

# 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				
通信标准	通信技术	上行频率/MHz	下行频率/MHz	
2G GSM1800 3G	GSM800	885-909	930-954	
	1710-1725	1805-1820		
	TD-SCDMA	2010-2025	2015-2025	
2320-2370 2575-2635	TD-LTE	1880-1890	1880-1890	
	2575-2635			
GSM1800 3G 中国联通 2554-2575 FDD-LTE 3G 中国电信 2634-2655 FDD-LTE	2G WCDMA	GSM800	909-915	954-960
		1745-1755	1840-1850	
		1940-1955	2130-2145	
	TD-LTE	2300-2320	2300-2320	
		1755-1765	1850-1860	
		2G	909-915	954-960
	CDMA2000	1920-1935	2110-2125	
	TD-LTE	2370-2390	2370-2390	
		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。

## 1 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够实现全球通信。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.]

## 2 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。

### 3 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能力，和ELF只能传递“入/出海底”的指令相比又进了一大步。

### 4 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。

### 5 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。

### 6 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。

### 7 甚高频(VHF)

甚高频指的是频率位于30MHz到300MHz的无线电波。与高频信号类似，甚高频也被广泛应用于航空通信，航海通信以及业余无线电通信。由于甚高频电磁波能携带比高频电磁波多很多的信息，所以除了用于声音广播外，还被用于电视广播。但是，甚高频电磁波波长较短，所以很容易因为较大障碍物的遮挡而不能很好地传输。此外，该频段电磁波不能被电离层反射，所以一般情况下该

波段电磁波的直线传播距离为160km左右。由于该波段电磁波波长较短，天线尺寸已经小到可以由单人携带，基于该特点设计出了无线对讲机等个人通信设备。

## 8 特高频(UHF)

特高频指的是300MHz到3GHz的电磁波，波长已经小于1m，所以天线尺寸能做得比较小，适合作为移动通信频段。GPS，Wi-Fi，蓝牙等使用的都是该频段电磁波。但也因为无线电波波长很短，所以很容易被较大的障碍物遮挡，然而该电磁波具有穿透墙壁的能力，所以并不妨碍该电磁波作为室内通信波段。该电磁波在空气中衰减得很快，即使在没有遮挡的环境下也只能传播60km左右，若再考虑上城市环境下的建筑物遮挡，该电磁波的传播距离会更加有限，所以非常适合用于组建蜂窝移动通信网络。该电磁波可以沿着对流层传播，所以可以借助该特性实现较远距离的特高频传输，但对流层气象状况非常不稳定，所以传播的有效距离也很不稳定。

## 9 超高频(SHF)

超高频指的是3GHz到30GHz的电磁波，波长处于厘米量级，正因如此，该波段的的天线能够做得非常小，常被用于点对点通信系统，数据链和雷达系统。该频率电磁波波长太短，与较低频率的电磁波不同，该频率电磁波会被地面和电离层反射，而非沿着介质界面传播。因此可以将该电磁波波束朝向电离层发射，然后反射到接收天线上，实现远距通信，弥补其无法绕过大型障碍物的缺点。由于其只是在电离层反射而非沿着电离层传播，所以电离层状态对通信质量的影响相对于其他波长会好一些。该波段电磁波指向性非常好，且能够在大部分的金属表面有着不错的反射系数，所以被用于制造X波段雷达，用于探测飞机，舰船，甚至潜艇。

## 10 极高频(EHF)

极高频电磁波频率为30GHz到300GHz，波长为毫米量级，具有非常好的指向性，但由于其与大气中大部分分子的振荡频率相近，所以传播距离非常有限，不能实现大气层内远距通信。但也正由于其可以与大气分子相互作用，所以极高频电磁波被用于制造气象雷达，通过检测雷达反射波实现对大气状态的检测。虽然该频段电磁波传播距离很短，但其带宽很宽，能够很容易地实现高速率信息传递，常被用于无线动态数据链架设。由于该频段电磁波能够和水分子作用，提高水温，因此该电磁波也被用于制造非致命性微波武器，让被照射到的人感到无法忍受的痛苦却不会有生命危险。

## 11 太赫兹(THF)

太赫兹为300GHz到3THz的电磁波，该频段电磁波位于光学和无线电的交界处，所以拥有很多特殊的性质。