

學 工 電

編 著 者

黃 慶 連

吳 宜 民

興業圖書股份有限公司

電 工 學

編 著 者
黃 慶 連
吳 宜 民

興業圖書股份有限公司

版權所有・翻印必究

中華民國六十七年九月一日一版

電 工 學

精裝 定價 150元

編 著 者：黃 慶 連 吳 宜 民

發 行 人：王 志 康

出版事業登記證局版臺業字第〇四一〇號

出 版 者：興業圖書股份有限公司

發 行 人：興業圖書股份有限公司

臺南市勝利路一一八號

電 話：3 7 3 2 5 3 號

學校團體採用購買另有優待

目次

第一章 電的基本概念

1-1	十的乘方	1
1-2	物質的基本構造	2
1-3	電荷與庫侖定律	2
1-4	靜電感應	4
1-5	電場與電力線	5
1-6	電流	7
1-7	電壓	8
1-8	電功率	8
1-9	電阻	9
1-10	歐姆定律	14
1-11	電路常數	15
	習題	17

第二章 直流電路

2-1	電網路	21
2-2	克希荷夫定律	22
2-3	電源	25
2-4	電源之組合及變換	26
2-5	串聯與並聯電路	30
2-6	串並聯電路	33
2-7	梯形網路	36
2-8	分壓定理	39
2-9	Δ 形與Y形網路之等值變換	41

2 目次

2-10	支路電流法	44
2-11	網目電流法	46
2-12	節點電壓法	49
2-13	重疊原理	52
2-14	戴維寧定理與諾頓定理	55
2-15	惠斯登電橋	60
2-16	三線直流系統	62
	習題	67

第三章 交變電流與電壓

3-1	電流與電壓波形	80
3-2	正弦波	81
3-3	平均值	84
3-4	有效值	86
3-5	波形因數與波峯因數	91
3-6	正弦波之重疊相加	93
3-7	傅立葉級數	95
	習題	101

第四章 複數

4-1	複數及其表示法	106
4-2	複數之運算	109
4-3	複數之乘方與根	113
4-4	旋轉相量與簡諧函數	115
	習題	116

第五章 交流電路

5-1	阻抗與導納	118
-----	-------	-----

5-2	電阻電路	120
5-3	純電感電路	122
5-4	純電容電路	127
5-5	交流電功率	130
5-6	串聯電路	136
5-7	R-L 電路	136
5-8	電感器內電流之建立與衰減	139
5-9	R-C 電路	143
5-10	容電器之充電與放電	146
5-11	R-L-C 串聯電路	149
5-12	並聯電路	152
5-13	串聯與並聯等值阻抗	158
5-14	對 偶	160
5-15	串並聯電路	161
	習 題	162

第六章 網路分析

6-1	交流電網路	169
6-2	雙下標表示法	169
6-3	等值阻抗	171
6-4	網目電流法	175
6-5	等值交流電源之互換	178
6-6	節點電壓法	181
6-7	重疊原理	182
6-8	互易定律	184
6-9	補償定理	187
6-10	替換定理	192
6-11	戴維寧定理與諾頓定理	194

4 目次

6-12	最大功率傳輸	199
6-13	米爾曼定理	201
6-14	四端網路	203
	習題	204

第七章 諧振與電流軌跡

7-1	頻率響應	210
7-2	串聯諧振	210
7-3	抗阻比 Q	215
7-4	總阻抗與頻率之關係	217
7-5	選擇性	220
7-6	元件端電壓 V_R 、 V_L 、 V_C	225
7-7	並聯諧振	227
7-8	並聯諧振電路選擇性曲線	235
7-9	電流軌跡	239
7-10	電阻固定感抗或容抗可變之串聯電路電流軌跡	240
7-11	感抗或容抗固定電阻可變之串聯電路電流軌跡	243
7-12	並聯電路電流軌跡	246
7-13	圓圖	252
7-14	圓圖之標尺	258
7-15	圓圖之應用	259
	習題	260

第八章 三相交流

8-1	三相電路	265
8-2	Y形聯接	269
8-3	Y形三相制之電功率	274
8-4	Δ 形聯接	276

8-5	Δ 形三相制之電功率	279
8-6	三相負載電路	280
8-7	平衡三相系統	284
8-8	線路無阻抗時Y形電源平衡三相制	286
8-9	線路無阻抗時 Δ 形電源平衡三相制	290
8-10	不平衡三相制	295
8-11	三相制中電功率及功率因數之量度	299
8-12	仟伏安法負載之相加	311
	習題	312

第九章 磁理論與電磁感應

9-1	前言	322
9-2	磁鐵與磁極	322
9-3	磁場與磁力線	323
9-4	磁庫侖定律	324
9-5	磁通密度與磁通	325
9-6	導磁係數	327
9-7	磁場強度H	328
9-8	安培迴路定律	329
9-9	磁理論	332
9-10	強磁性材料之磁化曲線	334
9-11	磁滯與渦流耗損	336

9 - 12	磁 路.....	339
9 - 13	磁路之計算.....	342
9 - 14	電磁感應與法拉第定律.....	349
9 - 15	自感量.....	350
9 - 16	導體之感應電動勢.....	352
	習 題.....	354

第十章 耦合電路與變壓器

10 - 1	互 感.....	358
10 - 2	耦合電路.....	361
10 - 3	圓點規則.....	364
10 - 4	傳導性耦合等值電路.....	368
10 - 5	多線圈耦合電路.....	371
10 - 6	理想變壓器.....	374
10 - 7	反射阻抗.....	377
10 - 8	變壓器之隔離作用.....	379
10 - 9	變壓器之廠牌資料.....	380
10 - 10	變壓器之構造與散熱.....	383
	習 題.....	387

第十一章 直流電機

11-1	前 言	392
11-2	直流電機之構造	393
11-3	電樞繞阻	396
11-4	發電機之特性	400
11-5	電樞反應	406
11-6	直流電動機	410
11-7	直流電動機之起動	415
11-8	損失及效率	418
	習 題	420

第十二章 交流電機

12-1	分佈繞及氣隙磁場	423
12-2	正弦分佈磁場之合成	426
12-3	正弦式分佈繞所生之轉矩	428
12-4	旋轉磁場	430
12-5	旋轉磁場感應之電勢	433
12-6	同步機之相量圖與等值電路	436
12-7	同步機之特性	438
12-8	凸極同步機	443
12-9	交流感應機動作原理	444
12-10	感應機之等值電路	446
12-11	多相感應機之特性	450
12-12	多相感應電動機之速率控制	456
12-13	單相感應電動機	459
	習 題	463

第十三章 電化學

13-1	前 言	463
13-2	電 解	463
13-3	法拉第電解定律	465
13-4	電 池	467
13-5	乾電池	469
13-6	蓄電池	471
13-7	電池的使用壽命	474
13-8	電化學之應用	475
	習 題	476

第一章 電的基本概念

1-1 十的乘方

在討論電工學之初，爲了日後各項計算可能碰到非常大或非常小之數字，計算起來十分麻煩，爲簡化起見，我們使用一些符號，冠於單位之前，以代表十的乘方。如以 7 MHz 代表 7,000,000 赫，以 0.02 μ f 或 20 nf 代替 0.00000002 法拉，如此不但計算時常獲得許多便利，列表時也可以節省許多空間。

十乘方之符號祇用於公制之十進單位，表 1-1 所示即爲各種十乘方之符號全名及縮寫。

表 1-1

十 乘 方	符 號 全 名	縮 寫
10^{-18}	atto	a
10^{-15}	femto	f
10^{-12}	pico	p
10^{-9}	nano	n
10^{-6}	micro	μ
10^{-3}	milli	m
10^{-2}	centi	c
10^{-1}	deci	d
10^1	deka	da
10^2	hecto	h
10^3	kilo	k
10^6	mega	M
10^9	giga	G
10^{12}	tera	T

其中較常用者為 p ($\mu\mu$), n , μ , m , k , M , 其餘僅列出以供參考, 實際上甚少應用。

注意, 十乘方之符號必須與單位聯用, 不可單獨使用。

1-2 物質的基本構造

一切物質均由原子所構成, 原子之構造如圖 1-1 所示, 原子之中心由帶正電之質子與中性之中子積聚而成原子核。核外為帶負電之電子, 依固定之軌道繞原子核而運轉。在正常狀態下, 原子之質子數與電子數相等, 而每一質子與電子所荷之電量相等, 故原子本身呈中性。

電子運轉所遵循之軌道有內外之分, 依電子數目之多寡分為多層, 各層軌道內電子所具有之能量各不相同, 愈外層之電子能量愈高。最外層之電子能量最高, 也最容易自外界獲得能量。當其獲得足夠之能量, 即脫離原子核之束縛而逸出原子, 成為可移動之帶電質點, 此一質點帶負電, 失去電子之原子稱為游子或離子, 帶正電。這種容易逸出原子而運動之電子, 即稱為自由電子 (Free electron)。

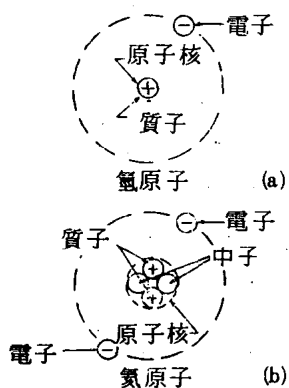


圖 1-1 原子之構造

1-3 電荷與庫侖定律

電荷可分為正電荷與負電荷兩種, 同性電荷相斥, 異性電荷相吸。當一自由電子自原子中逸出, 其所帶之電量, 即為一基本單位負電荷; 失去電子之原子帶一基本單位之正電荷, 亦即一質子所帶之電量。電量之實用單位為庫侖, 簡稱為庫。一質子所帶電量為 $+1.60 \times 10^{-19}$ 庫, 一電子所帶之電量即為 -1.60×10^{-19} 庫。

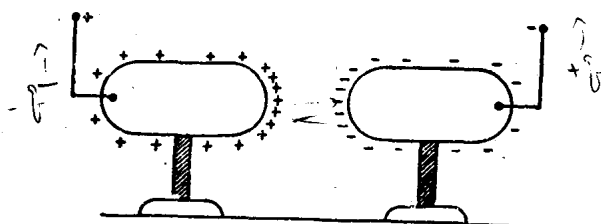


圖 1-2 帶相異電荷之兩長形導體

圖 1-2 示兩相互絕緣之長形導體，分別接於一靜電感應起電機之正、負兩端。接於正端之導體，因受外施電壓影響，一部分自由電子，經起電機移動至接於負端之導體，故接於正端之導體帶正電，接於負端之導體帶負電。每一導體上所帶之電荷分佈於導體之表面，由於異性電荷相吸，遂使二導體相鄰之兩端，電荷之分佈密度較其他部份為大。

若此二導體能自由運動，則因二異性電荷互相吸引，二導體間產生一種靜電吸力而使此二導體相向運動。當兩導體接觸時，於接觸之瞬間，將產生一火花，顯示有一瞬間電流，自一導體流向另一導體。

電荷與電荷之間彼此會產生一種同性相斥，異性相吸的電力，兩帶電體間之電力，與兩帶電體所荷電量之乘積成正比，與兩帶電體中心間距離之平方成反比。此處所言帶電體之中心係指對帶電體外任何一點而言，當帶電體之電荷全部集中於中心時，對該點產生之電效應不變。倘帶電體為一球體，則此處所言之中心即為其球心。

設兩帶電體所荷電量分別為 Q_1 及 Q_2 ，兩帶電體中心間之距離為 d ，則由 Q_1 ， Q_2 所生之電力為

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{d^2} \quad (1-1)$$

其中 k 爲一常數，其值視兩帶電體周圍之介質而定。此一定律稱爲庫倫定律 (Coulomb's law)。

若兩電荷之電量相等，即 $Q_1 = Q_2$ ， $d = 1$ 厘米 (cm)，在真空內此二電荷間之作用力恰好爲 1 達因時，此時二電荷之電量我們定爲一靜電庫倫。換言之，若 $Q_1 = Q_2 = 1$ 靜電庫， $d = 1$ cm，在真空或空氣中， $F = 1$ 達因。可知真空或大氣中，用上述之單位時， k 之值爲 1。

在 M.K.S. 單位制中，電量之單位爲庫倫，距離之單位爲米，力之單位爲牛頓，由於 1 庫 $= 3 \times 10^9$ 靜庫，可以得出 k 之值爲 9×10^9 。故使用 M.K.S. 單位制時，在真空或大氣中，庫倫定律可以下式表之：

$$F = 9 \times 10^9 \frac{Q_1 Q_2}{d^2} \text{ 牛頓 (nt.)} \quad (1-2)$$

例 1-1 每一 α 質點所帶之電量爲 3.2×10^{-19} 庫倫，試求相距 10^{-11} 厘米之兩 α 質點間相互作用之力。

〔解〕 $Q_1 = Q_2 = 3.2 \times 10^{-19}$ coul.

$$d = 10^{-11} \text{ cm} = 10^{-13} \text{ m}$$

$$\begin{aligned} F &= 9 \times 10^9 \frac{Q_1 Q_2}{d^2} = 9 \times 10^9 \frac{(3.2 \times 10^{-19})^2}{(10^{-13})^2} \\ &= 0.09216 \text{ nt.} \end{aligned}$$

1-4 靜電感應 (Electrostatic induction)

若將一帶電導體趨近一完全隔絕之不帶電導體，則此中性導體鄰近帶電體之一端即感應而生與帶電體電性相反之電荷，遠離帶電體之另一端則生與帶電體電荷電性相同之電荷。此一現象，稱爲靜電感應。感應而生之電荷，稱爲應電荷 (Induced charge)。

圖 1-3 示帶正電之 A 導體，在 B 導體上感應出電荷之情形。很

顯然的，A 導體上的正電荷均集中至接近 B 導體之一端。此時若將 B 導體上正電荷聚集之一端接地，則 B 導體上之正電荷逃逸至地中，如圖 1-4 所示。

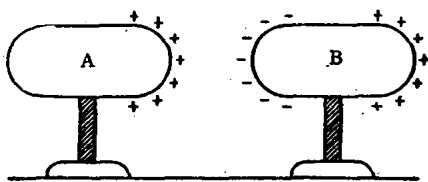


圖 1-3 靜電感應

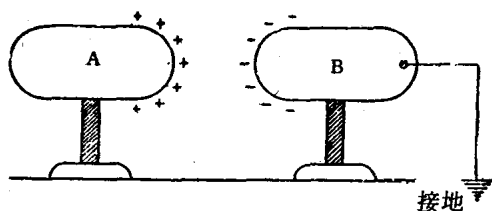


圖 1-4 被感應導體一端接地

1-5 電場與電力線

假定一帶電體 A 為固定不動者，將另一帶電體 B 移近 A 時，二者之間將產生一吸力或斥力，視此兩帶電體電荷之性質而定，此二者間之電力，隨著 B 之遠離而變弱。這表示帶電體 A 的周圍必有一區域，任何電荷在此區域中將產生一電力，此一區域即稱為電場。

空間任何一點之電場可藉一小帶電體探測之，此一小帶電體稱為試驗電荷 (Test Charge)。試驗電荷在電場中某一點上，受一電力之作用，此力有大小，亦有方向，故該點之電場亦可視為一具有大小及方向之向量。

設試驗電荷之電量為 Q 庫 (coul.)，在電場中某一點所受之力為 F 牛頓 (nt)，則該點之電場強度 e 可以下式表示之：

$$\epsilon = \frac{\mathbf{F}}{Q} \quad \text{nt/coul} \quad (1-3)$$

由上之向量式可知，若 Q 為正電荷，則 ϵ 與 $\mathbf{F}$ 同向，若 Q 為負電荷，則 ϵ 與 $\mathbf{F}$ 反向；換言之，即正電荷在電場中受力之方向，即為電場之方向。

同樣，一電量為 Q 之電荷，在電場強度為 ϵ 之處，所受之電力為

$$\mathbf{F} = Q\epsilon \quad (1-4)$$

例1-2 設兩平行板之間有一均勻電場，若電場強度為 10^4 牛頓/庫，試求一電子於此兩平行板間所受之力為若干？

〔解〕 一電子之電量為 $Q = 1.6 \times 10^{-19}$ coul

故 $F = Q\epsilon = (1.6 \times 10^{-19}) \times 10^4 = 1.6 \times 10^{-15}$ nt.

因電子荷負電荷、故所受之力與電場方向相反。

電場的許多特性可以利用電力線來表示之，電力線為虛設之線條

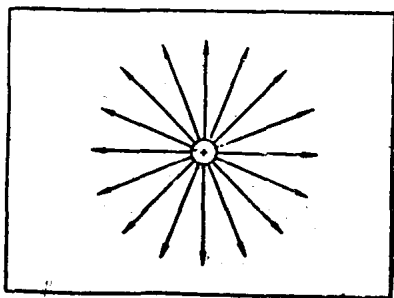


圖 1-5 一單獨正電荷周圍之電場

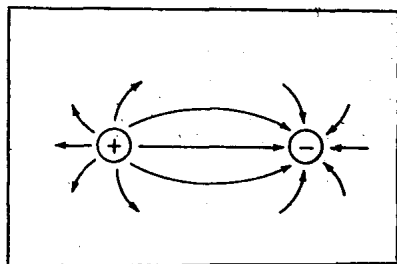


圖 1-6 兩異性電荷所生之電場

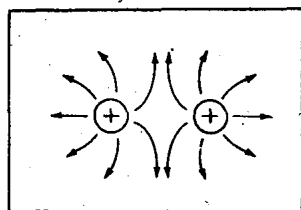


圖 1-7 相鄰兩正電荷所生之電場

，其上任何一點之切線方向即為該點電場之方向。圖1-5所示為一單獨之正電荷周圍所生之電場。圖1-6及圖1-7則分別示同性及異性兩電周圍之電場。由上述圖中可知，每電力線均為自正電荷發出而終止於