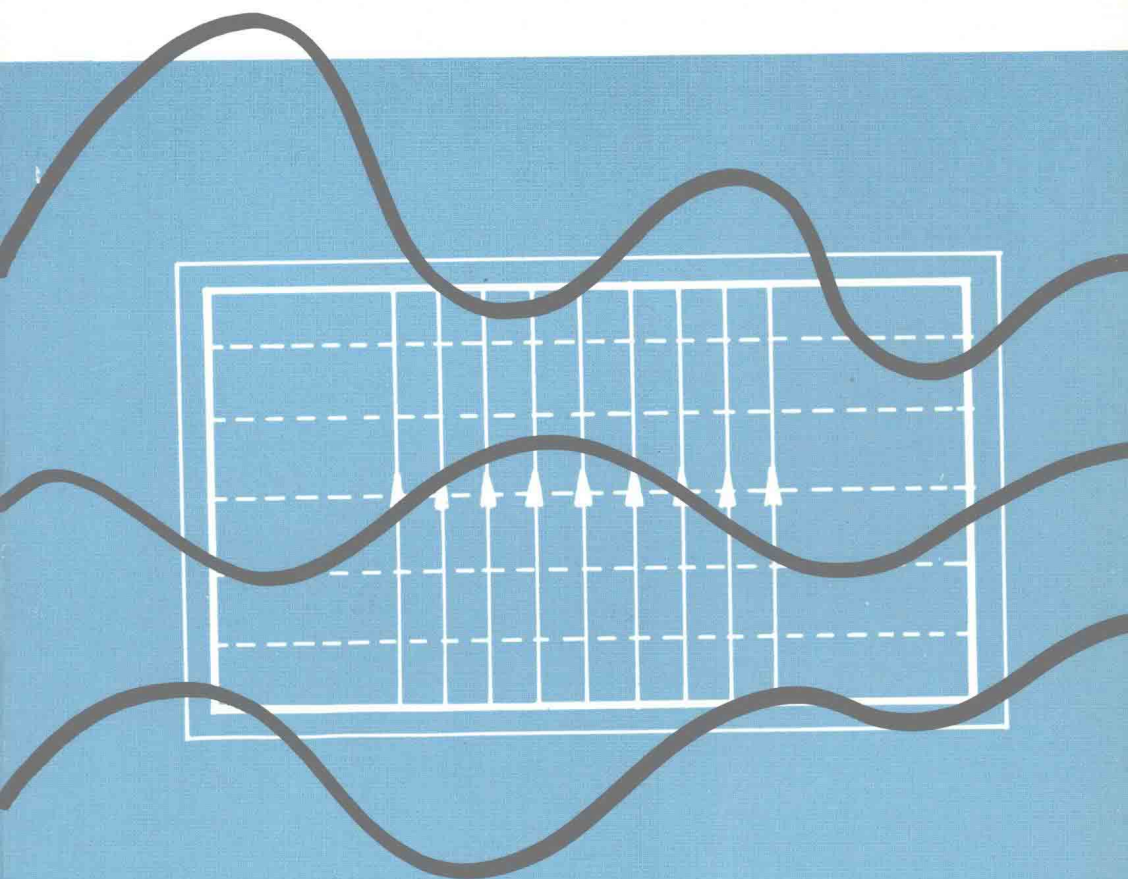


電波工程

黃勝彥 編著



全華科技圖書公司印行

最新部訂課程標準

電波工程

黃勝彥 編著

江苏工业学院图书馆
藏 书 章



全華科技圖書公司印行



全華圖書

法律顧問：陳培豪律師

電波工程

黃勝彥 編著

出版者 全華科技圖書股份有限公司

地址 / 台北市龍江路76巷20-2號2樓

電話 / 5 8 1 1 3 0 0 (總機)

郵撥帳號 / 0 1 0 0 8 3 6 - 1 號

發行人 陳 本 源

印刷者 華 一 彩 色 印 刷 廠

門市部 全友書局(黎明文化大樓七樓)

地址 / 台北市重慶南路一段49號7樓

電話 / 3 6 1 2 5 3 2 • 3 6 1 2 5 3 4

定 價 新臺幣 140 元

再版 / 73年11月

行政院新聞局核准登記證局版台業字第〇二二三號

版權所有 翻印必究

圖書編號 016263

我們的宗旨：



感謝您選購全華圖書
希望本書能滿足您求知的慾望

為保護您的眼睛，本公司特別採用不反光的米色印書紙。!!

序

無線電通訊無論是短波、超短波、微波、衛星通訊等等，均需利用電波來傳播而達到通訊的目的，因此對通訊技術之研究與改進，電波工程是一門不能缺少之基本學識。

本書共分五章，第一章特別將電磁學引伸應用到電磁波，及說明平面波之各種特性，第二章深入介紹傳輸線各種特性及應用實例，第三章提及導波及導波管之應用，第四章介紹各種實用天線之特性及應用，第五章簡介各種無線電波在空間傳播的特性。

本書可適用於二專、五專、電子電機科系皆可採用為課本或供無線從業人員自修參考用書。

本書利用公餘時間編寫，如有疏漏之處，祈請讀者與先進不吝指正。本書能順利完成承陳健義、郭秋勳、安妮三位之協助，在此特申謝意。

編著者 黃勝彥 於

民國 67 年 7 月 31 日

目 錄

第一章 電磁波

1-1 電磁場.....	1
1-2 電磁理論.....	9
1-3 邊界條件.....	19
1-4 Poynting 向量與功率傳送.....	25
1-5 電波之極化特性.....	35
1-6 平面波.....	39

第二章 傳輸線

2-1 簡介.....	65
2-2 傳輸線的種類與應用.....	68
2-3 傳輸線方程式.....	70
2-4 無限長綫.....	75
2-5 接收端負荷阻抗之特性及反射係數.....	78
2-6 史密斯圖表的應用.....	82
2-7 短路綫及駐波.....	91
2-8 開路綫及駐波.....	94
2-9 傳輸綫上的駐波.....	97
2-10 駐波比.....	99
2-11 駐波比的影響.....	104
2-12 無損耗綫路的阻抗特性.....	107
2-13 傳輸綫等擬電路元素.....	113
2-14 綫路的構成及其特性.....	115

2-15 一對明綫的電感及電容·····	117
2-16 無綫電傳輸綫的特性阻抗·····	118
2-17 同軸電纜的應用·····	120
2-18 同軸電纜的一般公式·····	122

第三章 導波器

3-1 導引波與非導引波·····	127
3-2 波導之優缺點·····	127
3-3 波導之形成·····	129
3-4 電波在波導內之型態·····	130
3-5 電極的極化·····	135
3-6 波導之激勵方法·····	137
3-7 波導的匹配·····	139

第四章 天線

4-1 天綫之基本原理·····	143
4-2 半波雙極天綫·····	145
4-3 半波天綫的輻射特性·····	146
4-4 天綫的獲益與指向性·····	147
4-5 半波天綫的長度·····	149
4-6 半波天綫的阻抗·····	151
4-7 天綫的損耗及效率·····	153
4-8 天綫的有效面積·····	154
4-9 多元件天綫列·····	157
4-10 各種形式天綫列·····	159
4-11 天綫列上之相位檢驗·····	163
4-12 八木天綫—寄生元件組·····	165
4-13 反射器型天綫·····	166
4-14 天綫與傳輸綫之匹配·····	172

第五章 電波傳播

5-1 簡介.....	175
5-2 地球上方的空間.....	180
5-3 電離層的變化.....	183
5-4 地球傳播.....	185
5-5 天綫傳播.....	188
5-6 各頻帶內電波傳播的特性.....	191



電磁波

1-1 電磁場

1-1-1 電場與磁場 (Electric Fields and Magnetic Fields)

電場為一種對電荷作用之力場，即當在空間任點置一電荷，而此電荷即感受一種機械力之作用，以使其發生運動上之變化時，此空間即有電場存在，電場之強度，即以此機械力之強度量之。可表示如下：

$$E = \frac{F}{q} \quad \text{伏特／公尺 (volts／meter)} \quad (1-1)$$

式中之 q 表置於此場中任一點之電荷量， F 表此電荷所受之力（向量），故二者之比，為 E 之強度，而其方向則與所受之力之方向相同。

電場之產生：庫倫定律，當空間某點有一電荷 q_1 ，則在與其相距 r 處再置一電荷 q_2 時，此電荷 q 所受之力 F 為

$$F = a_r \frac{q_1 q_2}{4\pi \epsilon r^2} \quad \text{牛頓 (Newtons)} \quad (1-2)$$

2 電波工程

式中之 ϵ ，為該空間之介電率 (Permittivity)，以法拉/公尺 (Farads / meter) 表之，真空之介電率，以 ϵ_0 表之，其值 $\epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi}$ (f / m)，又 ϵ/ϵ_0 稱介電常數 (dielectric constant)，隨物體而變，例如水之介電常數為 80。由 (1-1) 式及 (1-2) 式，可見在 r 點 (與 q_1 之位置之距) 之電場為

$$E = a_r \frac{q_1}{4\pi\epsilon r^2} \text{ 伏特/公尺}$$

以上為由靜電荷 q_1 所產生之電場，稱靜電場，讀者以後將可看到電場亦可由其他方式產生之。

磁場：照電場定義，磁場應可定為一種對磁荷作用之力場，但事實上無單獨之磁荷存在，故不採此種定義，而改以對運動之電荷 (或電流) 作用之力場稱之為磁場，此種磁場強度，普通以 B 表之，亦為一向量，其單位為韋伯/平方公尺 (Webers / m²)。今以向量式表出其對電荷 q 之作用力 F 之關係

$$F = q (v \times B) \quad \text{牛頓 (Newtons)} \quad (1-3)$$

上式表在磁場中 (強度為 B)，如置以一運動電荷 q ，其速度為 v 時，則此電荷所受之力，為 $qvB\sin\theta$ (θ 為 v 向與 B 向之交角)，而此力向則與 v 之方向線與 B 之方向線所成之平面直交。

又因電荷運動，產生電流，故上式亦可書為 B 場對電流之作用力之式其推導程序如下：

設有導線，其截面為 A ，其長度為 L (設 A 及 L 均甚小)，且其所通過之電流為 I ，電流密度為 J ，電荷密度為 ρ ，每一電荷之速度皆為 v ，

則每單位時間通過單位截面之電流密度 J 爲

$$J = \rho v \quad (1-4)$$

而在此導線中（導線甚短且小，故電荷 q 可看爲集中於一點）之總電荷爲

$$q = AL\rho \quad (1-5)$$

$$(1-5) \text{ 式代入 } (1-3) \text{ 式得 } F = AL\rho \left(\frac{J}{\rho} \times B \right) = AL(J \times B)$$

上式以 AL 除之，得

$$F = J \times B \quad \text{牛頓／立方公尺 (Newtons / m}^3 \text{)} \quad (1-6)$$

(1-6) 式左邊表每單位體積（在某點上）上所受之力，即 B 場對電流密度 J 之作用力（Newtons / m³），其力向與 J 之方向線與 B 之方向線所成之平面成垂直。

磁場之產生：磁場可由電流產生之，即當在一導線上通以電流或使一羣電荷（或單一電荷）運動時，可在其周圍任一點產生 B 場，表示 B 場與電流之關係式之定律，稱 Biot-savart 定律，其式如下

$$B = \frac{\mu I}{4\pi r^2} L \times a_r \quad \text{W'ebbers / m} \quad (1-7)$$

如圖 1 - 1， L 表線段之長度（設甚小）， I 表通過此線段之電流， r 表電流所在點與觀察點 P 之距， B 表 P 點之磁場強度， a_r 表 r 向之單位向量，由 1 - 7 式可見 B 之強度爲 $B = \frac{\mu LI}{4\pi r^2} \sin\theta$ ，其方向爲與紙面垂直，且穿入紙面（設 L 與 r 均平行於紙面上）。電磁波爲電磁場之一種，故了解上述電磁場之基本定義，至爲重要。

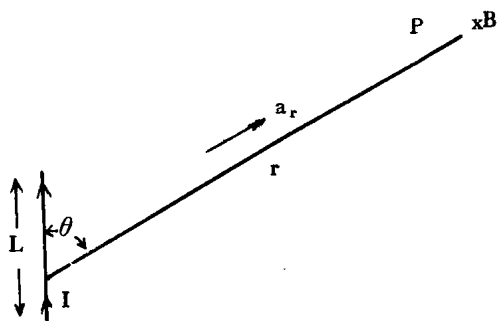


圖 1 - 1

1-1-2 D場及H場

D場：上節所述之電場，係以電磁學中之基本量電荷及物理學上之基本量機械力二者表之，由此定出之量，有實際可追溯，故電場在電磁學上屬於自然界中實有之一種現象，但有時為計算方便起見，常製出另一種量，例如D場，其定義為將某一物質內之電場E，乘以該物體之介電率 ϵ ，即稱為D，如下式：

$$D = \epsilon E \quad \text{庫倫/平方公尺} \quad (1-8)$$

電場乘以 ϵ 後，所成之量，究為何物，因無實質之量，可以採用，故祇能稱之為D場，或另定名為位移向量（Displacement vector），至於（1-8）式中，D之單位，雖與電荷密度同，但不表實質之電荷，例如在真空中有電場存在，即有D場存在（由1-8式），但真空中並無電荷存在也。

電通線（Electric Flux）：因電場不能為人目所察覺，故一般皆以虛擬之線，表示電場之方向，而線之密度，則用以表電場之強度，此種想像中每單位面積內之線數，即稱為電通線密度，有方向及量的多寡（大小），故仍可以E表之，在一面積A上之線之總數，則稱為電通線，以 ψ

表之，如下式

$$\phi = \int_A \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} \quad (1-9)$$

式中， dA 表 A 面上任一點之（如圖 1-2）微分面積，故 $\mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = E \cos \theta \, dA$ ，表穿過（垂直於 dA ） dA 面之電通線，積分符號 $\int_A$ 表在 A

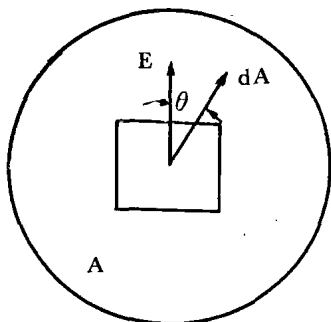


圖 1 - 2

上各點之電通線之和，讀者可注意，Flux 或通線之意，即表有穿過或垂直於各有關面之義，蓋以其雖有與面平行之分量，但不能表穿過，故不取之也（即 $E \cos \theta$ 之意）。

高斯定理 (Gauss Theorem)

此定理稱穿過一封閉面（包圍一體積之面）之電通線之總量，等於其體積內之電荷之總量 q ，除以該物體之介電率 ϵ ，以式表之，為

$$\phi = q / \epsilon \quad (1-10)$$

或

$$\int_A \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \int_v \frac{\rho}{\epsilon} \, dv \quad (1-11)$$

（1-11）式之左邊即表穿過 A （ A 表包圍體積 v 之封閉面）之電通線之總量之積分式，而其右邊之 ρ ，表在 v 內任一點之電荷密度， $\rho \, dv$

6 電波工程

表任一點之電荷量，積分符號 $\int_v$ 即表將體積內各點之電荷相加之意，如圖（1-3），如將（1-11）式二邊，各乘以 ϵ ，則得：

$$\int_A \mathbf{D} \cdot d\mathbf{A} = \int_v \rho \, dv \quad (1-12)$$

（1-12）式，改以 $\mathbf{D}$ 表 $\epsilon \mathbf{E}$ ，在書寫上較為簡單，故一般多用以高斯定

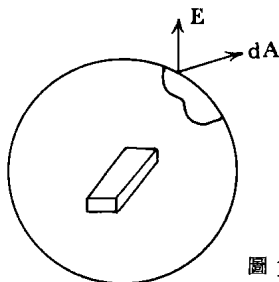


圖 1 - 3

理，而此定理之證明，係根據庫倫定律，又（1-10）式中之 q ，係表存在於空間之自由電荷（Free charge），同理（1-12）式中之 ρ ，即表自由電荷之密度，所謂自由電荷密度，即表任一點上可祇有正電荷，而同時沒有與之結合之負電荷存在，或有負電荷，而同時無正電荷存在。

H場：H場之定義，為B場與物體之導磁率（Permeability） μ 之比以式表之：

$$H = \frac{B}{\mu} \text{ 安培/公尺} \quad (1-13)$$

式中之 μ ，在真空中，以 μ_0 表之〔 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ 亨利/公尺，一般物體之 μ 值除鐵族金屬外，皆與 μ_0 之值甚為接近〕，若以B場看作基本場，則除以 μ 值所得之H場，其物理上之意義不明顯，故祇能同D場一樣，看作用於計算方便上之量。

磁通線 (Magnetic Flux) 與電通線相同，設想空間有許多表示磁場方向之力線，此線上任一點之線，即表同點上之磁場之方向 (B)，其密度 (單位面積上之線數) 即表 B 場之強度，故 B 亦可稱為磁通線密度，而穿過一面積上之線之總量，即稱為該面之磁通線 ϕ ，以式表之：

$$\phi = \int_A B \cdot dA \quad (1-14)$$

高斯定理：此定理稱穿過一封閉面之磁通線之總量為零，此定理如採用磁荷說法 (或等值磁荷)，則由庫倫定律可證出，而此時因無單獨磁荷存在，故正負磁荷之數相等而相消，故任一體積內之總磁荷皆為零，以下式表之：

$$\phi = 0 \quad (1-15)$$

或

$$\int_A B \cdot dA = 0 \quad (1-16)$$

上式亦可由 Biot-savart 定律證出。

安培定律 (Amper's Law)：此定律稱，在一環繞一面積 (空間曲面，不一定為平面) 之封閉線上，取其任一點之 H 場，在此線上作線積分，其值等於穿過此面之總電流之量 I ，以下式表之：

$$\int_{\ell} H \cdot d\ell = \int_A J \cdot dA \quad (1-17)$$

如圖 1-4，包圍一面 A (此種面，稱開放面) 之線 ℓ ，在其上任一點之 H 之向取任一點之 $H \cos \theta dl$ 之值，再沿線 ℓ ，取各點之此值相加，即得 1-17 式左邊之式，如同圖中，取 A 面上任一點之電流密度 J ，與其微分面 dA 之非向量乘積，即表通過該點之電流量，再同樣將面上各點之通過電流相加即得通過 A 面之總電流 I ，如 (1-17) 式右邊之積分式。但

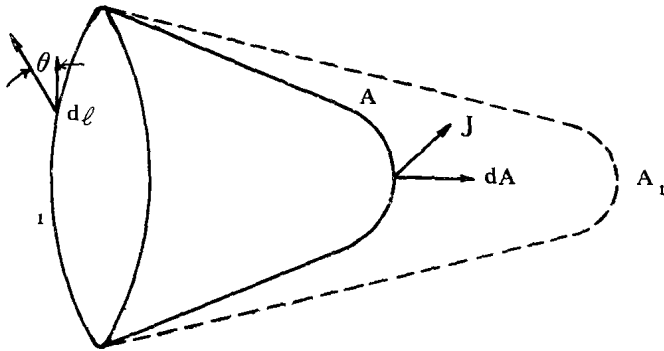


圖 1 - 4

須注意者：同一封閉線 ℓ ，其能取之開放面不止一個可能為 A 或 A_1 ，但不論取何面，(1-17) 式皆能成立，取 A_1 時即在 A_1 面上積分，因 (1-17) 式左邊之封閉線祇有一個，故其積分式皆同以 I 表之，因此右邊之積分式不論如何取法，皆應等於 I 。(1-17) 式，可由前述之 Biot-savart 定律證之，今取一例證之如下：

設有無窮長之線，通以電流 I ，則在其垂直距 r 處之 H 場

$$H = \frac{I}{2\pi r} \text{ 安培/公尺}$$

因對稱之故，在與線垂直之平面上，取半徑為 r 之圓周，其上任一點之 H 值，皆與上式同，其向皆與此圓周之切線同向，如圖 1 - 5，故得

$$\begin{aligned} \int_{\ell} H \cdot d\ell &= H \int d\ell = 2\pi r H \\ &= (I/2\pi r) 2\pi r \\ &= I \end{aligned}$$

應用 (1-17) 式，其右邊式中之 A 面，可取由圓周 ℓ 所包圍之平面，此

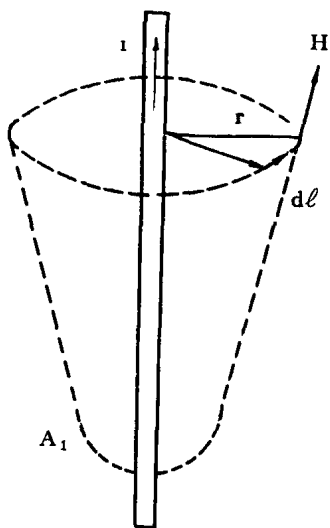


圖 1 - 5

平面上，除導線通過之截面上之電流為 I 外，其餘任一點之電流密度（空中）皆為零，故（1-17）式右邊之積分為 I ，取另一曲面時，其結果亦同。

1-2 電磁理論

1-2-1 馬克斯威爾之積分方程式

依上述各基本定律（或定理），吾人可列出馬克斯威爾之積分方程式如下：

$$(M I) : \int_A \mathbf{D} \cdot d\mathbf{A} = \int_v \rho dv$$

$$(M II) : \int_A \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0$$