

电磁波理论与应用导论课后作业

杨庆龙 1500012956

April 4, 2018

Part I

第一部分 课后问题回答

1 电磁波理论基础

1.1 狭义相对论的基本假设是什么？

1.1.1 相对性原理

一切物理定律，在所有惯性系中均有效，即一切物理定律的方程式在洛伦兹变换下都具有形式不变性。

1.1.2 光速不变性

光在真空中传播的速度恒定为光速，且与光源的运动状态无关，与光的传播方向无关，与观察者所处惯性系状态无关。

2 电磁频谱管理与应用

2.1 手机通信使用了哪些频率，未来5G使用什么频率？

工信部公布的5G通信网络使用3000MHz-3600MHz和4800MHz-5000MHz两个频段。中国有三大移动通信运营商，而且每个运营商都支持2G，3G，4G三代网络，又加上同一代通信网络也会有不同的解决方案，所以中国国内手机通信的频率使用非常复杂。详情见以下表格：

3 电磁波的发射与传播

3.1 什么是地波，天波，视距传播和超视距传播？

3.1.1 地波

沿陆地/海洋表面传播的电磁波，距离几百千米至几千千米，主要使用长波。

Table 1: 中国移动频率使用表				
服务提供商	通信标准	通信技术	上行频率/MHz	下行频率/MHz
中国移动	2G 1710-1725 TD-SCDMA	GSM800	885-909	930-954
		1805-1820		
		2010-2025	2015-2025	
		1880-1890	1880-1890	
2320-2370 2575-2635	2320-2370 2575-2635			
中国联通	2G 1745-1755 WCDMA	GSM800	909-915	954-960
		1840-1850		
		1940-1955	2130-2145	
		2300-2320	2300-2320	
2555-2575 FDD-LTE	TD-LTE 2555-2575 1755-1765 2G	1850-1860		
中国电信	3G CDMA2000	909-915	954-960	
		1920-1935	2110-2125	
		2370-2390	2370-2390	
2635-2655 FDD-LTE	TD-LTE 2635-2655 1765-1780	1860-1875		

3.1.2 天波

天波是指利用电离层反射或折射回地球进行传播的电磁波，距离可超过1万千米，主要使用短波频段。由于电离层容易受太阳活动影响，所以天波信号不够稳定。

3.1.3 视距传播

视距传播使用超短波，微波作地面通信和广播，其传播距离与地面上人的视线距离相仿，一般不超过50km。

3.1.4 超视距传播

电磁波除了利用电磁波反射实现超视距传播，还可以利用低层大气的分层特征通过反射和折射实现超视距传输。

4 电磁波与媒质和物体的作用

4.1 请解释电磁波/光波的极化

电磁波的极化即为电场矢量末端随时间变化的特性。右手拇指指向传播方向，如果电场矢量旋转方向与四指弯曲方向一致，称为右手极化；相反则称为左手极化；若电场矢量方向不旋转则为线极化。可分为：

- 线极化:电场矢量方向不变，但大小可变；

- 圆极化:电场矢量大小不变,但方向随时间旋转;
- 椭圆极化:电场矢量的大小和方向都随时间变化。

5 电磁波作为信息的载体-信号调制

5.1 通信信号调制一般有哪些?

5.1.1 模拟信号调制

- 幅度调制(AM)
- 频率调制(FM)
- 角度调制

5.1.2 数字信号调制

- 二进制幅度键控(BASK)
- 二进制频移键控(BFSK)
- 四进制频度键控(QFSK)
- 二进制相移键控(BPSK)
- 四进制相移键控(QPSK)
- 正交调制(QAM)

Part II

第二部分 电磁频谱与应用综述

Ministry of information industry people's republic of China. 中华人民共和国无线电频率划分规定[M]. 人民邮电出版社, 2003.

电磁波看不见摸不着, 但又无处不在。但不同电磁波却有着完全不同的性质, 微波可以被用来加热食物, X光可以用来机场安检, 红外更是可以帮助我们在黑暗中看清物体。只有充分了解不同波长电磁波的性质, 我们才能够利用电磁波制造出产品, 改善人类的生活。下文就将按照低频到高频的顺序, 介绍不同波长电磁波的相关性质和应用。

极低频(ELF) 极低频电磁波指的是频率为3Hz到30Hz, 波长为10000公里到100000公里电磁波。这种电磁波波长极长, 远远大于普通地表起伏的物理尺度。因此, 这种电磁波可以轻松绕过地表障碍物, 实现地表远距通信。此外, 极低频电磁波还可以被电离层反射, 这就使得地表和电离层构成了一个巨型波导, 使得该电磁波甚至有能力实现全球通信。此外, 由于很少有分子的振动频率低至几十Hz, 所以这种电磁波在空气和水中的衰减都很小[Jursa, Adolph S., Ed. (1985). Handbook of Geophysics and the Space Environment, 4th Ed (PDF). Air Force Geophysics Laboratory, U.S. Air Force. pp. 10.2510.27.], 因此该电磁波还曾被用于潜艇通信[Barr R, Jones D L, Rodger C J. ELF and VLF radio waves [J]. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 2000, 62(17):1689-1718.], 但由于其带宽实在有限, 所以能传递的信息很少, 现在已经不再使用。该电磁波由于带宽太窄, 所以多少应用方面的研究, 但其传播距离很广的特点却引起了不少健康方面的关注。超低频(SLF) 超低频指的是频率介于30Hz到300Hz间的电磁波, 常见电力传输所使用的即为该波段的电磁波, 这也是该电磁波最常见的用途。与ELF类似的, 该波段电磁波在水中传播的衰减也很微弱, 因此也被用于潜艇通信["Navy gets new facility to communicate with nuclear submarines prowling underwater". The Times of India. 31 July 2014.] 特低频(ULF) 特低频指的是300Hz到3kHz的电磁波。这个频段在地球物理学科十分有用, 因为不论是地震还是等离子层扰动都会产生特低频电磁波, 也就可以通过检测这些电磁波实现对地球物理状态的监控。此外, 该波段的电磁波还具有穿透地表的能力, 因此, 该波段电磁波还被北约用于早期的地面通信, 以实现山地通信。由于其带宽比较有限, 所以现在已经不再军用, 但依然被广泛采用与挖矿等特殊工作场所。甚低频(VLF) 甚低频指的是3kHz到30kHz的电磁波。与ELF波类似, 该波段的电磁波一样可以绕过山地, 被电离层反射, 进而实现远距传输。但是, 与ELF不同, VLF主要是在电离层界面上传播, 也因此更容易受太阳活动影响, 远距传输时噪声也比ELF波大很多。由于其具有一定带宽而又可以传播很远的距离, 除了被用于最基本的声音信号通信外, 也常用于导航和授时。此外, 该波段也被用于潜艇通信, 但通信距离不如SLF那么深, 对发射机的功率也有一定的要求, 但其使用频移键控调制方式时, 传输速率最高能达到75bit/s, 已具有传递简单战术命令的命令的能力, 和ELF只能传递“入/出海底”的指令相比又进了一大步。低频(LF) 低频电磁波频率为30kHz到300kHz。由于这个波段的电磁波衰减比较慢, 而带宽又足够宽, 能够调制具有一定带宽的语音信号, 故最常用于AM无线电广播。与VLF类似, 该波段也被用于授时系统和导航系统。因为只需要一般的晶振就能产生相应波

段的基频信号，而调制也不涉及过于复杂的数学物理过程，所以该波段也是无线电爱好者最常用的波段。中频(MF) 中频电磁波位于300kHz到3MHz的范围内。与LF, VLF类似，该波段也用于授时，导航与广播。该波段的电磁波能够传递一定的距离但又不会过远，发射设备和接收设备都可以做到轻量化和低能耗，所以非常适合用于海上船只间的通信和陆地与海上船只间的通信。该波段电磁波一样会被电离层反射，实现超视距通信，但通信状态极其容易受电离层状态影响。当电磁波被波动较大的D层反射时，就会带来大量噪声，超视距通信效果将大打折扣；而到了夜晚，随着太阳活动对相应区域电离层的影响减弱，该电磁波就能被较为稳定的F层反射，并实现效果非常优秀的超视距通信。高频(HF) 高频为3MHz到30MHz的范围内。该波段主要用于需要较大带宽和具有一定距离的通信场景，常见的有军用短波通信系统，地空通信系统，短波区域广播，岸舰通信系统，超视距雷达，全球海上遇险和安全系统。