传播的工具，其最主要的特点就是依靠无线电波，把广播或电视节目信号传送到每一个家庭。电波覆盖是广播电视传播的根本任务。因此，我们必须研究无线电波在各种媒介质中的传播途径及变化规律，以满足覆盖网规定的要求。

广播电视发射天线是整个广播电视播出的终端设备，天线性能的好坏及工作是否正常直接影响到播出质量，是与大众直接相关的。对新建广播电视台来说，如何选择合适的天线型式，更有重要的意义。选择合适的天线，并把天馈线系统匹配调试好，才能使发射机充分利用，并有效的辐射电波。所以掌握广播电视系统中常用天线的工作原理、主要性能、调试及匹配方法是非常重要的。

五、电波与天线课程的特点与学习方法

对于电波传播与天线的研究是属于场论的范畴，与电路的分

析方法有很大的不同。在路的理论中，我们研究的是电路元件与施加于元件上的端电压或流经元件的电流的关系。在场的理论中，我们研究的是场矢量(\vec{E} 、 \vec{H})和它们的位置函数的值。所以我们过去所学的各种电路计算公式是不能直接用于场的计算的。在我们的讨论中是按“场”的观点、“能流”的观点来解释它们的物理过程，但有时为了便于说明天线与发射机或接收机之间的关系，也用到“电路”的观点。天线分析的理论基础是麦克斯韦方程组，所有的天线问题实质上也是求解麦克斯韦方程组的问题。

但是本书从实际应用出发，着重基本物理概念的叙述。学习重点应放在理解天线的基本理论和各种天线的特点，掌握天线的结构、性能、工作原理和匹配馈电方法。

目 录

绪 论.....(1)

第一章 电磁波的基本理论.....(1)

1-1 位移电流(1)

1-2 法拉第电磁感应定律(5)

1-3 麦克斯韦方程组(7)

1-4 电磁波的产生及其性质(9)

1-5 功率流、坡印亭矢量(13)

1-6 电磁波的辐射(14)

1-7 自由空间中的平面波传播(17)

1-8 有损介质中的平面波传播(19)

1-9 波的极化(20)

1-10 平面波的反射、折射与绕射(24)

1-11 电磁波的相速与群速(27)

第二章 无线电波的传播.....(32)

2-1 电波传播的途径(32)

2-2 无线电波的波段划分及各波段传播的特点(34)

2-3 地波传播(35)

2-4 电离层传播(47)

2-5 中波广播传播特点(59)

2-6 对流层传播(62)

2-7 电波传播的菲涅尔区(87)

2-8 广播电视服务范围的边界场强(92)

2-9	噪声与干扰	(95)
第三章 天线的基本理论		
3-1	传输线	(104)
3-2	天线的基本特性参量	(123)
3-3	电流元	(131)
3-4	对称振子天线	(137)
3-5	天线阵	(151)
3-6	地面对天线性能的影响	(163)
3-7	互易原理	(173)
第四章 电视接收天线		
4-1	对电视接收天线的要求	(181)
4-2	基本半波振子天线	(182)
4-3	半波折合振子天线	(189)
4-4	引向天线	(195)
4-5	引向天线阵	(202)
4-6	宽频带电视接收天线	(206)
4-7	特高频电视接收天线	(211)
4-8	螺旋天线	(220)
第五章 中、短波广播发射天线		
5-1	中波垂直接地天线	(229)
5-2	加顶加载垂直天线	(235)
5-3	抗衰落天线(铁塔天线)	(239)
5-4	定向天线	(240)
5-5	中波天线的馈电与调试	(243)
5-6	短波天线	(249)

5-7	中波多频共用天线馈电网络	(256)
第六章	电视、调频发射天线	(261)
6-1	对发射天线电气性能的考虑	(261)
6-2	蝙蝠翼天线	(268)
6-3	十字形天线和框形天线	(293)
6-4	带反射板的角锥形天线	(297)
6-5	双环天线	(304)
6-6	特高频四偶极子单元板电视发射天线	(313)
6-7	特高频锯齿天线	(325)
6-8	缝隙天线	(327)
6-9	背腔反射式圆极化天线	(329)
6-10	电视、调频发射天馈线系统的调试	(333)
6-11	中小型电视调频发射台的天线方案选择 及布置	(345)
6-12	发射天线的避雷措施	(347)
第七章	发射天线馈电设备	(353)
7-1	馈线的转变	(357)
7-2	阻抗变换器	(360)
7-3	功率分配器	(362)
7-4	调配器	(367)
第八章	微波口面天线	(369)
8-1	概述	(369)
8-2	喇叭天线	(372)
8-3	抛物面天线	(379)
8-4	卡塞格伦天线	(385)

8-5	抛物面天线常用馈源	(392)
第九章	天线测量	(399)
9-1	天线测试场地的选择	(399)
9-2	天线输入阻抗或电压驻波比的测量	(403)
9-3	天线方向性图测量	(411)
9-4	天线增益测量	(414)
9-5	场强测量	(416)
附录一	我国电视频道划分表	(419)
附录二	分贝微伏与微伏/米、毫伏/米对照表	(422)
附录三	常用同轴射频电缆参数表	(423)
附录四	阻抗圆图	

第一章 电磁波的基本理论

内 容 提 要

英国物理学家麦克斯韦，总结了前人的研究成果，并加以概括提高，进行了创造性的理论研究，并用完美的数学形式，建立了电磁场和电磁波的基本方程——麦克斯韦方程，奠定了系统的电磁场理论基础。本章首先介绍麦克斯韦方程组，着重理解它的基本物理概念。然后介绍究竟什么是电磁波？电磁波的产生及其特性。电磁波传播时的能量。为了研究电磁场能量的传递情况，引入坡印亭矢量概念。电磁波辐射的概念，什么叫做平面波，在自由空间及有损耗介质中平面波传播的规律，什么叫做波的极化，线极化与圆极化的概念。平面波的反射与折射规律，电磁波的相速与群速概念等。

本章内容是为今后理解电波传播的规律和学习天线的工作原理及特性打基础的，因为今后学习必须具备一定的电磁场理论基础。电磁场理论在电工基础中已有论述，本章主要讲述电磁波。但为了讨论方便，某些基本概念也将作一些必要的重复。

1-1 位移电流

麦克斯韦的主要贡献是关于位移电流的假设，虽然位移电流

的假设不能由实验直接验证，但是根据这一假设推导出来的麦克斯韦方程，已为实践所证明是客观真理。

究竟什么是位移电流呢？我们可以用接有平板电容器的电路中电流的情形来说明这个问题。

在一个不分支的由导体、电阻元件组成的闭合电路中，在任何相同时刻，通过导体上某一截面的电流等于通过任何其他截面的电流。我们说，在这种电路中电流是连续的。

但在接有电容器的电路中，情形就不同了。

图1-1为一个接有平板电容器的电路。(a)图表示电容器充电时的情形，正电荷从B极板到A极板。(b)图表示放电时正电荷流动的方向和上述相反。无论在充电或放电时，通过导体上任一截

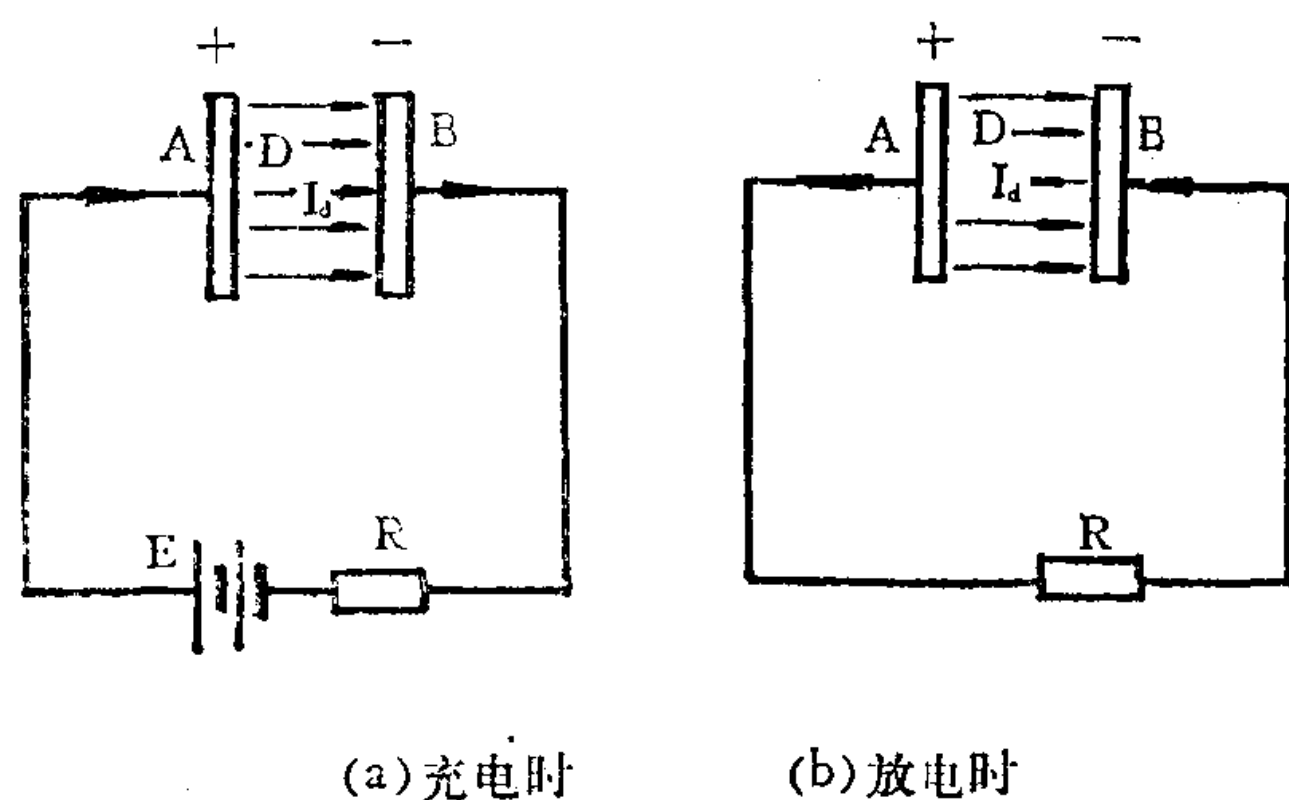


图1-1 位移电流

面的电流，在同一时刻都相等。但电荷不能在空气或电介质中流动，所以在电容器的两极板之间没有电流，因而对整个电路来说，情形就和没有电容器时不同，好像电流是不连续的。

麦克斯韦首先注意到这个电流连续性的问题，提出关于位移电流的假设，并建立了系统的电磁场理论。

众所周知，导体里传导电流的大小是用单位时间内通过导体截面的电荷来表示的，严格的说，它是通过导体截面的电荷对时

间的变化率，即 $\frac{dq}{dt}$ 。在电容器两极板之间的绝缘电介质内没有电荷的移动，传导电流为零，但在充放电过程中，电容器极板上的电荷发生了变化。因此两极板间电场中的电位移 D ，和通过整个截面的电位移通量 ϕ_D 发生变化。我们把电位移通量对时间的变化率称为位移电流，即

$$I_d = \frac{d\phi_D}{dt} \quad (1-1)$$

对于平板电容器来说，假设极板之间各点的电场是相同的，电场和极板表面积 S 相垂直，介质的介电常数为 ϵ ，则

$$\phi_D = S \cdot D = S\epsilon E$$

因此

$$I_d = \frac{d\phi_D}{dt} = S \frac{dD}{dt} = S\epsilon \frac{dE}{dt} \quad (1-2)$$

上式表明只要电场对时间是变化的，就有由变化的电场所引起的电流，即位移电流。

我们过去学过单位面积的传导电流，称为传导电流密度 (J)。现在与此类似，把单位面积的位移电流，称为位移电流密度，它为

$$J_d = \frac{dD}{dt} \quad (1-3)$$

引入位移电流的概念以后，可使电路中的电流保持连续性。如果把导体中的传导电流和绝缘电介质中的位移电流都考虑在内，那么上述电路中的电流仍然是处处连续的。

通常把传导电流、位移电流，有时还把运流电流（真空或气体中自由电荷运动引起的电流）包括在内的电流，称为全电流。全电流永远是连续的。

事实上，位移电流不仅使电流保持连续性，而且还同时表示电场和磁场的某些实在性质。根据麦克斯韦的假设，位移电流在它周围的空间内产生磁场。这个磁场与等值的传导电流或运流电流所产生的磁场完全相同。在没有传导电流或运流电流的区域中，只要有随时间变化的电场，同样可以产生磁场。换句话说，变化的电场将产生变化的磁场，而成为磁场的一个“源”。

位移电流与频率有关，频率越高，位移电流密度越大。

我们还应注意，仅就产生磁场来说，位移电流是和传导电流等效的，在其它方面，两者不能并论，例如位移电流通过时并不放出楞次——焦耳热来。

我们研究的无线电广播，也需要用全电流的概念来解释。图1-2为一个鞭形天线电流回路的示意图。

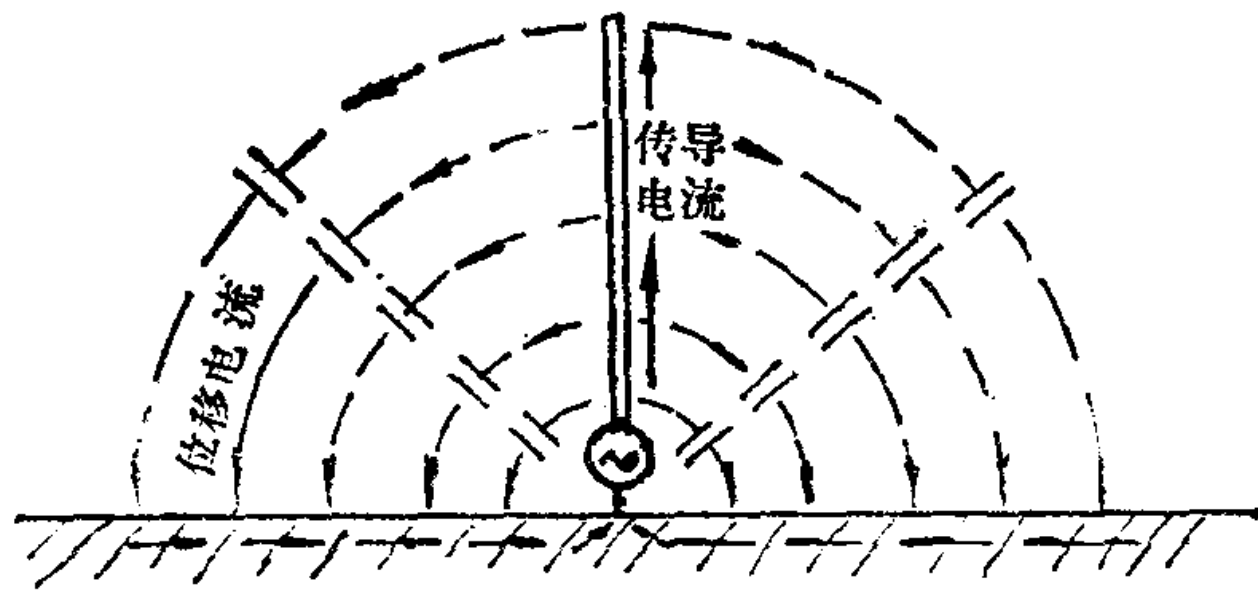


图1-2 鞭形天线电流回路示意图

图中由广播发射机产生的高频电流（传导电流），通过它与大地之间的分布电容（位移电流），再流经大地而构成一个回路，全电流是连续的，只不过这个回路因为包括了空间，非常之大而已。