

188.78-110

超高频无线电

孟佩編

人民邮电出版社

超 高 頻 無 綫 電

孟 佩 編

湯 國 叔 審 閱

人 民 郵 電 出 版 社

內 容 提 要

本書內容分三部分：第一部分講傳導、輻射和傳播，包括電磁波的基本理論、天綫、輸送綫、波導管和空腔諧振器；第二部分講超高频發生器，包括負柵振盪器、正柵振盪器、磁控管和調速管；第三部分講超高频的应用，主要講雷達和微波接力电路兩部分。

超 高 頻 無 綫 電

編 者：	孟	佩
審 閱 者：	湯	國 仁
出 版 者：	人 民 郵 電 出 版 社 北京东四区 6 条胡同十三号	
印 刷 者：	北 京 市 印 刷 二 廠	
發 行 者：	新 華 書 店	

書号：无70 1956年9月 北京第一版第一次印刷 1—6,800册
787×1092 1/32 155頁 印張11 $\frac{13}{27}$ 字數225,000字 定價(9)1.30元

★ 北京市書刊出版業營業許可証出字第〇四八號 ★
統一書号：15045

序 言

近代無線電技術之迅速發展，使得無線電的應用範圍日益擴大；在工業、農業、國防、交通運輸和醫療等國民經濟的各個部門中，都靠着無線電技術的特殊應用，來完成重要的任務。電子計算機和原子能是廿世紀科學上的兩大貢獻，電子計算機能够在很短的時間內進行計算許多複雜而困難的數學問題，使科學研究工作節省許多時間和精力；原子能用於和平事業，無疑地將為人類謀取最大的幸福；這兩種極重要的科學發明都是在無線電研究的基礎上建立起來的。

我國正在進行偉大的社會主義建設，在建設事業中，無線電技術將發生巨大的作用。超短波與微波無線電是無線電發展的新的領域，但是直到目前為止，關於這方面的中文書籍很少，因此編者特就其原理與應用加以介紹；本書分為三部分：第一部分講電波傳導、輻射和傳播，第二部分講發生器，第三部分講應用，可以作為大專學校無線電系學生及無線電工作人員參考和進修之用。

超短波與微波尚無明確的界限，故本書稱為超高频無線電，包括超短波與微波。

本書譯名除一部分國內已通用外，其餘皆編者臨時譯出，原文名稱附後。

編者學識淺陋，又限於時間，錯誤在所難免，尚請讀者隨正。

孟 侃

1955 年 10 月於交大

目 錄

第一部分 傳導，輻射，傳播

序 言

第一章 电磁学之基本理論	1
1. 庫倫定律	1
2. 電場及磁場強度	2
3. 電位及磁位	2
4. 電感應、磁感應、電通、磁通	5
5. 泊松及拉普拉斯方程式	7
6. 位移電流及電流連續方程式	9
7. 磁動勢及安培定律	12
8. 電動勢及法拉第定律	14
9. 麥克斯韋方程式及電磁波方程式	16
10. 平面波	18
11. 圓柱面波	19
12. 球面波	27
13. 電磁波能量之傳播	35
第二章 天綫	36
1. 一小段直綫上電流所引起之電磁場	36
2. 一定長度之直綫天綫所生之輻射電磁場	40
3. 大地影響	43
4. 天綫陣	45
5. 其他天綫體系	47
6. 天綫之阻抗	50

第三章 普通輸送綫之应用51

1. 緒論51
2. 輸送綫之設計53
3. 輸送綫用作諧振綫路54
4. $\frac{1}{4}$ 波長輸送綫作阻抗變換器57
5. 配合支綫58

第四章 長方形波導管62

1. 長方形金屬導管可引導之電磁波63
2. H 波 (TE 式)64
3. H_{nm} 波之傳導性質67
4. H_{nm} 波实例69
5. E 或 TM 波73
6. 非理想導體波導管之衰減76

第五章 圓柱形波導管77

1. 緒論77
2. E 式波 (TM) 在波導管內之傳導79
3. E_0 波81
4. E_1 波86
5. H 波86
6. H_0 波88
7. H_1 波89
8. 各種波型傳導之比較90
9. 非理想導體圓柱波導管的損耗90
10. 波導管之特性阻抗92
11. 同心線94
12. 同心線基本波之衰耗99

第六章 空腔諧振器	100
1. 緒論	100
2. 理想導體之長方形空腔諧振器	101
3. 非理想導體之長方形空腔諧振器	105
4. 圓柱形空腔諧振器	109
5. 非理想導體之圓柱諧振器	111
6. 同心圓柱諧振器	114
7. 球形空腔諧振器	117
8. 對空腔諧振器之匹配	118
第七章 波導管之附件及其應用	119
1. 緒論	119
2. 探測檢波器	120
3. 波導管內之過濾器	124
4. 波導管之應用	128
5. 波導管充濾波器	128
6. 阻抗匹配	128
7. 終端設備	130
8. 複式傳輸	130
第八章 電磁波喇叭及反射體	131
1. 緒論	131
2. 圓柱波導管終端之輻射	132
3. 長方波導管終端之輻射	132
4. 長方形喇叭	133
5. 圓形喇叭	136
6. 複式喇叭	141
7. 拋物綫狀反射體	141
第九章 微波及超短波傳播	143

1. 超短波之特性	143
2. 地面上兩天綫間可能到達之直視距離	143
3. 直射波与反射波之干擾	144
4. 超过直視距離之傳播	146
5. 空氣中之吸收	148
6. 各种作用对通信所發生的实际影响	148

第二部分 超高频發生器

第十章 負柵振盪器 150

1. 緒論	150
2. 各項要求	151
3. 真空管之頻率限制	152
4. 超短波管之設計与構造	157
5. 等效線路	162
6. 波長調節器及寄生振盪压制器	162
7. 电源供給	164
8. 普通單管振盪器	165
9. 灯塔管振盪器	166
10. 調屏調柵推挽式振盪器	168
11. 調柵調陰推挽式振盪器	171
12. 調屏調柵調陰推挽式振盪器	172
13. 环形振盪器	174

第十一章 正柵振盪器 175

1. 緒論	175
2. 平面電極三極管內电子之行过時間	175
3. 圓柱電極三極管內电子行过時間	178
4. 各式振盪頻率与波長	180
5. 柵極綫路中之振盪	181

6. 屏極陰極間之振盪	184
7. 屏極綫路或陰極綫路之振盪	186
8. 正柵管之負电阻作用	187
9. 螺紋正柵管	188
10. 正柵管的缺點	189
第十二章 磁控电子管	189
1. 緒論	189
2. 靜态情况电子行動的路綫	190
3. 負电阻磁控管振盪器	195
4. 行过時間磁控管振盪器	197
5. 磁控管之实际应用及設計	202
第十三章 調速电子管	204
1. 緒論	204
2. 克來斯 (Klystron) 管	205
3. 使电子成羣作用之原理	206
4. 克來斯管內之相位轉移	210
5. 克來斯管用作振盪器	211
6. 克來斯管之設計与应用	214
7. 反射克來斯管	215
8. 感应放大管	215
9. 行波管	217
10. 各种电子管之比較	218
第三部分 超高频的应用	
第十四章 雷達	219
1. 緒論	219
2. 重複脉衝波的頻帶	221
3. 低平脉衝發生器	222

4. 高平脉衝發生器及調制器	233
5. 陰極射綫顯示器	236
6. 雷達各种应用的介紹	240
第十五章 移動电台, 近距离廣播, 無線电接力綫路	250
1. 超短波無線电话	250
2. 調頻無線电	251
3. 电视	254
4. 多路無線电接力綫路通訊体系	256
4.1 分類 4.2 移換 4.3 同步 4.4 分路与去調制 4.5 脉衝 調制 4.6 無線电多路接力綫路通訊系統举例	
附錄(一)参考書目	297
附錄(二)中英名詞对照表	298

第一部分

傳導, 輻射, 傳播

第一章

電磁波之基本理論

1. 庫倫定律

庫倫定律說明電荷與電荷間及磁極與磁極間所存在的相互作用力, 與電荷量或磁極強度的乘積成正比, 與其間距離的平方成反比, 用公式表示:

靜電力:
$$F_e = \frac{1}{4\pi} \frac{q q'}{\epsilon r^2}, \quad (1)$$

靜磁力:
$$F_m = \frac{1}{4\pi} \frac{m m'}{\mu r^2}. \quad (2)$$

式中 q, q' 代表電荷量, m, m' 代表磁極強度, r 代表距離, F 代表作用力, 所用單位為合理化的實用單位 (MKS), ϵ 為介質電容係數, 它與真空電容係數 ϵ_0 的比 K_e , 稱為相對介質電容係數或介質常數, K_e, ϵ 因介質而不同, ϵ_0 為一固定數值, 在合理化 MKS 制裏;

$$\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9} \doteq 8.854 \times 10^{-12} \quad \text{法/公尺} \quad (3)$$

$$\epsilon = K_e \epsilon_0. \quad (4)$$

μ 為物質之磁導係數, 它與真空磁導係數 μ_0 的比 μ_m , 稱為物質的相對磁導係數, 在合理化 MKS 制裏:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} = 1.257 \times 10^{-6} \quad \text{亨/公尺}. \quad (5)$$

$$\mu = \mu_m \mu_0. \quad (6)$$

某些物質， μ_m 稍小於 1，称为反磁性物質，另些物質的 μ_m 稍大於 1，称为順磁性物質，少數物質 μ_m 远大於 1，称为磁性物質，在真空中， K_r 及 μ_m 皆为 1。

电荷的單位为庫倫，在真空中兩相等电荷，当其間距离为 1 公尺，其相互作用的力为 9×10^{-9} 牛頓時，則此每一电荷量为一庫倫。

磁極的單位为韋伯，在真空中兩相等磁極，当其間距离为 1 公尺，其相互作用的力为 $10^7/16 \pi^2$ 牛頓時，則此每一磁極的强度为一韋伯。

2. 电場及磁場强度

电力綫或磁力綫所作用的區域，称为电場或磁場。

电場中單位电荷所受的力，称为电場强度，用向量 $\vec{E}$ 來表示。若电荷 q' 放在电場中，其場强为 E ，則电荷所受的力 F_e 为：

$$\vec{F}_e = q' \vec{E}. \quad (1)$$

若 E 由电荷 q 所產生，則 E 为：

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon r^2} \text{ 牛頓/庫倫 (或伏特/公尺) } \quad (2)$$

磁場中單位磁極所受的力，称为磁場强度，用向量 $\vec{H}$ 來表示。若磁極 m' 放在磁場中，其場强为 H ，則磁極所受的力 F_m 为：

$$\vec{F}_m = m' \vec{H} \quad (3)$$

若 H 为磁極 m 所產生，則 H 为：

$$H = \frac{m}{4\pi\mu r^2} \text{ 牛頓/韋伯 (安匝/公尺) } \quad (4)$$

3. 电位及磁位

电場或磁場强度，也可由电位或磁位的概念求出，电位或磁位

在任何方向的变化率，等於該方向的電場或磁場強度，若 V 代表電位，則：

$$-\frac{dV}{dl} = E \cos \theta; \quad dV = -E \cos \theta dl, \quad (1)$$

θ 為 E 與 dl 之間的角度。

若 U 代表磁位，則：

$$-\frac{dU}{dl} = H \cos \theta; \quad dU = -H \cos \theta dl, \quad (2)$$

θ 為 H 與 dl 之間的角度。

乘積 $E q \cos \theta dl$ 及 $H m \cos \theta dl$ 皆代表功，因 $E q \cos \theta$ 或 $H m \cos \theta$ 為力，而

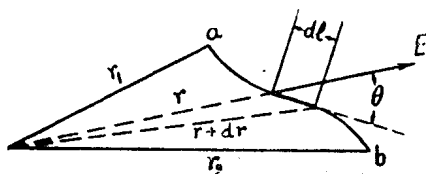


圖 1

dl 為距離。假定一電荷從一點移至另一點，必須作功，此功可由 (1) 式積分得出。如圖 1，移單位電荷從 b 至 a ，則所作之功為：

$$\int_b^a dV = - \int_b^a E \cos \theta dl = - \int_b^a \frac{q}{4\pi\epsilon r^2} \cos \theta dl, \quad (3)$$

因為 $\cos \theta dl = dr$,

$$\text{故} \quad \int_b^a dV = - \int_{r_2}^{r_1} \frac{q}{4\pi\epsilon r^2} dr = \frac{q}{4\pi\epsilon} \left(\frac{1}{r} \right) \Big|_{r_2}^{r_1}, \quad (4)$$

$$V_a - V_b = \frac{q}{4\pi\epsilon r_1} - \frac{q}{4\pi\epsilon r_2} = \frac{q}{4\pi\epsilon} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right). \quad (5)$$

假如單位電荷在兩點間沿另一路線移動，所得結果應相同，否則當携一電荷由 a 至 b ，再沿另一綫路而回至 a 時，前後的功將有一差額而不能平衡，繼續此作用，將憑空產生或損失許多功，與能量

保持定律不符。故只需終點相同，沿各路線所作的功皆同，每點只有一個電位或磁位。用 $\oint_e$ 代表沿任一閉合迴路的綫積分，則：

$$\oint_e E \cos \theta \, dl = 0. \quad (6)$$

$$\oint_e H \cos \theta \, dl = 0. \quad (7)$$

(6) (7) 二式只在靜電或靜磁場中有效。

當 b 點在無窮遠， $r_2 = \infty$ ，則：

$$V_a = \frac{q}{4\pi\epsilon r_1}. \quad (8)$$

因此在靜電體系，某一點的電位 V ，是從無窮遠移一單位正電荷至此點所作的功，等於：

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon r} \quad \text{焦耳/庫倫}. \quad (9)$$

q 為產生電場的電荷， r 為從此點至 q 的距離。

同樣在靜磁體系，某一點的磁位 U ，是從無窮遠移一單位北極至此點所作的功，等於：

$$U = \frac{m}{4\pi\mu r} \quad \text{焦耳/韋伯}. \quad (10)$$

電位或磁位均為一數量，可直接加減，與電場及磁場皆為向量，需用向量加減法不同。電位和磁位本身雖為數量，但其在某方向的梯度等於電場或磁場，則為向量。電場或磁場可沿垂直座標軸的各個軸分成各分向量 $\dot{E}_x$ 、 $\dot{E}_y$ 、 $\dot{E}_z$ 、 $\dot{H}_x$ 、 $\dot{H}_y$ 、 $\dot{H}_z$ ，電場或磁場為各分向量的和。

$$\dot{E} = \dot{i} E_x + \dot{j} E_y + \dot{k} E_z, \quad (11)$$

$$\dot{H} = \dot{i} H_x + \dot{j} H_y + \dot{k} H_z. \quad (12)$$

$$\text{因为 } E_x = -\frac{\partial V}{\partial x}, \quad E_y = -\frac{\partial V}{\partial y}, \quad E_z = -\frac{\partial V}{\partial z}. \quad (13)$$

$$H_x = -\frac{\partial U}{\partial x}, \quad H_y = -\frac{\partial U}{\partial y}, \quad H_z = -\frac{\partial U}{\partial z}. \quad (14)$$

$$\text{故 } \dot{E} = -\left(i \frac{\partial V}{\partial x} + j \frac{\partial V}{\partial y} + k \frac{\partial V}{\partial z}\right). \quad (15)$$

$$\dot{H} = -\left(i \frac{\partial U}{\partial x} + j \frac{\partial U}{\partial y} + k \frac{\partial U}{\partial z}\right). \quad (16)$$

在向量分析中，用符号 Grad 或 ∇ 代表 $\left(i \frac{\partial}{\partial x} + j \frac{\partial}{\partial y} + k \frac{\partial}{\partial z}\right)$ ，称为梯度，因此：

$$\dot{E} = -\text{Grad } V = -\nabla V, \quad (17)$$

$$\dot{H} = -\text{Grad } U = -\nabla U. \quad (18)$$

4. 电感应、磁感应、电通、磁通

与场的强度向量有关的还有场的感应向量，某点的电感应量等於该点的电场强度，与介质电容係数的乘积。通常用符号 D 代表：

$$\dot{D} = \epsilon \dot{E} = \epsilon_0 \dot{E} + \dot{P}. \quad (19)$$

$\epsilon_0 E$ 代表没有介质时，在同样的电场强度 E ，所有的电感应， P 代表介质极化所产生的电感应。

$$D_x = \epsilon E_x, \quad D_y = \epsilon E_y, \quad D_z = \epsilon E_z \quad (20)$$

某点的磁感应量等於该点的磁场强度，与物质磁导係数的乘积，通常用符号 B 代表：

$$\dot{B} = \mu \dot{H} = \mu_0 \dot{H} + \dot{M}. \quad (21)$$

$\mu_0 H$ 是在真空中的磁感应量。 M 代表物质磁化所产生的磁感应量。

$$B_x = \mu H_x, \quad B_y = \mu H_y, \quad B_z = \mu H_z. \quad (22)$$

向量 D 或 B 与所穿过的垂直面積的乘積，称做該向量的向量通，
电向量通用 ψ 表示，面積用 S 表示，則：

$$d\psi = D \cos \theta ds = \vec{D}_n \cdot \vec{ds}, \quad (23)$$

通过某一總面積 S 的电通为：

$$\psi = \iint_S D \cos \theta ds = \iint_S \vec{D}_n \cdot \vec{ds}. \quad (24)$$

$\iint_S$ 表示在 S 面積內的面積分， D_n 为垂直於 S 的电感应。

同样磁通用 ϕ 表示，則：

$$d\phi = B \cos \theta ds = \vec{B}_n \cdot \vec{ds}, \quad (25)$$

通过某一總面積 S 的磁通为：

$$\phi = \iint_S B \cos \theta ds = \iint_S \vec{B}_n \cdot \vec{ds}. \quad (26)$$

B_n 为垂直於 S 的磁感应。

通过封閉面積的向量通，可由高斯定律極簡單的求出。即：

通过包圍电荷 q 的任一封閉表面的电通等於 q ，

通过包圍磁極 m 的任一封閉表面的磁通等於 m 。

關於电通，高斯定律可証明如下：

$$D = \epsilon E = \frac{q}{4\pi r^2}, \quad (27)$$

$$\psi = \iint_S \frac{q}{4\pi r^2} \cos \theta ds, \quad (28)$$

令 $d\Omega$ 代表在 q 點 ds 面积所对的空間角，則：

$$d\Omega = \frac{ds_n}{r^2} = \frac{\cos \theta ds}{r^2}, \quad (29)$$

$$\therefore \psi = \iint_S \frac{q}{4\pi} d\Omega = \frac{q}{4\pi} \iint_S d\Omega = \frac{q \cdot 4\pi}{4\pi} = q. \quad (30)$$

在合理化 MKS 制，每單位电荷，有單位电通，在離開电荷 1 公尺的表面上，电通密度为 $\frac{1}{4\pi}$ 。

5. 泊松及拉普拉斯方程式

設电場中有一尺度为 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ 的矩形体積 Δv ，其一頂點的座标为 x, y, z ，今欲確定在 Δv 表面 D 的積分值，令 $\vec{D}_x$ 代表經過 (x, y, z) 點的 $\Delta y \Delta z$ 面積內的平均垂直电感应向量，在相对的 $\Delta y \Delta z$ 小面積內，电感应向量的平均垂直分量將为：

$$\vec{D}_x + \frac{\partial \vec{D}_x}{\partial x} \Delta x, \quad (1)$$

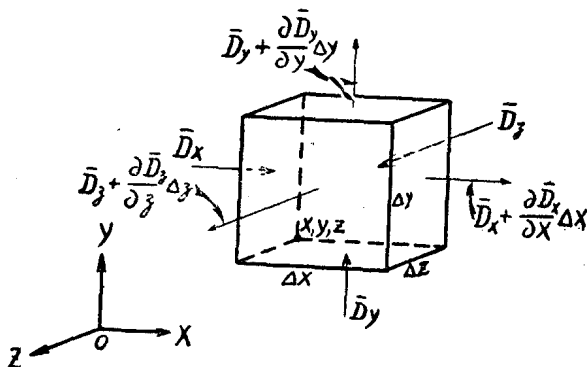


圖 2

同样的可寫出矩形其他各相对面的电感应量。 D 在 $\Delta \tau$ 体積的全表面積分为：

$$\begin{aligned} \psi = \int \int_s \vec{D}_n \cdot d\vec{s} = & -\vec{D}_x \Delta y \Delta z + \left(\vec{D}_x + \frac{\partial \vec{D}_x}{\partial x} \Delta x \right) \Delta y \Delta z \\ & - \vec{D}_y \Delta x \Delta z + \left(\vec{D}_y + \frac{\partial \vec{D}_y}{\partial y} \Delta y \right) \Delta x \Delta z - \vec{D}_z \Delta x \Delta y \\ & + \left(\vec{D}_z + \frac{\partial \vec{D}_z}{\partial z} \Delta z \right) \Delta x \Delta y, \end{aligned}$$