

部 定 大 學 用 書

電 晶 體 電 路

國立編譯館部定大學用書編審委員會主編

譚 玉 田 編 著

國 立 編 譯 館 出 版
正 中 書 局 印 行



版權所有

翻印必究

中華民國五十九年十月臺初版

中華民國六十三年三月臺二版

部定大學電晶體電路
學用書

全一冊 基本定價 平裝五元四角
精裝六元九角

(外埠酌加運費匯費)

主編者	國立編譯館
編著者	部定大學用書編審委員會
出版者	譚玉田
發行人	國立編譯館
印刷發行	李正 中書局

(臺灣臺北市衡陽路二十號)

暫遷台北市南昌路一段十二號

海外總經銷 集成圖書公司

(香港九龍旺角洗衣街一五三號地下)

海風書店

(日本東京都千代田區神田神保町一丁目五六番地)

內政部登記證 內版臺業字第〇六七八號 (6387) 泰
(1000)

電 晶 體 電 路

目 次

第一章 電晶體之基本原理

1.1	緒 言	1
1.2	原子之構成	1
1.3	電子之能量	3
1.4	能 階	5
1.5	鎢 晶 體	7
1.6	純鎢晶體內電子之性質	8
1.7	晶體內之不全作用	10
1.8	輻射能之不全作用	11
1.9	化學不純物之不全作用	15
1.10	變更原子排列之不全作用	16
1.11	能 帶	17
1.12	接 合 界	21
1.13	二極電晶體之作用	22
1.14	Fermi 能階	25
1.15	電晶體之作用	27
1.16	點接觸式二極電晶體	31
1.17	點接觸式電晶體	32
1.18	光電晶體	34
1.19	鎢之精鍊法	35
1.20	接合式電晶體之製造法	37

1.21	點接觸式電晶體之製造法	38
1.22	稽納二極晶體	39
1.23	矽質控制整流晶體	40
1.24	積體電路	43
	問題及習題	47

第二章 電晶體之特性曲線、參數與等效電路

2.1	緒 言	49
2.2	電晶體視作電路之元件	49
2.3	接合式電晶體特性曲線	51
2.4	基極接地特性曲線	52
2.5	射極接地特性曲線及 α 參數	58
2.6	射極接地特性曲線及 γ 參數	62
2.7	射極接地特性曲線及 h 參數	63
2.8	低頻率等效電路	66
2.9	低頻率等效電路分析之近似值	67
2.10	直線四端子網絡	68
2.11	無源直線四端子網絡之等效電路	74
2.12	有源直線四端子網絡之雙發電機等效電路	75
2.13	有源直線四端子網絡之單發電機等效電路	76
2.14	電晶體視作直線有源四端子網絡	79
2.15	接合式電晶體參數之測定	84
2.16	互補對稱	86
2.17	對稱電晶體	88
2.18	電流增倍式電晶體	90
2.19	點接觸式電晶體	91

2.20	點接觸式電晶體之特性曲線及等效電路	91
	問題及習題	94

第三章 基本放大電路之形式

3.1	緒 言	96
3.2	基本放大電路	97
3.3	射極接地放大電路	98
3.4	基極接地放大電路	102
3.5	集極接地放大電路	106
3.6	直接類似與雙重類似	109
3.7	採用 z 參數分析電晶體放大電路	115
3.8	採用 h 參數分析電晶體放大電路	127
3.9	噪聲與噪聲指數	137
	問題及習題	143

第四章 直流基本電路

4.1	緒 言	144
4.2	工作點之構成	145
4.3	自給偏位法	147
4.4	影響工作點之各因素	151
4.5	靜電流受 I_{co} 之影響	153
4.6	靜電流受 α_{cb} 變化之影響	159
4.7	集極電壓之穩定度	160
4.8	穩定度及偏位之分別控制	162
4.9	電流反饋之穩定作用	166
4.10	自給偏位之混合作用	169

4.11	工作點之穩定度與穩定指數.....	170
	問題及習題.....	175

第五章 低頻率放大電路

5.1	緒 言.....	177
5.2	低頻率放大電路之分類.....	177
5.3	電晶體放大電路之偏位電路.....	178
5.4	RC 耦合放大電路.....	181
5.5	RC 耦合放大電路之頻率響應.....	185
5.6	RC 耦合放大電路之自給偏位.....	188
5.7	RC 耦合放大電路之設計.....	193
5.8	穩定 RC 耦合放大電路之設計.....	199
5.9	RC 耦合放大電路之效率.....	202
5.10	變壓器耦合.....	204
5.11	阻抗耦合放大電路.....	206
5.12	互補對稱放大電路.....	207
5.13	放大電路之控制.....	211
5.14	端 電 路.....	215
5.15	電晶體放大電路之反饋作用.....	218
5.16	單級 RC 耦合放大電路設計例.....	221
5.17	變壓器耦合放大電路設計例.....	228
5.18	高輸入阻抗放大電路設計例.....	234
5.19	多級 RC 耦合放大電路設計例.....	240
5.20	高壓電源之多級 RC 耦合放大電路設計例.....	243
	問題及習題.....	247

第六章 功率放大電路

6.1	緒 言	249
6.2	接合式功率電晶體特性	249
6.3	單電晶體式功率放大電路	251
6.4	功率放大電路之非直線性	255
6.5	電流放大因數隨射極電流之變化	256
6.6	放大電路受非直線性 α_{cb} 及 $1/g_{11}$ 影響之畸變	258
6.7	推挽放大作用	260
6.8	反相器	262
6.9	B類放大電路	264
6.10	B類互補對稱電路	268
6.11	B類放大電路高溫下之工作	271
6.12	最大定額及其他參數	274
6.13	電晶體電路圖解計算法及波形畸變之分析	275
6.14	單式A類功率放大電路設計例	282
6.15	B類功率放大電路之設計例	289
	問題及習題	297

第七章 高頻率放大電路

7.1	緒 言	299
7.2	接合式電晶體內之電荷與電位	300
7.3	電抗效應	302
7.4	綜合等效電路	304
7.5	本質電晶體之等效電路	306
7.6	實用等效電路	309

7.7	電晶體放大電路與真空管放大電路在高頻率之比較.....	313
7.8	最大功率增益之求法.....	316
7.9	狹帶與寬帶放大電路設計之一般注意.....	319
7.10	短路穩定電晶體狹帶放大電路之耦合網絡.....	320
7.11	採用短路不穩定電晶體之狹帶放大電路.....	331
7.12	自動增益控制系統.....	334
7.13	寬帶放大電路.....	340
7.14	採用特種高頻率電晶體之放大電路.....	348
7.15	電晶體高頻率放大電路之中和作用及單向性化... 問題及習題.....	349 352

第八章 振盪電路

8.1	緒 言.....	354
8.2	持續振盪之條件.....	356
8.3	負電阻二端子網絡.....	358
8.4	電晶體負電阻電路.....	362
8.5	高頻率之注意事項.....	365
8.6	頻率穩定度.....	368
8.7	晶體控制振盪電路.....	371
8.8	振盪倍頻電路.....	372
8.9	弛張振盪電路.....	373
8.10	自淬熄振盪電路.....	378
8.11	四端子振盪器.....	379
8.12	一般四端子振盪電路.....	381
8.13	Colpitts 振盪電路及其發動條件.....	382

8.14	Colpitts 振盪電路及其頻率之穩定度	383
8.15	Hartley 振盪電路及其發動條件	386
8.16	Hartley 振盪電路及其頻率穩定度	386
8.17	調諧集極振盪電路	386
8.18	晶體控制	387
8.19	採用點接觸式電晶體之反饋振盪電路	388
8.20	透納二極晶體	388
8.21	合併接合式電晶體	391
8.22	Colpitts 振盪電路之設計例	393
8.23	晶體控制振盪電路之設計例	395
8.24	弛張振盪電路之設計例	397
	問題及習題	400

第九章 調變與反調變

9.1	緒 言	401
9.2	電晶體特性之非直線性	401
9.3	指數曲線上高次諧波之產生	408
9.4	被調變放大電路	410
9.5	平衡調幅與互補對稱	411
9.6	被調幅接合式電晶體振盪電路	416
9.7	調頻 (FM) 及穩定作用	424
9.8	被調變點接觸式振盪電路	426
9.9	電晶體混波電路	428
9.10	變頻電路	436
9.11	二極檢波電路	437
9.12	集極檢波	438

9.13	最小畸變集極檢波電路及B類放大電路之偏位...	441
9.14	集極檢波電路及B類放大電路最佳 偏位點與溫度之關係.....	442
9.15	採用非直線性元件使工作點穩定.....	443
	問題及習題.....	444

第十章 脈衝電路

10.1	緒 言.....	447
10.2	點接觸式電晶體之大信號工作.....	450
10.3	觸發作用及觸發電路.....	454
10.4	點接觸式電晶體之觸發作用.....	458
10.5	基本單一穩定電路.....	463
10.6	輸電線控制之單一穩定電路.....	472
10.7	實用單一穩定電路舉例.....	474
10.8	基本二穩定電路.....	477
10.9	雙電晶體之二穩定電路.....	481
10.10	閘波電路.....	484
10.11	直流工作點之穩定度.....	486
10.12	點接觸式電晶體之過渡性質.....	489
10.13	點接觸式電晶體之高頻率等效電路.....	491
10.14	觸發作用電路之穩定標準.....	493
10.15	高頻率射極策動點特性曲綫.....	494
10.16	基本二穩定電路開關作用之必要條件.....	496
10.17	觸發作用電路過渡性質之圖解表示法.....	500
10.18	不飽和之二穩定電路.....	502
10.19	接合式電晶體之脈衝電路.....	503

10.20	接合式電晶體之大信號工作·····	504
10.21	接合式電晶體二穩定電路·····	507
10.22	接合式電晶體單一穩定電路·····	515
10.23	複接合式電晶體·····	516
10.24	接合式電晶體之閘波電路·····	517
	問題及習題·····	520

第十一章 電晶體應用電路

11.1	緒 言·····	523
11.2	電晶體溫度計·····	523
11.3	電晶體助聽器·····	525
11.4	電晶體電鐘·····	528
11.5	調幅式無線電微音器·····	529
11.6	調頻式無線電微音器·····	531
11.7	光電替續器·····	532
11.8	單電晶體回復式收音機·····	534
11.9	超短波無線電發送機·····	535
11.10	短波無線電接收機·····	536
11.11	電晶體定時電路·····	537
11.12	光電通信機·····	539
11.13	電晶體電唱機·····	541
11.14	電晶體傳聲筒·····	542
11.15	超小形電晶體收音機·····	543
11.16	電晶體定電壓電源·····	544
11.17	無線電膠囊·····	546
11.18	150 Watt 電壓調整器·····	546

11•19 直流變交流之換流器.....	541
----------------------	-----

附 錄

電晶體特性表.....	550
-------------	-----

二極晶體特性表.....	571
--------------	-----

電 晶 體 電 路

第一章 電晶體之基本原理

1.1 緒 言

欲將電晶體應用於電子電路，爲簡單起見，必須將電晶體視作電路之元件處理。至其性質則由其特性所決定。但如何能使電晶體應用自如，則必須了解其工作之基本原理。

研究電子管之作用，常須探討電子流在真空或氣體內，兩電極間流動之一切過程。其主要問題有二：一爲由固體放射電子，二爲在真空或氣體中控制電子之流動。至於電晶體之作用，則須探討固體內電荷載子 (Carrier) 流之流動，其主要問題則爲固體內載子之產生與控制。

既有上述之關係，本章首先說明電子之性質，並以物理概念對電晶體，光電晶體，二極整流器等之作用，作摘要說明；至於電晶體之特性，電晶體電路之分析，與電晶體電路之設計等，則在以後各章再作深一層之討論。

1.2 原子之構成

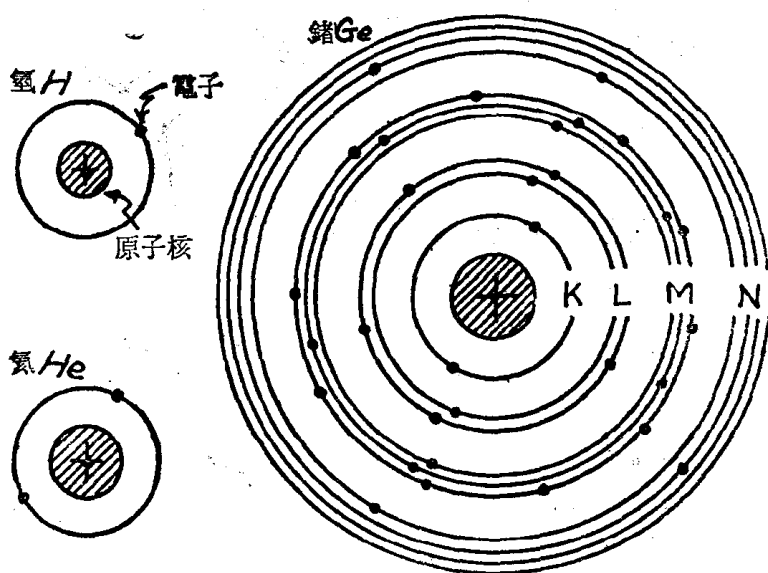
無論電子管抑或電晶體，其特性與作用均由電子所決定。故欲研究電子管及電晶體，必須先熟知電子之性能。自核子科學迅速發展後，除天然元素外，尚有人造元素。迄今爲止，元素已超出百種以上。而每種元素，不外爲其原子核與外圍之電子所構成。至於外圍電子，則分佈於一定之軌道上，一若行星圍繞於太陽之外圍軌道運行不息相同。

此等軌道，則依元素之種類，分如圖 101 所示之 *K, L, M*。

N, O, P 等；至各軌道分佈之電子數，則為 2, 8, 18, 32, ……等。除 K 軌道只有一軌道外； L 又分兩軌道，其一容電子 2 個，另一容電子 6 個，共 8 個； M 又分三軌道，分別容電子 2, 6, 10 個，共 18 個； N 又分四軌道，分別容電子 2, 6, 10, 14 個，共 32 個。

如圖所示，氫只有電子一個，分佈於 K 軌道上；氦有電子 2 個，亦均分佈於 K 軌道上；鎢共有電子 32 個，故除 K, L, M 各軌道均充滿電子外， N 之各軌道，只第一副軌道充滿 2 個電子，而第二副軌道則只有 2 個電子而已。

至於原子外圍各電子所荷之電量，均各相等。又外圍電子之總電量，與核之電量相等；因原子對外不顯電的性質，故核荷正電，而與電子所荷之負電相反。表 1:1 所載元素週期表內，表



示各族元素之關係。元素左上角之數字，表示外圍軌道上電子數。

表 1:1

週期 \ 族別	I	III	IV	V	VII
1	¹ <i>H</i>				² <i>He</i>
2	³ <i>Li</i>	⁵ <i>B</i>	⁶ <i>C</i>	⁷ <i>N</i>	¹⁰ <i>Ne</i>
3	¹¹ <i>Na</i>	¹³ <i>Al</i>	¹⁴ <i>Si</i>	¹⁵ <i>P</i>	¹⁸ <i>Ar</i>
4	¹⁹ <i>K</i>	²¹ <i>Sc</i>	²² <i>Ti</i>	²³ <i>V</i>	²⁶ ²⁷ ²⁸ <i>Fe Co Ni</i>
	²⁹ <i>Cu</i>	³¹ <i>Ga</i>	³² <i>Ge</i>	³³ <i>As</i>	³⁶ <i>Kr</i>
5	³⁷ <i>Rb</i>	³⁹ <i>Y</i>	⁴⁰ <i>Zr</i>	⁴¹ <i>Nb</i>	⁴⁴ ⁴⁵ ⁴⁶ <i>Ru Rh Pd</i>
	⁴⁷ <i>Ag</i>	⁴⁹ <i>In</i>	⁵⁰ <i>Sn</i>	⁵¹ <i>Sb</i>	⁵⁴ <i>Xe</i>

1.3 電子之能量

茲以氫為例，電子荷負電 ($-q$)，而核荷正電 ($+q$)；設電子距核之距離為 r ，依庫倫定律，其引力為：

$$f_c = \frac{q^2}{r^2} \dots\dots\dots (1-1)$$

電子與核既有引力，而電子之不被庫倫引力吸至核者，乃因電子之引力，適足以維持電子圍繞核作圓周運動之故。設電子在軌道上之切線速度為 v ，電子之質量為 m ，由牛頓第二定律得知，電子之向心力為：

$$f_n = \frac{mv^2}{r} \dots\dots\dots (1-2)$$

依上述關係， $f_c = f_n$ ，則得：

$$\frac{q^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \dots \dots \dots (1-3)$$

$$\text{即 } mvr = \frac{q^2}{v} \dots \dots \dots (1-4)$$

如圖 102 所示，設將電子向外推動，而不變其原有速度，則所加之力 f ，必恆等於庫倫引力 f_c ，如下式：

$$f = f_c = \frac{q^2}{x^2} \dots \dots \dots (1-5)$$

此時，設電子向外推動 dx 之距離，則其所作之功，可由下式計算求得之：

$$dE = f dx \dots \dots \dots (1-6)$$

則電子自 r 處起，推動至無限遠處，電子所作之功為：

$$\begin{aligned} E_{r \rightarrow \infty} &= \int_r^{\infty} dE = \int_r^{\infty} f dx = \int_r^{\infty} \frac{q^2}{x^2} dx \\ &= -q^2 \left| -\frac{1}{x} \right|_r^{\infty} = \frac{q^2}{r} \dots \dots \dots (1-7) \end{aligned}$$

電子與核間之位能 E_p ，係定為由無限遠移至 r 處者；則電子所作之功為：

$$\begin{aligned} E_p &= E_{\infty \rightarrow r} = -E_{r \rightarrow \infty} \\ &= -\frac{q^2}{r} \dots \dots \dots (1-8) \end{aligned}$$

又電子在 r 處之速度為 v 則其動能 E_k 為：

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2 \dots \dots \dots (1-9)$$

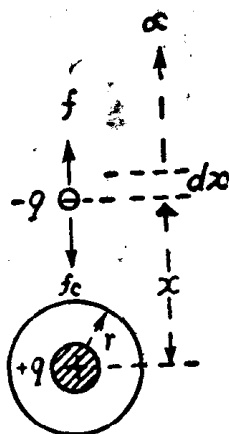


圖 102

由式 (1—3) 得知：

$$\frac{q^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \dots\dots\dots (1-10)$$

$$\therefore mv^2 = \frac{q^2}{r} \dots\dots\dots (1-11)$$

將式 (1—11) 代入式 (1—9) 得：

$$E_k = \frac{q^2}{2r} \dots\dots\dots (1-12)$$

電子之總能量 E_t ，為其位能與動能之和，如下式：

$$\begin{aligned} E_t &= E_p + E_k \\ &= -\frac{q^2}{r} + \frac{q^2}{2r} = -\frac{q^2}{2r} \dots\dots\dots (1-13) \end{aligned}$$

1.4 能 階

電子在正常狀態下，則在最小半徑 r 之軌道上運行；若受外力激發，電子吸收能量，即向較大半徑之軌道運行，而成激發狀態。激發能愈大，軌道之半徑亦愈大；最後，電子終至脫離原子，而成游離狀態，其所需之能量，稱之為游離能。

圖 103 所示，係表示電子受激後所處軌道之變化者，常稱之為能階圖。當半徑為 r ，即 $n=1$ 時，其總能量有最大之負值；故稱之為最低能狀態。若電子受激後，即升至 $n=2, 3, 4, \dots$ 等之高能狀態。

受激之原子，在某種情況下，常釋放能量而恢復常態。設電子受激處於 $n=2$ 之軌道，此時之總能量為 E_2 ；當其釋放能量後，即回復至低能階 $n=1$ 之軌道，其總能量為 E_1 ，則其釋放之能量 E 為：

$$E = E_2 - E_1 \dots\dots\dots (1-14)$$