

高等學校交流講義

工業電子學及控制

華中工學院電力系湯之璋編

(內部交流 * 僅供參考)

中央人民政府高等教育部教材編審處

工業電子學及控制

書號(S045)

新華書店總經售

商務印書館上海廠印刷

一九五四年十一月上海第一次印刷

印數 1-1,130

字數 137,000

定價 羊 16,000

工業電子學及控制目錄

第一章 電子學及其應用

1—1	電子學的定義	1
1—2	愛迪生效應	1
1—3	物質的構造	1
1—4	電子	3
1—5	密立根測定電子電荷的方法	4
1—6	電子的波動學說	6
1—7	光的量子論, 光子	6
1—8	電子設備的敏捷性	7
1—9	電子學的應用	8
1—10	單位	9

第二章 電子運動學

2-1	電子管運用的原理	12
2—2	帶電荷之質點在靜電場內的運動情形	13
2—3	能量的單位, 電子伏特	16
2—4	陰極射綫管——靜電偏轉式	17
2—5	李沙育圖形	21
2—6	陰極射綫示波器	23
2—7	帶電荷之質點在靜磁場內運動情形	24
2—8	圓周路徑	26
2—9	迴轉路徑	27
2—10	螺旋路徑	28
2—11	磁環效應	29

2—12	磁偏轉的陰極射線管	30
2—13	帶電荷之質點在靜電場及磁場內運動情形	32
2—14	電場與磁場的方向平行	33
2—15	質點運動速度的量度	33
	第二章問題	34

第三章 電子發射

3—1	電子親和力·功函數	36
3—2	熱游子發射	38
3—3	熱游子發射方程式 (李却遜方程式)	40
3—4	熱游子發射之測量	41
3—5	鎢燈絲之熱游子發射	45
3—6	塗鉍鎢絲之熱游子發射	49
3—7	塗氧化物燈絲之熱游子發射	51
3—8	接觸位差	52
3—9	肖特基效應 (Schottky Effect)	53
3—10	第二次發射	57
3—11	高電場發射	60
	第三章問題	62

第四章 真空管的構造與基本原理

4—1	電子管的分類	63
4—2	真空管的構造	63
4—3	兩極管之運用	65
4—4	兩極管用作整流管	67
4—5	三極真空管	69
4—6	四極真空管	73
4—7	五極管	76

4- V 8	真空管的詳細構造-----	77
-------------------	---------------	----

第五章 真空管的特性曲線及等效電路

5—1	電流被空間電荷限制的情形。赫耳德定律-----	83
5—2	真空兩極管的特性曲線-----	89
5—3	三極真空管的特性曲線-----	91
	(I)跨導(互導); (II)板極特性曲線; (III)板組; (IV)放大因數; (V)跨導, 板阻與放大因數間的關係。	
5—4	電壓放大-----	97
5—5	負載綫分析 (load line analysis)-----	100
5—6	動態特性曲線-----	102
5—7	三極真空管的等效電路-----	102
5—8	電壓放大; 負載是電阻-----	104
5—9	電壓放大; 負載是電抗-----	105
5—10	四極管的特性曲線-----	107
5—11	五極管的特性曲線, 係數及電壓放大-----	108
5—12	電子注功率管-----	111

第六章 真空管整流器

6—1	具有紋波電容的半波整流器電路-----	114
6—2	具有紋波電容的全波整流器電路-----	116
6—3	具有電阻負載的全波整流器電路-----	117
6—4	全波電橋電路-----	117
6—5	濾波器(或紋波)電路-----	118
	(I)福里哀(Fanrier)級數, (II)紋波因數 α , (III)R-C濾波器	
6—6	整流器調節-----	124

第七章 真空管放大器

7—1	放大器的分類-----	126
7—2	畸變-----	128
	(I)波幅(非直線性)畸變; (II)頻率畸變; (III)相角畸變。	
7—3	電阻——電容耦合電壓放大器-----	130
	(I)電阻——電容耦合放大器的頻率響應, (II)五極管電阻——電容耦合放大器; (III)高頻響應的擴展	
7—4	變壓器耦合放大器-----	135
7—5	阻抗變換-----	137
7—6	甲類三極管功率放大器-----	138
	(I)負載綫的構造; (II)輸出功率及效率的計算	
7—7	甲類五極管功率放大器-----	143
7—8	推挽式放大器-----	145
7—9	全部聲頻放大器電路-----	148

第八章 氣體導電

8—1	原子的物理性質-----	151
8—2	氣體現象-----	154
8—3	氣體放電, 湯遜放電-----	156
8—4	自維持放電與非自維持放電-----	157
8—5	輝光放電-----	158
8—6	湯遜放電與輝光放電的比較-----	161
8—7	弧光放電-----	162
	(I)熱游子弧光, (II)冷陰極弧光	
8—8	輝光兩極管——電壓調整器-----	164

第九章 含氣管及其應用

9—1	氣體在熱游子二極管內之影响-----	166
9—2	熱游子含氣二極管-----	167

9—3	熱游子含氣二極管的電位分佈曲綫	158
9—4	含氣二極管的特性曲綫	168
9—5	熱游子二極管之運用	169
9—6	含氣管的陰極構造	170
9—7	汞弧整流器	171
9—8	銅桶(或多陽極)汞弧整流器	174
9—9	引燃管	174
9—10	激發管(Excitron)	176
9—11	閘流管	177
9—12	閘流管特性曲綫	129
9—13	閘流管的柵極構造	180
9—14	閘流管的柵極控制	181
9—15	閘流管的通斷控制(ON-off control)	183
9—16	閘流管的繼續變動控制(Continuously variable control)	183

第十章 金屬整流器及多相整流器

第一部分 金屬整流器

10—1	金屬整流器	188
------	-------	-----

(I) 氯化銅整流器, (II) 矽整流器, (III) 結論。

第二部分 多相整流器

10—2	三相Y連接整流器	191
10—3	雙相Y連接整流器	192
10—4	三相橋式整流器	194
10—5	紋波濾波器	195
10—6	輸出電壓的相移控制	196
10—7	引燃管的引燃電路	197

10—8	效率與電壓調整-----	198
------	--------------	-----

第十一章 光電效應

11—1	光電效應之起源-----	200
11—2	光電發射與光之微粒學說-----	200
11—3	愛因斯坦方程式-----	201
11—4	低限頻率與臨界波長-----	202
11—5	光電發射體的光譜響應曲線-----	203
11—6	幾個光度學上名詞的定義-----	205
11—7	真空光電管-----	206
11—8	含氣光電管-----	207
11—9	光伏效應-----	209
11—10	壁壘層光電池-----	210
11—11	光導效應-----	212

第十二章 光電控制設備

12—1	基本光電控制電路-----	214
12—2	自動光量控制-----	217
12—3	光電計數及運用設備-----	219
12—4	光電繼電器作為探測器與檢查器-----	222
12—5	光電保護設備-----	224
12—6	光電高溫計-----	225
12—7	顏色匹配裝置-----	227

第十三章 電動機與發電機的電子控制

第一部 直流電機的電子控制

13—1	直流分激電動機運用原理的複習-----	228
------	---------------------	-----

13—2	直流電機的運用，其電源取之於交流電	229
13—3	電樞電壓與磁場電壓的同時控制	231
13—4	可飽和電抗器	233
13—5	電樞控制的相移法	234
13—6	用相移法來控制磁場電流	238
13—7	相移控制同時應用到電樞及磁場	238
13—8	速率的自動控制	239
13—9	電子控制的其他特性	240

第二部 發電機的電子調節

13—10	交流發電機的磁場電源供給及電壓調整器	248
13—11	直流發電機的磁場電源供給及電壓調整器	250
13—12	全步電動機的磁場電源供給與功率因數調整器	250

第十四章 高頻電熱

14—1	感應電熱的基本原理	252
14—2	感應電熱的應用	253
14—3	介質電熱的基本原理	254
14—✓4	產生高頻電流的方法	255
14—5	振盪電路的性質	256

真空管振盪器

14—✓6	真空管振盪器的基本原理	258
14—7	振盪電路的種類	260
14—8	得到柵偏壓的方法	261
14—9	板極電源供給	262
14—10	將功率加到工作綫圈的方法	263
14—11	加熱量於工作物的方法	263
14—✓12	真空管變流器的運用	265

14	✓ 13	真空管變流器的功率輸出與效率	266
14	— 14	感應電焊裝置	267
14	— 15	介質電熱設備	268
		<u>汞弧變流器</u>	
14	— 16	汞弧變流器的基本原理	270
14	— 17	三相汞弧變流器	272
		<u>火花隙變流器</u>	
14	— 18	火花隙變流器的基本原理	273
14	— 19	火花隙變流器的實際裝置	274

第十五章 電阻電焊的電子控制

15	— 1	電阻電焊的基本原理	277
15	— 2	電阻電焊的方式	278
15	— 3	幾個名詞的定義	280
		(I) 鏢接時間; (II) 擠壓時間; (III) 保持時間。	
15	— 4	為什麼需要電子控制?	282
15	✓ 5	電子控制及其功用	283
15	— 6	電子觸頭 (或開關)	285
15	— 7	電子定時器	287
15	— 8	熱量控制	291
15	— 9	定時器與引燃開關的聯合應用	292
15	— 10	能量貯藏焊接制	294
		(I) 磁貯藏制; (II) 靜電貯藏制。	

第十六章 控制裝置 (機件)

16	— 1	溫度控制裝置	299
16	— 2	位置控制裝置, 自動整步機 (Synchrosar system)	299
✓ 16	— 3	旋轉放大器 (Rotary amplifier) 或電機放大器 (amplidyne) 302	

第十七章 控制原理與伺服機件 (Servomechanism)

- 17—1 簡單控制系統-----307
 17—2 閉週控制系統 (Closed-cycle control system)-----308
 17—3 伺服機件-----308

(I) 誤差探測裝置, (II) 放大器, (III) 誤差改正裝置, (IV) 伺服機件的設計

- 17—4 伺服機件舉例-----320
 17—5 反振蕩電路 (anti-bunt circuits)-----322

第十八章 “電機放大器” 伺服機件 (amplidyne sircorrection mechanism)

- 18—1 電壓控制-----323
 18—2 電流控制-----324
 18—3 電壓控制, 電流有一定的限值-----325
 18—4 位置控制-----326
 18—5 速率控制-----326

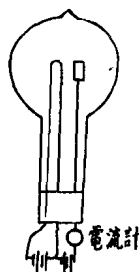
第一章 電子學概論及其應用

1—1 電子學的定義：

電子學就廣義言之，包括一切電子之現象，因為所有電子之傳導，均包括電子故。但現今所云電子學，僅指電在真空管內由電子傳導之情形，或在氣體內由電子及游子傳導之情形因此電子學可謂為討論電在真空或氣體中傳導之現象之科學。

1—2 愛迪生效應：

近代電子學，常以1883年“愛迪生效應”之發現作為起始點。愛迪生在研究改進白熾燈時將其燈泡內除燈絲以外，另加一小塊金屬片，(圖1—1)，彼發現當銅片為正時(對燈絲而言)第1—1圖中之電流計有偏轉，意即接于金屬片的導體有電流通過，當電壓換向，燈泡內電流立即中斷，當時愛氏之集中力，全在其改進白熾燈，對如此之現象僅有報導而已，亦未研究。



第1—1圖

翌年(1884年)英人普勒斯(Preece)研究愛氏效應發現金屬片對電流並無影響。電流之大小，係由電壓，燈絲之溫度與燈絲至金屬片之距離決定之，普勒斯並說這電流是由帶負電之質點所傳導，後來斯當奈(G. S. Stoney)對這質點稱為“電子”。這名稱一直沿用至今而成為電子學之基石。

1—3 物質的構造：

在研究愛迪生效用時，我們首先有一個問題，即“為什麼電子能從燈絲跑出去”？為了要回答這問題，我們必須明瞭物質的構造。

物質是佔有空間與重量的物料，所有物質均分成三大類，固體，

液體與氣體。無論物質是那一類或如何複雜，它們都是由 92 種基本物料中的一種或多種構成的，這些基本物料，便叫做“元素”^{*1}。例如：水是由氫與氧兩種元素構成的，塊是由鈉與氯兩種元素構成的。

凡物質均具有一定的屬性，保持某種物質的屬性的最小質點便叫做“分子”，一個元素最小的質點便叫做“原子。”

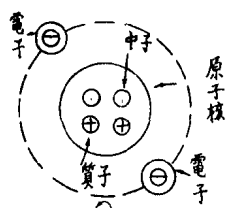
依據近代物理學的理论，所有原子（因此所有的物質），均是由三種主要形式的質點構成的：

- (1) 一種帶正電荷的質點叫做“質子”，
- (2) 一種帶負電荷的質點叫做“電子”，
- (3) 一種不帶電荷的質點叫做“中子”，

質子的正電荷與電子的負電荷相等而相反，於是這兩種電荷便中和了。原子在正常狀態下，牠含有相同數目的質子與電子，因此原子不帶電荷。

“中子”可以假想牠也含有一個電子與質子，這兩種電荷相等而相反，彼此互相抵消掉。因此中子不帶電荷。

一個原子的所有質子與中子，均應在電子的中心部份，叫做“原子核”。電子圍繞原子核在許多同心軌道上面急速地旋轉着。正如太陽系內的諸行星圍繞着太陽旋轉一樣。



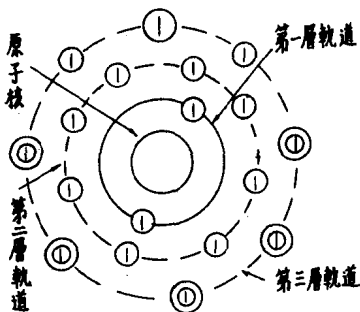
第二圖 一個原子的假想圖形

在第二圖中，我們可以看見一個氫原子的假想圖形，注意這原子核中有兩個中子與兩個質子，因此原子核帶着兩個正電荷，這正電荷，這正電荷被兩個電子的負電荷所中和，所以氫原子是中性的。

不同種類的原子，便有不同數目的質子與電子的組合。例如：鈾原子，在原子核內有 92 個質子，並且有 92 個電子在許多同心軌道上圍繞着原子核旋轉，距原子核最近的軌道，最多能包含兩個電子，當某原子的電子數目超過兩個時，電子便在第

^{*1}。根據近代原子物理學研究的結果，在過去幾年內，又發現了六種新的元素，因此現在已知的原素，共有 98 種。

一軌道的外面，形成更多的軌道，第二軌道可能包含八個電子以內任何數目，但最多不能超過八個電子；第三軌道可能包含 18 個電子以內任何數目，但最多不能超過 18 個電子，第四軌道，32 個電子，第五軌道，18 個電子，如此類推對鈉原子而言，直到 92 個電子的總數目，都適當地排列在原子核的外圍為止，第三圖顯示氫原子的假想圖形，這原子的十八個電子，分成三個軌道排列着。



第三圖 氫原子的假想圖形

一個原子，如果想要改變牠的原子核的狀態或牠的內層軌道上的電子狀態，是件非常困難的事情，但原子的最外層軌道上的某些電子與該原子核之間的吸引力，可能並不太大因此能在一個原子與另一個原子之間比較容易地移動着，這些電子便叫做“自由電子”。

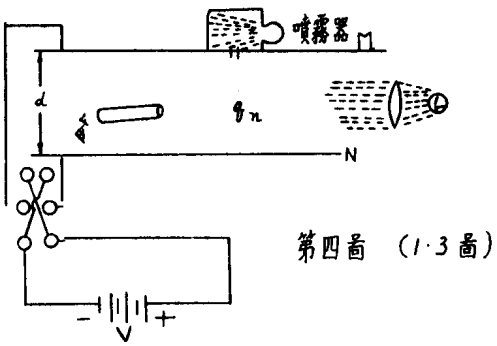
在所有物質內，均有某些“自由電子”存在着，這些自由電子混亂地移動着牠們附屬到各個原子上去，這樣便阻止了這些原子的軌道上的電子變成“自由電子”。

物質內自由電子的數目，因該物質的特性而變動，某些金屬物質，普通均有較多的自由電子，非金屬物質，則有較少的自由電子。關於電子從燈絲中跑出去的詳細解釋，將在“電子發射”一章中討論之。

1—4 電子在湯姆遜的早期實驗中，即查覺每單位質量的電子所帶的電荷 (q_e/m) 為一常數。1910年，密立根 (R.A. Millikan) 測量電子的電荷時知其值不變，因此舉凡電子均相同。現今公認，每個電子含有 1.6×10^{-19} 庫倫之電荷，因 q_e/m 之測得數字為 1.76×10^{-11} 庫倫/克，故電子之質量為 9.11×10^{-31} 克。

1—5 密立根測定電子電荷的方法：

在1910年以前，許多物理學家如湯姆遜及威爾遜 (H.A. Wilson) 等人均曾測定電子電荷之值，但其結果均不正確且不一致。當1910年至1916年之間，芝加哥大學教授密立根作過一連串之實驗證明每個電子所帶之電荷為 4.77×10^{-10} 靜電單位 (e.s.u.) 或 1.59×10^{-19} 庫倫。此結果與後來用 X-射綫方法所作之實驗，結果相符合。現今公認之



數字為 9.804×10^{-10} 靜電單位或 1.609×10^{-19} 庫倫，密立根當時所用之儀器如第 1.3 圖所示。M 及 N 為兩塊平行的金屬板。中間隔距為 "d" 兩板經一換向開關，各接至電池之兩端，M 板上有一小孔，孔上有一噴霧器 (Atomizer) 由此器產生出來的油滴可由此通過，兩板間，照以強烈光綫，一架精密的望遠鏡對準孔之下端，用以觀察油滴之運動情形。

設有一油滴，至孔下降，如兩板間不加電壓，則施於油滴之力為地吸引力，與油滴下降之速度 v_d 成正比，因此

$$f = mg = kv_d \quad (1.1)$$

倘使此時兩板間再加一電壓，使 M 板為正，則有一靜電場產生于其間，反而使油滴向上移動，其力與向上之速度 v_u 成正比，因此

$$Eq_n - mg = kv_u \quad (1.2)$$

式中 q_n 為油滴所有之電荷，以(1.2)式除(1.1)式得

$$\frac{mg}{\epsilon q_n - mg} = \frac{v_x}{v_u}$$

因此
$$\epsilon q_n = \left(\frac{v_x}{v_d} + 1 \right) mg$$

並且
$$q_n = \frac{mg}{\epsilon v_d} (v_u + v_d) \quad (1.3)$$

式中 g 為已知數， v_d 及 v_u 可以由望遠鏡上之校正刻度量得“ ϵ ”為電壓與兩板間距離之比，油滴之質量 m 則可由斯托克 (Stokes) 定律求得之，此定律謂在空中自由墜下之小球形液滴，其半徑為

$$r = \sqrt{\frac{9n v_d}{2g\delta}} \quad (1.4)$$

式中 n 為氣體的粘帶係數 (Viscosity)， δ 為液體滴的密度， m 是油滴之質量為

$$m = \frac{4}{3} \pi r^3 \delta \quad (1.5)$$

倘在兩板之間，通以 X-射綫則空氣中產生游子 (ions)。在油滴上升之過程中，可能與游子碰撞而電荷及速度均將改變，設此時所帶之電荷為 q_m ，上升速度為 v_w 則。

$$q_m = \frac{mg}{\epsilon v_d} (v_w + v_d) \quad (1.6)$$

(1.3) 式減 (1.6) 式得：

$$q_n - q_m = \frac{mg}{\epsilon v_d} (v_u - v_w) \quad (1.7)$$

或
$$\Delta q = C \Delta v \quad (1.8)$$

式中 $C = \frac{mg}{\epsilon v_d}$ 為一常數，可由已知之條件求得之。因此油滴在向上運動時，所增加或減少之電荷直接與其速度之變化成正比。在作實驗時，可以得着許多不同的 Δv 之值。但可發現一重要之現象即是所有的 Δv ，均為某一小值之整數倍。A v 既有一公約數，意即油滴所增

加或遺失之電荷總歸為某一單位電荷之倍數。此單位電荷即電子之最小而不可分割之單位，亦即電子之電荷也。

1—6 電子的波動學說：

在電子發現後最初的四分之一世紀中，牠是完全被認為是一種帶負電的微粒，而波耳(Bohr)和別人的原子學說，也是奠基在這一假設上的，在1927年戴維遜(Davison)和苟謀(Germer)兩人發現：一粒電子能被金屬晶體(鎳)繞射正如光波之被光柵繞射一樣，跟隨着這個電子的波長是 $\lambda = \frac{h}{m_e v}$ 式中 $h = 6.624 \times 10^{-34}$ 焦耳·秒 $v =$ 電子之速度； $m_e =$ 電子之質量。

因此電子現在是被認為具有質點的性質同時也具有波的性質，電子的波動學說，可以用來解釋高電場發射現象，詳細情形，將在“電子發射”一章討論之。

1—7 光的量子論；光子。

普通光學上的許多問題，都是用“光的波動學說”來解釋的，但我們將要討論到光電效應方面的問題，如果這些問題，也用光的波動學說來解釋，則發現很大的困難，光電效應，是在“光的微粒學說”(即“光的量子論”)的基礎上，才得到合理地解釋的。現代科學家們，關於“光”的概念是二元論；即是承認光是一種波動能量(波能)的形式，而同時又是一種微粒(光子)的形式。

光之微粒學說的基礎是量子論，量子論的起源，則是基於熱的輻射現象研究。

量子論主張能量的流動，不是連續的，而是許多緊密色紮在一起的微粒的流動，在任何轉變過程中所色含的最小能量單位稱為“量子”一個量子能量的大小，直接與其輻射的頻率成正比，這可用下面的式子表出之：

$$W = hf$$