



電 綫 無

講 義

方立慶編譯  
劉同康修訂

開明書店印行

無線電

講義

方立慶編譯

劉同康修訂

開明書店印行

無線電講義(修訂本)

原冊基價五·五〇 丁(電7193)

---

編著者	方	立	慶		
出版者	開	明	書	店	
	(北京西總布胡同甲50)				
發行者	開	明	書	店	
印刷者	華	義	印	刷	廠
	(北京東單鬧市口30號)				

---

1938年11月初版 70 P 32 K

1950年12月京1版(1—5000)

有著作權 不准翻印

# 目次

## 第一講 緒論

第一節 引言.....1

第二節 無線電之應用.....2

無線電報 (2) 無線電話 (2) 自動印字機 (3) 遙遠控制 (3) 傳送照相 (3) 無線電視 (3)

第三節 物質與電.....4

物質 (4) 分子與原子 (4) 電子 (5) 離子 (6)

## 第二講 電流 電路 電功

第一節 電荷.....7

電荷與起電 (7) 電荷之種類 (7) 起電之定律 (8) 起電次序 (8) 靜電感應 (8) 自由電荷與束縛電荷 (9) 電荷之平衡 (10) 電場 (11)

第二節 電流..... 11

電勢 電勢差 (11) 電流 (11) 電流之方向 (12) 直流與交流 (13) 庫侖 (14) 安培 (14) 安培計 (15)

第三節 電壓..... 15

電壓或電動勢及其產生 (15) 伏特 (16) 伏特計 (17)

第四節 電池..... 17

電池及其原理 (17) 乾電池 (18) 蓄電池 (18) 電池之串聯接法 (19) 電池之並聯接法 (21) 電池之串聯並聯接法 (21)

第五節 電路..... 22

電路與其組織 (22) 金屬物電路與假地電路 (22) 線規 (23)

第六節 電阻與電導..... 24

電阻與其單位 (24) 導體與絕緣體 (24) 電導 (25) 電阻之串聯接

法(25) 電阻之並聯接法(25) 電阻之串聯並聯接法(26) 定值電阻器與變量電阻器(27)	
<b>第七節 歐姆定律</b> .....	27
常壓電流與電阻之關係(27) 歐姆定律之應用(29) 電勢降(31)	
<b>第八節 電阻測量與歐姆計</b> .....	32
伏特計毫安培計並用測量法(32) 毫安培計測量法(33) 歐姆計(33)	
<b>第九節 電功與電功率</b> .....	34
電功與其單位(34) 電功率與其單位(35) 瓦特小時與仟瓦特小時(36)	
<b>第三講 磁與電磁</b>	
<b>第一節 磁鐵</b> .....	37
磁鐵及其種類(37) 磁極(38) 磁之吸拒定律(38)	
<b>第二節 磁力線</b> .....	39
磁力線與磁場(39) 磁力線之方向(39) 磁性物質與非磁性物質(40) 磁感應(41) 磁之歐姆定律(41)	
<b>第三節 電磁鐵</b> .....	42
電磁(42) 安培右手定律(42) 螺線管(43) 螺線管之右手定律(43) 電磁鐵(43)	
<b>第四節 電磁感應及電機</b> .....	44
感應電壓(44) 交流發電機(45) 直流發電機(47)	
<b>第四講 電容量與感應量</b>	
<b>第一節 電容器</b> .....	49
電容器及其作用(49) 電容量(50) 電容量之單位(52) 電容量計算法(52) 固定電容器及可變電容器(54) 電容器之並聯接法及串聯接法(55)	
<b>第二節 感應量</b> .....	57
自感應(57) 感應量及其單位(58) 線圈感應量之計算(59) 線圈	

感應量計之形式 (9) 感應耦合之串聯與並聯 (61) 互感係數 (62) 變壓器 (64)

### 第三節 線圈與電容器之配合..... 65

機械譬喻 (65) 速率與波長 (67) 波長計算法 (69) 感應线圈之分佈電容 (69)

## 第五講 交流電

### 第一節 交流電曲線之形式..... 72

正弦波及其導引 (72) 週時度 (74) 畸形波 (74)

### 第二節 波形之計算..... 75

相位 (75) 同相正弦波之相加法 (76) 異相正弦波之相加法 (77) 副波 (78)

### 第三節 交流電路..... 78

交流電壓與電流值 (78) 感應週阻 (79) 潮流线圈 (80) 電容週阻 (81) 集膚作用 (82)

### 第四節 總阻與電流之計算..... 84

電路中之總阻 (84) 純電阻電路 (85) 純感應週阻電路 (85) 純電容週阻電路 (85) 電阻與感應週阻之串聯 (86) 電阻與電容週阻之串聯 (86) 感應週阻與電容週阻之串聯 (87) 電阻電容週阻與感應週阻之串聯 (87) 電阻之串聯 (89) 電阻感應週阻與電阻電容週阻之並聯 (89) 交連線路 (89)

## 第六講 真空管通論

### 第一節 真空管之原理..... 92

電子運動 (92) 電子學說對於真空管之應用 (93) 空間電荷與飽和作用 (94)

### 第二節 真空管之絲極..... 94

鎢質絲極 (94) 塗氧化物絲極 (95) 塗鈦絲極 (95) 氣體之影響 (96)

第三節 二極真空管.....	96
二極管之式樣 (96) 二極管之特性 (96)	
第四節 三極真空管.....	98
柵極 (98) 柵極之作用 (100)	
第五節 三極管之特性曲線.....	100
真空管電路 (100) 柵電壓與屏電流之特性曲線 (101)	
第六節 三極管之常數.....	105
放大因數 (105) 屏電阻 (106) 互導 (106) 真空管之內部電容量 (107)	
第七節 四極與五極真空管.....	107
四極管 (107) 五極真空管 (108)	
第八節 新式真空管.....	109
複合管 (109) 新式真空管號碼之編制 (109) 極質式真空管 (110) 金屬真空管 (111)	
第七講 真空管之用途	
第一節 真空管放大.....	113
真空管之放大作用 (113) 真空管放大之基本線路 (114) 直流電壓與訊號電壓 (116) 輸出電壓計算法 (116) 有感應負載之真空管放大 (117)	
第二節 高週率放大.....	119
高週率放大器之式樣 (119)	
第三節 檢波.....	122
屏極檢波法 (124) 柵極檢波法 (124)	
第四節 低週率放大.....	126
電阻式 (127) 濾阻交連式 (128) 變壓器交連式 (129) 各式交連法之比較 (129) 推挽式放大器 (130) 屏極所需之乙電 (132) 柵極所給之丙電 (133)	

# 第一講

## 緒論

### 第一節 引言

物體之振動，而為吾人耳官所能感覺者，是謂之聲。物體之定而不動者，則不發聲。試觀胡琴之絃，若不振動，則無聲，但一經彈撥，琴絃立即迅速振動，因而發聲。故聲即係物體之振動，推動空氣，產生一種聲波 (Sound Waves) 或曰空氣波 (Air Waves)，而感動耳膜。

無線電 (Radio) 之動作亦如是。在無線電臺發射時，亦有一種電之振動，藉以太 (Ether) 而傳播於天地間，此種振動，即係吾人不能察見之無線電波 (Radio Waves)，或曰以太波 (Ether Waves)。此種電波行動之速度極快，每秒鐘可達三萬萬米。

利用無線電之最大優點，即係凡二地間無法裝置有線電，或裝置有線電極不合經濟條件時，則利用無線電最為相宜。在無線電常適用於船舶與陸地之間，船舶與船舶之間，飛機與陸地之間，或飛機與飛機之間。又如二地間為沙漠或海洋阻隔，利用無線電，實較有線電為經濟而便利。無線電更適用於國際交通，現今全球各國皆有無線電臺之設立，故一地之新聞消息，



皆可藉無線電而立時傳播於全世界。設遇巨風地震，有線電話及電報皆被阻斷，則無線電亦可代其職務。鑛穴或地道，突遭阻沒，如有無線電之設備，即可向地面求救。總之，地球上無論何處，均可藉無線電而通達，其利益誠非有線電所能及也。

## 第二節 無線電之應用

1. 無線電報 (Radio Telegraph) 無線電能傳遞種種信息，其最簡便者為無線電報。法將英文字母排定為若干點劃，如一點一劃 (— ·) 為字母 A，一劃三點 (— · ·) 為字母 B，則聯合若干點劃即成一全字。對於中文，則係先將各單字預編為號碼，再以點劃分別一、二、三、四、五、……九、〇各號數。傳送時將電波連續間斷，接收者即聽得一串長短連續之聲音，短者為點，長者為劃，按序譯之，即成字句矣。或可裝置特別收報機件，可使此種點劃留於長紙帶上，更為便利。

2. 無線電話 (Radio Telephone) 無線電話係利用各種電力機件，以傳送聲音者。聲音不能直接傳達遠處，但經變為電力之後，即可由無線電波送達至遠地。在廣播無線電中，電線與電波二者皆須利用，前者先將各種音樂歌唱藉導線而傳至播音臺，後者即將此種音樂歌唱由播音臺經天線向各方傳播。

由播音臺發出之無線電波，既向四方傳送，同時各收音機之天線，即受其感應，由天線之感應而導至收音機。但由天線上所傳來之電波，非人類聽官所能辨覺，因之必須再使其變為聲波，而成為與原來相同之聲音，始能聽聞。

3. 自動印字機 現代之有線電報，常置有一種自動印字機，發字機上附設一種字盤，與打字機上之字盤相仿，一經按動，字盤上之電力，即由電線發出而感動對方之收受機。收受機上亦有同樣機件，受此電力之感動，即將來信印於紙上，或長紙條上。此種印字設備，亦可用之於無線電報，所不同者，即此處以無線電波代替電線耳。

4. 遙遠控制 無線電應用範圍之廣，靡有止境，科學家現已能隔地利用無線電波控制或管理機器之動作，例如電燈開關之啓閉工作等。惟較為複雜之工作，如汽車、飛機或潛艇之遙遠控制，固亦可根據此種原理而施諸實用，然須有較為精密之設備，方有圓滿之效果。

5. 傳送照相 (Radio Photography) 若以孔紋極稀之紗，蒙於一張照相上，則此稀紗之每一小孔紋中，必顯出此照相組織之極小部份，且所顯出之各部份，其色皆濃淡不一，從白色以至黑色皆全。由是觀之，此種紗眼，實將該照相分為許多極小部份，每部份之面積猶如一小點焉。當此照相由無線電傳送時，即將其為分許多小點，如紗眼所顯出者，而復由傳送機件，將其排為長條，然後將此深淺不同之點，變為高低不同強度之電波而傳送之。至於收受方面，置有同樣設備，與傳送機同樣工作，惟其動作步驟則適與傳送機相反，係先將傳來之各小點按序排列記錄，而照像之全部，即由此許多小點組合而成，亦即發送處照相之重摹物也。

6. 無線電視 (Radio Television) 無線電視者，即將遠處

人物之動作，利用無線電傳見之謂也。其原理與上節之傳送照相完全相同，所異者即此種傳送速率較前者為迅速耳。傳送一照相時常需數分鐘之時間方可完成，無線電視則頗與銀幕上電影相彷彿，每秒鐘至少須傳送十五幀完全照相，方能顯出連續之動作，亦即每一動作，傳送器須於十五分之一秒鐘之極短時間中，完成其一切傳送工作；蓋於每秒鐘內完成十五幀完全照相，始可使目光感得動作之連續也。

### 第三節 物質與電

7. 物質 (Matter) 凡占有空間者，皆稱之為物質。物質之形狀可分為三種，即固體、液體、氣體是也。如鐵、石、木、煤等為固體物質。水、油、酒等為液體物質。空氣、氫、氧、氮等為氣體物質。

同一物質，在不同情形之下，可使之成為固體、液體、氣體之態。如汞(俗稱水銀)在常溫度時為液體，若在零度下四十度即變為固體，而在零度上六百度，即變為氣體矣。無論何種氣體若加以相當壓力而冷卻之，皆可變為液體。且有許多氣體，尚可變為固體。無論何種固體物質，若加以相當溫度亦可變為液體。內中且有多種物質尚可變為氣體。因此，無論何種物質，若能得到適當之壓力及溫度，大致皆可變更其原來之狀態。

8. 分子 (Molecule) 與原子 (Atom) 物質乃分子與原子所構成。分子是物質之最小單位，同時仍保存該物質之本來性質。原子乃造成分子之最小單位，即世界上最小之物體，

無論用何種化學方法，不能再行分爲更小之物體。原子互相化合而成分子，分子更聚合而成物體。

一滴水可分而再分，一直分至最小之水滴，非用極強之顯微鏡，不能得見而仍不失水之性質時，即稱爲水之分子。倘若再將此水分子再行分析，則所分得之小部份，即失去水之性質，而變爲別性之物質，此種小物體，即謂之原子。試將一粒水分子分析之，可得二個氫原子，及一個氧原子。若將一個硫酸分子分析之，則可得二個氫原子，一個硫原子，及四個氧原子。

大多數分子，皆包含許多不同類之原子；然亦有少數分子僅包含一個原子，此種分子稱爲單原子分子。據現時所知，總共有九十二種原子。此九十餘種原子，錯縱配合，即成爲世上一切之分子，再由分子集聚而成爲千百萬物質。

9. 電子 (Electron) 自近世電子學說 (Electron theory) 成立以來，世人已知，每個原子，仍係一種組織，即帶陽電符之質子 (Protons) 與同數帶陰電符之電子 (Electron) 是也。

一個質子之電荷，其數量必等於一個電子之電荷。質子與電子既相等，更復相對，故彼此由相和而成爲中和性 (Neutralization) 之原子，不顯陰電性或陽電性。

圖 1 表示一個中和性原子中所含的電子與質子數，‘+’表示質子，‘-’表示電子而‘+’與‘-’之數適相等。

事實上原子內之各質子，皆聚集在中央堅固之核 (Nucleus) 內，而電子之一部份，亦聚於

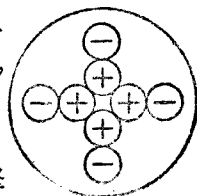


圖 1.

核內；另一部分電子則環行於核之四週，行動比較自由，稱曰遊電子 (Planetary Electrons)。

10. 離子 (Ion) 若原子中之電子與質子相等，該原子即呈中性，而不顯電性。但在平常溫度之下，物質內之各分子，常在運動之中，分子內之各原子，亦隨之而運動，因而激動原子內之各電子，其結果因電子之激動，而使物質生熱。

原子若受其他原子之激動，往往能失去一個游電子，而成爲非常原子 (Abnormal Atoms)。因此時原子中之質子較電子多一個，故顯陽電性。此種狀態，須待其吸引得另一電子而止。

原子亦能同樣得到一個游電子，而顯陰電性。此種陰性原子，必拒絕同樣帶陰性之原子，而吸引帶陽性之原子，直至其所餘之電子脫離而止。陰性原子必多一電子，陽性原子必缺一電子，俟陽性原子得到陰性原子所多之電子，二原子始各恢復其中性而不呈電性作用。

脫離原子之電子，暫時必呈自由狀態，即任何原子需用之時，皆得吸引之。但在平常狀態之下，電子不能獨立存在。

非常原子，即失去其陰陽電之平衡之中性原子，名爲離子。若一個原子缺少一個電子，如圖 2，即呈陽電性，名曰陽離子 (Positive Ion)。若一個原子多餘一個電子，如圖 3，則呈陰電性，名曰陰離子 (Negative Ion)。

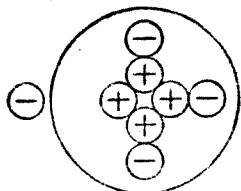


圖 2.

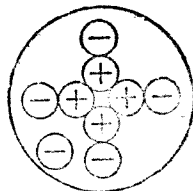


圖 3.

## 第 二 講

# 電 流 電 路 電 功

## 第 一 節 電 荷

11. 電荷 (Electric Charges) 與起電 (Electrification) 試取一根玻璃棒，用絲或羽毛摩擦，則受摩擦之處，即能吸引微小之物體，如絲、羽毛、金葉等，但此種吸力，不久即行消失。上述現象，即係聚集摩擦物體表面之電荷所致。使物體帶有電荷的手續，謂之起電。

12. 電荷之種類 試預備二個小木髓球。另取一根玻璃棒，用絲摩擦，使之起電，再將玻璃棒觸二小木髓球使之起電，則若將二球置在一處，必彼此相拒，顯然二小球必帶有同性之電荷。故曰，二物體帶同性電荷必相拒。若將玻璃棒用絲摩擦，另將火漆棒用羽毛摩擦，後將玻璃棒及火漆棒各與一小球接觸，各使起電，此時若將二個小球置在一處，必彼此相引，顯然二小球必帶有異性之電荷。故曰，二物體帶異性電荷必相吸。

由上試驗，可知所起之電有二種，即玻璃棒用絲摩擦而生之電荷，曰陽電荷(+)，火漆棒用羽毛摩擦而生之電荷，曰陰電荷(-)。以上之電荷，並非單獨產生，必有等量之陰陽電荷同

時產生，一種電荷生於摩擦物體上，另一種電荷則生於被摩擦之物體上，如玻璃用絲摩擦，則玻璃棒上所生之電荷為陽性，而絲上所生之電荷為陰性是也。

13. 起電之定律 由以上之試驗，可得下列之定律：

定律 (1) 二種不同之物體相摩擦，其一物體必帶陽電荷，另一物體必帶陰電荷，而陰陽二電荷之量必相等。

定律 (2) 一未帶電之物體，與另一帶電物體接觸，則未帶電之物體亦必因之而帶電，其所帶之電荷，必與所接觸之帶電物體之電荷為同性。

定律 (3) 物體之電荷，同性者必相拒，異性者必相吸。

14 起電次序 下表所示稱為起電次序表。表內各種物質，按序排列，每一物質，如與下列各物質相摩擦，必帶陽電荷，如與上列各物質摩擦，必帶陰電荷，例如，玻璃與毛摩擦帶陰電荷，與絲摩擦則帶陽電荷。

1. 毛	5. 棉花	9. 木
2. 洋蘭絨	6. 絲	10. 金屬
3. 象牙	7. 苧草	11. 火漆
4. 玻璃	8. 人體	12. 硫磺

15. 靜電感應 (Electrostatic Induction) 倘將一無電荷之導體  $AB$  托以絕緣玻璃棒，而持近另一帶電荷之導體  $C$ ，但不可與之接觸，如圖 4，則繫於  $AB$  導體上之小

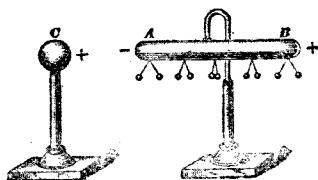


圖 4.

球，必自行分開。上述之試驗，證明  $AB$  導體已經感受電荷。

試以絕緣物，如玻璃之類，隔在  $AB$  與  $C$  二導體之間，則其結果仍不受重大影響。如  $C$  導體之電荷為陽，則  $AB$  導體之  $A$  端為陰，而吸引帶陽電荷之小球，其  $B$  端則拒卻該小球。以上試驗，可以證明接近  $C$  導體（帶陽電荷）之  $A$  端，感受陰電荷，其  $B$  端則感受陽電荷。這個現象稱為靜電感應。

如使  $AB$  導體離開  $C$  導體，則繫於  $AB$  導體上之小球，必行下墜，證明  $AB$  導體上已無電荷，蓋其所感受之陰陽電荷，已彼此相克而不顯功效矣。

試將帶電荷之  $C$  導體，再向不帶電荷之  $AB$  導體漸漸移近，則二導體上異性電荷之吸引力亦漸強，直至二導體彼此相近之時，介於其間之絕緣物（此處即為空氣）之絕緣力不勝壓迫而破裂。此時雙方之陰陽電荷，必迅速跳越而過，互相中和，竟至發出火光。二電荷中和之後，則  $AB$  導體  $B$  端之陽電荷，即從此自由，而散佈於  $AB$  導體之全部。

#### 16. 自由電荷 (Free Charge) 與束縛電荷 (Bound Charge)

試將圖 4 之  $AB$  導體，在帶電之  $C$  導體感應之下，以銅線通至地面，則其陽電荷必與地面上同量之陰電荷中和。此時即使將  $C$  導體取去，此陰電荷亦不脫離  $AB$  導體。從  $AB$  導體流至地面之電荷，謂之自由電荷，被  $C$  導體吸引而留於  $AB$  導體之電荷，謂之束縛電荷。如將接連  $AB$  導體與地面之銅線拆斷，同時將  $C$  導體移開，則所感應於  $AB$  導體之陰電荷，即將得到自由，而散佈於該導體之全部。自由電荷與束縛電



荷之陰陽，當視  $C$  導體之電荷之陰陽爲定。

17. 電荷之平衡 試取二導體，一使帶陽電荷，一使帶等量之陰電荷，而後使二者接觸，則二種電荷即行中和，致無任何電荷遺留。設此陰陽電荷之量不等，則其量較小之電荷，必與同量之異性電荷中和，而所餘之電荷，立即散佈於二導體之全部。試取甲乙二金屬球，甲球起以二十單位陽電荷，乙球起以四單位陰電荷，而使二球接觸，則乙球之四單位陰電荷，即與甲球之四單位陽電荷中和，所餘之十六單位陽電荷，立即散佈二球之全部份，每球得八單位之陽電荷。若二球之電荷相同，而分量各異，則其總數必平均散佈，使二球之各部份，皆有等量之電荷。

若將一個帶陰電荷或陽電荷之物體，接通另一個不帶電荷之物體，則第一物體上之電荷，必分佈於二物體之全部，其聚集於各物體之電荷量，則與其各物體之面積爲正比。如將一個帶陰電荷之物體，接通另一個不帶電荷之物體，即有陰電流往無電荷之物體。反之，亦可視爲等量之陽電荷，從無電荷之物體流至帶陰電荷之物體。設將帶陰電荷之物體，以導線接至地面，則等量之陽電荷，必由地面流至帶陰電荷之物體，而與陰電荷中和。

帶陰電荷之物體，雖將電荷與地球公平分派，然絕無電荷之踪跡遺留於該物體者，實因其面積較之地球面積小至萬萬倍，故以微量之電荷使之平均分佈於二者之表面，實無法覺察也。

又所謂不帶電荷之物體者，即其陽電荷與陰電荷之量適相等，故彼此中和而不顯電荷也。

18. 電場 (Electric Field) 一帶電荷之物體，施於他一物體之力，謂之電力 (Electric Force)。電力所占之空間，謂之電場。該物體四週之引拒力大小，謂之電場強度 (Electric Field Intensity)。

## 第 二 節 電 流

19. 電勢 (Electric Potential) 與電勢差 (Difference of Potential) 凡一物體若多餘或缺少電子即生電荷。一物之電荷與他物之電荷相比，謂之電勢。

凡原子皆有保持其中和性之趨向，故一個原子若失去其中和性，必將吸引他原子內之游電子，以恢復其中和性。故物體若缺少電子，必將吸引他物體中之電子。如二物體之電勢高低不同，其間即產生電勢差。設一物體之陽電荷較另一物體為高，換言之，即前者失去較多之電子，則其電勢即較後者為高。今試將二物體用導體相連，則電子必由電勢較低之物體向電勢較高之物體流去，直至二物體之電勢相等為止。

20. 電流 (Electric Current) 若以二個電勢不同之物體連以導線，則電子即由低電勢之物體流向高電勢之物體。此種電子之流動，謂之電流。若二物體間之電勢差可以永遠保持，則電子之運動亦必循環不息，而其電流量之多寡，則視電勢差之大小及導線之性質而定。故電流者，即電子之流動也。

在普通之金屬導線內，電子之流動極慢，每分鐘僅為數吋，但其中流動之電子為數極多。雖然，電子之流動固慢，惟不可誤解此即電之速度，蓋電之速度實為速無比，每秒鐘可達十八萬六千餘哩。其意即謂，倘電子在導線之一端被推動，則其效力在彼一端立即感覺也。以上所述，可舉一個以明之：一輛機車拖出客車貨車數十節，倘機車一動，全數車輛立即連帶拖動。但最後之一輛火車，須經過相當之時間，始能行抵機車原來之地位。此種比喻，雖不完全符合，然可以表現二種不同之動：一種順序前進之慢動，一種連帶感應之快動。

21. 電流之方向 前已說明，若導體之二端發生電勢差，則導體內即有電流通過，設欲繼續維持此種電勢差，則需一種設備，以產生電壓或曰電動勢。通用之電池，即產生此種電壓者。若以導體接於電池之二極，如圖 5，則導體內之電子，因電壓之推動，必由陰極而流向陽極。此種電子之流動，謂之電子流。圖中之右向箭頭，即表電子流方向。

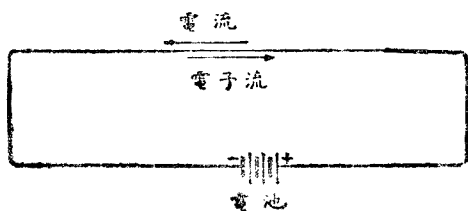


圖 5.

惟在電子學說尚未發明之前，科學家皆以為電流之方向，乃從陽極而至陰極。圖中之左向箭頭即表示電流之理想方向；蓋當時之主張，以為電流係由陽極流向陰極。此種主張，雖與電子學說相抵觸，然至今仍為大多數人所習用。

本講義嗣後對於電流之方向，仍採取習慣用法，即自電池之陽極流至陰極。至於電子流之方向，則根據電子學說，定其由陰極流至陽極。其實電子流即是電流，今竟不幸而發生此矛盾也。

## 22. 直流 (Direct Current) 與交流 (Alternating Current)

如以導線接連電池之二極，銅線中即有電流通過，此時，電流之方向乃由陽極流向陰極。若不將導線拆斷，或電池乾涸，則此種電流永不停止。

凡電流永向一定方向流動者，謂之直流。直流有二種，一種是連續性直流，另一種是變量性直流。電池在導線內所產生之電流，即係連續性直流。變量性直流，雖然亦為向一定方向流動之直流，但其電量則時增時減，連續變動也。

電流之時時變換其方向者，謂之交流。試將電池  $a$  之陽極，接於半圓體  $b$ ，如圖 6，將陰極接於另一半圓體  $c$ 。 $b$  與  $c$  二個半圓體成一整圓體，僅留二個小缺口  $d$  與  $e$ 。再以電阻器  $h$  用  $f$  與  $g$  二個金屬質滑鍵連接於  $b$  與  $c$  二個半圓體，照圖 6 所示之地位。電池所產生之電壓，使電流由電池之陽極，經過半

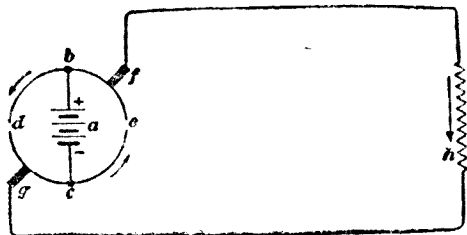


圖 6.

圓體  $b$ ，滑鍵  $f$ ，電阻器  $h$ ，滑鍵  $g$  及半圓體  $c$  而流回電池之陰極。電流通過電阻器  $h$  時之方向，即如箭頭所表示。

今將二個半圓體與電池一併旋轉，其方向如二個彎箭頭所示，而  $f$  與  $g$  二個滑鍵仍在原來之地位，則半圓體  $b$  即與滑鍵  $g$  接觸，而半圓體  $c$  與滑鍵  $f$  接觸。此時在電阻器  $h$  通過之電流，其方向必與箭頭所指示者相反。若將電池與二個半圓體連續旋轉，則導體內與電阻器內之電流方向，必隨旋轉之快慢連續改變而變為交流矣；其改變方向之次數，當視滑鍵  $f$  與  $g$  更換其在半圓體  $b$  與  $c$  上之地位之速率而定。

23. 庫侖 (Coulomb) 試以銀片一與鉑片一，同置於硝酸銀溶液 (Silver Nitrate) 中，而使電流從銀片流向鉑片，則銀片之重量必將減輕，而鉑片之重量則必增加，顯然銀片之一部份，已隨電流而附於鉑片之上。科學家即將附於鉑片上之銀之重量，以計量溶液中流過之電流，並以搬運 0.001118 克 (gram) 銀所需之電流為單位，而名之為庫侖。

如電流通過硝酸銀溶液，而將 0.00559 克之銀，由銀片搬至鉑片，則經過該溶液之電流為  $0.00559 \div 0.001118 = 5$  庫侖。

以上所述，並未計及通過一庫侖電流所需之時間，因庫侖僅係電流之單位，而不論其搬運 0.001118 克之銀，需一小時或一秒鐘之時間也。

24. 安培 (Ampere) 照事實而論，知電流流動之率 (Rate)，實較知其流動之量為有益，同時為便利計算此電流率起見，當另定一單位，一如他種科學然。譬如，計算時間有二種單位，即小時 (hour)，與鐘點 (o'clock)，小時表明時間之量，鐘點表示時間之率也。

根據上論，對於電流之計算，除用庫侖以表其量外，另定安培以表其率，即其流動之緩急或強度也。一安培即導體內一秒鐘所經過一庫侖之電流也。由是以觀，安培之內，實含有時間性也。

測量極小之電流時，須用較小於安培之單位，如毫安培 (Milliamper) 微安培 (Microampere) 等。毫安培等於千分之一 ( $\frac{1}{1000}$ ) 安培，微安培等百萬分之一 ( $\frac{1}{1000000}$ ) 安培，即一千個毫安培，或一百萬個微安培等於一安培也。

25. 安培計 (Ammeter) 安培計，又名電流計，係專量電流之一種儀器也。其單位為安培，圖 7 所示，乃一小型安培計，其限度為三安培。設有電流通過此計，其指針即從 0 度向右移動，其所停之處，即該電流之安培數也。此種安培計，可用以測量無線電機內之電流，或電池之電流。至於測量毫安培，或不滿一毫安培電流之計，謂之毫安培計 (Milliammeter)。此外又有各式不同之電流計，以應各種不同之需要。

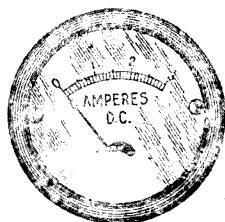


圖 7.

### 第三節 電 壓

26. 電壓 (Electric Voltage) 或電動勢 (Electromotive Force) 及其產生 欲產生電流，必先在電路之兩端施以電壓或電動勢，或使之發生電勢差。電壓與電勢差之意義，雖無重大分別，然若干科學家，將電壓二字，專用於電之壓力方面，而將

電勢差三字，代表二端電壓或電勢之高低，而不究其高低之緣由。

電壓之產生方法，有下列數種：

(一) 摩擦或靜電感應 (Electrostatic Induction)。

(二) 化學作用 (Chemical Action)，如將二種物質浸於一種溶液內，此種溶液對於一種物質因起化學作用而產生電壓。

(三) 電磁感應 (Electromagnetic Induction)，如將導體在磁場內移動即生電壓。

(四) 熱電作用 (Thermoelectric Action)，如將二種不同之金屬物質接觸，而在接觸處加熱，即能產生電壓。用此種方法所生之電壓，又稱為熱電電動勢 (Thermoelectromotive Force)。

27. 伏特 (Volt) 在機械學中，如欲計量各種壓力，必取其所以生之效力而量之。量電壓之方法亦然。在任何電路中，電流之產生，必為電壓所驅使。電壓或電勢差之單位為伏特。

普通乾電池之電壓為 1.5 伏特，蓄電池之電壓為 2 伏特。電車所需之電壓，約 500 伏特，電燈所需之電壓，約自 110 伏特至 220 伏特。無線電收音機所需之電壓，乃自 1.5 伏特至 500 伏特。

計算電壓之時，每覺伏特單位太大或太小，故另定較大或較小之單位，以便應用，如仟伏特 (Kilovolt)，等於 1,000 伏特，毫伏特 (Millivolt)，等於千分之一  $\left(\frac{1}{1,000}\right)$  伏特，及微伏特 (Microvolt)，等於百萬分之一  $\left(\frac{1}{1,000,000}\right)$  伏特等。

28. 伏特計 (V.oltmeters) 伏特計或稱電壓計，係一種儀器，可直接以伏特計量電壓。圖 8 所示，乃一種袖珍伏特計，此計有二排指數，一排係從 0 至 8，另一排係從 0 至 160。

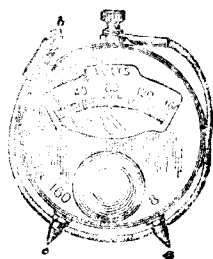


圖 8.

伏特計之種類甚多，如電阻伏特計，高電阻伏特計，高度計，低度計，及各種二用計等。

毫伏特計之構造與原理與普通伏特計完全相同，不過以毫伏特為單位。

## 第四節 電池

29. 電池 (Cell) 及其原理 產生電壓最容易之法，是用化學作用，如電池之類是也。試取二塊金屬片，如銅與鋅之類，浸入稀硫酸溶液內，如圖 9，則化學作用即行發生，鋅與稀硫酸中的硫酸根化合，放出電子，而銅則失去電子，故銅與鋅之間，即發生電勢差。此時，若以導線接連銅鋅二片，導線中即生電壓，而使電流流動。

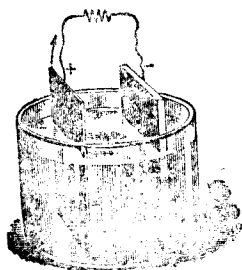


圖 9.

除銅鋅二金屬物，及硫酸溶液之外，尚有其他金屬物及溶液，亦可代用。總之，任何二種不同金屬物，浸入任何溶液內，祇須此溶液對於二物質之一，發生化學作用，則二者之間，即生電勢差或電壓。



以上乃原電池 (Primary Cell) 內容之概況。 其中之溶液，謂之電解質 (Electrolyte)。 其中之金屬片，謂之電極 (Electrodes)。 普通之理論，以為接連二極之導線，其中之電流，必從不生化學作用之電極方面，流至發生化學作用之電極方面，故銅片之極稱為陽極或正極，鋅片之極稱為陰極或負極。

30. 乾電池 (Dry Cell) 在無線電機中，圖 10 所示之乾電池，用途極廣。 乾電池中之電解質，雖係一種化學溶液，但不如普通電池中之單獨存在，係另以他種有吸收性之物質收藏之。 其電極多數以鋅與炭為之；乾電池之圓筒，即係鋅片。 炭極則製成圓棒，置於中央。 鋅質圓筒與炭棒之間，裝以吸收性物質，滿藏電解質，然後再以火漆封固之而成。 另用二枚螺絲鈕，一枚裝在鋅質圓筒上，一枚裝在中央之炭棒上，俾便接線。 中央之螺絲鈕即為陽極，其裝於鋅筒之螺絲鈕為陰極。



圖 10.

在有線電與無線電圖畫中，為便利及省時起見，常用各種符號以代表各機件。 代表電池之符號為二直線，其長而細者



圖 11.

為陽極，短而粗者為陰極。 如二個以上之原電池相連而成一電池組 (Battery)，則其符號如圖 11。

以上符號之陰陽分別法，並無嚴格規定，故遇重要圖畫，如陰陽二極關係重大時，則另註‘+’‘-’二符號以明之。

31. 蓄電池 (Storage Battery) 蓄電池在原則上，與乾電

池並無分別，所不同者，乃蓄電池在用罄時，可再行灌電 (Charge)，即將電流通入，使之仍可重復應用。圖 12 所示，即蓄電池之一種。

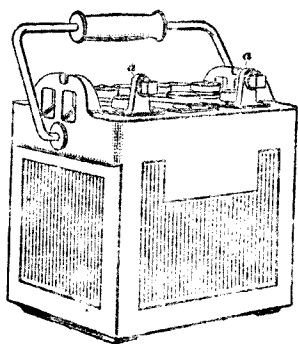


圖 12.

32. 電池之串聯接法 一組電池，其中第一電池之陰極，接連至第二電池之陽極，第二電池之陰極，接連至第三電池之陽極，其他各電池，亦均照上法接連，而每一電池之電流，經過相連之各電池，依次向同一方向流動；

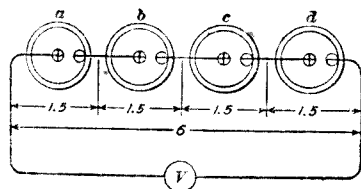


圖 13.

電池之以上法接連者，謂之串聯電池，見圖 13。

串聯電池之總電壓，等於各電池電壓相加所得之總數。如圖 13 所示， $a b c d$  四個電池，係用串聯接法，因第一電池之陰極，接連第二電池之陽極也。若每一電池之電壓為 1.5 伏特，另以電壓計  $V$  接連  $a$  電池之陽極與  $d$  電池之陰極，則其所指之總電壓，當為  $1.5 + 1.5 + 1.5 + 1.5 = 6$  伏特。

如串聯電池組中之各電池，種類與電壓皆同，則其總電壓即等於一個電池之電壓乘以電池數所得之積。例如：一組串聯電池包括三十個原電池，而每個原電池之電壓為 1.5 伏特，則全組之總電壓為  $30 \times 1.5 = 45$  伏特。在串聯電池組中，其

電流必順序通過各電池，但每經一電池，其電壓即增加一次。

用串聯法接電池，最當留意者，即每一電池之陰極，必須使之接至另一電池之陽極，切不可陰極與陰極相接，或陽極與陽極相接。

普通無線電機中所用之 *B* 電池組與 *C* 電池組，即係串聯電池組。*B* 電池組，如圖 14 所示，乃三十個小電池串聯而成，外裝以硬紙盒，上有 *a b c* 三個螺絲鈕，*a* 鈕註以‘-’，*b* 鈕註以‘+22½’，*c* 註以‘+45’。中央之 *b* 鈕，係接於盒內之第十五電池，蓋欲得一中量之電壓也。

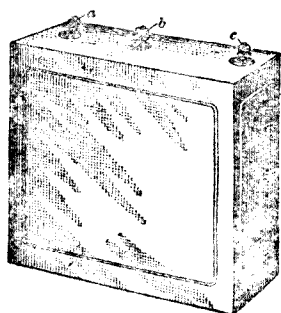


圖 14.

*C* 電池組之組織，與 *B* 電池組相同，不過較 *B* 電池為小耳，且其紙

盒上三個螺絲鈕所註之符號亦不相同。圖 15 所示者，即係一個 4½ 伏特之 *C* 電池組，其 *a* 鈕註有‘+’，*b* 鈕註以‘-3’，*c* 鈕註以‘-4½’。其負（-）正（+）符號與 *B* 電池組適相反，蓋 *C* 電池組所供給者為負電壓，而 *B* 電池組則供給正電壓也。

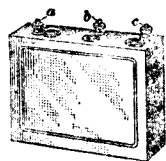


圖 15.

*B* 電池組或 *C* 電池組，皆可再用串聯法相接，俾得大量電壓，以供無線電機之需用。譬如，二個 45 伏特之 *B* 電池組，用串聯法相接，則得 90 伏特之電壓，三個 45 伏特串聯接之，則為 135 伏特，四個則為 180 伏特。*C* 電池組亦然，二個 4½ 伏特之 *C* 電池組串聯接後得 9 伏特，三個則為

13½ 伏特。

**33. 電池之並聯接法** 用並聯接法之各電池，其陽極皆接於一根總導線上，其陰極亦皆接於另一根導線上，如圖 16。

此種並聯電池，既同種又復同量，故其全組之總電壓，據伏特計  $V$  所示，仍等於一個原電池之電壓；蓋全組電池之陽極與陰極間之總電勢

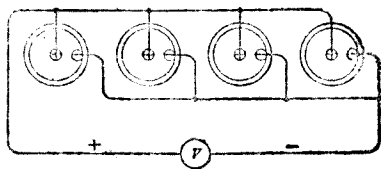


圖 16.

差，實與未接之前無異，即仍等於一個電池之電勢差也。總之，一組同類之原電池，經用並聯法接連後，即變為一個電池組，此電池組之陽極，實等於各小電池之陽極之總面積，其陰極亦然。此時，此電池組之電流即為各小電池電流之總數。

**34. 電池之串聯並聯接法** 一組電池，同時用串聯與並聯接法接連者，謂之串聯並聯電池組。其接法先將各原電池，用串聯法接成若干小組串聯電池組，再將各小組用並聯法接通，如圖

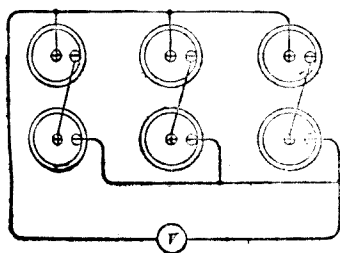


圖 17.

17 所示。此種串聯並聯電池組之總電壓，即等於其中一個小串聯電池組之電壓。若各原電池之種類皆係一律，則其總電壓，必等於一個小串聯電池組內原電池數，乘以一原電池之電壓所得之積。譬如，圖 17

內各原電池之電壓各為 1.5 伏特，則伏特計  $V$  上所示者，當為

1.5 × 2 = 3 伏特也。無論用並聯接法，或用串聯並聯接法，切不可將不同類或不同量之原電池接於一組，因其中必將有若干原電池，須供給過量之電流，而影響全組之效力也。

## 第五節 電路

**35 電路 (Electric Circuits) 與其組織** 電流從電池或其他種電源之一端，經過外接導體，而回返電源之另一端，其所經過之各導體，即稱之曰電路。圖 18 所示，電池 *a* 即為電路中之電源，開關 *b* 與小燈泡 *c* 係用銅線接連至電池之二極，此三物連同導線，便成一完全之電路，因電流先從電池之‘+’極，經過導線而至開關 *b*，再由此而至燈泡 *c*，復從燈泡而回至電池之‘-’極，並無阻斷之處。小燈泡之發光，即可證明電路之完整。設將開關 *b* 撥開，或將導線割斷一處，則燈泡 *c* 之光，立刻消滅，證明電路已斷也。

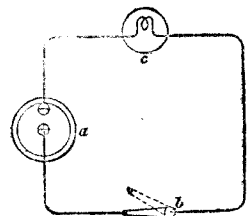


圖 18.

**36. 金屬物電路與假地電路 (Metallic and Grounded Circuits)** 圖 18 所示之電路，名為金屬物電路，緣電流從電池 *a* 起所經過之導體，乃金屬物所製成。普通一般電路，幾全為金屬物電路，因其傳導電流之效力最佳也。

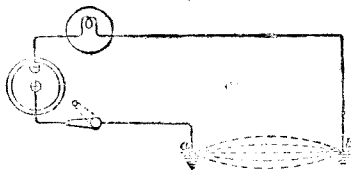


圖 19.

若電路中之一部份，係以

大地爲導體者，此種電路謂之假地電路；蓋地球乃一極大之導體也。

圖 19 所示，即假地電路之一種，其電路中之一部，即以大地完成之。 $a$  與  $b$  二處之符號，即表示接連地面之處， $a$  與  $b$  間之虛線表示電流所取之路徑。

許多與地面無顯明之接連之電路，亦往往稱之爲假地電路，如汽車中之蓄電池，其一端接連車身，另一端則接連至內部電路，雖車身並不接觸地面，但仍得稱之爲假地電路。又如各式高級收音機，並不使用地線，僅將電源之一端接於機身之金屬物底盤，即以底盤代替地面也。

37. 線規 (Wire Gauges) 普通稱各種銅質導線粗細之標準爲線規。每種線規之中，各銅線皆冠以號碼，號碼愈大，其銅線之直徑則愈小。現今通用之銅線，大多係美國線規，常縮寫爲 B. & S.G. 或 A.W.G.

普通計量銅線直徑之單位爲密耳 (mil)。其直徑之平方數爲圓密耳 (circular mil)。每密耳之長度等於千分之一吋，即  $\frac{1}{1,000}$  吋。

銅線之直徑爲密耳，而其密耳之平方數即爲該銅線之圓密耳。譬如一根銅線之直徑爲八十密耳，則該銅線即爲  $80 \times 80 = 6,400$  圓密耳。平常稱銅線橫斷面積爲若干圓密耳，即指其直徑密耳之平方數也。

若直徑之長短以吋計算，則其平方再以 0.7854 乘之，即等於該銅線橫斷面之吋數。又銅線之圓密耳與 0.7854 相乘，再

用 1,000,000 除之，即等於該銅線橫斷面之平方數也。

## 第六節 電阻與電導

38. 電阻 (Electrical resistance) 與其單位 電阻又稱耗阻，是物體之一種性質，藉以抵抗或阻止電流之流動。此種電阻為導體重要特性之一；係與導體之長短，粗細，質料及溫度有密切之關係。

測量電阻之單位為歐姆 (Ohm)。一個歐姆，等於一安培之電流，用一伏特之電壓，於繞過導體時所遇之阻力也。

在無線電工程中，往往於計算極小之電阻時，另以微歐姆 (Microhm) 為單位。一微歐姆等於一百萬分之一歐姆，即一百萬微歐姆等於一歐姆。

此外，復以百萬歐姆 (Megohm) 計算鉅量之電阻。一個百萬歐姆等於一百萬姆歐。此鉅大之單位，常用以計算絕緣體之電阻。

39. 導體與絕緣體 (Conductors and Insulators) 導體是一種物質，當電流通過其中，電阻極小。物體之所含電阻，各各不同，普通所用之導體有銀，銅，金，鋁，鋅，白銅，黃銅，白金，鈹，鎳，鉛，德國銀，鋼，鐵，汞，炭，與水；其中以銅之價賤產多，故為最常用之導體，此外鋁亦為常用之導體，且電阻亦極小，尤以需用輕量之處為多。

絕緣體，又曰非導體 (Non-Conductor)，因其電阻極大，使電流無從通過也。最普通之絕緣體如玻璃，瓷，橡皮，雲母，膠木，

電木，硬紙板，空氣等。絕緣體普通用以支持或包裹導體，使電流限於導體之內，不致外流，如支掛天線之玻璃絕緣子，及導線外層包裹之橡皮棉紗等皆是也。

惟實際上，導體與絕緣體之間，並無確定之界限，僅程度上之區別而已。

40. 電導 (Conductance) 電導者，乃電阻之反面，亦即電阻之倒數。若以  $R$  代表電阻，則電導當為  $\frac{1}{R}$ 。

是故導體之電導等於  $1 \div R$ 。反之，其電阻即等於  $1 \div G$ 。 $G$  乃電導之符號，其單位為姆歐 (Mho)，即姆歐 (Ohm) 之倒拼也。譬如，某電路之電阻為 2 歐姆，則其電導為  $\frac{1}{2}$  姆歐。若電阻為 4 歐姆，其電導為  $\frac{1}{4}$  姆歐。

41. 電阻之串聯接法 若將幾個導體用串聯接法接連，則其中之總電阻，必等於各導體之電阻相加之總數。如圖 20 所示，其總電阻即等於  $a b c d$  四個導體之電阻相加之總數。

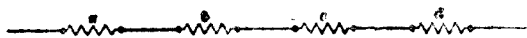


圖 20.

若  $a$  之電阻為 5 歐姆， $b$  為 10 歐姆， $c$  為 15 歐姆， $d$  為 20 歐姆，則全體之總電阻為  $5 + 10 + 15 + 20 = 50$  歐姆。

42. 電阻之並聯接法 若將二個以上或多數導體用並聯法接連，則其總電阻可以下列方法推算之。



雙導或多導並聯電路之總電阻，等於其總電導之倒數。上述方法，可以算式解釋之。圖 21 中之  $abc$  三個導體乃係並聯接法。設以  $abc$  代表

三個導體之電阻，則其總電導

$$G = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c}, \text{ 而其總電阻}$$

$R = \frac{1}{G}$ 。若  $a$  為 5 歐姆  $b$  為 10

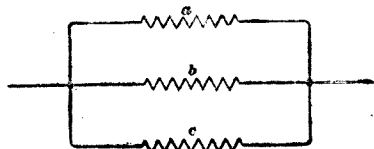


圖 21.

歐姆， $c$  為 15 歐姆，則總電導  $G = \frac{1}{5} + \frac{1}{10} + \frac{1}{15} = \frac{6}{30} + \frac{3}{30} + \frac{2}{30} = \frac{11}{30}$  姆歐，而其總電阻  $R = 1 \div \frac{11}{30} = 30 \div 11 = 2\frac{8}{11}$  歐姆。

若二個或數個電阻相同之導體，用並聯接法相接，則其總電阻，必等於其中一個導體之電阻，被導體之數除得之商。如三個導體用並聯法接連，每個導體之電阻為三十歐姆，則該三導體並聯電路之總電阻，即等於  $30 \div 3 = 10$  歐姆。

43. 電阻之串聯並聯接法 圖 22 中所示之導體  $a$  與  $b$ ，係並聯相接， $c$  與  $d$  亦係並聯相接，此二組並聯導體復用串聯法接

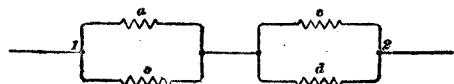


圖 22.

連。此時 1 與 2 之總電阻，即等於二組並連導體之電阻相加之總數。假定  $a$  與  $b$  並連導體之電阻為 10 歐姆， $c$  與  $d$  並連導體之電阻為 20 歐姆，則其總電阻當為  $10 + 20 = 30$  歐姆。

計算串聯並聯電路之電阻時，須先將各組並聯導體之電阻算出，而後再將各組之電阻相加，即得全電路之總電阻。

44. 定量電阻器 (Fixed Resistor) 與變量電阻器 (Variable Resistor) 在電路中，有時覺電流過大，須引入電阻以節制之，此種特為某種目的而引入電路之電阻曰電阻器 (Resistors)。電阻器通常分為二類，一為定量者，如圖 23，一為變量者，如圖 24 所示。

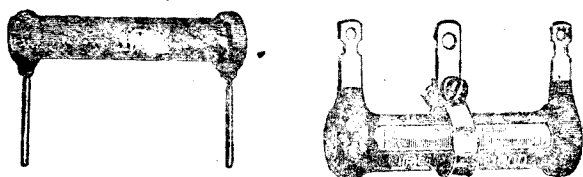


圖 23.

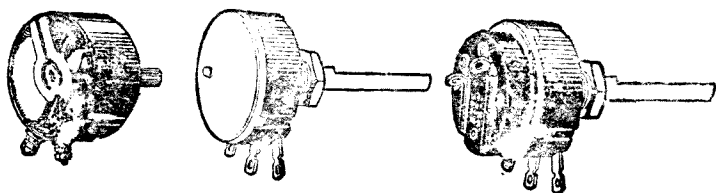


圖 24.

凡電路中需用電阻器以節制電流時，可將其依串聯法接入電路即成。

## 第七節 歐姆定律

45. 電壓電流與電阻之關係 物理學中有一定律，能解釋一切關於力的天然現象，其定律曰：阻力除施力等於力之效果。譬如一塊石頭，置於地板上而用力推動之，則此石塊行動

之速度，必等於推動力被地板阻力除所得之商，即：速度 = 推力 ÷ 阻力。

電路中之電流亦如此。其電流之量必等於電阻除電壓所得之商，即：電流 = 電壓 ÷ 電阻。

科學家歐姆氏 (Dr. G. S. Ohm) 首先證明電路中電流電壓與電阻三要素之關係。三要素之中，祇須知其任何二者，即可以簡單之算術，推得其第三者，稱之為歐姆定律 (Ohms Law) 其方式如下：

定律 1. 電路中之電流，必等於電阻除電壓，以算式表之，為：電流 (安培) = 電壓 (伏特) ÷ 電阻 (歐姆)。

若以  $I$  代表電流， $E$  代表電壓， $R$  代表電阻，則其公式為

$$I = \frac{E}{R}$$

定律 2. 電路中之電阻，必等於電流除電壓，以算式表之，為：電阻 (歐姆) = 電壓 (伏特) ÷ 電流 (安培)，其公式為

$$R = \frac{E}{I}$$

定律 3. 電路中之電壓，必等於電流乘電阻，以算式表之，為：電壓 (伏特) = 電流 (安培) × 電阻 (歐姆)，其公式為

$$E = IR$$

根據以上之定律，伏特 = 安培 × 歐姆。故一個伏特，即係使一安培電流通過一歐姆電阻之電壓也。

一歐姆，即係一伏特之電壓，使一安培之電流通過導體時所遇之電阻也。

一安培，即係一伏特之電壓，在一歐姆之電阻中，所能推過之電流也。

46. 歐姆定律之應用 茲以算式證明歐姆定律之應用。先算電流之安培量，即假定電路中之電阻與電壓皆已知曉，而求知其電流也。

〔例題 1〕 假定某電路之電阻為 50 歐姆，其電壓為 100 伏特，問其電流為若干安培？

算式：按定律一之公式為  $I = \frac{E}{R}$ 。故  $I = \frac{100}{50} = 2$  安培。

〔例題 2〕 假定一收音機內真空管之絲極電阻為 20 歐姆，若所施之電壓為 5 伏特，問其所得之電流為若干安培？

算式：
$$I = \frac{E}{R} = \frac{5}{20} = 0.25 \text{ 安培。}$$

若電路中之電壓與電流皆已知曉，則其電阻可按第二定律推算之。

〔例題 1〕 假定一電路兩端之電壓為 500 伏特，若使 0.5 安培之電流通過該電路，問此電路內之電阻為若干歐姆？

算式：按第二定律之公式為  $R = \frac{E}{I}$ 。故  $R = \frac{500}{0.5} = 1,000$  歐姆。

〔例題 2〕 一個真空管之絲極需 5 伏特之電壓與 0.25 安培之電流，問其電阻為若干？

算式：
$$R = \frac{E}{I} = \frac{5}{0.25} = 20 \text{ 歐姆。}$$

若根據已知之電流量與電阻，以推算某電路之電壓，可按第三定律計算之。

〔例題 1〕 假定一個真空管之絲極，電阻為 50 歐姆，而需 0.06 安培之電流，問須若干伏特之電壓，方能使該量電流通過燈絲？

算式：按第三定律之公式為  $E = I \times R$ 。故  $E = 0.06 \times 50 = 3$  伏特。

〔例題 2〕 假定一電路內之電阻為 3 歐姆，則欲使 2 安培之電流通過之，問須若干伏特之電壓？

算式： $E = I \times R = 2 \times 3 = 6$  伏特。

運用歐姆定律之時，須注意下列各端。

(1) 通過電路各部份之電流，其量完全一律。如圖 25 中之電路，其各部份電流之量，完全一律，即電池  $a$  中之電流，與導線  $bdf$  或電阻  $ce$  任何部份內之電流，其量彼此相同。

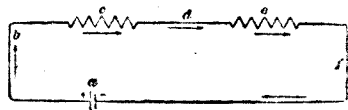


圖 25.

(2) 在各分路中之電流，其總量必等於正路中之電流量。如圖 26 中之電路，通過  $a$  與  $b$  二分路之電流之總量必等於導體  $cd$  或電池  $c$  內之電流量。

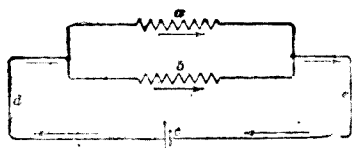


圖 26.

(3) 一個電路之總電阻，等於內路之電阻與外路之電阻相加之總數。所謂內路電阻，即指電池或他種電源內部之電阻；外路電阻，則係指導線及接連電源之一切導體之電阻也。

(4) 一個電路之總電壓，等於一方向電壓，減去反對方向之電壓之差數，如一個 6 伏特之電池與一個 9 伏特之電池相反而接，則其總電壓當為 3 伏特也。

47 電勢降 (Drop of Potential) 一個電路內，因電阻影響而失去之電壓，謂之電勢降。試繪圖以表之：將一個 100 伏特之電池，用串聯法與一個 100 歐姆之電阻器接連，如圖 27。復在電阻器之間，各接以分頭線，如  $a b c d$  至  $k$  所示。  $\omega$  為

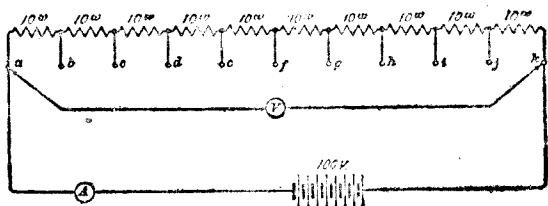


圖 27.

代表歐姆之符號。若將伏特計  $V$  接連電阻之全部，即  $a$  與  $k$  處，則  $V$  計內之指針必停於 100 伏特之處，亦即電池之總電壓也。此時用串聯法接連電池與電阻器之安培計  $A$ ，其指針必停於一安培之處，蓋按歐姆定律，其電流固應為  $100 \div 100 = 1$  安培也。試將伏特計之一端，由分線頭  $a$  移至  $b$  處，則其指針必降至 90 伏特，若移至  $c$  處，則降至 80 伏特，移至  $d$  處則降為 70 伏特，直至  $k$  處則降為 0 伏特。

以上之各數目，皆可按歐姆定律計算之，蓋電路中任何部份之電壓 ( $E$ )，必等於該部份之電流 ( $I$ ) 乘同部份之電阻 ( $R$ )。以公式表之： $E = IR$ 。由前知串聯電路中任何部份之電流均

爲一律，則各部份之電流，皆爲 1 安培。其 100 歐姆電阻器中任何部份之電壓，必等於該部份之電阻乘同部份之電流所得之數。 $a$  與  $k$  間之電阻爲 100 歐姆，其電流爲 1 安培，故其電壓爲  $E = I \times R = 1 \times 100 = 100$  伏特。 $f$  與  $k$  間之電阻爲 50 歐姆，所以此部份之電壓爲  $1 \times 50 = 50$  伏特。若將電池之電壓增高或減低，則電路中之電流亦必連帶增加或減少。反之，若將電流增加，而電阻不動，則其電壓亦必增高也。

串聯電路中之電勢降，常稱爲  $IR$  降 ( $IR$  Drop)，因其量可以  $I$  與  $R$  二者相乘而得。此點在無線電路中之應用極廣。

## 第八節 電阻測量與歐姆計

43. 伏特計毫安培計並用測量法 (Voltmeter-Milliammeter Method) 圖 23 所示，乃一種伏特計毫安培計並用電阻測量法。 $B$  代表電池， $V$  爲伏特計， $MA$  爲毫安培計。三者用導線接連如圖，將導線之二端接於電阻器  $R$  之二端。此時伏特計所示者爲電池之電壓，毫安培計所示者爲通過全部電路及  $R$  之電流。電壓與電流既已知曉，則  $R$  之電阻即可以歐姆定律計算之，即  $R = E \div I$ 。

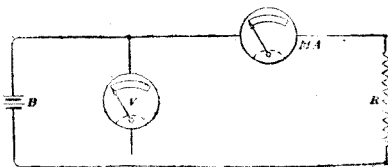


圖 23

假定圖 28 中伏特計  $V$  所示之電壓爲 3 伏特，毫安培計  $MA$  所示者爲 15 毫安培，即 0.0015 安培，則  $R$  之電阻當爲

$3 \div 0.0015 = 2000$  歐姆。

49. 毫安培計測量法 (Milliammeter Method) 上節所述者為二計並用法。今則除去伏特計，而單用毫安培計與電池配合，以測量電阻。圖 29 中之毫安培計，其度數係從 0 至 1 毫安培，分為 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 等度數。

電池  $B$  為一 1.5 伏特之單節電池。按諸歐姆定律，若用 1.5 伏特之電池，而使該毫安培計之指針停於 1 毫安培之處，則電路內必須有 1,500 歐姆之電阻，蓋

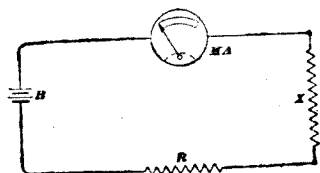


圖 29.

$= 1.5 \div 0.001 = 1,500$  歐姆也。故圖 29 之  $R$  必須為一個 1,500 歐姆之電阻器。今設將不知電阻之電阻器  $X$  接入電路後，電流計之指針即移至 0.5 毫安培，即 0.0005 安培之處，則此時該電路之總電阻當為  $1.5 \div 0.0005 = 3,000$  歐姆。 $R$  之電阻既為 1,500 歐姆，則  $X$  之電阻為  $3,000 - 1,500 = 1,500$  歐姆也。

若電流計之度數為 0.25 毫安培，則  $X$  之電阻當為 4,500 歐姆。

50. 歐姆計 (Ohmmeter) 圖 30 所示，為測量電阻之一

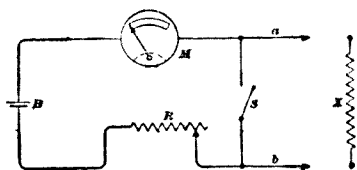


圖 30.



種實用儀器，名爲歐姆計，又名電阻計。其線路則與圖 29 之線路相同，所異者即電阻器  $R$  係變量而非定量者。圖中之  $M$  係一毫安培計，但其度數則核成歐姆，而非毫安培。 $S$  爲開關，一經關合，電流即能暢流於線路內，而使歐姆計之指針移動。惟其度數與毫安培計之度數完全相反。安培計之 1 毫安培處，即爲歐姆計之 0 度，其 0 度卻爲歐姆計之無限電阻，即極高度數，幾等於斷路。圖中之  $a$  與  $b$  係軟導線，二端裝有觸針，以便與受試之電阻器接觸，如圖中之  $X$ 。

使用此儀器時，先將開關  $S$  關合，再將變量電阻器  $R$  旋動，使歐姆計之指針移至 0 歐姆處。隨後復將開關  $S$  撥開，而將  $a$  與  $b$  導線之二觸針與不知阻力之電阻器  $X$  接觸。此時歐姆計之指針所指之歐姆度數，即係電阻器  $X$  之電阻也。

圖 30 中電池  $B$  之電壓，久用後必致漸漸降低。若電阻器  $R$  不能變動，則日後歐姆計之指針，必無法使之停於 0 度歐姆之處。但因  $R$  爲變量電阻器，故遇電池  $B$  之電壓降低之時，可將  $R$  之電阻變小，使歐姆計之指針仍能停於 0 度處。

## 第九節 電功與電功率

51. 電功 (Electric Work) 與其單位 當電流通過導體時，必須消耗其電能 (Energy) 而變成功 (Work)。蓋當電流通行於導體中時常受電阻之阻礙，故其一部份之電能即變爲熱能 (電功)。此種現象極易見到，如夏日之電扇，若用之過久，則其中線球之熱度，必增至極高，有時竟至燒壞。功之單位爲焦耳

(Joule)。一個焦耳，即等於一安培之電流，於一秒鐘，通過一歐姆電阻時所產生之功也。

導體內所產生之功  $J$  (焦耳)，常等於電流  $I$  (安培) 之平方，與電阻  $R$  (歐姆) 與時間  $t$  (電流通過之秒數) 相乘之積。以公式表之：

$$J = I^2 R t.$$

〔例題〕 假定一線路之電阻為 8 歐姆，若使 3 安培之電流通過該線路二小時之久，則所產生之功應為若干焦耳？

算式：先將二小時化為秒  $= 2 \times 60 \times 60 = 7,200$  秒。再將各數代入公式  $J = I^2 R t = 3 \times 3 \times 8 \times 7,200 = 518,400$  焦耳。

**52. 電功率 (Electric Power) 與其單位** 在電路中某一部分上，每秒間所作成之功，曰此一部分之電功率，俗稱電力。

瓦特乃電功率之單位，即等於一定時間內作成某種功所需之電功率也。當直流通過電路時，其電功率  $P$  (瓦特) 必等於電流  $I$  (安培) 與電壓  $E$  (特伏) 相乘所得之積。以公式表之：

$$P = EI$$

若線路內之電流量與電阻已經知曉，則其電功率可以下列公式表之：

$$P = I^2 R$$

若以電壓與電阻為算電功率之根據，則公式為：

$$P = \frac{E^2}{R}$$

現時常用之電功率單位為仟瓦特 (Kilowatt) 即等於 1,000

瓦特，常縮寫為 Kw 但在計算時，仟瓦特須先化為瓦特，如 10 仟瓦特即等於  $1,000 \times 10 = 10,000$  瓦特也。

一個馬力 (Horsepower)，常縮寫為 Hp，等於 746 瓦特，或 0.746 仟瓦特。反之，一仟瓦特約等於 1.34 馬力。

### 53. 瓦特小時 (Watt hour) 與仟瓦特小時 (Kilo-Watt hour)

瓦特小時乃計算電功之單位，等於一小時內一瓦特之電功率所作之工作。譬如，若線路內二瓦特之電功率用過三小時，則其電功為  $2 \times 3 = 6$  瓦特小時。又如一瓦特之電功率用過六小時，則其電功亦為  $1 \times 6 = 6$  瓦特小時。一小時既等於 3,600 秒，故一個瓦特小時，即等於 3,600 焦耳，蓋焦耳即一瓦特之電功率，於一秒鐘內所作之功也。

仟瓦特小時亦為電學上功之單位，即一仟瓦特之電功率，於一小時內所作之功。一個仟瓦特小時等於 1,000 瓦特小時，又等於 3,600,000 焦耳。普通電燈火表之度數，即仟瓦特小時也。

## 第三講

# 磁與電磁

## 第一節 磁鐵

54 磁鐵 (Magnet) 及其種類 據西書所載，古希臘人在亞州之麥尼西亞地方發現一礦苗，因其有吸引鋼鐵與少數他種金屬物之特性，故即名之為吸鐵石 (Lodstone)，又名磁鐵，又因其為天然礦產，故名之為天然磁鐵 (Natural Magnets)，而稱其吸引鋼鐵之力為磁力 (Magnetism)。後復知此種磁鐵，如懸於空中而使之自由旋轉，必趨南北方向。航船所用之羅盤，即磁鐵所製成者也。

若以鋼條或縫衣針與天然磁鐵相摩擦，則此鋼條或縫衣針，即得到天然磁鐵之同樣性質，故名之為人造磁鐵 (Artificial Magnet)。凡人造磁鐵之能保存其磁至極久遠者，謂之永久磁鐵 (Permanent Magnet)，如圖 31 所示之蹄形磁鐵 (Horseshoe Magnet)，即最常見者也。如以一軟鐵連置於蹄形磁鐵之二端，則其磁性必更易保存，此種軟鐵名為銜鐵 (Armature)。鐵磁之式樣



圖 31.

爲長條者，謂之棒磁鐵 (Bar Magnets)。

55. 磁極 (Magnetic Poles) 如將棒磁鐵置於鐵屑內，再行取出，則鐵屑必吸聚於磁鐵之二端，如圖 32，但磁鐵之中段則



圖 32.

無此吸引現象。如圖 33 所示，磁鐵之中段謂之中立線 (Neutral - Line)，其二端謂之磁極，而貫通磁鐵中心者則謂之軸線 (Axis)。



圖 33

設以一個磁性鋼針置於尖端上，如圖 34 使其能自由旋轉，即成一個羅盤。若針之隣近無鋼鐵或其他磁鐵存在，則其一端必向北指，另一端向南指，其向北指者謂之北極 (North Pole)，或曰 *N* 極，另一端則謂之南極 (South Pole)，或曰 *S* 極。

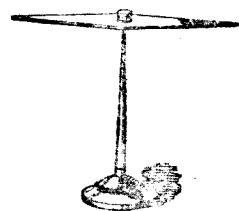


圖 34.

56. 磁之吸拒定律 (Law of Attraction and Repulsion) 設將一塊磁鐵之北極，置近另一磁鐵之南極，則彼此即行吸引；但若將二磁鐵之北極趨近，則必彼此推拒；南極與南極亦然。因此，科學家遂訂有磁之吸拒定律，其言曰：

磁鐵之同極必相拒，異極則必相吸。

## 第二節 磁力線

### 57. 磁力線 (Lines of Force) 與磁場 (Magnetic Fields)

磁之吸引與推拒，皆有一定方向與範圍。其方向係照一種理想之虛線，名為磁力線。其範圍則限於吸引與推拒力活動之處，名為磁場。

試取棒磁鐵一塊，上覆以紙，再將鐵屑散佈於紙上，則鐵屑之分佈情形必如圖 35 所示，排列成曲線，由一極而趨向另一極。

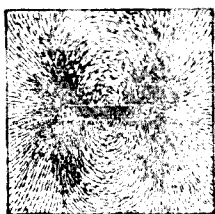


圖 35.

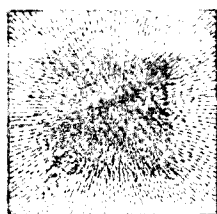


圖 36.

試將紙下之磁鐵豎立，使北極向上，則鐵屑之分佈，必依直線而由北極向外排列，如圖 36。其南極向上時亦然。

58. 磁力線之方向 磁力線係由磁鐵之北極出發，經過四週之空間而至南極，再從南極經磁鐵內部回返北極，而成一完全之線路。圖

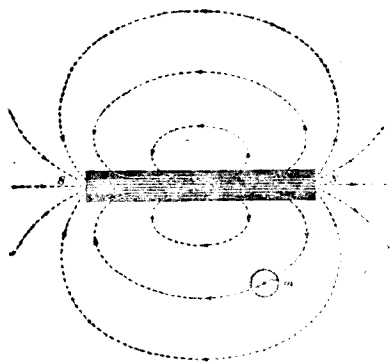


圖 37.

37 所示，即磁力線之方向。其所取之路徑，謂之磁路 (Magnetic Circuit)。

磁力線永遠不能彼此相切。若將二塊磁鐵之北極置於一處，如圖 38 與圖 39 所示，則二極之磁力必彼此相碰而折向新方向。

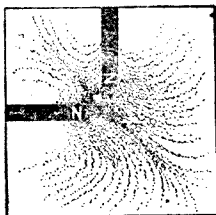


圖 38.

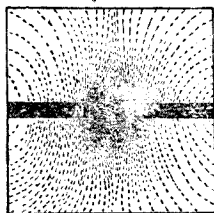


圖 39.

59. 磁性物質 (Magnetic Substances) 與非磁性物質 (Non-Magnetic Substances) 凡物質皆有阻止磁力線從體內通過之特性，是曰磁阻 (Reluctance)，一如任何物質，皆有阻止電流從中通過之特性。物質之磁阻較為微弱者，即謂之磁性物質。磁性物質並非僅係磁鐵一物而已，其他如無磁極存在而僅能受磁鐵之吸引之物亦屬之。猶如一塊軟鐵能吸引一塊磁鐵，亦能被磁鐵所吸引，但若獨置一處，即不能吸引其他非磁性之物質。

鐵與其合金外，如鎳，鈷，錳，鉻等，皆係磁性物質，惟其磁性則較鐵與其合金遠遜耳。

非磁性物質雖有極強的磁阻係數，然並不能完全阻止磁力線之通過。凡較鋼鐵之磁阻係數 (Reluctivity) 大過多倍之物

質，始可稱為非磁性物質。我們平常所見之一切非磁性物質，其阻止磁力線通過之力，大都與空氣相等，即較鐵之阻力約大二千倍。故將非磁性物質，如紙與木之類，夾於磁鐵與銜鐵之間，磁鐵之磁力線，仍能從中通過，並不能阻斷磁鐵對於銜鐵之吸力。

60. 磁感應 (Magnetic Induction) 試將一磁性物質置於磁場內，使能接受磁力線，則該物質立刻感受磁性，而場內之磁力線即擠聚一處，同趨磁性物質而通過之，緣該物質對於磁力線之導引力，較四週之空氣為大也。此種感受磁性之物質，僅係一暫時磁鐵，一經離開磁場，其磁性亦必同時消失。在磁場範圍之內時，其性質一如磁鐵，且具異性極，磁力線攢入之一端為南極，磁力線離去之另一端則為北極。以上所述磁性物質感受磁性之作用，謂之磁感應。

61. 磁之歐姆定律 規定磁路內磁性或磁力線之產生或動作之一切定律，與規定電路內電流動作之定律，大致相同。電路內電流之流動，全賴電壓，磁路內亦有同樣之勢能，名為磁通勢 (Magnetomotive Force) 或磁壓。磁通勢者，乃使磁力線反抗磁路內之磁阻，而通過磁路之一種勢能也。

永久磁鐵能產生磁過勢。磁性物質置於磁場內，而能感受磁性者，即係磁通勢之所致也。

按歐姆定律，電路內之電流強度，必等於電壓被電阻所除之商數，而科學家對於磁路，亦訂有類同之定律，即磁束 = 磁通勢 ÷ 磁阻。



磁束 (Magnetic Flux) 者，即磁力線之總數，猶如電路內之電流，磁通勢猶如電壓，而磁阻猶如電阻也。

### 第三節 電磁鐵

62. 電磁 (Electromagnetism) 因電流從導體內通過而發生之磁，謂之電磁。凡帶電流之導體，其四週必發現磁場。此種磁場之強度，以通過之電流強度為準；距離導體愈近，其強度愈大，愈遠則愈小。試將帶電流之導體穿過一塊硬紙板，再取細鐵屑散於紙板上，則此種鐵屑必繞該導體而排成若干同心圓。上述現象凡帶電導體之全部，皆係一律。故吾人可料想此種磁場，猶如環繞導體而旋轉之無數磁圈，如圖 40 中所



圖 40.

示。若導體內電流流動之方向，如箭頭所示，則導體四週之磁力線之方向，必順時針之行動方向 (Clockwise)。若將電流之方向反轉，則磁力線之方向亦必倒轉。

63. 安培右手定律 (Right-Hand Rule) 導體四週之磁力線方向，可以安培右手定律決定之：如以右手握導體，使大姆指電流之方向，如圖 41，則導體四週之磁力線方向，必順其餘四指



圖 41.

之方向。

根據上述試驗，若導體內電流之方向已經知曉，即可藉以推測導體四週磁力線之方向。

64. 螺線管 (Solenoid) 試將帶電導體繞成一環，則導體四週之磁力線必皆向環內穿過。若將導體連續繞成一串圓環即成一螺線管，如圖 42，則每個圓環中央及四週之磁力線，必與二旁之圓環之磁力線合併，而成爲長磁力線，穿過全部串連之圓環，從一端而入，由他端而出，一如棒磁鐵所發生之磁力線。

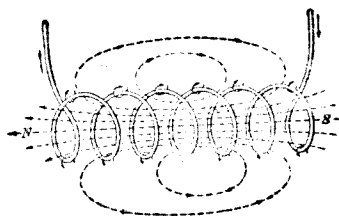


圖 42.

一螺線管內，若有電流通過，即表現磁鐵之性質，具有南北極，中立線，與引拒力。若將其橫懸空中，使之自由旋轉，則其二端必趨南北方向。

65. 螺線管之右手定律 若以右手握螺線管，令中食各指指導體內電流之方向，則姆指即示螺線管之北極。圖 43 所示即用右手握螺線管以定其極性之姿勢也。

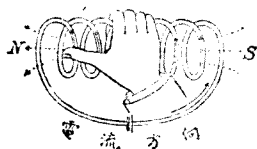


圖 43.

在無線電上，大部以線圈 Coil 之名稱以代螺線管。

66. 電磁鐵 一塊磁性物質，置於線圈之磁路內，如圖 44，即成爲一電磁鐵 (Electromagnet)。置於管內之磁性物質，謂之心 (Core)。心外面之螺線管，謂之勵磁線圈 (Magnetizing

Coil)。



圖 44.

線圈內置以鐵心，可增加其磁性，因空心線圈中之磁力線，係假道於阻力甚大之空氣，故其磁力線甚少；且電磁鐵之磁性，與其磁力線密度之平方數成正比例。今將鐵心置於線圈內以代空氣，其阻力即減少二千倍，同時磁力線之密度亦增加，故其磁性亦連帶增加。

天然磁鐵與人造磁鐵，其本身即為磁通勢之發源地，至於天然磁鐵何以或如何產生磁通勢，則至今無人知曉。人造磁鐵之磁通勢則係與天然磁鐵摩擦而得。

電磁鐵之磁通勢，係因電流通過勵磁線圈而產生，其大小等於電流量與線圈圈數相乘所得之積數。

決定電磁鐵極性之規則；與螺線管同；惟其勵磁線圈之繞法，對於極性並無關係，祇須電流之方向不變，其南北極亦不改變。

#### 第四節 電磁感應及電機

67. 感應電壓 (Induced Electromagnetic Force) 圖 45 所示，即利用電磁感應 (Electromagnetic Induction) 原理而產

感應電壓之方法。圖中， $a$  爲線圈， $b$  爲永久磁鐵。將線圈之二端  $c$  與  $d$  依南北極方向在一羅盤  $e$  上環繞數圈；如通電流於線圈，則盤內之指針必向右邊或左邊偏轉，其方向則視電流之方向而定。今將一塊永久磁鐵突然插入線圈筒內，羅盤之指針亦必立刻向一邊旋轉。足證此舉已使線圈兩端產生感應電壓而使有電流流於其中。設此磁鐵停止不動，則指針即回歸原位。

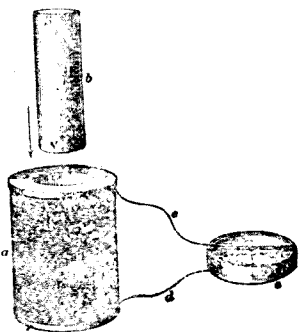


圖 45.

若將該磁鐵自線圈中突然抽出，其指針仍必移動，但向另一方向旋轉，由此知其電流之方向與插入時相反也。

以上之試驗，足證磁鐵於不動時，線圈內並無電流發生，一經移動，則生電流，移動愈速，羅盤指針旋轉之角度亦愈大，即示通過線圈電流愈多。設使磁鐵固定，而移動線圈，其結果仍同。

設另取一較小之通電線圈以代圖 45 中之磁鐵  $b$ ，亦能得到同樣之效果；將小線圈插入大線圈內時，羅盤指針即向一邊旋轉，如二線圈停止不動，指針即回歸原位，將小線圈抽出時，則指針必向另一方向旋轉，若使小線圈停止不動，而將大線圈移動，其效果完全相同。

68. 交流發電機 (Alternator) 若於普通之電池上，裝以變更極性之設備，即可產生交流電 惟實際上則以利用電磁

感應之方法為應用最廣。圖 46 所示，即係一個利用此種原理構成之交流發電機。其主要部份為永久磁鐵  $a$ ，線圈  $b$  旋圈  $c$ ，及滑鍵  $d$ ； $d$  緊觸於二旋圈  $c$ ，以溝通線圈  $b$  與外部線路  $e$ 。

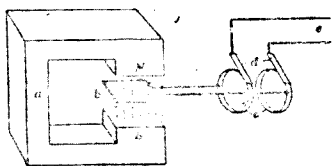


圖 46

磁鐵之  $N$  與  $S$  二極間，常有磁力線之存在。線圈  $b$  係以外力使之在磁場內旋轉。當線圈轉至圖中之地位時，通過線圈之磁力線最多。線圈繼續向任何一方旋轉時，其磁力線必改變，因而產生電壓。

試繪一圖，以橫線代表時間，以曲線代表電壓，其由橫線至曲線之豎線代表交流發電機所生電壓之大小，如圖 47 所示，此種波形曲線在數學中稱為正弦波 (Sine Wave)，通常在計算交流時，即以此為根據。所當注意者，所謂正弦波僅為幫助答解實際問題者，實際交流電壓並非為真正之正弦波也。

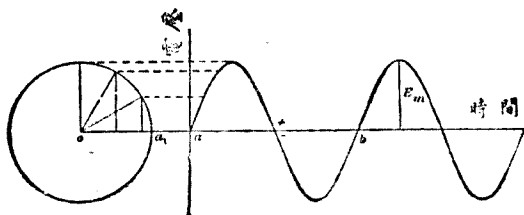


圖 47.

試將圖 46 之線圈  $b$  連續旋轉，則通過線圈之磁力線流變動率當隨地位而異。其在旋圈  $c$  處之電壓，亦時時變動，此種變

動，於線圈每轉一全身，即重複一次。電壓從圖 47 之  $a$  點起，經過正半週，再經過負半週，及至  $b$  點，即從新接轉第二週。在一循環之間，即橫線上  $a$  至  $b$  之距離，其半徑  $oa_1$  即轉一全週。換言之，當半徑  $oa_1$  (其對象為圖 46 之線圈  $b$ ) 轉一全週時，其電壓之變動，即如從圖 47  $a$  點起之曲線，必從零度升至正最大值，再由此降之零值，復從零值降至負最大值，又從負最大值降至零值。豎線  $Em$  即表示電壓之正最大值。當曲線觸及橫線之時，即電壓降至零值之時。

電壓從  $a$  至  $b$  之變動，即代表交流之一全週。故導體內之全部正負值之電壓或電流，謂之一週 (Cycle)。每秒鐘所完成之週數，謂之週率 (Frequency)；完成一週所需之時間，謂之週期 (Period)。如云每秒六十週之交流，即謂其週率為六十，其週期即等於六十分之一 ( $\frac{1}{60}$ ) 秒。

69. 直流發電機 (Direct Current Generator) 直流發電機與交流發電機之構造大致相同，所異者僅多一種自動反向機關以代後者之二個旋圈耳。交流電壓之方向係交替變換，但由直流發電機所生之電壓，則有一定之方向。

圖 48 所示，即係一直流發電機。線圈  $a$  係置於磁鐵之  $N$  與  $S$  二極間。線圈之二端，接連於軸柄之二個半圓體  $b$  與  $c$

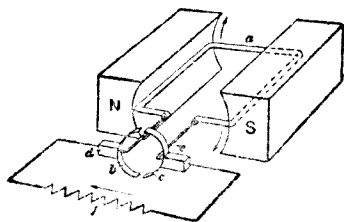


圖 48.

上。另有二滑鍵  $d$  與  $e$  緊觸半圓體  $b$  與  $c$ 。其外路連於電阻器  $f$ 。

當線圈旋轉時，線圈之任何一面經過  $S$  極，均足產生電壓，而此電壓則永遠從線圈內部向外部（即半圓體  $c$ ）推動。線圈之任何一面經過  $N$  極，均足產生相反之電壓，而此電壓則永遠從半圓體  $b$  向內部（即線圈）推動。故滑鍵  $e$  之極性，永遠為陽（+），滑鍵  $d$  之極性永遠為陰（-）。當兩個半圓體間之二缺口經過兩滑鍵時，線圈內之電壓即暫時中斷。

由此可知直流發電機所生之直線電，與電池所產生者不同，蓋其電壓之方向雖不如交流機之交替變換，但其數值則時時變更，先從零值至最高值，復由最高值至零值，週而復始，川流不息。

## 第四講

# 電容量與感應量

### 第一節 電容器

70. 電容器 (Condenser) 及其作用 二個金屬導體，中隔以絕緣體，即成爲一電容器。二面之金屬物謂之導片 (Plates)，中間之阻隔絕緣物謂之介質 (Dielectric)。

試取二金屬片，中隔以空氣，即成一電容器。或將一根銅線之二端接以絕緣物而懸於空中，則此銅線，連同地面與中間之阻隔物，亦成一電容器，蓋此時銅線自爲導片，地面成另一導片，中間之空氣即介質也。此外，二根並行之導線，亦係一小型之電容器。

今有一以二塊金屬片  $a$  與  $b$ ，中隔以空氣(介質)所成之電容器，如圖 49。試將其二導片接至電池之陰陽二極，則因電壓之推動，電流立刻流至二導片，但經過極短促之時間，二導片即充滿電荷，而電流亦隨之停止。 $a$  導片所充之電荷爲陽性， $b$  導片之電荷爲陰性。其電量之多寡，則視所施之電壓之大小而定。

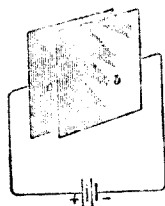


圖 49.



此時二導片上之異性電荷，亟思彼此合併，因而在其間之空氣中，產生一種壓力，名為介質應力 (Dielectric Stress)，電流從電池流向導片，直至介質應力與電壓相等為止。

容電器一經充電，則電源拆除之後，仍保留其電荷。此時設以導線接連二導片，導線中即生電流。然因電容器中之電荷極少，故此種電流，頃刻之間立即停止，而導片上之電荷亦同時消滅。

**71. 電容量** 電容器所容之電量，其計算方法，係使電流流至二導片，至其間之電勢差由零值增至若干伏特時所需之電流強度為電容器之電容量。試取一橡皮袋，滿盛以水，則袋之容量並無一定限度，當視所施壓力之大小而定。壓力愈大，則袋之水容量亦增加，同時水之壓力亦增高。電容器亦然。

一電容器所容之若干庫侖電量，不能視為該電容器之一定電容量。其導體之面積亦有連帶關係。同時，所施之電壓亦須顧及。如橡皮袋之盛水，其袋愈小，則少量之水，即可提高其壓力。電容器亦然。其容量愈小，則使電勢差或電壓由零值增至若干伏特所需之電量亦愈小。其容量之大者則反是。所以欲知電容器內之電量，必須先知其容電量之大小及電壓之強弱。

電壓之強弱，既可增減電容器二導片之電荷密度，則將導片之面積放大，即可增加其電容量。

若電壓之強弱不變，則電容器之二導片相隔愈近，即介質愈薄，其電荷密度亦愈大。總之，電容器之電容量與其二導片之

距離成反比例。譬如，當一電容器，導片間之介質厚度為 $\frac{1}{16}$ 吋時，其電容量為 10，若將介質之厚度改為 $\frac{1}{32}$ 吋，則其電容量當為 20。

惟介質之質料，對於電容器之電容量，亦大有關係。此須視介質之介質常數 (Dielectric Constant) 以定，通常以  $K$  表之。一般之介質，其介質常數均較空氣為大，故空氣遂被取作標準而定其介質常數為 1。下表所列，即為各種介質之介質常數。

介質	$K$	介質	$K$
空氣	1	棉子油	3.1
紙	1.5—4	玻璃	4—10
地臘	2—3	雲母	4—8
變壓器油	2.5	蓖麻油	4.7
硫磺	3—4.2	磁	5—
松香	3—3.7	賽璐珞	7—10
蜂蠟	3.2	雲石	9—12
木料	3—6	蒸溜水	81

由上所述，可知影響電容器電容量之因子有三：(一)導片之形式與大小，(二)介質之厚薄，(三)介質之介質常數。

在電容器中，尚有一點亦須加以注意者，即介質強度 (Dielectric Strength) 是也；所謂介質強度即介質對於最高電壓之抵抗力。<sup>v</sup> 如欲測驗一種介質之介質強度，可將該介質置於金屬物所製之陰陽二極之間，而將二極之電勢差 (即電壓) 漸漸增高，直至該介質內發生火花為止。此時該介質已經破裂，當其將破未破時二極間之電壓，即為該介質之介質強度。若此

最高之電壓(伏特)以介質之厚度(厘米)除之,則所得之數(每厘米若干伏特),即該介質之單位介質強度。空氣之介質強度,約在每厘米三百至四百伏特間。

72. 電容量之單位 若以  $Q$  代表電容器所帶之電量(庫侖),  $E$  代表兩片間之電勢差(伏特),  $C$  代表電容量(法拉特 Farad), 則計算電容量之公式爲

$$C = \frac{Q}{E}$$

一個電容器,若將其導片間之電壓增高一伏特,而能在一秒鐘時間內容納一庫侖之電量,則該電容器之電容量即爲一法拉特。法拉特,簡稱爲法拉,在無線電學中以之爲電容量之單位,實覺太大,故普通皆用微法拉(Microfarad)以代之,縮寫爲 MFD 或  $\mu\text{fd}$ 。

一微法拉等於百萬分之一  $\left(\frac{1}{1,000,000}\right)$  法拉特,即一百萬微法拉等於一法拉特也。近世電氣工程中,幾一律以微法拉爲電容量之單位。但有時亦以百萬分之一微法拉爲實用單位,曰微微法拉(Micro-Microfarad),縮寫爲 MMFD 或  $\mu\mu\text{fd}$ 。

73. 電容量計算法 電容器電容量之大小,完全根據其導片之面積,介質之性質,與介質之厚薄爲準,前已言之。通常計算雙片電容器電容量之公式爲

$$C = \frac{0.0885 a \kappa}{t} \dots\dots\dots (1)$$

公式中之  $C$  = 電容量,單位微微法拉。

$a$  = 導片單面之面積，單位平方厘米。

$t$  = 介質之厚薄，單位厘米。

$K$  = 介質之介質常數，見前表。

上述之公式，亦可另行安排，而用以計算電容器導片之面積。譬如，欲製一某電容量之電容器，即可用此公式以求得其導片之面積。其公式為：

$$a = \frac{Ct}{0.0885 K} \dots\dots\dots (2)$$

〔例題 1〕 今有雙片電容器一個，每導片之長度為 10 厘米，闊度為 5 厘米，中間以 0.025 厘米厚及介質常數為 5 之雲母片，問其電容量為若干。

解： 將各數值代上述公式(1)，

$$C = \frac{0.0885 a K}{t} = \frac{0.0885 \times 50 \times 5}{0.025} = 885 \text{ 微微法拉。}$$

〔例題 2〕 設欲製一 0.0005 微法拉之電容器。若以介質常數為 5，厚度為 0.025 厘米之雲母片為介質，問其導片之單面面積為若干平方厘米。

解： 先將 0.0005 微法拉化為微微法拉，即等於 500 微微法拉。再將各數值代入上述公式(2)中，

$$a = \frac{Ct}{0.0885 K} = \frac{500 \times 0.025}{0.0885 \times 5} = 28.25 \text{ 平方厘米。}$$

又，若將上述之公式略為修改，即可用以計算複片電容器 (Multiplate Condenser) 之電容量，其公式為

$$C = \frac{0.0885 \times a \times K(n-1)}{t} \dots\dots\dots (3)$$

公式中之各字母與前述公式中各字母之意義相同，又字母  $n$  係代表電容器之片數。

若導片之面積已經知曉，而欲計算其片數，則上述之公式可以下式算之：

$$n = \frac{Ct}{0.0885 a K} + 1 \dots \dots \dots (4)$$

〔例題 1〕 某電容器有導片十，每片之長度為 10 厘米，闊度為 6 厘米，中隔以 0.025 厘米厚及介質常數為 2.5 之蠟紙。問其電容量為若干。

算式： 將各數值代入上述公式(3)中，

$$C = \frac{0.0885 \times 60 \times 2.5(10-1)}{0.025} = 4779 \text{ 微微法拉。}$$

〔例題 2〕 根據上題中之尺寸與介質，問欲製一 0.01 微法拉之電容器，須用若干導片。

解： 先將 0.01 微法拉化為微微法拉，即 10,000 微微法拉。再用公式(4)計算之。

$$n = \frac{100000 \times 0.025}{0.0885 \times 60 \times 2.5} + 1 = 18.8 + 1 = 19.8, \text{ 即 } 20 \text{ 片(約數)。}$$

74. 固定電容器 (Fixed Condenser) 及可變電容器 (Variable Condenser) 固定電容器，普通皆用數層薄鉛片，中隔介質，如蠟紙，雲母片，玻璃等，而後將全部鉛片與介質用力壓緊，務使不透空氣，再將間層之半數鉛片接以導線，其餘之半數鉛片接以另一導線，如圖 50 所示， $a$  為鉛片， $b$  係介質， $c$  即導線。所當注意者，二組鉛片間絕對不可使之接觸。



圖 50.

變量電容器者，其容量在一定範圍內，可加以變動。圖 51 所示，即為變量電容器之一種。圖中之  $a$  與  $b$ ，為二組導片， $a$  組導片乃固定的，而裝於絕緣體  $c$  之架上， $b$  組導片則接於旋軸  $d$  而可加以旋轉。 $a$  組與  $b$  組之間，則以空氣為介質。

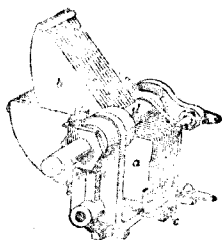


圖 51.

在無線電學中，電容器常以圖 52 中之各式符號表之， $a$  與  $b$  代表固定電容器， $c$  則代表變量電容器。

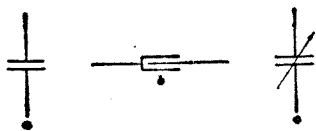


圖 52.

75. 電容器之並聯接法及串聯接法 電容器之接法有二，一為並聯接法，如圖 53，一為串聯接法，如圖 54 所示。若數個

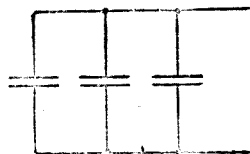


圖 53.



圖 54.

電容器用並聯法相接，則其總電容量必等於每個電容器之容量相加所得之總數。如以  $C_1, C_2, C_3$  代表一圖 53 內三個電容器之各容量，則其總容量  $C = C_1 + C_2 + C_3$ 。若數個電容器之容量皆相等，則其總容量即為一個電容器之容量，以電容器之個數相乘所得之積。譬如三個電容器之容量各為 2 微法拉，以算式表之為： $C = 2 \times 3 = 6$  微法拉。

二個電容器若依串聯法相接，則每個電容器之容量之倒數 (Reciprocal) 相加，即等於總容量之倒數。以算式表之為：

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad \text{或} \quad C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

以上之算式對於多數之串聯電容器仍可適用，如

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad \text{或} \quad C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}} \quad \text{是也。}$$

若串聯電容器中每個之容量皆同，則其總容量即為一電容器之容量，被電容器之個數除所得之數。例如三個電容器，每個之容量各為 0.003 微法拉，則其總容量為  $0.003 \div 3 = 0.001$  微法拉。

試以計算並聯與串聯電容器容量之各公式，與計算導體電阻之各公式相比，則其結果適相反。

設將一組同容量之電容器用串聯法接連，則每一電容器所受之電壓，必等於全組之總電壓以電容器之個數除得之商。但若各電容器之容量不同時，則其電量仍必相同，因同量之電流必向各電容器之一組導片中流入也。故在串聯電容器中，容

量最小之電容器，其二片間之電勢差必最大，因電容器之電壓等於其電量被容量除得之商，即  $E=Q \div C$ 。設各電容器之介質強度皆同，則電壓增高之時，其最小者必先破裂。

〔例題〕 設有三個電容器，其容量為 2 微法拉，3 微法拉與 4 微法拉。問(一)用串聯接法之總容量為若干？(二)用並聯接法為若干？

解：(一)

$$C = \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4}} = \frac{1}{\frac{13}{12}} = 1 \times \frac{12}{13} = 0.92 \text{ 微法拉。}$$

$$(二) C = 2 + 3 + 4 = 9 \text{ 微法拉。}$$

## 第二節 感 應 量

75. 自感應 (Self-Induction) 導線於通電流後，其四週所產生磁場之強度，全視其中電流之強度而定，此點前已言之。設電流強度發生變動，必使磁場發生同樣之變動，如是遂使導線內產生感應電壓，此種情形，謂之自感應，由此而產生之感應電壓，稱之為自感應反電壓 (Counter Electromotive Force of Self-Induction)。此反電壓有阻止電流變動之特性；即當電路連通時，有阻止電流流動之勢，當電路隔斷時，又有延長電流流動之勢，當電壓增減時，則有維持電流穩定之傾向。這稱為楞次定律 (Lenz's Law)。

自感應現象，猶如力學上之惰性 (Inertia)。任何物體在不動之時，因惰性之存在，阻止外來推動之力，但一經推動，即



使原動力已除，亦不肯立時停止。在電路中當其開關器關閉時，常有火花自開關器內射出，此即證明線路雖斷，但因自感應之關係，電流仍思越過隔斷處也。由上述各節觀之，可知直流電路內自感應之發現，祇限於電流變動之時；但於交流電路內，則因其電流之強度與方向無時不在變動中，故磁力線連續增減，而自感應之現象永遠存在。

77. 感應量 (Inductance) 及其單位 一電路或一線圈因自感應現象之存在而阻止其中電流之流動，變動，與停止之特性，是為感應量。

影響感應量之原因約有數端，如電路之形式，線圈之大小與圈數，磁性介質 (Magnetic Medium) 之性質等；且隨電流之變動率而增減。

感應量之單位亨利 (Henry)。設一電路內之電流，其每秒鐘之變動率為一安培，而能感起一伏特之反電壓者，此電路之感應量即為一亨利。或若一個單圈線圈 其中之電流為一安培，而能產生 100,000,000 或  $10^8$  磁力線者，其感應量亦為一亨利。若此等線圈內之電流，其變動率一律為每秒鐘一安培，則其磁力線之變動亦為  $10^8$ ，即能感應一伏特之反電壓。

在實際計算感應量時，亨利之為單位常覺太大。故又有毫亨利 (Millihenry) 微亨利 (Microhenry) 等較小之單位。毫亨利等於  $\frac{1}{1,000}$  或  $10^{-3}$  亨利，微亨利等於  $\frac{1}{1,000,000}$  或  $10^{-6}$  亨利。在實際問題中，感應量之單位仍以亨利較為普通，因其

與安培及伏特有相當之關係也，故於計算之時，20 毫亨利常寫作 0.02 亨利。表明一線路之感應量之數字，謂之自感應係數 (Coefficient of Self-Induction)。

78. 線圈感應量之計算 凡繞法一律之空心線圈，其感應量之計算尚易準確。若線圈之內心係屬鐵質，則其感應量之計算較為困難，因鐵之種類不同，而其導磁度 (Permeability) 亦復不同也。導磁度為何，係以同一之磁通勢，而用某種物質為心子，所得之磁場強度與以空氣為心子所得磁場強度之比值是也。故如遇鐵心之線圈，則須將由公式算得之感應量，再以該線圈內之鐵心之導磁度乘之，即得。

79. 線圈感應量計算公式 (a) 計算空心單層柱形線圈如圖 54，感應量之公式如下：

$$L = \frac{r^3 n^2}{9r + 10l} \dots \dots \dots (1)$$

式中  $L$  = 線圈之感應量，單位微亨利

$r$  = 線圈之半徑，單位吋

$l$  = 繞線之長度，單位吋

$n$  = 線圈之圈數

上式，若  $l$  之數值較  $0.8r$  為大，則大致準確。

【例題】一單層柱形線圈之半徑為 1.5 吋，繞線之長度為 2 吋，乃以 22 號 B. & S. 雙紗包線繞 90 圈，問其感應量為若干？

解：按半徑  $r = 1.5$ ， $l = 2$ ， $n = 90$ ，將各數代入公式中，則該線圈之感應量為：

$$L = \frac{1.5^2 \times 60^2}{9 \times 1.5 + 10 \times 2} = \frac{1.5 \times 1.5 \times 60 \times 60}{13.5 + 20} = \frac{8100}{33.5}$$

$$\approx 241.7 \text{ 微亨利。}$$

(b) 計算單層平繞線圈，即蛛網線圈（其側面如圖 55）之感應量之公式如下：

$$L = \frac{r^2 n^2}{8r + 11t} \dots \dots \dots (2)$$

公式中之  $L$  = 線圈之感應量，單位微亨利

$r$  = 線圈之半徑，單位吋

$n$  = 線圈之圈數

$t$  = 線圈之厚度，單位吋



圖 55.

此公式亦可略加改變如下，以計算圖 54 之單層柱形線圈之感應量：

$$L = \frac{r^2 n^2}{8r + 11l} \dots \dots \dots (3)$$

公式中之字母與前同。

〔例題〕 試在二吋心之蛛網板上用 22 號 B. & S. 雙紗包線繞 60 圈，線圈之厚度為 2 吋，問此線圈之感應量為若干？

解： 此種線圈之感應量，當以公式(2)計算之。

$r = (2 + 2) \div 2 = 2$ ， $n = 60$ ， $t = 2$ ，將各數代入公式中：

$$L = \frac{2^2 \times 60^2}{8 \times 2 + 11 \times 2} = \frac{2 \times 2 \times 60 \times 60}{16 + 22} = \frac{14400}{38}$$

$$= 378.9 \text{ 微亨利。}$$

第三種線圈為蜂房式線圈，其繞法如圖 56。 計算此式線圈感應量之公式如下：

$$L = \frac{8r^2n^2}{6r + 9l + 10t} \dots\dots\dots (4)$$

公式中  $L$  = 感應量，單位微亨利

$r$  = 線圈之半徑，單位吋

$n$  = 線圈之圈數

$l$  = 線圈之長度，單位吋

$t$  = 線圈之厚度，單位吋

〔例題〕 今欲自繞如圖 56 之蜂房式線圈，用 22 號 B. & S. 雙紗包線在 2 吋圓筒上繞 30 層，每層 30 圈，使線圈之長度  $l$  與厚度  $t$  各為 1 吋，問其感應量為若干？

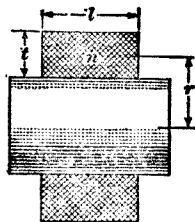


圖 56.

解：  $r = (2 + 1) \div 2 = 1.5$ ，  $n = 30 \times 30$   
 $= 900$ ，  $l$  與  $t$  各 = 1， 將各數代入公式 (4)：

$$L = \frac{0.8 \times 1.5^2 \times 900^2}{6 \times 1.5 + 9 \times 1 + 10 \times 1} = \frac{1458000}{28} = 52.071 \text{ 微亨利}$$

80. 感應線圈之串聯與並聯 如將二個或數個感應線圈用串聯法接連，其總感應量等於各感應量相加之總數。其計算法，與電阻之計算法完全相同。譬如，圖 57 之串聯感應線



圖 57.

圈，  $L_1$  之感應量為 200 毫亨利，  $L_2$  為 300 毫亨利，  $L_3$  為 600

毫亨利，則總感應量  $L = L_1 + L_2 + L_3 = 200 + 300 + 600 = 1,100$  毫亨利。

如將二個或數個線圈，用並聯法接連，如圖 58，其總感應量之倒數，等於各線圈之感應量倒數相加之總數，即：

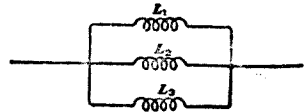


圖 58.

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} \quad \text{或} \quad L = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}}$$

若圖 58 中各感應線圈之感應量與圖 57 中各串聯線圈之感應量相同，則其總感應量即為

$$L = \frac{1}{\frac{1}{200} + \frac{1}{300} + \frac{1}{600}} = 100 \text{ 毫亨利。}$$

31. 互應感 (Mutual Induction) 試將二個線圈置於相近之處，使通電流之線圈所產生之磁力線，得以通過另一線圈，如圖 59，則第一線圈必使第二線圈感受電壓，此即互感應現象。

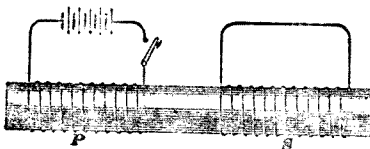


圖 59.

線圈  $P$  即通電流之線圈，謂之初級線圈 (Primary Coil)。另一線圈  $S$ ，謂之次級線圈 (Secondary Coil)。初級

線圈內之電流設有變動，即使磁場內之磁力線連帶增減，同時次級線圈內亦即感受電壓。如初級線圈內之電流增加，則次級線圈內所感受之電壓，必使電流向一方流動。若初級線圈內之電流減低，則次級線圈內所感受之電壓，必使電流向另一方流動。

若將次級線圈之導線直徑加大，而將其長度縮短，即可減低其電壓而增加其電流。故次級線圈非但可使電壓增加，使之超過初級線圈，亦可減低其電壓，而同時在一定限度內，增加其電流也。

在上節中所述之感應線圈並串聯接法之感應量計算，係以各線圈於聯接時彼此間無感應現象存在者，設彼此間有此現象發生時，則除原有之總感應量外，尚須加入一因此發生之互感量 (Mutual Inductance)，普通以  $M$  表之。在理論上，互感量應等於  $\sqrt{L_1 L_2}$ ，即  $M = \sqrt{L_1 L_2}$ 。然實際上則往往較之為小。若將二個線圈用串聯法順接，則每個線圈之實際感應量，等於其本身感應量加上互感量，而二線圈實際總感應量為：

$$L = L_1 + L_2 + 2M$$

若將二線圈用串聯法反接，則每個線圈之實際感應量等於其本身感應量減去互感量，而二線圈之總感應量為：

$$L = L_1 + L_2 - 2M$$

上述實際互感量與理論最大互感量之比例，特稱之曰交連係數 (Coefficient of Coupling) 縮寫為  $k$ ，以公式表之：

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

公式中之  $k$  常以百分數 (%) 表之。

〔例題〕 (一) 二個線圈之感應量為 200 微亨利與 300 微亨利，其互感量為 220 微亨利。問用串聯法順接，其總感應量為若干？ (二) 問其交連係數若干？

解： (一)  $L = L_1 + L_2 + 2M = 200 + 300 + 2 \times 220 = 940$  微亨利。

$$\begin{aligned} \text{(二)} \quad k &= \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} = 220 \div \sqrt{200 \times 300} \\ &= 0.9 \text{ 即 } 90\%。 \end{aligned}$$

82. 變壓器 (Transformer) 變壓器，俗稱方棚，係根據電磁感應與互感應之原理，而構成專用於交流電路中者也，圖 60 所示，即為變壓器之構造， $a$  與  $b$  為二個線圈， $c$  為繞製線圈

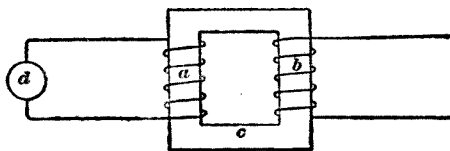


圖 60.

之鐵心。線圈  $a$  從外部得到電力，稱為初級線圈。線圈  $b$  將電力輸送至所需用之線路，稱為次級線圈。交流發電機  $d$ ，即係將電力供給初級線圈者。

次級線圈所感應得之電壓之高低，視二個線圈之圈數之比例而定，前已言之。若次級線圈之圈數較初級線圈之圈數多二倍，則其電壓必較施於初級線圈之電壓高二倍。反之，若次級線圈之圈數較初級線圈之圈數少一半，則其電壓亦低一半。若變壓器之功用係在增加電壓，即謂之昇壓變壓器 (Step-up Transformer)；若其功用係在減低電壓，則謂之降壓變壓器 (Step-Down Transformer)。

### 第三節 線圈與電容器之配合

83. 機械譬喻 在無線電廣播時，發射臺利用高週率電流之振動，在四週之空間，激起一種電磁波。產生此種高週率電流之方法雖多，但其基礎實為線圈與電容器之配合。

若將普通之電容器與電源接通，電容器即充電荷。假使將電源拆斷，其所充之電荷仍能保持。但若取一電阻甚高之電阻器接連電容器，而使之放出電荷，則所放出之電荷，必有一定方向。

試將電容器接以感應線圈，如圖 61 (a) 所示，圖中之  $a$  即

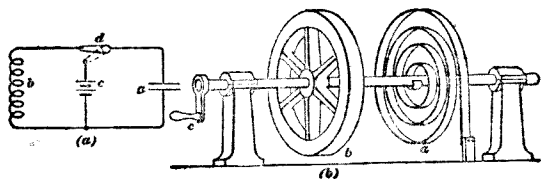


圖 61.

代表電容器， $b$  代表線圈， $c$  即產生電力以充電容器之電池。此種線路可比之同圖 (b) 之機械構造。其彈簧或發條  $a$  之一端，裝於輪軸上，其另一端則緊釘於車牀上。輪軸上復裝以飛輪  $b$ 。若將搖柄  $c$  轉動，則輪軸即連帶轉動。但輪軸開始轉動之時，彈簧立即施其阻力。輪軸轉動之週數愈多，彈簧之阻力愈大，終至彈簧完全緊繞於輪軸之上，使輪軸不能再向前轉。此時，若將搖柄放鬆，彈簧立即反動，而欲恢復其原來之地位。此種反動力，即使輪軸與飛輪向相反之方向轉動。在輪軸轉



動之時，飛輪  $b$  即得到動量 (Momentum)，故當彈簧已恢復其原來之地位時，飛輪  $b$  因其動量之驅使，仍繼續向前旋轉，而使彈簧退過其原來之地位，直至彈簧之反動力，足以抵制飛輪之動量之時，飛輪始停止旋動。但此時彈簧又想恢復其原來之地位，而復使飛輪反向旋轉。

在此機械之構造中，可以見到二種力量，一種是彈簧所施之抵抗力，一種是飛輪所施之動量，二者互相牽制，使輪軸先向一方旋轉，再向後方轉動，反復旋轉，直至二種力量，完全因摩擦而消滅。

上述之比較中  $(b)$  之彈簧  $a$ ，如同  $(a)$  之電容器  $a$ ， $(b)$  之飛輪  $b$ ，如同  $(a)$  之線圈  $b$ ，而搖柄之最先搖動，如同電池向電容器之充電。設將開關  $d$  撥至電池一端，電容器即被充電。再將開關撥至線圈之一端，電容器便向線圈放出其所充之電。但該線圈猶如上述之飛輪，始則制止所放出之電流，使之不易流動，待電容器所充之電荷完全流盡後，則復將其感應所得之電流，使由反方向流去。如此週而復始，直至電力完全消散為止。至於電容器每秒鐘充電與放電之週數或次數，則視電容器與線圈之大小而定，電容器之容量愈大，或線圈之感應量愈大，則其週率愈低，反是則愈高。

電容器對感應線圈之放電，可以圖 62 之曲線表明之。第一週所放之電荷必最多，漸次減少，以至於零度。

此段之主要點，即感應量是 一種阻

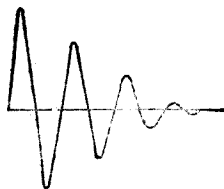


圖 62.

止任何變動之力。電容量是一種容納電力之量，此容納之電力且能再行放出。而感應量與電容量配合，便成爲諧振電路 (Resonant Circuit)。此種諧振電路，可以維持經調整與該線路諧振之週率之電流，而阻止其他一切週率之電流。

84. 週率與波長 (Frequency and Wave length) 欲利用無線電傳播消息，須用週率極高之交流，以激起無線電波，使能在空間射發。此種無線電波在空間行動之速度，每秒鐘爲 300,000,000 米，約等於 186,000 哩。凡論無線電，必涉及週率與波長，故對於二者之關係不可不澈底明瞭。

試取一塊石頭投入水中，立刻激起許多圈形波浪，從石頭落水之點起，向外散開，波浪距離中心點愈遠，其波圈之範圍亦愈廣。若將石頭用繩繫之，而按預定之速率，連續向水中上下昇沈，則波浪必隨石頭之昇沈，連續向外移動，石頭之昇沈愈速，波浪與波浪間相隔之距離(即波長)亦愈短，石頭之昇沈愈慢，則波浪間之距離亦愈長。

在無線電波與週率之間，亦有同樣之關係。以公式表之爲：

$$\lambda = \frac{V}{F}$$

公式中之  $\lambda$  = 波長，單位每秒米

$V$  = 波速，每秒 300,000,000 米

$F$  = 週率，單位每秒週

電磁波之速度既知爲每秒 300,000,000 米，而在無線電中常用之週率爲每秒從 100,000 週乃至 300,000,000 週，故其

相等之波長為 3,000 米至 1 米。無線電波之週率，常折合仟週以名之，一個仟週 (Kilocycle) 即等於 1,000 週。現今中國各廣播無線電臺所用之週率範圍，乃從 550 仟週至 1,500 仟週，每電臺之分隔為 20 仟週。若某電臺之週率已經知曉，則其波長必等於週率除波速，即  $V \div F$ 。欲得較確之結果，對於波速須作 299,820,000 以代 300,000,000 米。

感應線圈與電容器接連一處，如圖 61 (a)，即成為諧振電路。此種諧振電路對於諧振週率之電流，其電阻力極小。而對於不諧振週率之電流，其阻力則甚大。某週率之電流，若諧振電路對之發生最小之阻力者，此週率即謂之諧振週率，而可以下列公式計算之：

$$f = \frac{1}{2 \pi \sqrt{LC}}$$

公式中之  $f$  = 週率，單位每秒週

$$\pi = 3.1416$$

$L$  = 感應量，單位亨利

$C$  = 電容量，單位法拉特

若感應量與電容量係用較小之單位時，則上列之公式可修改如下：

$$\begin{aligned} f &= \frac{159.2}{\sqrt{L \text{ (亨利)} C \text{ (微法拉)}}} \\ &= \frac{5,033}{\sqrt{L \text{ (微亨利)} C \text{ (微法拉)}}} \\ &= \frac{159,200}{\sqrt{L \text{ (微亨利)} C \text{ (微法拉)}}} \end{aligned}$$

凡無線電收音機，其諧振部份完全為感應線圈與電容器二者之配合。現時普通收音機之電容器皆係可變者，所以變動諧振電路之電容量，即可改變收音機之諧振週率。故此種可變電容器之設計，可使收音機接收諧振電路範圍內之任何週率，而收聽各週率不同之電臺之一切播音也。

85. 波長計算法 若收音機內諧振電路之感應量與電容量已經知曉，則所收電訊之波長，亦可根據上述公式計算之。

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$\lambda = \frac{V}{f}$$

將第一公式代入第二公式中為：

$$\begin{aligned}\lambda &= V \div \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \\ &= 2\pi V\sqrt{LC} \\ &= 1,884,000,000\sqrt{LC}\end{aligned}$$

若感應量與電容量為微亨利與微法拉，則上列公式即改變為：

$$\lambda = 1,884\sqrt{CL}$$

86. 感應線圈之分佈電容量 在繞製普通線圈時，恆將銅線順序排列而繞，每圈之間皆隔以絕緣體，藉防碰線。此種絕緣體猶如電容器中之介質而每圈即如電容器中之導片。因此線圈非但具有感應量，且尚有電容量分佈於線圈之全體。在低週率時此種分佈電容量尚無問題，惟在高週率時，則其對

於線圈之影響極大。計算單層線圈之分佈電容量之簡便方法，乃以 0.178 乘線圈之圓周，其答數即微微法拉之分佈電容量也。

欲設計線圈以配合電容器，其分佈電容量亦當加以考慮。線圈之分佈電容量與其配合之電容器之電容量乃係並行，故在電容器任何調整地位時，線圈之分佈電容量皆與電容器之電容量相加。在刻度盤 (Dial) 之度數較小時，即當電容器之電容量為最小時，此種影響，特別顯著。在平時，線圈之電容量輒被忽視，但至電容量達最小限度時，欲決定線圈與電容器二者之諧振週率，必須同時考慮二者電容量也。因此，在計算調整無線電路之諧振週率時，線圈之分佈電容量，必須加入電容器之電容量以求準確。非但如此，即管座，真空管，與接線等之附屬電容量，亦當加以注意。

無線電收音機內所用之各線圈，其圈數往往在線路圖中一一註明。下附之表，對於繞製線圈時，需用圓管之長度之決定，不無幫助。在單層線圈，其總圈數以每吋之圈數除之，即知線圈所占之長度。線圈之長短，視其所用之銅線之粗細及其絕緣體之種類而定。譬如，欲用 22 號 B. & S. 單紗包線繞成 150 圈之線圈，而需決定線圈圓筒之長度，可按表而知在一吋之地位內，用 22 號單紗包線可繞 33.9 圈，故以 33.9 除 150 得 4.4，即 150 圈之 22 號單紗包線，當占 4.4 吋之地位，而圓筒至少不得短於 4.4 吋。

## 銅線之電阻與繞線圈數

銅線 號碼 B. & S.	每 1000 呎 歐 姆	每 吋 圈 數					
		單紗包	雙紗包	單絲包	雙絲包	漆 包	絲漆包
8	.641	7.35	7.05			7.7	
9	.808	8.26	7.87			8.6	
10	1.02	9.25	8.85			9.6	
11	1.28	10.3	9.80			10.8	
12	1.62	11.5	10.9			12.1	
13	2.04	12.8	12.2			13.5	
14	2.58	14.3	13.5	15.0	14.6	15.1	14.7
15	3.25	15.9	14.9	16.9	16.5	16.9	16.5
16	4.09	17.9	16.7	18.9	18.3	18.9	18.4
17	5.16	20.0	18.5	21.1	20.4	21.3	20.5
18	6.51	22.2	20.4	23.6	22.7	23.8	22.9
19	8.21	24.4	22.2	26.4	25.2	26.5	25.8
20	10.4	27.0	24.4	29.4	28.0	29.7	28.4
21	13.1	29.9	26.3	32.8	31.0	33.1	31.5
22	16.5	33.9	30.0	36.6	34.4	37.2	35.0
23	20.8	37.6	32.7	40.7	37.9	41.6	39.0
24	26.2	41.5	35.6	45.3	41.8	46.5	43.1
25	33.0	45.7	38.6	50.3	46.1	52.1	47.9
26	41.6	50.2	41.8	55.9	50.8	58.5	52.8
27	52.5	55.0	45.1	61.8	55.6	65.4	58.1
28	66.2	60.2	48.6	68.5	61.0	73.5	64.4
29	83.4	65.4	51.9	75.2	66.2	82.0	70.6
30	105	71.4	55.6	83.3	72.5	91.7	77.9
31	133	77.5	59.2	91.7	78.7	103	85.3
32	167	83.4	62.9	101	84.8	115	93.9
33	211	90.0	66.2	110	91.7	130	103
34	266	97.1	70.0	121	99.0	145	112
35	335	104	73.5	132	106	161	123
36	423	111	77.0	143	114	180	133
37	533	118	80.0	154	121	204	146
38	673	125	83.3	167	128	227	157
39	848	135	87.0	180	137	255	172
40	1070	141	90.9	196	145	286	185

# 第五講

## 交流電

### 第一節 交流電曲線之形式

87. 正弦波及其構造 前圖 47 所示之交流電曲線，名為正弦波，亦即代表理想中交流電流之行動。然在實際上，此種有規則之曲線則極難遇見。圖 63 所示，乃一正弦波之構造。將半徑 (Radius)  $ab$  之終點  $a$ ，依圓 (Circle) 之周線 (Circumference)，按一定速轉動一週，即完成三百六十度 ( $360^\circ$ )。試先研究半徑在第一象限 (Quadrant) 即  $90^\circ$  中之各地位。當半徑轉過  $c$  角而至  $a_1$  地位時，同時終點  $a$  在右邊之橫線上，亦已向上移動，其縱距可以虛線  $a_1d_1$  表之，而與  $c$  角之正弦成正比，因按三角學理， $\sin C = \frac{a_1d_1}{a_1b}$  也。準此同一理由，虛線  $a_2d_2$  必與  $c_1$  角之正弦成正比，即  $\sin C_1 \frac{a_2d_2}{a_2b}$ 。虛線  $a_3b$  與  $90^\circ$  之正弦成正比，即等於一。故在橫線上  $a_3b$  之縱距，即等於半徑。當終點  $a$  經過首先  $180^\circ$  時，先在橫線上升至最高之縱距，後再降至最低之縱距，即等於零。此  $180^\circ$  之行動，其縱距既在橫線之上，故得以之為正值。當終點從  $180^\circ$  移轉至  $360^\circ$  時，

實乃重演上述之行動，其在橫線之各虛線之縱距，亦完全與  $180^\circ$  時之各縱距相等，然其不同之點，即此時之終點  $a$ ，係在橫線之下移轉，故其各縱值，得以之為負值。

上述之橫線  $ab$ ，係從圓周線起，直向右邊伸展，並分為相等之分段，如  $ad_1, d_1d_2$  等，此等分段，必與  $ab$  半徑之終點  $a$  經過圓周線之  $a_1, a_2, a_3$  各地位時所造成之角度成正比，即分段  $ad_1$  與  $c$  角成正比，分段  $d_1d_2$  與  $a ba_1$  角成正比。故橫線之  $ae$  全長，亦必與圓圈之圓周線成正比，但不必等於圓周線之長度也。在橫線之  $a$  至  $e$  各點，劃立十根豎線，其長度與圓圈內之豎線  $a_1d_1$  及  $a_2d_2$  等線各各相等，五根在橫線之上，五根在橫線

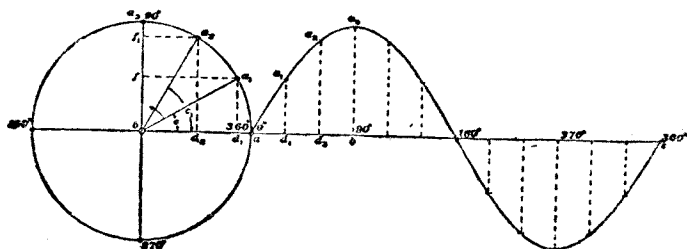


圖 63.

之下。再依此十根豎線之盡頭，劃一曲線以連之。此曲線即成為正弦波，因其各處離開橫線之縱距，必與圓圈內各同等角度之正弦成正比例也。此種曲線，係記錄一個移動點  $a$ ，當其轉完  $360^\circ$  之圓周時，搬到平面上之調諧運動 (Harmonic Motion) 之簡明設計。如圖 63 中左部  $a_1$  點之設計，即等於豎線  $a_3b$  上之  $f$ ， $a_2$  點之設計，即等於  $f_1$  也。



對於該  $a$  點之各角度運動，其離開橫線之縱距之升降，必隨地位而變動，如圖圈內之  $f, f_1, a_3$  等各點之縱距，或如正弦波上  $a_1, a_2, a_3$  等點與橫線間之縱距是也。

**88. 電時度 (Electrical Time-Degrees)** 完成一週所需之時間，常分為 360 相等之週期，名為電時度，或簡稱爲時度。如圖 64 所示，在  $0^\circ, 180^\circ, 360^\circ$  時，電流或電壓乃等於零，在  $90^\circ$  時，電流或電壓乃達正值之最高度，在  $270^\circ$  時，卻達負值之最高度。按最高與零度之間，永必相差 90 時度，又正值最高度與負值最高度之間，或第一零度與第二零度之間，永必相差 180 時度。同時，交流發電機之旋軸之旋轉，亦分為 360 度，名為電位度 (Electrical Space-Degrees)，或簡名為電度 (Electrical Degrees)。在每一電時度之時期內，旋軸即旋一電位度之地位。故旋軸每轉一全週，即完成  $360^\circ$  電位度。

**89. 畸形電波** 交流電流或電壓之變動，必依正弦波之形式，在實用問題中，雖足夠準確，但其實際之波形，往往與正弦波迥異，如在某種情況之下，其電波之形狀，或如圖 64 所示。

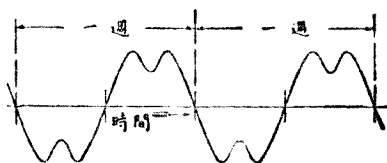


圖 64.

無論電流之形式如何，其對於中心軸大概皆取平衡之勢，即其正值之半與負值之半之形式，必屬相同。電流之形式，完全視交流發電機之式樣與線路之性質而定。

## 第二節 波形之計算

80. 相位 (Phase) 交流電路中之電流，有時係二個獨立之電壓所產生者，如在一個線路中，接有二個交流發電機是也。倘二個電流之週率相同，且經過各數值之時間亦相同，如零度，正值最高度，零度，負值最高度，零度等，此等電流謂之同相 (In Phase)。但若二個電流之週率雖相同，其經過各數值之時間卻不同，則此等電流謂之異相 (Out of Phase)。此種名稱，對於二個電壓，或電壓與電流，亦可應用。

此種電壓與電流或其他之相位差 (Phase Difference)，常以電時度表明之。若專指落後變動者而言，其相差謂之落後角 (Angle of Lag)，若專指導前變動者而言，其相位差謂之導

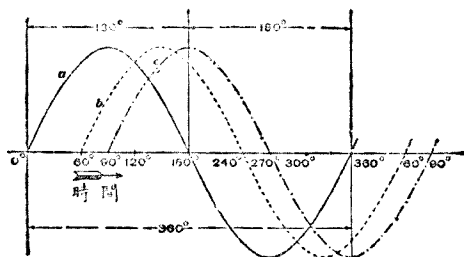


圖 65.

前角 (Angle of Lead)。譬如圖 65，曲線 *a* 所代表之電壓與曲線 *b* 所代表之電流，其間之相位差為 60 時度。在此相位差中，電流落後於其電壓 60 時度角，同時電壓即導前於其電流 60 時度之導前角。至於曲線 *c* 所代表之電流，則落後於電壓

$a$  90 時度角，落後於電流  $b$  30 時度角。當電壓  $a$  達到最高度時，電流  $c$  卻在最低度，即零度。在實際計算時，若電流落後者，僅稱其相位差為落後角，或電流導前者僅稱其相位差為導前角。

若從二個電源所產生之電流，其週率與相位皆同者，即謂之協調 (Synchronism)。使二個發電機或他種電源彼此協調，謂之調和法。凡交流發電機，必須先行調和，並使其電壓相等，而後始可彼此接連。

91. 同相正弦波之相加法 (Addition of Sine Waves in Phase) 圖 66 所示，乃係二個正弦波所代表之同相交流電流或電壓之相加法。圖中之點形曲線係代表一個電流，其最大值为  $I$ 。圖中之點劃形曲線係代表另一電流，其最大值为  $I_1$ 。圖中之全黑曲線則係代表二電流相加之總數。其相加之法，即將二個組合 (component) 電流在同時度之各數值相加之。譬如先取任何時度之二數值以加之，如在零度軸上之  $a$  點，縱距  $ab$  係代表電流  $I$  之數值，縱距  $ac$  係代表電流  $I_1$  之數值，故此二電流在  $a$  點之總數值，即等於縱距  $ab$  與  $ac$  相加之

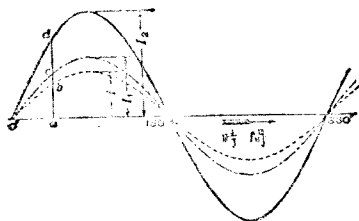


圖 66.

數，即  $ad$ 。遂在較高之處，安置  $d$  點。以後之各點，按照同樣方法一一安置。然後再劃一全黑曲線以接連各點。此種全黑曲線，即等於二電流之總數值，蓋  $I_2 = I + I_1$  也。此全黑曲線亦係一正弦波，且其地位亦與二個組合電流同相也。

92. 異相正弦波之相加法 圖 67 所示，係二個異相正弦波之相加法。曲線  $a$  與  $b$  代表二個交流電流，曲線  $a$  落在曲線  $b$  之後，零度軸上之  $ba$  橫距，即代表其落後角。在此情

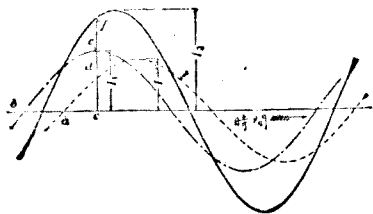


圖 67.

形之下，二個組合曲線之縱距，每有相反之符號，一係正值，一係負值。因此，將二個縱距相加之時，對於其符號之正負，應加以注意，若二縱距之符號俱為正值，或俱為負值，其總數即等於相加所得曲線之縱距，如  $cd + ce = cf$ 。但若一個縱距為正值，一個縱距為負值，則其相加後之答數，即等於所得曲線之縱距。若曲線  $a$  與曲線  $b$  之縱距雖相等，但一為正值，一為負值，則其所得曲線之縱距，必等於零，而經過零度軸。此種加法實基於代數學，因其正負值皆可相加也。準上以觀，其所得電流之變動，雖亦仿照其組合電流之週率之正弦波，但不與任何組合電流同相，且其最大值亦反較  $I$  與  $I_1$  最大值之總數為小也。

93. 副波 (Harmonics) 在實際情形中，前述之理想正弦波極難遇見，而較為普通之波形，大都類皆畸形。故畸形波，得謂之為一個同週率之正弦波，與數個較高週率之正弦波相加之組合波也。與畸形波同週率之正弦波，謂之基本波 (Fundamental Wave)，其週率較高者，謂之副波 (Harmonics)。分別副波之法，即視其週率與基本波週率之比數而定。若其週率較基本波之週率大一倍，此等副波謂之第二副波，若大二倍，謂之第三副波，以次類推。但在實際計算時，副波之比數大半皆為單數，如第三第五副波等是也。

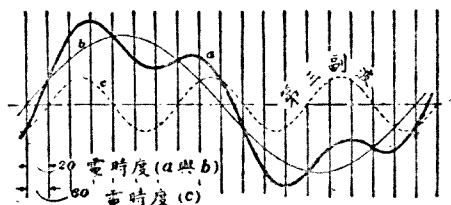


圖 68.

圖 68 所示，係一組合波  $a$ ，及其所包含之基本波  $b$ ，與第三副波  $c$ 。所當注意者，無論組合波  $a$ ，或基本波  $b$ ，當其完成一週之時，其第三副波  $c$  於同週期內，可完成三週也。且在此圖中，三個波皆不同相。組合波  $a$  在任何地位時之縱距，必等於基本波  $b$  與副波  $c$  在同地位之縱距之代數和 (Algebraic Sum)，而基本波與副波之大小與相位，遂造成組合波之形式。

### 第三節 交流電路

94. 交流電壓與電流值 交流電壓與電流，在一週內各地

位之值，於實際計算之時，絕無用處，故無須注意。但其最大值，平均值與有效值，於實際上甚為重要，而其有效值尤關重要，不可不加以注意。

最大值 (Maximum Value)，即電壓在一週內所達之最高度，乃為一線路中絕緣體所遭遇之最大壓力。平均值 (Average Value)，即在一週內各數值之平均數，等於最大值乘 0.636。有效值 (Effective Value) 等於最大值乘 0.707。普通言及交流電壓或電流之數值時，即係指其有效值，而本講義以後論及交流電壓或電流之數值時，除特別註明外，亦以有效值為根據。然則有效值究為何物。所謂交流之有效值，即等於一直流電在某線路中所產生之同等熱力之數值也。譬如，一交流所產生之熱力，等於一個 10 安培之直流所產生之熱力，則其有效值即為 10 安培。交流電壓之有效值，與有效電流相等，故其對於最大電壓之比數，亦與有效電流對於最大電流之比數相同。伏特計，安培計，與瓦特計，皆係記錄有效值者也。

〔例題〕 若某交流電路中之最大電壓為 165 伏特，問其有效電壓為若干。

解： 最大值乘 0.707 等於有效值，故該線中之有效電壓為  $165 \times 0.707 = 117$  伏特。

95. 感應迴阻 (Inductive Reactance) 交流電路之感應迴阻，乃該電路中由感應線圈所造成之一部份之阻力也。此種阻力亦以歐姆計算之。感應迴阻，非但阻止線路內之電流，並且使之落於電壓之後。感應迴阻之數值，等於  $2\pi$  乘週率乘

感應量之總數。其公式為：

$$X_s = 2\pi fL$$

公式中之  $X_s$  = 感應迴阻，單位歐姆

$f$  = 週率，單位每秒週

$L$  = 感應量，單位亨利

$$2\pi = 2 \times 3.1416$$

若感應迴阻與週率皆已知曉，則將上列公式略為變化，即可成為計算感應量之公式：

$$L = \frac{X_s}{2\pi f}$$

〔例題 1〕 在一 60 週之線路中，若其線圈之感應量為 25 毫亨利，問此線圈之感應迴阻為若干。

解： 25 毫亨利 = 0.025 亨利。  $X_s = 2 \times 3.1416 \times 60 \times 0.025 = 9.425$  歐姆。

〔例題 2〕 若在一 25 週之線路中，有一機件，其感應迴阻為 5 歐姆，問其感應量為若干。

解：  $L = \frac{5}{2\pi \times 25} = \frac{5}{157.1} = 0.032$  亨利，或 32 毫亨利（約數）。

93. 阻流線圈 (Choke Coils) 任何電路，有時不免感受極高週率之高電壓之壓迫，此種電壓常為大量電流之突然變動之自感應所致。欲避免此種電壓對於機件之損害，當在電路內，另以有感應量之器件與各機件用串聯法接連。此等帶有感應量之器件，謂之阻流線圈 (Choke Coil) 或迴阻線圈 React-

tance Coil)。

阻流線圈係以銅線繞成，圈與圈之間，隔以絕緣物。若干阻流線圈係以光銅線繞製，圈與圈僅彼此分離，即以空氣為絕緣體。此種線圈之感應迴阻，對於普通之週率極為微弱，但對於高週率之電流，則其阻力大形增加，故能保護與其串聯之機件也。有時將繞在鐵心上之阻流線圈，用串聯法接於機件之上，以減低經過該機之電壓，因經過阻流線圈與機件之電壓之一部份，須用以抵制阻流線圈內所感應之反電壓也。鐵心阻流線圈亦有用於直流發電機，以減少其電流之變動性。尚有一種阻流線圈，名為迴阻器 (Reactors)，係將粗銅線數圈繞於無磁性之心子上，用串聯法與強力交流發電機相接，以減少碰線之損害。

97. 電容迴阻 (Condensive Reactance) 交流電路之電容迴阻，即全體電阻中，電容量所造成之一部份阻力也。通常亦以歐姆表之。其作用在限制電流之流動，而使之導前於電壓。電容迴阻之數值，等於  $2\pi$  與週率與電容量相乘之倒數，茲以公式表明之

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC}$$

公式中之  $X_c$  = 電容迴阻，單位歐姆，

$f$  = 週率，單位每秒週，

$C$  = 電容量，單位法拉特。

〔例題〕 試將一 0.1 微法拉 (0.0000001 法拉特) 之電容器接入 25 週之交流電路中，問其電容迴阻若干？



解： 將各數值代入公式中

$$X_c = \frac{1}{2 \times 3.1416 \times 25 \times 0.0000001} = 63,662 \text{ 歐姆 (約數)}。$$

98. 集膚作用 (Skin Effect) 交流電流之通過導體，往往沿集其外面，而不利用其全部之斷面積，以致其流動感受一種阻滯。此種使電流阻滯之特性，謂之集膚作用。一根導體可比作一束並行之小導體，如施以交流電壓，則所造成之交流電流，在各小導體四週所產生之磁束，各不相等，因各小導體之地位關係，其所受之磁力線之數各有不同，相近中央之小導體所受之磁力線必較多，故其自感量或反電壓亦必較在外面者為強。

其實施於各小導體二端之電壓係平均一律，故若靠近中央各小導體之反電壓，較在外面之導體之反電壓為高，則其電阻當反較在外面者為低。此等現象，實乃電流所造成，緣通過中央小導體之電流較少，而通過外面小導體之電流較多。因此，電流之密度並不一律，愈近導體之外面，其密度愈高也。由上觀之，導體對於交流之阻力，必較直流為大。

集膚作用之強弱，全視電流之週率，導體之斷面積而定。若電流之週率甚低，且其所經過之導體係細銅線，則其集膚作用可毋庸介意。但在高週率或粗導體中，則集膚作用有時成為重要問題。譬如以粗鋼條作為導體，則其施於交流之阻力，較直流大為增加，因其對於磁力線之阻滯甚低，而大量之磁束得以產生也。為減少集膚作用起見，當取數股組成之導體，以代單根之粗導體。

圖 69 所示，乃為集膚作用係數 (Skin Effect Coefficients)。若以此等係數，與導體對於直流之電阻相乘，即可知其對於交

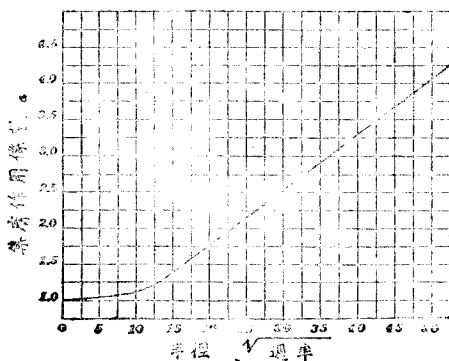


圖 69.

流之電阻。計算導線對於交流之電阻之公式為：

$$R_a = R_d a$$

公式中之  $R_a$  = 交流電阻；

$R_d$  = 直流電阻；

$a$  = 集膚作用係數，即隨導線之半徑(如下表)與週率之平方根相乘之積而變動之數。

〔例題〕 若美國線規十號線對於直流之電阻為 5 歐姆 問其對於 10,000 週之交流之電阻為若干？

解： 先求得集膚作用係數。 10 號線之半徑為 0.129 厘米。  $\sqrt{10,000} = 100$ 。  $0.129 \times 100 = 12.9$ 。 再從圖 69 中尋得 12.9 之係數  $a$  約為 1.25。 將以上各數值代入公式中  $R_a = 5 \times 1.25 = 6.25$  歐姆。

美國線規之半徑表

號 碼	半徑 r 厘米	號 碼	半徑 r 厘米	號 碼	半徑 r 厘米	號 碼	半徑 r 厘米	號 碼	半徑 r 厘米
0	0.413	8	0.163	16	0.065	24	0.026	32	0.010
1	0.367	9	0.14	17	0.058	25	0.023	33	0.009
2	0.327	10	0.129	18	0.051	26	0.020	34	0.008
3	0.291	11	0.115	19	0.046	27	0.018	35	0.007
4	0.2 9	12	0.102	20	0.042	28	0.016	36	0.006+
5	0.231	13	0.091	21	0.036	29	0.014	37	0.006-
6	0.205	14	0.081	22	0.032	30	0.013	38	0.005
7	0.183	1	0.072	23	0.029	31	0.011	40	0.004

#### \* 第四節 總阻與電流之計算

99. 電路中之總阻 (Impedance of Circuit) 一電路之總阻,包括電阻,感應迴阻,電容迴阻,與集膚作用。前三種阻力中之任何一種,對於交流電路,各有其相當之影響,至於最後之一種,即集膚作用,則祇限於高週率與粗導體而已。交流電路之定律,與直流電路之歐姆定律,大體相同,其各公式如下:

$$I = \frac{E}{Z}$$

$$E = IZ$$

$$Z = \frac{E}{I}$$

各公式中之  $I$  = 電流,單位安培;

$E$  = 電壓,單位伏特;

$Z$  = 總阻,單位歐姆。

100. 純電阻電路 一交流電路中，若僅含電阻一種阻力，則其作用實與在直流電路中相同。根據歐姆定律， $I = E \div R$ ，電流雖為電阻所阻滯，但電壓與電流之間，並無相位差之存在。譬如，電燈乃為無感應性者，故其電路中之電流，無論其為直流或交流，其值可依據歐姆定律計算。

圖 70 即為此種電路之構造，其交流發電機，則在習慣上常繪於圖之左邊。

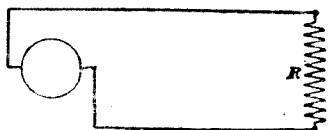


圖 70.

101. 純感應迴阻電路 交流電壓  $E$ ，在僅含感應迴阻之電路中，所造成之電流  $I$ （電阻與電容迴阻不計），必依下列之公式：

$$I = \frac{E}{X_L}$$

公式中之  $X_L$  即係感應迴阻。此等線路，既僅含有感應量，故其電流當較電壓落後 90 時度，即其落後角為 90 度。譬如電路中之感應迴阻為 10 歐姆，電阻與電容迴阻不計，則 300 伏特之交流電壓，當產生  $300 \div 10 = 30$  安培之電流。圖 71 即示此電路之情形。



圖 71.

102. 純電容迴阻電路 交流電壓  $E$ ，經過電容器所產生之電流  $I$ （電阻與感應迴阻不計），當以下列公式計算：

$$I = \frac{E}{X_C}$$

公式中之  $X_C$  即係電容迴阻。其情形如圖 72。此等電路中之

電流，導前電壓 90 時度，即其導前角為 90 度。譬如電壓為 300 伏特，電容迴阻為 1,500 歐姆，則其電流當為  $300 \div 1,500 = 0.2$  安培。



圖 72.

103. 電阻與感應迴阻之串聯 在串聯電路中，若電阻  $R$  與感應迴阻  $X$ ，二者皆備，如圖 73，則交流電壓必如上述之定律，即  $E = IZ$ ； $I$  係電流， $Z$  係總阻。此等電路中之總阻，可以下列公式計算之：

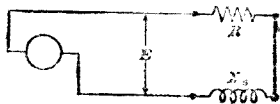


圖 73.

$$Z = \sqrt{R^2 + X_c^2}$$

公式中之  $Z$  = 總阻；

$R$  = 電阻；

$X_c$  = 感應迴阻。

〔例題〕 設一電路中之電阻為 4 歐姆，感應迴阻為 3 歐姆，問其總阻若干？

解： 按照上列之公式，

$$Z = \sqrt{4^2 + 3^2} = \sqrt{16 + 9} = \sqrt{25} = 5 \text{ 歐姆。}$$

104. 電阻與電容迴阻之串聯 若一電路中俱有電阻與電容迴阻二種阻力，如圖 74，則其總阻之計算，亦與前法相同。其電流之計算，可依  $I = E \div Z$  之常式。其總阻則可求自下列公式：

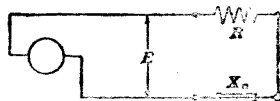


圖 74.

$$Z = \sqrt{R^2 + X_c^2}$$

公式中之  $Z$  = 總阻；

$R$  = 電阻；

$X_c$  = 電容迴阻。

〔例題〕 試將一 1,000 歐姆而無感應量之電阻，與一 1,600 歐姆之電容迴阻用串聯法接入 440 伏特電壓之電路中，問 (1) 其總阻若干？(2) 其電流若干？

解：(1)  $Z = \sqrt{1,000^2 + 1,600^2} = 1,887$  歐姆(約數)。

(2)  $I = E \div Z = 440 \div 1,887 = 0.233$  安培或 233 毫安培。

**105. 感應迴阻與電容迴阻之串聯** 若將感應迴阻與電容迴阻接入無電阻之電路中，如圖 75，則電容迴阻之作用，有抵消感應迴阻之作用之趨勢。故若感應迴阻與電容迴阻彼此相等，則其總阻必等於零。如二迴阻中有一迴阻較其他之迴阻為大，則其總阻必等於二迴阻相減之差數。

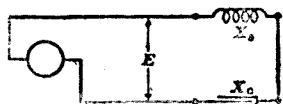


圖 75.

至於電流之導前或落後，當視二迴阻中之何一迴阻較大為定。如電容迴阻較大之時，電流必導前，如感應迴阻較大之時，電流必落後。此種情形全係理論，事實上絕無此種電路，因電路中不能完全無電阻也。然為便於明瞭實用問題起見，此等智識實不可缺。

**106. 電阻電容迴阻與感應迴阻之串聯** 在實際之電路中，總阻之三個組合成份，即電阻電容迴阻與感應迴阻，必時常遇見，如圖 76。若感應迴阻與電容迴阻彼此相等，即

$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC}$ ，則線路中之週阻，即等於零，而該電路中所需計算者，僅電阻一項而已。在此種情形之下，此線路即在諧振狀態中。

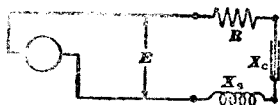


圖 76.

下列公式，可用以計算總阻。若電容週阻  $X_c$  較大時用 (1)，感應週阻  $X_L$  較大時用 (2)：

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_c - X_L)^2} \quad (1)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_c)^2} \quad (2)$$

〔例題〕 假定一電路中之電阻為 96 歐姆，感應量為 249 毫亨利，電容量為 19.8 微法拉。若將一交流發電機接入電路中，而其電流之週率為 60 週，電壓為 520 伏特，問 (1) 電流較電壓導前或落後？ (2) 該電路之總阻若干？ (3) 電路中之電流若干？

解：(1) 感應量為 0.249 亨利，電容量為 0.0000198 法拉特。將上述數值代入公式中，則感應週阻為：

$$X_L = 2\pi fL = 2 \times 3.1416 \times 60 \times 0.249 = 94 \text{ 歐姆。}$$

$$\text{電容週阻為 } X_c = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2 \times 3.1416 \times 60 \times 0.0000198} = 134$$

歐姆。故此電路中之電流必較電壓導前，因電容週阻比感應週阻較大故也。

(2) 總阻可用公式 (1) 計算之，即：

$$Z = \sqrt{96^2 + (134 - 94)^2} = 104 \text{ 歐姆。}$$

(3) 電路中之電流可依常式計算之，即：

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{520}{104} = 5 \text{ 安培。}$$

**107. 電阻之並聯** 圖 77 所示，乃三個電阻並聯之線路，其分路中之感應迴阻與電容迴阻微不計及。若電路中祇有導體之電阻而無感應迴阻與電容迴阻，則可用歐姆定律以計算之。

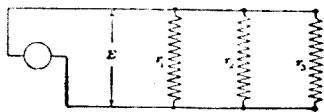


圖 77.

**108. 電阻感應迴阻與電阻電容迴阻之並聯** 凡電路皆有電阻，且可與感應迴阻及電容迴阻單獨或共同接連，如圖 78。其第一分路為電阻  $r_1$  與感應迴阻  $X_L$  聯合。其第二分路為電阻  $r_2$  與電容迴阻  $X_C$  接連。在第一分路中，其電流因感應迴阻之作用，當較電壓落後。在第二分路中，因電容迴阻之作用，其電流則較電壓導前。此等情形在計算總線電流時，皆須顧及，因各

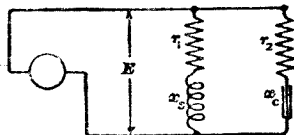


圖 78

分路內之電流係彼此異相，且與電壓異相，故不能將各分路內之電流隨意相加而作為總線內之總電流也。若一分路中俱有電阻感應迴阻與電容迴阻三種阻力時，則當先計算二迴阻之差，然後再根據電阻與迴阻差，以計算該分路之總阻。

**109. 交連線路 (Coupled Circuits)** 交流或變動電流皆可藉電磁感應從一電路搬移至另一電路。成就此種搬移之情形，可於圖 79 中見之。(a 所示者為電池 a 經開關 b 而與線圈



$cd$  接連。當開關  $b$  合閉時，線路中立刻有電流通過，其方向必如近電池  $a$  處之箭頭所指。同時線圈  $cd$  即發生磁力線，其方向則如代表磁力線之虛線中之箭頭所指。設將另一線圈  $ef$  置於  $cd$  線圈之旁邊，則此線圈必被  $cd$  線圈之磁力線所截切，而其中必感受電壓。此種由感應而發生之電壓復在  $ef$  線圈及其相連之電路內產生電流。當初級線圈  $cd$  中之電流增加時則次級線圈  $ef$  內電流之方向係如圖 79

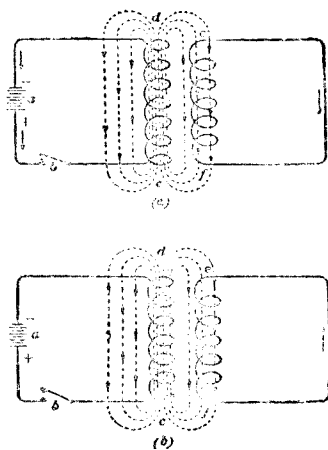


圖 79.

(a) 右邊之箭頭所指。一俟初級線路中之電流達到固定之數量時， $cd$  線圈四週之磁力線亦即穩定，因此次級線圈  $ef$  內遂無電壓之感受，故亦無電流通過其中。

當開關  $b$  撥開之時，如圖 (b) 所示，初級線圈  $cd$  內之電流立刻停止，其四週之磁力線亦同時消滅。在消滅之時，磁力線復截切次級線圈  $ef$ 。但此時之截切，其方向適為相反，同時其感受之電壓與產生之電流亦必相反其原來之方向，如圖 (b) 右邊之箭頭所示。俟初級線圈四週之磁束減至零度，則次級線圈因無磁力線之截切，其中之電流亦同時減至零度。此種交連謂之感應式交連，因其利用感應線圈故也。

若將圖 79 中初級線路之電池  $a$  代以交流發電機，其次級

電路中所感受之電壓之力量，常視初級線圈與次級線圈雙方匝數之比例而定。但其週率則必與初級線路內之電壓之週率相等。又次級線路內之電壓必與初級線路內之電壓彼此異相。譬如，當初級線路內之電流從零度向前增至最高度時，磁力線之截切亦必達最高度，同時次級線路中感受之電壓亦達最高度。然初級線路內之電流既達最高度之時，磁力線之截切即行停止，故次級線路內所感受之電壓亦必降為零度。當初級線路中之電流回復減低而達零度時，則次級電路內所感受之電壓必達反向或負值之最高度。但俟初級電路內之電流從零度再向負值增高之時，則次級電路內所感受之電壓又復降低。總之，當初級電路內之電流達到最高度時，其次級電路內所感受之電壓即降至零度，及至電流將要反轉時，電壓即達最高度。初級電路與次級電路內之電壓或電流，其間之相位差為  $90^\circ$  時度。

# 第六講

## 真空管通論

### 第一節 真空管之原理

110. 電子運動 世事進步之迅速，無有過於無線電事業者，然其所以能發達而有今日之成績，則當歸功於真空管 (Vacuum Tubes) 之發明。因其功效之偉大，應用之廣博，故其式樣之發明，質地之改良，亦日新而月異，無時不在突飛猛晉中。

真空管之構造，係完全根據電子運動之基本原理。蓋一切物質之原子內圍繞陽核運轉之電子，其快慢常視溫度之高低而定。若將其溫度增高，則電子之運動必愈快，若將其溫度減低，則其運動即愈慢，若將溫度儘量減低，則電子之運動亦幾完全停止。就物質而論，其對於電子之吸力亦各不同，有一遇熱力極易使其電子逃出者，亦有雖遇極高之熱力其電子亦極難逃出者。

真空管之絲極 (Filament)，或稱陰極 (Cathode)，即係直接利用熱力以釋放電子者也。當其中通過電流而產生熱力時，電子即由絲極內逃出，因其為數極多，故乃圍繞於絲極之四週，如雲霧一般。此種逃出之電子，若無正性物體之吸引，並無可

去之路，則仍積聚於絲極之四週，至積聚之電子過多時，乃聯合而產生一種作用，名為空間電荷作用 (Space-charge Effect)，以阻止絲極之無限制電子射發。

若在真空管內加一吸收電子之陽極 (Anode)，即普通所稱之屏極 (Plate)，則因其為正性，故由絲極逃出之電子必被吸收。試取一毫安培計而接入屏極線路內，即可證明該線路內實有電流之流動，因從絲極走向屏極之電子連貫不斷，故而成為電流也。若將屏極接連電池或絲極之負極，則屏極即變成負性，故非但不能吸引電子，而且拒絕之。證以安培計內指針之停而不動，即知其中並無電流之通過，亦即電子不向屏極流動之顯明表示也。

111. 電子學說對於真空管之應用 圖 80 所示乃一無線電真空管之基本電路。圖中之 *a* 為真空管之絲極，*b* 為屏極。絲極之熱力係由甲電池所產生之電流所維持。*c* 為可變電阻器，係用串聯法接於電池與絲極之間，以節制絲極電流與溫度。

真空管之屏極 *b* 乃接連於乙電池之正極。*d* 為毫安培計，乃接於甲電池與屏極之間，以測量屏極線路內之電流。乙電池之負極則可接連於絲極電路之任何一端。

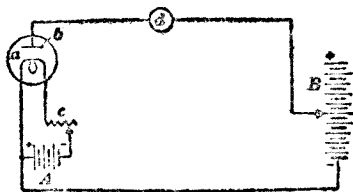


圖 80.

從絲極  $a$  流向正性屏極  $b$  之電子即成電子流，其實即係電流，蓋由毫安培計可以證明之也。前者之流動方向係由絲極至屏極，而電流之方向則反是。電子流既在屏電路內流動，故常稱為屏電流 (Plate Current) 而絲極電路內之電流，則稱為絲極電流，以示區別。

112. 空間電荷與飽和作用 如圖 80 之絲極溫度不變，則屏極  $b$  所吸引之電子之數量當視其電壓之高低而定。如屏電壓增至相當程度，則真空管內之電子幾全數被屏極所吸引，即使將屏極電壓再行增高，亦不能使屏極電流有明顯之增加。此時之屏電流謂之飽和電流 (Saturation Current)。

在某溫度時，絲極所射發之電子，其數量殆無變動。此種電子圍繞於絲極之四週如同雲霧，而使絲極四週之空間感受負電荷。此種電荷常稱為空間電荷 (Space Charge) 而可利用之以產生屏電流。在平時，產生屏電流僅需空間電荷之一部份。若將屏電壓增至相當程度，使絲極所射發之電子完全吸引，則空間電荷作用即行減少，而達到飽和 (Saturation) 之情形。

若將絲極之溫度增高，則電子發射之數量必增加，而屏電壓亦可再行增高，使產生較大之屏電流，而後達到另一飽和點。故絲極之溫度愈高，則屏電流愈大，而後始能達到更高之飽和點。

## 第二節 真空管之絲極

118. 鎢質絲極 (Tungsten Filament) 當真空管最先發明

時，其絲極係以鎢質 (Tungsten) 製造，蓋電燈內之燈絲即係此物，且其特性尤為人人所知悉者也。直至今日，發射真空管之絲極仍多有用鎢製者，其緣由在於鎢之質地堅固，遠非其他絲極質料可及，故能抵抗高電壓所產生之高速度流動電子之衝擊，而不致損及其鎢絲之表面。欲使此種鎢質絲極發射相當數量之電子，必需甚高之溫度，但若所用之絲極電壓超過其規定之限度，則因鎢絲之過度蒸發而促短真空管之壽命。反之，若將其溫度減低，則可延長其壽命。

114. 塗氧化物絲極 (Oxide-Coated Filament) 經多時之研究與試驗，後人乃發明將一種化學物質塗於絲極之外，可在較低之溫度發射較多之電子，因而延長真空管之壽命。鋇 (Barium) 與銣 (Strontium) 之氧化物 (Oxides) 最合塗於絲極之用，故應用極廣。絲極之本身係用鉑或他種適當之金屬物或其化合物製造，並欲使其發射電子之面積充分廣大起見，常製成細帶之形式。其職務除支持塗於其上之氧化物外，兼作烤熱氧化物之用。有時亦可將氧化物塗於一金屬管上，而由包於其中央之絲極發放熱力以烤熱之。

115. 塗鈾絲極 (Thoriated Filament) 有數種金屬物能產生鉅量之電子，而所需之溫度復較鎢質為低。鈾即係此種金屬物。但純鈾之絲極不易製造，故常以少量之鈾與鎢混合，以鎢為發熱體與支持物，而於外面再塗以鈾層 (Thorium Layer)。

塗鈾絲極所需之熱力約為攝氏 1700 度，即等於 5 伏特之電壓與 0.25 安培之電流所產生之溫度。當塗鈾絲極受到適

宜之溫度時，外面之鈦層即發射電子，而絲極內部之鈦亦向外面移動以補充此鈦層。俟全部之鈦用完時，即其壽命終了之時。但若因運用不當或荷載過度，而致此種塗鈦絲極之真空管失去效用者，可藉復活法 (Reactivation) 重新使其絲極上之鈦層還原而恢復其效用。

116. 氣體之影響 除少數真空管需用特別氣體外，大多數之真空管內部並無些微之氣體遺留其中。電子流或屏電流中若混帶一粒氣體原子，則此氣體原子遲早必被流動極快之電子所衝擊，以致遺失其中一部份之電子，而顯正電荷。從氣體原子內遺失之電子必隨其他之電子而流向屏極，使正常之屏電流得到額外之增加，至於氣體原子，既因遺失一部份之電子而顯正電荷，必向負性之絲極移動。絲極遭受氣體原子之衝撞，其發射電子之表面即受損害。若此種情形繼續不斷，則絲極發射電子之效用必受極大之影響。因此，在製造真空管時，對於管內遺留之空氣之抽除須絕對遵守。

### 第三節 二極真空管

117. 二極管 (Diode) 之式樣 二極真空管有二個電極，對於真空管內電流之傳導各有其相當之職務。一個電極為屏極，即電流出發之點，另一電極即係陰極，即電流流入之點。

118 二極管之特性 二極真空管之運用，一方面在於陰極之得到熱力而發射電子，另一方面在於屏極之吸收此等電子。此種電子之移動即成為真空管之一切作用之基礎。

圖 80 中之簡單線路圖，可用以研究二極管之特性。先將絲極電路中之電壓調整至五伏特，然後將屏電壓逐漸增加而測量屏電路中之電流。再將電壓與測量所得之電流畫成曲線，如圖 81 所示。 $E_f$  係代表絲極電壓。若屏電壓為 25 伏特，其屏電路中之電流約為 25 毫安培。設將屏電壓逐漸增加，則屏電路中之電流亦必同時增加，直至屏電壓為 80 伏特為止。

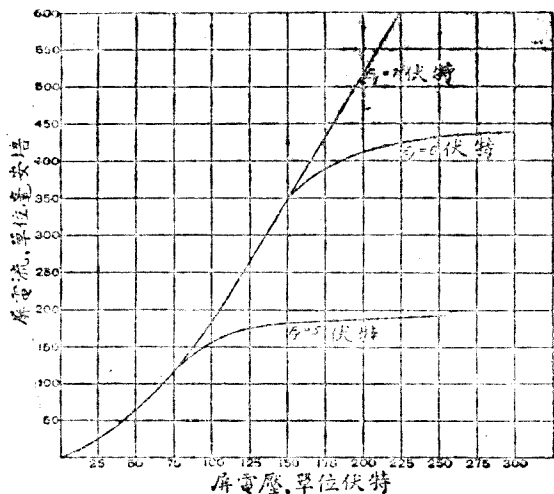


圖 81.

屏電壓從 80 伏特增至 100 伏特時，若絲極電壓仍為 5 伏特，則屏電路中電流之增加即大為遲慢，及至屏電壓增至 100 伏特時，其空間電荷作用即完全呈飽和狀態，因絲極所能發射之電子至此已全數被屏極所吸引。

若將絲極電壓增至六伏特，則屏電路中之電流必隨屏電壓之增加而增加，直至屏電壓增至 150 伏特時，屏電路中之電流



之增加始見遲緩。若再將屏電壓增加時，則屏電路中之電流不久復呈飽和狀態。若將絲極電壓增為七伏特，則屏電路中之電流必再增加，而後始達飽和點。

#### 第四節 三極真空管 (Triode)

119. 柵極 (Grid) 三極管有三個電極，即除絲極與屏極外，尚有一個柵極。柵極，若施以相當之電壓，可以節制真空管內之空間電荷作用，藉以控制由絲極流向屏極之電子流即屏電流 (Plate Current)。柵極之形式類似一網，或似柵欄，其所處之地位，乃在絲極與屏極之間，故能控制由其中通過之電子流也。

由外貌觀之，三極管頗似二極管。初視之，僅能見其屏極，及至通以電流始能見其絲極。圖 82 所示乃一三極管之構造情形，(a) 係內部之裝置，(b) 乃整個真空管之外表。(a) 圖內屏極 a 之中部已經割開，俾能見其餘之二極。柵極 b 形如扁網，兩邊各有金屬物以支持之。絲極 c 則在柵極之中

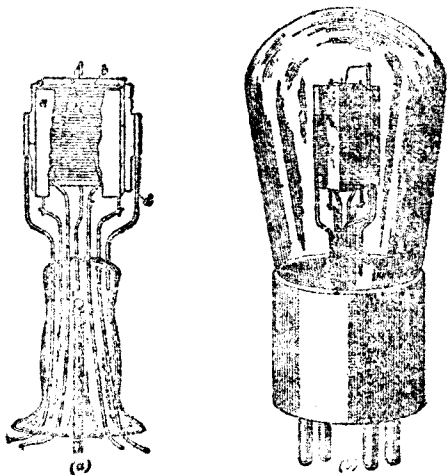


圖 82.

央，除上端略有露出外，四週皆被網形柵極所包圍，故其所發射之電子必受柵極之節制。絲極之上下皆用粗銅線支持之，上面之支架已經絕緣，絲極之二端則接連下面之二根支持銅線。屏極與柵極亦各有二根銅線作為支架。所有用作支架之銅線皆牢釘於管內之玻璃桿中。除接連絲極之二根銅線外，其支架屏極與柵極之二對銅線每對中祇有一根乃穿過玻璃桿伸與外部之線路接通。b) 圖內真空管下部之四個燈腳即係屏極柵極與絲極二端之接連機關也。

真空管所需之附屬品即為圖 83 中所示之燈座 (Tube Socket)。燈座之形式不一，有為四孔者，有為五孔六孔者，亦有為七孔八孔者，蓋所以配合真空管之燈腳之數也。圖 83 所示者為一四孔之燈座，其各孔旁邊之英文字母 P, G 與二個 F 依序表示承插真空管之屏極，柵極與絲極燈腳耳。然燈腳與

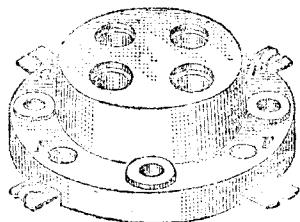


圖 83.

燈座孔眼之地位皆有一定之距離，而承插絲極燈腳之孔眼又較其餘之孔眼為大，故燈座孔眼旁邊雖無英文字母為之註明，亦不敢插錯也。製造收音機之時，根據所需真空管之種類與隻數，預將與各真空管配合之燈座銲接妥當，故俟真空管插入燈

座之時，其接連各極之線路即已完畢矣。

120. 柵極之作用 三極管內柵極之作用實等於一有節制之空間電荷作用。其運用則等於二極管之外再加一控制極。蓋絲極產生大量之電子而造成空間電荷作用。屏極由其高大之正電壓而吸引絲極所產生之電子。柵極則因其位於屏極與絲極之間，可直接節制電子之流動。即絲極所造成之空間電荷作用，可以適當之電壓施於柵極，而隨意使之或增或減。如以負電壓施於柵極即可增強空間電荷作用而阻止電子由絲極流至屏極。如以正電壓施於柵極則可減低空間電荷作用，而使由絲極流向屏極之電子較前增加。

## 第五節 三極管之特性曲線 (Characteristic Curves)

121. 真空管電路 (Tube Circuit) 圖 84 所示乃一三極管之電路，專用各種不同值之柵電壓以試驗屏極電流者也。在圖之上部中央之圓圈，內有  $abc$  三種形式不同之短線者，即

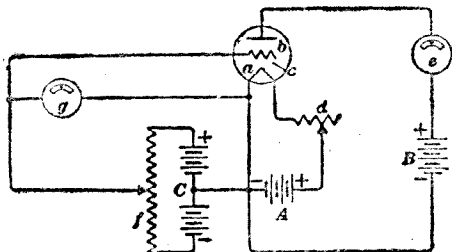


圖 84.

係三極真空管， $a$  爲絲極， $b$  爲屏極， $c$  爲柵極。供給絲極之熱力者爲甲電池。絲極電路中接一變量電阻器  $d$  藉以調節絲極之電壓。乙電池係用以供給屏極之電壓。所當注意者，乙電池之正極(+)乃與真空管之屏極  $b$  接連，其負極(-)則與絲極之負極接連。如此接法，屏極即成爲正性，絲極成爲負性，而屏極電路內遂有電流之流動。毫安培計  $e$  之所以接在屏極電路中者，即用以測量此屏極電流也。

圖 84 中之柵極電路乃從真空管之柵極  $c$  經過接線與丙電池 (C Battery) 而回返原管之負端。丙電池之二端間接一電位器 (Potentiometer)  $f$ ，可使施於柵極之電壓隨意改變，或正或負。此外復在柵極與絲極之負端間接一伏特計  $g$  以測量柵極所受之電壓。

122. 柵電壓與屏電流之特性曲線 茲爲表明屏電流依隨柵電路內電壓之變動而增減之情形起見，取一 201-4 號真空管而測量之。此管之絲極所需之電壓爲 5 伏特。今以 90 伏特之電壓施於屏電路。屏電壓之簡稱爲  $E_p$ ，絲電壓爲  $E_t$ ，柵電壓爲  $E_g$ 。仿此，屏電流常簡稱爲  $I_p$ ，絲電流爲  $I_t$ ，柵電流爲  $I_g$ 。

在上文中已經言明，絲電壓爲 5 伏特，屏電壓爲 90 伏特。茲特證明欲使屏電流增加或減少，僅須變動柵電壓。試將圖 84 中電位器  $f$  之滑鍵 (Slider) 移動，使伏特計指明柵極之電壓爲零，則毫安培計  $e$  即指明屏電流爲 6 毫安培。現用一如圖 85 所示之曲線紙，在紙上左邊於每根橫線之盡頭依次註明數

目，以代表屏電流之毫安培。再在紙之下邊於每根直線之盡頭亦同樣註以數目，以代表柵電壓之伏特。此時在曲線紙上於代表 6 毫安培之橫線與代表 0 伏特之直線交切之處繪置第一點。

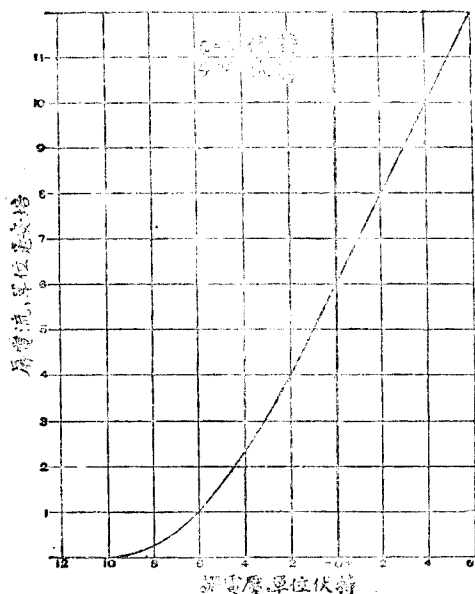


圖 85.

第二步，再將電位器之滑鍵向內電池之負極移動，俟伏特計之指針停於 -2 伏特處。此時之毫安培計即證明屏電路內之電流為 4 毫安培。遂在曲線紙上於代表 4 毫安培之橫線與代表 -2 伏特之直線交切之處繪置第二點。所當注意者，0 線之右為正 (+)，0 線之左為負 (-)。此後按照以上之方法，將柵電壓繼續變更而測量屏電路內之電流，則得以下各數值：

柵電壓	屏電流	柵電壓	屏電流
0	6	- 8	0.4
-2	4	-10	0
-4	2.4	+ 2	8
-6	1.1	+ 4	10

若將以上各數值在曲線紙上相當之處一一佈置後，再給一曲線以通過之，即成爲柵電壓與屏電流之特性曲線。所當注意者，此曲線之上部，即從 4 毫安培（符合 -2 伏特之柵電壓）至 10 毫安培（符合 +4 伏特之柵電壓）間之一段，幾成一直線。在此一段之範圍內，每一伏特之柵電壓之變動，其所造成之屏電流之變動，必平均相等。但在 4 毫安培以下，則每伏特之柵電壓之變動，其所造成之屏電流之變動必大爲減少。特性曲線之下部之逐漸彎曲，在設計無線電線路時，甚爲重要。

圖 85 所示之曲線乃爲無線電工程師所不可缺少者。有此曲線在手，則對於任何真空管之特性即可一目瞭然。雖各式真空管各有其不同之屏電壓，柵電壓，與屏電流之數量，但大多數真空管之特性曲線之形式則仍必與圖 85 中之曲線相仿。

有時在一張曲線圖中，同時繪製多數之曲線，以表示一個真空管在各種不同情形時之各種特性。圖 86 中之數根曲線，乃表示 201-A 號真空管，當其屏電壓  $E_p$  爲 60 至 150 伏特時，其柵電壓與屏電流之情形也。

此種曲線之重要性可於下述之比較中示明之。當柵極電壓爲 -6 伏特時，則 60 伏特之屏電壓產生 0.1 毫安培之屏電

流, 75 伏特之屏壓產生 0.4 毫安培之屏電流, 90 伏特之屏電壓

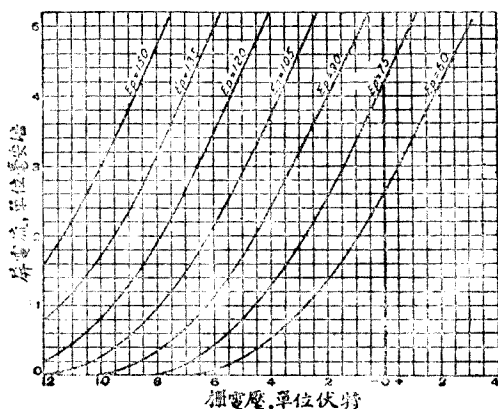


圖 86.

產生 1.1 毫安培之屏電流, 105 伏特之屏電壓產生 2.1 毫安培之屏電流, 120 伏特之屏電壓產生 3.5 毫安培之屏電流, 135 伏特之屏電壓產生 5 毫安培之屏電流, 150 伏特之屏電壓產生 6.5 毫安培之屏電流。

再有一點亦值得注意者, 即在某固定屏電壓時, 屏電流隨柵電壓之變動而變動之情形。如在圖 86 中之 90 伏特曲線上, 當柵電壓由 -2 伏特增至 -3 伏特時, 其屏電流則由 4 毫安培減至 3.2 毫安培, 即其變動量為 0.8 毫安培。反之, 當柵電壓由 -2 伏特減至 -1 伏特時, 屏電流即由 4 毫安培增至 4.8 毫安培, 其變動量亦為 0.8 毫安培。但柵電壓在 -6 伏特時, 其一伏特之變動, 卻使屏電流增加 0.6 毫安培或減少 0.4 毫安培。由上以觀, 在第一比較中, 柵電壓之變動為一伏特, 屏電流之變動

爲0.8毫安培。在第二比較中，柵電壓之變動雖爲一伏特，但屏電流之變動則有參差，蓋柵電壓減少一伏特其增加量爲0.6毫安培，柵電壓增加一伏特其減少量爲0.4毫安培也。簡言之，柵電壓之變動同爲一伏特，在特性曲線下彎部之屏電流變動量則不一律，但在曲線之上面直線部份，則其變動量係平均一律。

## 第六節 三極管之常數

**123. 放大因數 (Amplification Factor)** 三極真空管因構造上之關係，當其柵極電壓受到微小之變動時，即能使屏電流感到較大之變動。

在某範圍內，三極管柵電壓之變動所產生之屏電流變動，與產生等量屏電流變動所需之屏電壓變動之比較，代表真空管之放大作用。此種情形常稱爲屏電壓變動與柵電壓變動之比率，而名之爲真空管放大因數。

真空管之放大因數，可利用圖 86 之特性曲線以計算之。當柵電壓爲  $-6.5$  伏特，屏電壓爲  $120$  伏特時，其屏電流爲  $3$  毫安培。而在柵電壓爲  $-10$  伏特，屏電壓爲  $150$  伏特時，其屏電流亦爲  $3$  毫安培。由上以觀，屏電壓變動爲  $150 - 120 = 30$  伏特，而柵電壓變動爲  $10 - 6.5 = 3.5$  伏特。換言之，屏電壓之變動爲  $30$  伏特，柵電壓之變動僅須  $3.5$  伏特。故柵電壓  $3.5$  伏特之變動，須有  $30$  伏特之屏電壓變動，始能維持屏電流之穩定。根據以上之比較，可知其放大因數爲  $30 \div 3.5 = 8.5$ 。故柵電壓  $1$  伏特之變動所施於屏電流之影響，須  $8.5$  伏特之屏電



壓以抵償之。

124. 屏電阻 (Plate Resistance) 真空管之內部屏電阻能使絲極與屏極間電子流之電壓降低。當屏極吸引電子時，電壓因受電阻之影響而降低，而此種電壓降復與極間距離及運用狀況等有直接之關係。屏電阻促成真空管內之電壓降或耗損，如同普通之電阻，故有此名。

屏電阻亦可利用圖 86 之特性曲線計算之。假定柵電壓為  $-4$  伏特，再定屏電壓之計算點為  $90$  伏特。先將屏電壓增至  $105$  伏特，而量其屏電流為  $3.68$  毫安培。再將屏電壓減至  $75$  伏特，而量其屏電流為  $1.26$  毫安培。由上以觀，屏電壓之變動為  $105 - 75 = 30$  伏特，其所造成之屏電流之變動為  $3.68 - 1.26 = 2.42$  毫安培。屏電阻等於屏電壓變動被屏電流變動除得之數，即  $B = E \div I$ 。  $2.42$  毫安培等於  $0.00242$  安培。  $30 \div 0.00242 = 12,400$  歐姆。故當屏電壓為  $90$  伏特，柵電壓為  $-4$  伏特時，其屏電阻為  $12,400$  歐姆也。

125. 互導 (Mutual Conductance) 計算互導高低乃測量真空管之良善方法。互導之單位為姆歐 (Mho)，而普通所常用者則為微姆歐 (Micromho)，即百萬分之一  $\left(\frac{1}{1,000,000}\right)$  姆歐。互導等於放大因數被屏電阻除得之數，以公式表之為：

$$G_m = \frac{\mu \times 1,000,000}{R_p}$$

公式中之  $G_m$  = 互導力，單位微姆歐；

$\mu$  = 放大因數；

$R_p =$  屏電阻，單位歐姆。

假定一真空管之放大因數為 8.5，其屏電阻為 12,400 歐姆，則其互導為：

$$G_m = \frac{8.5 \times 1,000,000}{12,400} = 685 \text{ 微姆歐。}$$

### 126. 真空管之內部電容量 (Internal Capacity of Tubes)

三極真空管內之電極因聚合而生電容量，每一電極猶如一極片。通常絲極與柵極間之電容量及絲極與屏極間之電容量各為 5 微微法拉，故平常毋須注意。但屏極與柵極間之電容量則略大，約為 8 微微法拉，故若用於高週率電路中即發生一種游移 (Erratic) 作用。緣柵極之工作在於節制屏電路內之電流，若柵極變為電容器之極片，屏極變為另一極片，則二者配合而成一電容器，能將高週電流從柵極電路移至屏極電路，或從屏極電路移至柵極線路。此種情形亟須避免，因能損害真空管之放大作用。至於抵制真空管內部電容量之方法，詳見下節。

## 第七節 四極與五極真空管

127. 四極管 (Tetrode) 四極管有四個電極，每一電極各有其相當之功用，即絲極屏極柵極與簾柵極 (Screen grid) 或空間電荷柵極 (Space-charge grid) 是也。絲極屏極與柵極之功用，與三極真空管內之三個電極相同，至於簾柵極空間電荷柵極之功用，則可用以減低空間電荷作用，或可用以減少屏極與柵極間之內部電容量。

四極管之用空間電荷柵者，其空間電荷柵極距離絲極最近，俾對於空間電荷能加以節制。因此之故，簾柵極之電壓須較絲極略顯正性，而柵極則仍保持其負性，俾仍能照常節制屏電流。此簾柵極最大之作用，在於增加屏極之電流量，而屏電流之增加約與其電壓之大小成正比例。

四極管之用簾柵極者，其重要功用在於減低屏極與柵極間之內部電容量，蓋簾柵極乃處於屏極與柵極之間，而成爲屏與柵間之一種靜電隔離物 (Electrostatic Shield)。如此，則從輸出電路 (Output Circuit) 藉屏極與柵極間之內部電容量而向輸入電路 (Input Circuit) 之回授 (Feed-back) 作用可以完全消滅。所當留意者，僅須避免外部線路間之回授作用而已。

簾柵固可用以減去真空管內部之回授作用，但因此隔離之功效，致使屏極吸引電子之力連帶減少，故其屏電流亦必減低。從另一方面言，此種作用卻造成較大之放大因數與極高之屏電阻。因此之故，此種真空管最適宜於高週放大之用。

128. 五極真空管 (Pentode) 在無論何種真空管內，若衝擊屏極之電子行動過速，必有逐走其他電子之虞。在二極管或三極管內此種高速度電子尚不致產生不良影響，因管內除屏極外並無第二正性電極以吸引此等被逐之電子，故至終仍必歸回屏極。因受負極放射之高速度電子之衝擊而由屏極放射之電子謂之第二電子放射 (Secondary Emission)，蓋其乃在負極或絲極放射電子之後也。設遇四極簾柵管，簾柵極與屏極同爲正性，又復相處甚近，故簾柵極吸引屏極之第二放射電子必甚

力。結果，屏極電流遂形減少。

欲避免此種情形，可在四極管內加一電極而成爲五極管。此電極名爲抑制柵極 (Suppressor grid)，而置於屏極與簾柵極之間。此極常與負極接連而顯負性，故能阻止第二放射電子而使其仍行歸回屏極。

現今之五極管其抑制柵極有二種作用。在五極管作爲強力輸出 (Power Output) 時，其抑制柵極可造成極大之輸出與極高之放大因數。如 33, 38, 47, 及 2A5 等號之真空管即屬於此種五極強力放大管。當五極管用作高週放大時，其抑制柵極可使該管得到極大之互導。如 34 與 77 號真空管即係此種五極管。

## 第八節 新式真空管

129. 複合管 近世因真空管之製造技術日益進步，除二極、三極、四極、五極管外，尚有複合管之發明。複合管，常含有兩個單位以上之電極，如 55 號，75 號，及 85 號等爲二個二極與一個三極管合成者，又如 2B7 號與 6B7 號爲二個二極與一個五極管合而成爲一者。再如 53 號與 79 號皆爲二個三極管合併成一者。80 號整流管乃爲複合管中之最早者。

130. 新式真空管號碼之編制 我國現今最通用之真空管大半來自美國，餘如馬可尼，得律風根，飛利浦等牌號之真空管僅占少數而已。本講義中所述之真空管皆指美國製者而言。

美製之新式真空管，其式樣號數係根據美國真空管製造業

公會於 1933 年所訂定之號碼編制法而編定者，緣二位與三位數目之號碼，幾已全數為原有之各式真空管所占據，故不得不另訂新法以為訂定各新式真空管之新標準也。

此新定之號碼編制法，規定任何真空管祇須三位符號即可判定其性質。所謂三位符號者，其第一位為數目，第二位為英文字母，第三位又為數目，如 2A5 號真空管即其一也。

新號碼編制法之成立係根據下列之簡單規則：

第一位之數目係代表絲極之電壓，而以一伏特為一級。如 1 代表 2.1 伏特以下之電壓，2 代表 2.1 伏特至 2.9 伏特以內之任何電壓，3 代表 3.0 伏特至 3.9 伏特中間之電壓，以後依次類推。2.0 伏特絲極電壓式之真空管之所以採取 1 為第一位之數目者，蓋欲保留 2 以代表 2.5 伏特式之真空管也，如 1A6 號之絲極電壓為 2.0 伏特，又如 2A5 號之絲極電壓則為 2.5 伏特。

第二位之英文字母係用以分別各式不同之真空管，而從 A 字依次編制。惟對於整流管所用之第二位字母則從 Z 字由後向前倒列編排。

第三位之數目則係代表真空管之電極之個數而接連線路者，如第 2A5 號真空管有五個電極，即負極（與絲極合計），柵極，簾柵極，抑制柵極與屏極是也。

131. 橡實式真空管 (Acorn Tubes) 無線電事業之進步，一日千里，今日視為新穎之機件，明日已視為陳舊之物。其中尤以真空管之改良更為迅速，推陳出新，幾乎日有新發明。因

此，欲謀著述之長時合用，勢難實行，惟有盡力之所及，將最近之新品，據當時之所知，加以論述而已。

橡實式真空管為近年新品之一種。其最大利益為體積微小，節省地位，能使收音機之全部體積縮至最小度。蓋普通之真空管，其高度多在四吋至六吋之間，而橡實式真空管之高度則僅一吋餘，其管座地位亦較普通之真空管為小，所謂小巧玲瓏，名副其實也。

RCA-954 號乃為橡實式真空管之一種，係一傍熱式之五極管，專供研究無線電者作超短波試驗之用。據實驗所得，此管可作十分之七米 (0.7-Meter) 之放大，並能在任何高週 (RF) 五極管線路內作一米之放大，而得到三倍以上之放大力。

PCA-954 尤合於真空管電壓計之用，蓋因此管本身小巧之故，在測量時可免去過長之接線與過高之輸入電容量。此種優點，當可測量高週率，而不致使所欲測量之線路，感受任何影響。

**132. 金屬真空管 (Metal Tubes)** 金屬真空管亦為近年新品之一種。美國奇異廠 (General Electric Company) 首先從事製造。

金屬真空管有下列之優點：

金屬真空管之構造堅固小巧，其直徑之最大者為一吋，其高度則從底座起約自八分之五吋 ( $\frac{5}{8}$  inch) 至三吋。體積既小，所占之地位自然較省。

金屬真空管本身之外面為金屬物 (即鋼) 所造成，而不用玻

璃，故可免除普通玻璃真空管所必需之金屬隔離罩。且因其接近內部各極，傳熱較速，散熱亦較快。

金屬真空管因其內部地位之狹小，其內部之接線較普通真空管為短，故其內部電容量亦較普通真空管減少三分之二，而對於較高之週率遂得較高之放大率。此種真空管有 6F6, 6J7, 6K7, 6L6 等多種。

此種金屬真空管之管腳，較相同玻璃真空管之管腳加多一只，即如玻璃真空管為五腳者，金屬管必為六腳，玻璃管為七腳者，金屬管必為八腳。其理由實甚簡明，因其外殼既為鋼所製成，其本身即已成為金屬隔離罩，故須另加一腳，使此金屬罩通地也。

金屬真空管所用之管座一律為八孔者，而且大小完全相同，距離亦相等。八孔之外，在管座之中央，另有一較大之缺口圓孔。緣金屬管之管腳與玻璃真空管之管腳不同，其絲極之二腳與其他電極之腳並無大小之分。如金屬管中，有為五腳或六腳者，則管座中無腳之孔即空而不接。此外，金屬管底之中央，另有一較長較粗之絕緣腳。此額外之長腳形如鑰匙，但與線路並無接觸，其惟一之功用在使按插金屬管之時，較易較速而已。

## 第七講

### 真空管之用途

#### 第一節 真空管放大

**133. 真空管之放大作用** 三極以上之真空管可作放大，檢波，振盪，及調幅等用。

若將三極管用作放大管時，則當設法利用其輸出電壓，如在收音機中，放大管之輸出可用以激勵揚聲器或其他放大管，而得到較高之放大效率。接入屏電路內以利用其輸出電壓之機件謂之負載 (Load)。此種負載得為一電阻，或為一總阻，如變壓器之初級線圈，或一阻流線圈，或一揚聲器之線圈等。

真空管屏電路內之負載，有減少其特性曲線之峻直性之趨勢。如圖 87 中之曲線 *A*，係代表一真空管當其屏電壓為 135 伏特並無負載時之屏電流曲線。曲線 *B* 係代表該管當屏電壓仍為 135 伏特，但屏電路中之負載為 10,000 歐姆時之屏電流曲線。曲線 *C* 代表該管之負載為 50,000 歐姆時之特性曲線。曲線 *D* 之負載為 100,000 歐姆。曲線 *E* 之負載為 200,000 歐姆。據上以觀，真空管理想上之放大程度祇能於其屏電路中無負載之時始克成功。無論何種負載皆有減低其放大程度之可能而



其輸出電壓，亦不能等於柵極電壓與放大因數相乘所得之總數，其實際必較應得之總數為小。

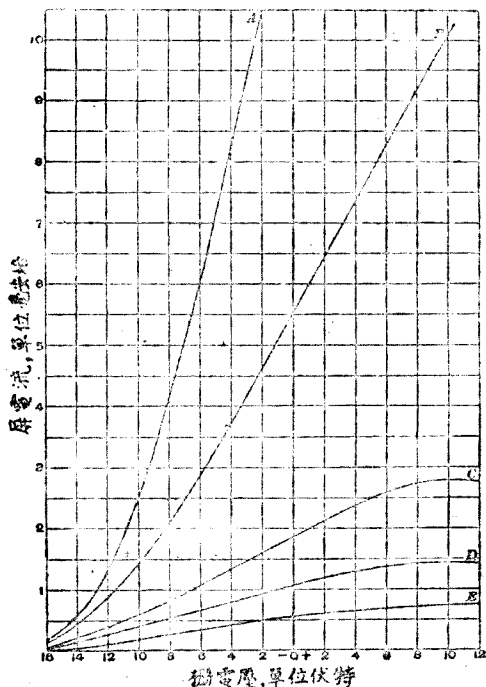


圖 87.

由是，吾人當可明瞭一真空管於具負載時與無負載時之特性為迥異；此種特性曰動的特性 (Dynamic Characteristics)，以與無負載之特性 (是為靜的特性 Static Characteristics) 加以區別。

184. 真空管放大之基本線路 圖 88 所示乃一三極管用  
作放大之線路圖。發電機 *a* 係接連變壓器 *b* 之初級線圈。次

級線圈內所感應之電壓係交流電壓，而首先施於放大管之柵極絲極線路。供給絲極電壓之甲電池並未繪入圖中，因絲極所用之電壓得為直流或交流也。

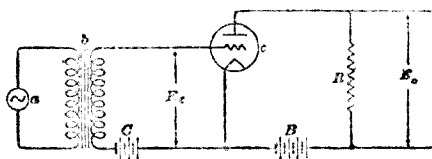


圖 88.

柵極線路中接一丙電池，其目的乃欲阻止柵極之變為正極而吸引一部份電子。柵極線路之作用在於節制屏極線路內之電流，故柵極線路中之總阻愈大，該真空管之放大效率亦愈強。若柵極線路中之總阻大至相當程度使電流不能在該線路中流過，則真空管之放大效率即達最高度，而此種情形祇須使柵極常為負極而不吸引流至屏極之電子即能達到。

在無訊號電壓 (Signal Voltage) 或交流電壓施於圖 88 之柵極線路時，柵極上之電壓即為丙電池所產生之電壓。當訊號電壓施於柵極線路時，即與丙電池所產生之柵極電壓合併而使之或增或減。丙電池所產生之固定電壓僅能增高真空管之效率而無其他功用，故平時所指之柵極電壓即此變量之訊號電壓也。

柵極電壓，即訊號電壓，使真空管內之電子流更迭增減，其結果即使屏電流連帶發生變動。所當注意者，柵極電壓之增減甚小，而屏極電流之變動則較大。

圖 88 中之電阻  $R$  接入屏極線路中，在於利用真空管  $c$  之

輸出 (Output) 電壓。在此電阻上所產生之輸出電壓等於電阻與電流相乘之總數，即根據歐姆定律  $E=IR$  也。此種輸出電壓可以運用揚聲器，或可作為另一放大管之輸入 (Input) 電壓而得到更高之放大效率。

**135. 直流電壓與訊號電壓 (D-C and Signal Voltage)** 由上論各段觀之，可知訊號並非柵極電壓或屏極電壓本身所組成。柵極電壓僅能改變真空管之運用特性。屏極電壓僅能充作訊號之輸送力。其實，訊號本身具有交流變動之性質，當其在柵極線路中時，則附駕於負性之定值柵極電壓之上，當其在屏極線路中時，則以放大之形式附駕於正性之定值屏極電壓之上。

**136. 輸出電壓計算法** 遇有交流電壓施於放大管之柵極線路時，屏極線路中之電流即隨柵極電壓之變動而變動。所謂屏極電流者，其內部包括原來之定量直流電流與駕於其上之交流訊號電流。其定量直流部份對於放大作用毫無價值，因訊號電流中並無定量電流部份可供放大，所以屏電流中之應加研究者僅為交流部份而已。

真空管線路中所能得到之放大，全視該真空管之放大因數與其屏極線路中所裝接之負載而定。若屏極線路中接一無感應之電阻如圖 88，則該屏極線路中之總電阻即等於  $R_p + R$ ， $R_p$  代表真空管內之屏極電阻， $R$  代表外部之負載電阻。至於柵極線路中之交流電壓  $E_s$  所造成之屏電流之交流部份則可以下列之公式計算之：

$$I_p = \frac{\mu E_g}{R_p + R}$$

交流屏極電流  $I_p$  經過電阻  $R$  所產生之輸出電壓  $E_o$ 。可  
以下列之公式計算之：

$$E_o = I_p R = \mu E_g \frac{R}{R_p + R}$$

倘負載僅為一電阻 則無論輸入電壓之形式如何，其輸出電  
壓之形式必與輸入電壓完全相同，惟經過放大後，其輸出量較  
大耳。此種放大謂之不失真 (Distortionless) 放大，而對於週  
率複雜之輸入電壓，尤為適宜。

137. 有感應負載之真空管放大 倘將圖 88 屏極線路中  
之電阻  $R$  拆去，而換一感應線圈如圖 89，則輸出電壓  $E_o$  之

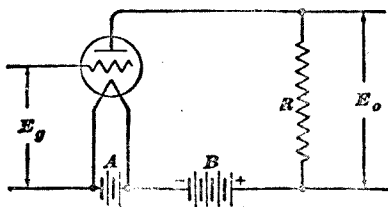


圖 89.

大小，非但視柵極電壓之大小而定，且有賴於週率之多寡。如  
該線圈之電阻較其感應週阻為大，其對於若干週率原分高低之  
特性必減小，而與接用電阻負載所得之放大效率相近。

線圈之感應週阻可以下列之公式算計之：

$$X_L = 2 \pi f L$$

公式中之  $X_L$  = 感應週阻，單位歐姆；

$$\pi = 3.1416;$$

$f$  = 週率，單位每秒週；

$L$  = 感應量，單位亨利。

若一線路中除感應量外尚有電容量同在之時，則其總週阻必等於二週阻之代數和，以公式表之為：

$$X = 2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}$$

公式中之  $X$  = 總週阻，單位歐姆；

$C$  = 電容量，單位法拉。

如真空管之屏極線路中接有週阻負載時，則該線路中之電流可以下列之公式計算之：

$$I_p = \frac{\mu E_g}{\sqrt{(R_x + R)^2 + X^2}}$$

外部線路中之輸出電壓可以下列之公式計算之：

$$E_o = I_p Z = \mu E_g \frac{\sqrt{R^2 + X^2}}{\sqrt{(R_x + R)^2 + X^2}}$$

公式中之  $E_o$  = 輸出電壓，單位伏特；

$I_p$  = 屏極電流，單位安培；

$Z$  = 外部線路之總阻  $\sqrt{R^2 + X^2}$ ；

$R$  = 外部線路之電阻，單位歐姆；

$\mu$  = 真空管之放大因數；

$R_p$  = 內部屏極電阻，單位歐姆。

以上各公式完全證明凡有週阻負載之放大管，其輸出電壓必隨週率之不同而變動。若非在屏極線路中加入相當之電阻，

則廣大範圍內不同週率之放大必不平衡，而有失真(Distoriton)之虞。此種情形係指負載僅爲一感應線圈或爲一變壓器而言，因變壓器之初級線圈係接在前一管之屏極線路內，其次級線圈係接在後一管之柵極線路內也。

## 第二節 高週率放大 (High Frequency Amplification)

138. 交流電流，其週率爲人類耳官所不能聽聞者，謂之高週率 (High Frequency) 或稱爲射電週率 (Radio Frequency)。高週率之最低限度爲每秒鐘 15 仟週 (K. C.) 卽一萬五千週。從播音方面而言，播音者所發之聲音，因其高低之不同，能使傳遞聲音之空氣壓力隨之而升降。空氣壓力之升降，復使電流連帶變動。此種隨空氣壓力升降而變動之電流，又復使交流電流隨同變動，而成爲調幅波。隨空氣壓力升降而變動之電流以其能變成聲音，而感觸人類之耳官，故稱爲低週率或成音週率。高週率電波，其強弱依低週率之變動而變動，脫離播音臺之天線後，卽向四方發射。收音機之天線，將所收得之極微弱調幅波送至收音機。多數之新式收音機，大概皆有一級或數級高週放大之設備，而各放大管皆係串聯相接，並於每管之前或兩管之間，各置一調整線路。

139. 高週放大器之式樣 大多數之高週放大器 (High Frequency Amplifier)，視其避免各真空管間或交連線路間之意外感應所用之方法，而分爲中和式 (Neutralized)，吸引式

(Absorption type), 或簾柵式 (Screen-grid type)。

圖 90 所示, 乃一中和式高週放大器之線路圖, 試觀其基

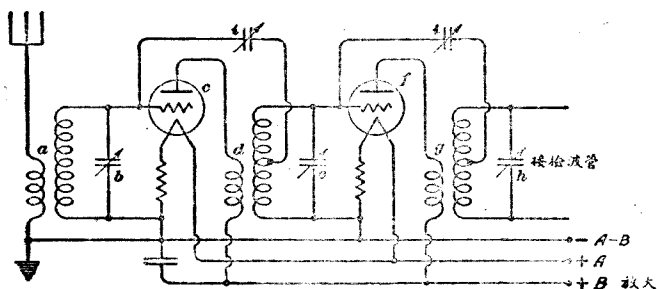


圖 90.

本線路, 即見二個放大管及其交連之線路, 先從前面之線路輸入訊號, 經過放大之後, 再輸出至後面之線路。空間無線電波觸及天線, 而在天線電路中產生電流。高週變壓器  $a$  之初級線圈內所產生之微弱之電流, 即使次級線圈內感受電壓。變壓器  $a$  之次級線圈與可變電容器  $b$  聯合而成調整線路。若將調整線路調整之, 使與收得之電波之週率相同, 則次級線圈內必能感受最大之電壓, 而施於放大管  $c$  之柵極與絲極間。此管將輸入之電壓加以放大, 經由另一調整線路, 即變壓器  $d$  與可變電容器  $e$  所組成者, 而輸送至第二放大管  $f$ 。放大管  $f$  復將輸入之電壓再加以第二度之放大, 而送至高週變壓器  $g$  與可變電容器  $h$  所組成之第三調整線路。此最後之調整線路, 可作為另一放大管之輸入線路。或可作為檢波管之輸入線路, 如圖中所註明。

高週變壓器初級線圈內電壓之變動，經由柵極與屏極間所造成之電容量，而回授至柵極線路，並增強或減弱該線路內原來之訊號電壓，一如柵極電壓之變動，致使屏極線路內發生電流之變動也。此種電力之回授，若任其增加，足使電訊之放大，受極大之干擾。因此，回授之除滅為必要之舉，至少亦須扼制其力量，使之不能影響電訊之放大。

在中和式之高週放大器中，電能由屏至柵之回授，乃在適當之處，引入一種反向之電壓以抵制之。此種反電壓，通常得自變壓器之初級線圈，而藉一種小型可變電容器如圖 90 中之  $i$  以達柵極線路。反電壓之相位，永遠較回授電壓落後 180 度，故二者之方向，亦永遠相反。今既彼此相等，又復相反，結果彼此相抵而中和，遂不能在柵極線路中發生惡劣之作用矣。

圖 91 所示，乃在線路中引入電阻，以抑制振盪趨勢之一法也。第一高週放大真空管  $a$  之柵極線路，並無調整設備，但可

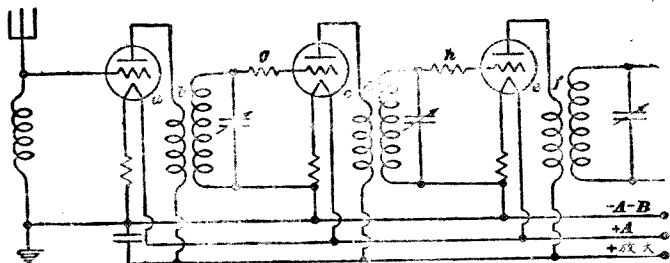


圖 91.

添置之。天線電路中，用一小型高週阻流線圈，以得適量之電位降，俾可施於真空管之柵絲二極。此管之輸出，經調整變壓



器  $b$  而送至第二放大管  $c$ 。再從此處經過另一調整變壓器  $d$  而至最後之高週管  $e$ 。此全組高週放大器之輸出，經過三級高週放大之後，遂由最後之調整變壓器  $b$ ，而輸入檢波器。

抑制真空管  $c$  與  $e$  之回授所用者為電阻器  $g$  與  $h$ 。其地位如圖中所示。此等電阻器，普通稱為柵極抑制器 (Grid Suppressors)，其電阻約自 500 歐姆至 1,000 歐姆。

除以上二種方法外，尚有他種方法可用以節制高週放大器之發生振盪。有數種收音機，其高週變壓器之初級線圈僅繞五六圈，其效力足可減少回授與振盪。另有數種收音機，在絲極或屏極線路中，置一可變電阻器，以減低其總放大之倍數，而避免振盪之發生。至於新式高週放大器中利用簾柵極真空管擔任高放工作，其裝置則與三極管大致相同，惟簾柵管於使用上可無需中和等設備，蓋管中之簾柵極足以屏絕一切因線路內電能回授而引起之振盪也。

### 第三節 檢波 (Detection)

140. 檢波，乃將天線電路所收得及經過高週放大器所放大之調幅電波，變為低週率之電流，俾其通過揚聲器時，即能成為可聽之聲音。檢波之法，可繪圖以明之，如圖 92(a) 所示，乃一高週調幅波，距離  $a$  等於高週電波之一週，距離  $b$  等於低週電訊之一週。若高週調幅波通過，利於正面之檢波器 (Detector)，則經過檢波器之後，其波形即如圖 92(b) 之形式。設將此電流施於圖 93 之線路，則高週率電流，必被電容器  $a$  所

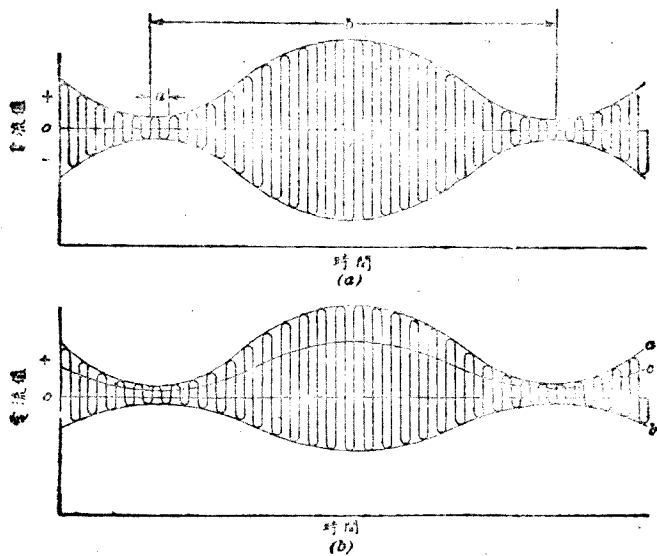


圖 92.

分開 (By-Passed) 而被變壓器 *b* 之感應量所拒卻。但電容器所吸收者為電流之平均數，即二高週電流之折中數也。

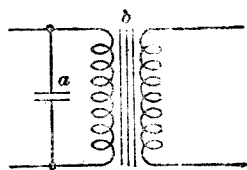


圖 93

圖 93 之變壓器，為低週放大器中所用之低週變壓器。圖 92 (b) 中之曲線 *a*

代表電容器 *a* 所受之最大正電荷，曲線 *b* 代表最大之負電荷，曲線 *c* 代表電容器所受之平均電荷，亦即施於變壓器之初級線圈之穩定電流，其週率等於低週電流也。

上文所述，乃經過放大之高週電流變為低週電流之情形也。此種動作，即謂之檢波。除非 0 度線之一面之電波較另一面為大之時，其平均數必等於 0，因此，檢波器必須將高週

電波之一面，特別放大，而檢波器線路更須將各高週電波聯合，而成爲一種代表高週電波之新電流。

141. 屏極檢波法 (Plate Detection) 在真空管尚未通行之前，礦石乃最普通之檢波器，但至今日，幾乎每一收音機，皆用真空管以作檢波之用。利用三極真空管檢波之方法有二，即屏極檢波法與柵極檢波法是也。

圖 94 所示，乃利用屏極以作檢波之線路。真空管之左

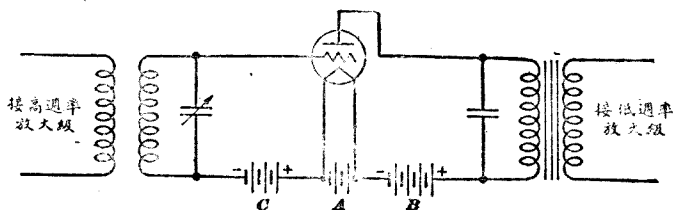


圖 94.

面爲交連至高週放大線路，其右面爲交連至低週放大之線路。

換言之，檢波管之左方，爲輸入線路，右方乃其輸出線路也。真空管之柵極用一丙電池以維持其負性，藉使高週電壓施於屏極電流曲線之下灣部，如圖 95。此種方法，乃使柵極電壓之正半週，比負半週得到較大之放大，故屏極電流之形式即如圖 95 之情形矣。

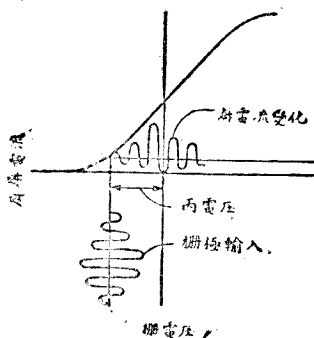


圖 95.

142. 柵極檢波法 (Grid Detection) 第二種檢波方法，乃用柵漏與電容器，接入柵極線路，而藉真空管柵極線路內之電

子流，以達檢波之目的。圖 96 所示，乃利用柵極電流以作檢波之線路也。檢波管之輸入，得為高週放大器之輸出，或為接

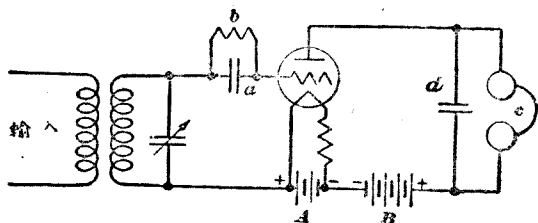


圖 96.

收天線所收得之電波。a 係電容器，b 為柵漏。檢波管之輸出電流，經過一分路電容器 d 而達聽筒 c。

圖 97 所示，即表示線路內電流變動之情形也。當輸入

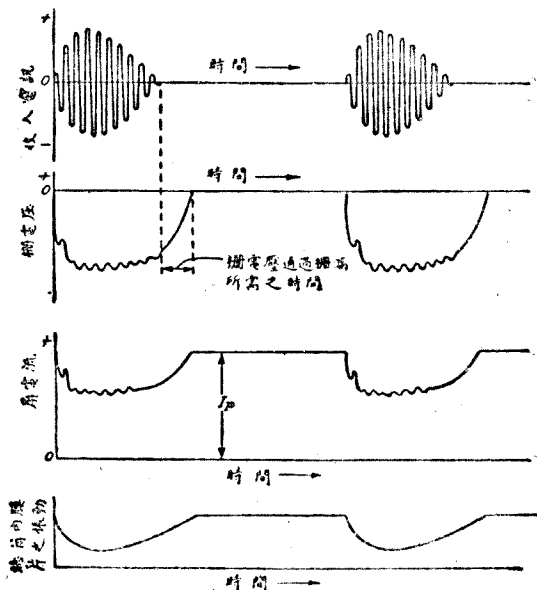


圖 97.

電壓施於真空管之柵極時，柵極即更迭成爲正性與負性。當柵極成爲正性時，則非但真空管內流至屏極之電流即行增加，且柵極本身亦吸收由絲極流向屏極之電子之一部份。當柵極成爲負性時，其收聚之電子，並不盡行消失，因輸入電訊負半週所需之時間，實較電子消失所需之時間爲短。故電子尙未漏盡，而柵極已復成爲正性，而又增加其電子之積聚。在此情形之下，俟電流通過之時間少久，柵極本身即逐漸變爲負性。嗣後之效果，遂使屏極電流成爲較少於平時之平均變動。以上所述，乃柵極檢波之情形也。

所當注意者，若不將圖 96 中之柵漏  $b$  接連電容器之二端，或從柵極接至絲極，則積聚於柵極電容器  $a$  或柵極之電荷必行增加，終使真空管之動作，受其阻止。

柵極電容器之電容量須比真空管內柵極與絲極間，及接線與燈座間之電容量，較大數倍，同時電容器之容量卻不可過大，因其電荷消失之時間，全視其電容量與柵漏之電阻相乘之總數而定。因此若柵漏之電阻在 1,000,000 歐姆以下時，檢波管之靈敏度必受影響。故該線路之內阻，即由柵極至絲極間之變量電阻，當較柵極之定量電阻爲大。按照實際情形而論，一個 0.00025 微法拉之固定電容器，配合一 2,000,000 歐姆以上之柵漏，當能得到最佳之效力。

## 第四節 低週率放大

### (Low Frequency Amplification)

143. 低週放大之主要條件，乃將檢波器所產生之低週電

流經過放大之後，完全保存其原來之週率，而傳達於揚聲器。低週放大之線路，可分為三類，即電阻交連，總電阻交連，與變壓器交連之放大器是也。

144. 電阻 (Resistance Coupling) 式 若使一真空管之屏極電流，經過一電阻器  $a$ ，如圖 98，則此電阻器二端之電位

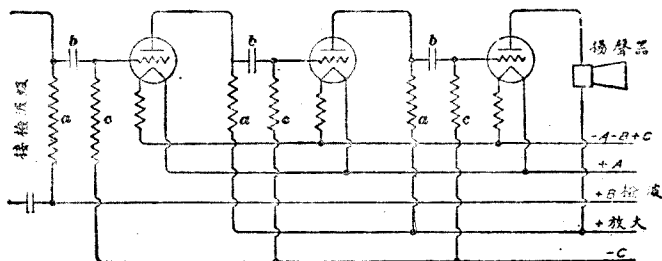


圖 98.

降，可藉斷流電容器 (Blocking Condenser)  $b$  而施於第二真空管之柵極。此乃低週放大各級間最簡單而最無弊病之交連法，蓋電阻器  $a$  二端之電位降等於  $IR$ ，與週率毫不相關也。

從柵極至絲極之電壓乃由柵漏  $c$  二端之電位降所致，而此電位降與屏極電阻二端之電位降之關係，可以下列公式表示之：

$$IR_l = \sqrt{(IR_p)^2 - \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

公式中之  $IR_l$  = 電阻  $c$  二端之電位降；

$IR_p$  = 電阻  $a$  二端之電位降；

$I$  = 屏極電流；

$\omega = 2\pi f = 2 \times 3.1416 \times$  週率；

$C$  = 交連電容器  $b$  之電容量。

使  $IR_i$  幾等於  $IR_p$ ，電容器  $b$  須有相當之電容量，俾遇最低之週率時， $\left(\frac{1}{\omega C}\right)^2$  當較小於  $(IR)^2$ 。反之，若電容器  $b$  之容量太大，則真空管之功效必受其影響。

故若柵漏之阻力超過 500,000 歐姆時，斷流電容器之電容量當為 0.01 微法拉。

圖 98 所示之低週放大器，乃含有三級同樣之電阻交連之放大真空管。

145. 總阻交連 (Impedance Coupling) 式 若以感應線圈代替圖 98 之電阻  $a$ ，則每級之放大率，當視感應線圈二端之電位降而定。其施與次級真空管柵極之電壓可用前在有感應負載下之真空管之各公式計算之。若非線圈之感應量十分充足，俾使感應週阻 ( $2\pi fL$ ) 較真空管內阻為大，則較高之週率必受充分之放大，而較低之週率則所受之放大必感不足。大多數真空管之內電乃由 5,000 至 15,000 歐姆，其平均數約為 10,000 歐姆。所以若交連線圈之感應量為 100 亨利，則最低週率，即 50 週之 ( $2\pi fL$ ) 即為  $2 \times 3.1461 \times 50 \times 100 = 31,416$  歐姆。對於最高之週率，即 5,000 週，則其感應週阻，( $2\pi fL$ ) 為  $2 \times 3.1416 \times 5000 \times 100 = 3,141,600$  歐姆。在此種交連之下，最高之放大度，祇能在交連線圈之諧振週率時得之。在諧振週率較大之週率，其屏極電流之一部份，即潛入線圈之分佈電容量內，因而減低放大器之輸出。然而若用高級感應線圈交連之放大器，則其效果亦不亞於電阻交連之放大器，且可利用較低之屏極電壓。

146. 變壓器交連 (Transformer Coupling) 式 凡一完美之變壓器，其次級線圈之電壓，必等於初級線圈之電壓與變壓比相乘之數。所謂變壓比者，乃指初級與次級雙方圈數多少之比例也。

對於變壓器交連之低週放大器，其情形猶如總阻交連之低週放大器，僅其傳至下級真空管柵極之電壓，須視初級線圈之感應量與變壓比相乘之數而定。此種情形，仍限於完美之變壓器，即線圈之電阻極小變壓比準確，電流在鐵心內之損失輕微，並其分佈電容量極低等是也。

圖 99 所示，即係一變壓器交連之低週放大器之線路。檢波管 *a* 之輸出，乃藉變壓器 *b* 而傳送至真空管 *c* 之柵極線路。此管將輸入之電壓放大若干倍，再經另一低週變壓器 *d* 而傳送至下級之真空管 *e*。此管之輸出乃傳至揚聲器 *b* 而變為聲音。

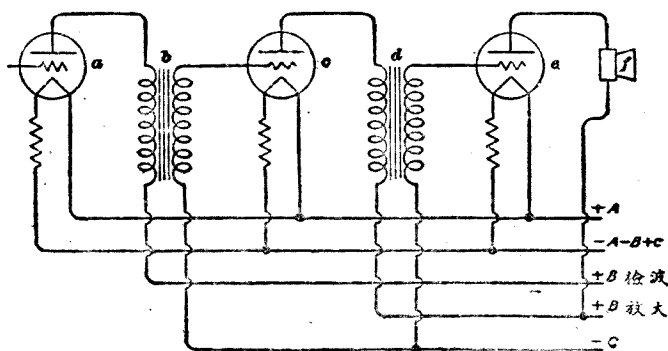


圖 99.

低週交連所用之變壓器與交連所用之感應線圈，其利弊彼



此相同。所可贊成者，變壓器之放大工作乃在初級線圈，其效力較電阻交連或總阻力交連之放大器為大，故可用較少之級數而得到同樣之效果也。

若變壓器之設計精良，在其次級線圈上加一負載，可使其放大工作不受週率之拘束。在實際上，取一 2 至 1 百萬歐姆之電阻與其次級線圈並接，即可得到此種效果。

**147. 各式交連法之比較** 從放大之成績方面論，電阻交連實較其餘二種交連為優，但欲使真空管之屏極得到足量之電壓，須用較大之電池，緣屏極電壓等於乙電池之電壓減去電阻所致之電位降也。故乙電壓雖較真空管所需之電壓大一倍，然所能得到之最大放大度，僅及其放大因數之半，即  $\frac{u}{2}$ 。線圈交連之放大器則不然，因感應線圈之電阻力極小，故不足以影響乙電壓。但在另一方面，其放大成績則較遜。

變壓器交連實與線圈交連無異，所不同者，僅多一次級線圈耳。其長處為每級之放大度較其餘之二種為大，因有變壓比之關係也。

由多次試驗之結果，低週變壓器之比率最小者，其成績亦最優。普通之感應線圈，可算為 1 與 1 比之變壓器，故往昔採用線圈交連法者甚多。現今之製造廠，對於 1 比 3 或 1 比 4 之低週變壓器，設計與製造，皆有顯著之進步，故若干新式收音機，多用變壓器交連之低週放大器。

**143. 推挽式放大器 (Push-Pull Amplifier)** 低週電流已被放大至相當程度之後，低週放大器之最後真空管，即將此

放大之電流輸送至揚聲器，而使之發出可聽之聲音。普通真空管所需者為電壓而非電流，故無電功率之可言。因此，真空管之屏極線路內之電功率，乃用於電阻線路內之電阻。至於最後之真空管，則情形完全不同。因使揚聲器之膜片擺動而發聲音，必需充分之力量，故運用揚聲器須電壓與電流二者並施。所以，此最後之真空管須比其他各真空管供給較大之電功率，故又稱此管為電功率真空管 (Power Tube)。

若獨個電功率管之輸出力量仍嫌不足，則可利用二個以上接成推挽式放大線路，蓋當一管屏極電流增加之時，其另一管之屏極電流則減少，所以，一管之動作乃與另一管之動作相反，但將變壓器之線圈相反而繞，可使二管之動作彼此互助增加而不減低。圖 100 所示，乃推挽式放大器之線路也。當低週放

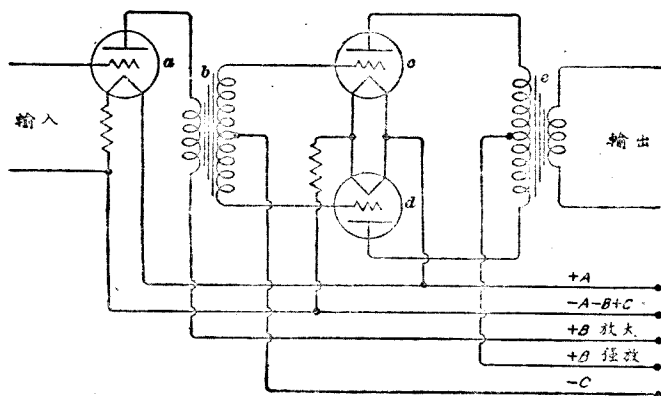


圖 100.

大管 *a* 之屏極電流流入推挽變壓器 *b* 之初級線圈時，其次級

線圈內所產生之電壓，即使  $c$  與  $d$  二管之柵極成爲 (+) (-) 相反之極性。當  $c$  管之柵極爲 (+) 而  $d$  管之柵極爲 (-) 時  $c$  管之屏極電流必增加而  $d$  管之屏極電流必減少。在第二推挽變壓器  $e$  之次級線圈內，因其鐵心內磁束之變動，遂亦產生電壓。變壓器  $e$  之初級線圈之上半部內，電流之增加，產生一增量之磁場，但下半部內電流之減低，因其流動方向之相反，復增強此磁場。故上下二部內電流之變動特具之交流聲 (Hum)，須將燈絲線路接連地線。

對於燈絲式真空管，其燈絲之烤熱，可用甲電池，或已經整流之電流，或經過變壓器之交流爲之。如用交流，則交流聲無法避免，蓋交流電正負週之變動，能使燈絲之熱度發生變動，因而影響電子流之平穩性也。但若將燈絲所用之電壓減低，而將電流增大，則此種交流聲可減去大半。所當注意者，燈絲電壓須求其穩定，其法，即將柵極回路接連電源變壓器之中心分線，或接連燈絲線路內電阻器之中心點，因電阻器既可調節，其中心點較爲準確也。真空管之柵極，當使之永久保存其負性，否則交流聲即行發現。26 號即係一低電壓之真空管，可以直接用於交流電源者也。他如 UX—112 真空管等，亦可用於交流電源，而不發生交流聲。

149. 屏極所需之乙電 供給乙電最簡單之方法爲用乙電池。若用交流以供給乙電，則供給乙電之一切機件之佈置，當照圖 101 所示之線路。電源變壓器  $a$  先將電源從 200 伏特增至 300 伏特以上。整流管  $b$  可用 80 號，此種整流管爲全

波 (Full Wave) 式，故有一個陰極與二個屏極。二個屏極，各

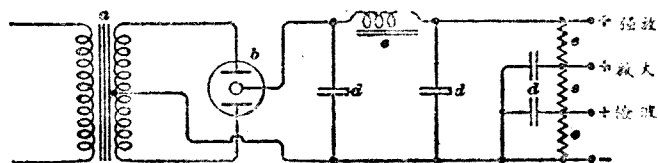


圖 101.

與變壓器次級線圈之一端接連，其陰極則接連負載。此時之陰極，成爲整流電源之正極，其負極爲變壓器之中心分線。整流管之燈絲所需之電流，係由同一變壓器內另繞之低壓線圈所供給。其濾波設置，照例爲一阻流線圈  $c$  與數個電容器  $d$ ，功能阻止交流聲發生，得到穩定電流，及分離高週與低週電流。電阻器  $e$  亦具二種功用，減少交流聲及減低放大管與檢波管所需之屏極電壓。

**150. 柵極所需之丙電** 若不採用丙電池，柵極所需之丙電壓，在用直流之真空管，可利用絲極線路內電阻器二端之電位降，又可利用屏極線路內電阻二端之電位降，其二端之一直接通至燈絲。第二法之長處，若屏極電壓增加之時，柵極電壓亦同時得到相當之增加。若數個真空管之性質皆相同，則各管之柵極所需之丙電，可用獨個電阻器供給之。



基價 5.50