

高等学校教学用书

# 无线电技术基础

武汉测绘学院电工无线电教研组编



中国工业出版社

高等学校教学用书



# 无线电技术基础

武汉测绘学院电工无线电教研组编

中国工业出版社

## 序 言

本书是在院党委的正确领导和殷切关怀下，根据我组几年来讲授测量专业的无线电技术基础课程所編的讲义，并参考我国和苏联高等学校各测量专业的无线电技术基础课程教学大纲，经过多次反复討論、修改补充后集体編写而成的。

本书第一版是在1960年10月由人民教育出版社出版的，在将近两年来的教学实践过程中，我們发现在該版本中存在着一些問題，有改正的必要。在改正时，对章节系統不作变更，而在內容方面作了少量改动，在文字上也作了修訂。修訂后改由中国工业出版社出版。

本书共分十三章，第一章交流电是作为对具有物理学基础而沒有学过交流电的讀者的必要补充和銜接。第二章至第十章是系統地闡述无线电基础知識，并注意到結合测量专业的需要，因此在第二章电子管中增編了光电管及光电倍增管，在第四章示波器中增編了圓扫描脉冲示波管，在第五章低頻放大器和第七章高頻放大器中較詳細地討論了頻帶扩展等問題。而对一般的无线电通訊广播方面的技术問題則作了相应的精簡。第十一章至第十三章着重探討超高頻技术的发展和它的应用，第十一章傳輸綫概念中討論到傳輸綫中的行波、駐波和混波等問題，为討論天綫和微波技术作一准备，在第十二章电磁波传播与天綫中以討論物理測距仪器中常遇到的超短波和微波的传播特性、天綫系統的方向性和效率、以及超短波和微波天綫的装置等問題为主。在第十三章微波技术中概括地討論超高頻諧振系統和电子管，以及微波技术在測繪科学的应用。

本书在編写时主要的参考书是阿謝也夫著的“无綫电基础”，富拉索夫著的“电子管”，聶孟和卡兰塔罗夫著的“电工学的理論基础”，以及其他的若干有关无綫电技术书籍。

在修訂中，讀者对于第一版本所提供的意見給予我們很大的帮助，在此謹致以衷心的感謝。

武汉測繪学院电工无綫电教研組

1961年5月

# 目 录

## 序言

|    |   |
|----|---|
| 緒論 | 1 |
|----|---|

|         |   |
|---------|---|
| 第一章 交流电 | 6 |
|---------|---|

|                         |    |
|-------------------------|----|
| § 1-1. 正弦形交流电           | 6  |
| § 1-2. 交流电的有效值          | 8  |
| § 1-3. 交流电的矢量表示         | 9  |
| § 1-4. 交流电的复数表示         | 11 |
| § 1-5. 单一元件的交流电路        | 15 |
| § 1-6. 电阻、电感、电容相串联的交流电路 | 20 |
| § 1-7. 电阻、电感、电容相并联的交流电路 | 24 |
| § 1-8. 阻抗与导納的互换         | 27 |
| § 1-9. 一般性交流电路          | 29 |
| § 1-10. 交流电路内的功率        | 31 |

|         |    |
|---------|----|
| 第二章 电子管 | 36 |
|---------|----|

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| § 2-1. 电子发射                   | 36 |
| § 2-2. 电子管的阴极                 | 39 |
| § 2-3. 二极管的构造                 | 41 |
| § 2-4. 空間电荷效应                 | 42 |
| § 2-5. 二极管的二分之三次方定律, 二极管的特性曲线 | 46 |
| § 2-6. 二极管的直流内阻与交流内阻          | 48 |
| § 2-7. 阳极消耗的功率                | 49 |
| § 2-8. 三极管的构造                 | 50 |
| § 2-9. 控制栅极的作用                | 50 |
| § 2-10. 三极管的二分之三次方定律          | 51 |
| § 2-11. 三极管的特性曲线              | 52 |
| § 2-12. 三极管的参量                | 54 |
| § 2-13. 三极管的极間电容              | 56 |
| § 2-14. 四极管的构造                | 58 |
| § 2-15. 帘栅极的作用原理              | 59 |
| § 2-16. 四极管的特性曲线              | 60 |
| § 2-17. 四极管的参量                | 62 |

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| § 2-18. 五极管                | 62         |
| § 2-19. 电子注功率管的构造          | 63         |
| § 2-20. 电子注功率管的工作原理        | 64         |
| § 2-21. 电子注功率管的特性曲线        | 64         |
| § 2-22. 电子注功率管的特点          | 65         |
| § 2-23. 复合管                | 66         |
| § 2-24. 热阴极充气二极管           | 68         |
| § 2-25. 辉光管                | 70         |
| § 2-26. 闸流管                | 71         |
| § 2-27. 光电管概述              | 73         |
| § 2-28. 光电管的构造             | 73         |
| § 2-29. 光电管的参量             | 74         |
| § 2-30. 光电管的特性曲线           | 74         |
| § 2-31. 光电倍增管              | 76         |
| <b>第三章 整流器</b>             | <b>79</b>  |
| § 3-1. 整流器的基本工作原理          | 79         |
| § 3-2. 整流器的几个特性指数          | 83         |
| § 3-3. 电容性负载整流器的工作情况       | 85         |
| § 3-4. 电感性负载整流器的工作情况       | 91         |
| § 3-5. 实用的两种滤波器            | 92         |
| § 3-6. 全波桥式及倍压式整流器         | 93         |
| § 3-7. 半导体整流元件             | 95         |
| § 3-8. 辉光管稳压线路             | 97         |
| <b>第四章 阴极射线示波器</b>         | <b>100</b> |
| § 4-1. 阴极射线管               | 100        |
| § 4-2. 锯齿波发生器              | 104        |
| § 4-3. 讯号波形的观察             | 105        |
| § 4-4. 示波器的构造方框图及使用方法      | 108        |
| § 4-5. 示波器的应用              | 109        |
| § 4-6. 圆扫描脉冲示波管            | 112        |
| <b>第五章 低频放大器</b>           | <b>113</b> |
| § 5-1. 电子管放大器“放大”作用的基本概念   | 113        |
| § 5-2. 电子管放大器的分类           | 117        |
| § 5-3. 理想电子管放大器应满足的条件及畸变问题 | 121        |
| § 5-4. 电子管放大器的等效电路         | 125        |
| § 5-5. 等效发电机定理             | 129        |
| § 5-6. 阻容耦合放大器的电路          | 130        |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| § 5-7. 阻容耦合放大器的频率特性          | 132        |
| § 5-8. 阻容耦合放大器中电路常数对频率特性的影响  | 137        |
| § 5-9. 电子管的输入电容              | 138        |
| § 5-10. 五极管阻容耦合放大器           | 140        |
| § 5-11. 阻容耦合放大器频率的延展——宽频带放大器 | 141        |
| § 5-12. 变压器耦合放大器             | 145        |
| § 5-13. 反馈放大器                | 148        |
| § 5-14. 功率放大器概述              | 152        |
| § 5-15. 三极管甲类功率放大器           | 153        |
| § 5-16. 五极管甲类功率放大器           | 157        |
| § 5-17. 乙类功率放大器              | 158        |
| § 5-18. 甲乙类功率放大器             | 160        |
| <b>第六章 谐振电路和耦合电路</b>         | <b>162</b> |
| § 6-1. 谐振的概念                 | 162        |
| § 6-2. 串联谐振                  | 162        |
| § 6-3. 并联谐振                  | 166        |
| § 6-4. 耦合电路的基本概念             | 171        |
| § 6-5. 互感耦合电路的一般性质           | 172        |
| § 6-6. 互感耦合电路的分析             | 175        |
| § 6-7. 其他形式的耦合电路             | 180        |
| <b>第七章 高频放大器</b>             | <b>182</b> |
| § 7-1. 高频电压放大器概论             | 182        |
| § 7-2. 电容耦合·单调谐放大器           | 184        |
| § 7-3. 互感耦合·单调谐放大器           | 186        |
| § 7-4. 互感耦合·双调谐放大器           | 188        |
| § 7-5. 频带加宽的调谐放大器            | 191        |
| § 7-6. 高频功率放大器的一般性质          | 193        |
| § 7-7. 高频功率放大器的调谐            | 197        |
| § 7-8. 频率倍增器                 | 198        |
| § 7-9. 缓冲放大器                 | 199        |
| § 7-10. 高频功率放大器获得栅偏压的方法      | 199        |
| § 7-11. 高频放大器阳极电路的馈电         | 201        |
| <b>第八章 振荡器</b>               | <b>203</b> |
| § 8-1. 概论                    | 203        |
| § 8-2. 迴路的自由振荡               | 203        |
| § 8-3. 电子管振荡器的工作原理           | 205        |
| § 8-4. 常用振荡电路                | 213        |

|                        |            |
|------------------------|------------|
| § 8-5. 振荡器的频率稳定问题      | 218        |
| § 8-6. 晶体振荡器           | 221        |
| <b>第九章 调制与检波</b>       | <b>224</b> |
| § 9-1. 调制的基本概念         | 224        |
| § 9-2. 调幅的基本概念         | 224        |
| § 9-3. 阳极被调丙类放大器       | 227        |
| § 9-4. 栅极被调丙类放大器       | 230        |
| § 9-5. 调频的基本概念         | 233        |
| § 9-6. 调频制和调幅制优缺点的比较   | 235        |
| § 9-7. 调频的方法           | 236        |
| § 9-8. 检波的基本概念         | 238        |
| § 9-9. 二极管检波器          | 239        |
| § 9-10. 其他几种检波器        | 241        |
| § 9-11. 调频波的检波         | 245        |
| <b>第十章 无线电接收机</b>      | <b>246</b> |
| § 10-1. 无线电接收设备概述      | 246        |
| § 10-2. 无线电接收机的简图      | 246        |
| § 10-3. 无线电接收机的主要质量指标  | 249        |
| § 10-4. 直接放大式接收机的质量指标  | 250        |
| § 10-5. 超外差接收机的质量指标    | 251        |
| § 10-6. 变频原理及变频器       | 252        |
| § 10-7. 超外差接收机中谐振电路的同步 | 257        |
| § 10-8. 超外差接收机电路说明     | 262        |
| <b>第十一章 传输线</b>        | <b>265</b> |
| § 11-1. 传输线的概念         | 265        |
| § 11-2. 传输线中的行波        | 266        |
| § 11-3. 开路线中的驻波        | 268        |
| § 11-4. 短路线中的驻波        | 273        |
| § 11-5. 传输线中的混波        | 274        |
| <b>第十二章 电波传播与天线</b>    | <b>275</b> |
| § 12-1. 赫芝偶极子及其辐射      | 275        |
| § 12-2. 无线电波的传播        | 280        |
| § 12-3. 元天线            | 287        |
| § 12-4. 对称振子           | 291        |
| § 12-5. 不对称接地振子        | 299        |
| § 12-6. 同相及反相天线系统      | 301        |
| § 12-7. 反射器和引向器        | 304        |



---

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| § 12-8. 行波天綫.....         | 307        |
| § 12-9. 长中波天綫.....        | 308        |
| § 12-10. 短波天綫.....        | 309        |
| § 12-11. 超短波天綫.....       | 312        |
| § 12-12. 微波天綫.....        | 312        |
| § 12-13. 接收天綫.....        | 313        |
| <b>第十三章 微波技术.....</b>     | <b>316</b> |
| § 13-1. 微波技术的一般知識.....    | 316        |
| § 13-2. 傳輸綫在微波技术上的应用..... | 317        |
| § 13-3. 微波电磁能的傳輸.....     | 319        |
| § 13-4. 諧振系統.....         | 321        |
| § 13-5. 微波电子管.....        | 322        |

## 緒 論

自从十九世紀中叶法拉第創立了電場和磁場的概念以后，電和磁的理論得到了迅速的發展。接着，麥克斯韋接受了法拉第場的概念，在 1864—1873 年間奠定了電磁場的理論基礎，從理論上證明了電磁波的存在，指出電磁波的性質與光波一樣。1887—1889 年赫茲用火花放電的方法獲得了電磁波，並且從實驗證明了電磁波具有與光波完全相同的性質。1895 年，俄國科學家亞·斯·波波夫發明了世界上第一部無線電接收機，為無線電技術的發展奠定了基礎。

在波波夫發明無線電後，無線電漸被各國採用作長短不等距離的通訊。到 1904 年二極真空管出現，1908 年三極真空管出現，無線電技術又前進了一大步。應當指出，電子管的發明是無線電技術迅速發展的關鍵。

從第二次世界大戰前夕開始，特別是在第二次世界大戰期間，由於雷達、電視及遠距離控制等技術的發展，無線電技術中的超高频技術獲得迅速的發展。超高频技術是近代科學與技術的最大成就之一，根據它本身的意義及其發展的速度，超高频技術可與噴氣技術，甚至可與原子能應用相提並論。

近來，電子管的代用品——半導體器件、磁性放大器件和介質放大器，已由試驗走到實際應用階段了。這些代用品目前雖然還不能完全代替電子管，在應用方面還有一定的限制，但可以肯定，它們是很有前途的。

近年來民用和軍用電子機件的应用範圍大為擴展。但是複雜機件的體積往往很大，目前正趨向於大力研究比較可靠的小型零

件 以及如何利用这些零件制成輕便、坚固的无綫电机。

无綫电从发明到现在,中間经过的时间虽不很长,但由于发展异常迅速,内容已很丰富。它今后的发展是无法估量的。

无綫电是一門新兴的技术科学,无綫电科学技术的发展,对发展整个国民經济、增强国防力量和滿足人民日益增长的文化需要有着巨大的作用,因为只有发展无綫电工业,才能供应国民經济各部門所需的无綫电設備,才能为国防建設提供各种无綫电通訊、无綫电定位、无綫电自动控制和远动控制設備,从而为国民經济各部門的发展和技术不断更新走向电气化、自动化以及实现国防現代化創造良好而必要的条件。

在測繪科学技术上无綫电技术得到日益广泛的应用。目前在大地測量应用无綫电技术主要有光速測距、微波測距、雷达測距和电子計算技术。

光速測距仪对于距离的精确測量具有重大意义。它的最大优点在于能够应用在地形复杂的地区,在那些地区,用般鋼尺无法进行測量,在通視良好的条件下,它的作用远度可达 36 公里,測量的精度最高可以达到  $1:500,000$ — $1:1,000,000$ 。

微波測距仪是利用超高频无綫电波的傳播时间来測量距离。其測量的有效距离,最短可到 150 米,最长可达 60 公里,測量的精度約为  $1:300,000$ 。这种仪器的优点是:体积小和重量輕,便于运输和携带;操作简单,能迅速得到所需要的結果(比光速測距仪快得多),它对觀測条件的要求并不十分严格,虽然它也要求普通的通視条件,但能見度对它无关重要,它可在不严重的障碍物(如烟霧或小雨)中以及任意时间(白天或夜晚)下进行工作。

在大地測量的平差計算中,要計算几百个方程式。如果使用手搖或电动計算机配合各种用表来进行这种繁重計算工作,需要很长时间。假使用电子計算机,則这样龐大复杂的計算工作在很

短時間內就可以完成。例如解算870個誤差方程式求得240個未知數的平差問題，對於一個有經驗的計算員來說需用60個工作日，而用電子計算機解算則僅需1小時30分。

雷達測距就是利用發射與反射的無線電信號之間相隔的時間測量距離的。在大地測量上，可用於建立大網眼的量邊三角網（三邊網），作大面積的平面控制，而其更大作用在於應用到航空攝影測量上（稱為雷達航測），即運用無線電導航原理來確定航空攝影機在曝光瞬時的空間位置。在航空攝影測量的內業工作中，正愈來愈多地應用無線電技術。

以上所述的僅是目前無線電在測繪科學上應用的幾個主要例子。無線電技術在測繪科學技術中的應用還是很年輕的。可以斷定它將繼續促進測繪科學技術向尖端方向的发展，甚至將引起測繪科學技術的巨大變革。

下面我們來談一談蘇聯和我國的無線電發展的情況。

俄國是無線電的誕生地。現在，蘇聯的無線電技術是世界上最先進的國家。在偉大的十月社會主義革命以前，當時的俄國尽管有了無線電報的發明，但無線電技術却呈現一幅可憐的景象。沙俄時代，只是在不能用任何其他工具來進行通訊的情況下，才採用無線電通訊的。

十月革命之後，無線電工業技術受到蘇聯黨和政府很大的重視，從此以後，蘇聯的無線電技術科學獲得了飛躍的發展。蘇聯的工廠勝利地掌握了生產現代無線電設備的技術，蘇聯的科學家和無線電工作者們對無線電電子學中存在的一系列理論和實際問題的解決，使這門科學技術進入新的歷史階段，作出了巨大的貢獻。

蘇聯人造衛星、宇宙火箭和宇宙飛船的發射成功，是蘇聯人民和科學家對世界科學文化發展所作出的劃時代的貢獻，為人類

探索自然的秘奧开辟了新紀元。宇宙火箭从发射到进入軌道要经过一系列的操作，这一系列的操作要求非常精确的控制和遙控系统。所以宇宙火箭的发射成功也标志着苏联科学在自动控制和計算技术方面的高度成就。

在苏联人民宏伟的建設共产主义的七年計劃中，規定扩大广播电台的发射能力，加速电视广播和超短波广播的广泛应用，以及应用彩色电视。

东风压倒西风，在无綫电技术方面也是如此。苏联科学家們为这一門新兴的技术部門揭开了日新月异的远景，并将这种技术应用于保卫和平和建設共产主义的事业。我們應該努力向苏联学习，使我国的无綫电技术在最短时期赶上世界先进水平。

我国无綫电的发展，解放前后是一个强烈而鮮明的对比。

解放前，由于帝国主义和官僚資本主义势力的垄断和統治，旧中国仅有的几个无綫电企业，規模很小，技术落后，只能依賴进口电子管和元件进行装配。而这些无綫电企业，在解放前夕，遭到国民党反动統治的严重破坏，大部分已陷于停頓状态。

解放以后，在党和政府的领导下，经过三年的恢复和发展，到1952年，无綫电工业已經由装配、修理走向制造。

在第一个五年計劃建設时期中，重点地建設了一批現代化的无綫电工业的骨干企业。这些現代化企业投入生产后，从根本上改变了旧中国所遗留下来的无綫电工业的落后面貌。在这时期，我国已經能够制造和生产多种現代化的无綫电設備。

自1958年的大跃进以来，我国的无綫电工业获得了更大的发展。現在我国已經試制成功很多新产品，其中包括高級的无綫电收发訊設備以及各种类型的电子管和无綫电元件。

除了无綫电工业外，在无綫电电子学的科学研究方面，我們也有了飞跃的发展。

我国无綫电科学技术和大跃进，証明了党的鼓足干劲、力爭上游、多快好省地建設社会主义的总路綫的正确。它为群众所掌握已轉化为伟大的力量。

目前，我国的无綫电事业和其他各項建設事业一样，正以更大跃进的步伐向前猛进，我們的前途是光輝无比的。

# 第一章 交流电

在电工和无綫电技术中,广泛地应用着交流电。因此,关于交流电的知識,是学习电工和无綫电时所必须具备的基础知識。

大小和方向随着時間作周期性变化的电流叫做交流电流,如果是电压或电动势,則叫做交流电压或交流电动势,总称之为交流电。

一个电路,如果其中的电流是交流的,則此电路称为交流电路。研究交流电路要比研究直流电路复杂得多。

在近代电工方面,交流电应用得极其广泛。这主要是因为交流电可以应用变压器任意变换电压。在輸电时将电压升高以减少損失,而在用电时又变回成低压以保証安全,并减少电器的絕緣費用。此外,交流发电机在結構上比直流发电机簡單,这也是广泛应用的原因之一。

本章我們將对交流电的基本性質进行分析討論。由于通常工程上所应用的交流电都是按正弦規律变化的所謂正弦交流电,所以我們今后的討論也仅限于正弦形交流电。

## § 1-1. 正弦形交流电

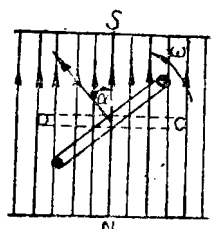


图 1-1.

在均匀磁場內以等角速度旋轉的平面綫圈,如其旋轉軸綫垂直于磁場力綫(图 1-1),就是一座正弦形交流电动势的发电机当  $\alpha=0$ ,就是說当綫圈平面的法綫与磁力綫方向一致时,穿过綫圈的磁通  $\Phi$  为最大值  $\Phi_m$ 。随着綫圈的轉动,穿过綫圈的磁通  $\Phi$  也随之变化,其

变化规律可用公式表示为:

$$\Phi = \Phi_m \cos \alpha.$$

如果线圈以等角速度  $\omega$  旋转, 而在初瞬间  $t=0$  的时候, 线圈平面的法线与磁力线间的夹角为  $\psi$ , 那么

$$\alpha = \omega t + \psi,$$

$$\Phi = \Phi_m \cos(\omega t + \psi).$$

由于线圈中通过的磁通量是变的, 根据法拉第电磁感应定律可知感应在此线圈内的电动势应为:

$$\begin{aligned} e &= -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d[\Phi_m \cos(\omega t + \psi)]}{dt} \\ &= \omega \Phi_m \sin(\omega t + \psi) \\ &= E_m \sin(\omega t + \psi), \end{aligned}$$

式中,  $e$  表示感应电动势的瞬时值,  $E_m$  表示感应电动势的最大值(幅值)。正弦的幅角  $\omega t + \psi$  称为电动势的相, 在  $t=0$  时的相称为初相, 物理量  $\omega$  称为交流电动势的角频率。幅值、初相及角频率为交流电的三个参量。

图 1-2 表示上述感应电动势的变化曲线。

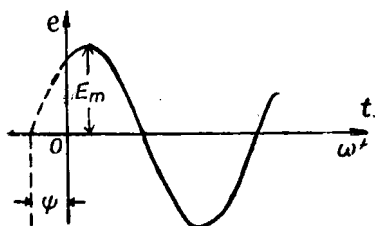


图 1-2.

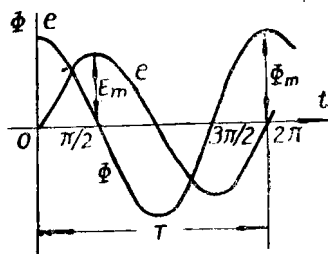


图 1-3.

图 1-3 表示  $\psi=0$  时的磁通  $\Phi$  与电动势  $e$  的变化曲线。从这两根曲线和算式中都可以看出, 只有在  $\Phi=0$  时, 线圈内感应的电动势才是最大值。在物理意义上可以解释为: 在这个时刻, 线圈



圈切割磁力线的速率达到最大值。

图 1-3 中的时间  $T$  称为周期，它表示交流电动势变化一周所需的时间。

单位时间内电动势的变化所完成的循环数称为频率  $f$ 。根据这个定义，频率应该是周期的倒数：

$$f = \frac{1}{T}.$$

周期、频率及角频率三者的关系如下：

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}.$$

### § 1-2. 交流电的有效值

一般情况下，用瞬时值表示交流电的量值是没有意义的。但是，如果用它的最大值来表示，则有时就不能反映出它的真实效果。这里所谓效果，即在一较长的时间内，以电功率、电能等来衡量交流电的平均效果。另外，我们还希望能与直流电的效果作一比较，使尽可能地得到一致的计算公式。为此，需要引出一个新的，用以衡量交流电大小的量，即所谓有效值。

有效值的定义是这样的：一交流电通过电阻，在它的一个周期内产生的热量和一直流电通过同一电阻在相同时间内产生的热量相等时，这样的直流电的值称为该交流电的有效值。

直流电通过电阻  $r$  在交流电一个周期内所产生的热量：

$$Q = 0.24 I^2 r T.$$

交流电通过同一电阻在一个周期内所产生的热量

$$Q = 0.24 \int_0^T i^2 r dt.$$

根据定义，两式的热量  $Q$  相等，得：