

科學圖書大庫

自修電子學課程(四)

電 子 電 路

譯者 鍾 日 宏

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

自修電子學課程(四)

電 子 電 路

譯者 鍾 日 宏

徐氏基金會出版

課程目標和大綱

研畢本課程後將具備下列技術和知識，即應能夠：

1. 認識每一種基本電晶體放大電路並敘述工作原理和表列特性。
2. 討論直流放大器、聲頻放大器、視頻放大器、中頻放大器和射頻放大器，並且包括它在實際電子系統中之應用。
3. 敘述差額放大器、比較器、加法與減法器及主動濾波電路之工作原理。
4. 分析和設計使用運算放大器的反相和不反相放大器。
5. 認識及說明電源供給整流器、濾波器和調整電路之工作原理。
6. 討論振盪的基本原理，認識及敘述常用的 LC、RC 晶體振盪器之工作原理。
7. 說明脈波整形器、多諧振盪器、史密特觸發器和斜坡產生器。
8. 敘述調幅和調頻、外差式原理及調變和檢波電路。
9. 連接電晶體及積體電路型之放大器、振盪器、主動濾波器、脈波整形電路，電源供給和電源供給調整電路、基本調幅和解幅系統。
10. 用電壓表和示波器分析電子電路的工作。

目 錄

第一單元 基本放大器

一、簡 介	1
二、單元目標	1
三、課程指南	1
四、放大器之重要性	2
A. 何謂放大器？	2
B. 放大器的型式有那些？	2
C. 何處使用放大器？	3
五、放大器組態	5
A. 共射極電路	6
B. 共基極電路	12
C. 共集極電路	16
六、放大器的偏壓	21
A. 基極偏壓電路	21
B. 回授偏壓	22
C. 分壓器偏壓	24
D. 工作分類	28
七、放大器耦合	30
A. 電阻－電容耦合	30
B. 阻抗耦合	32
C. 直接耦合	33
D. 變壓器耦合	34
八、實驗 1：熱穩定性	35
九、實驗 2：共射極放大器之特性	39
十、摘 要	45
十一、習 題	45
十二、習題解答	48

第二單元 典型放大器

一、簡 介	50
二、單元目標	50
三、課程指南	50
四、直流放大器	51
A. 基本電路組態	51
B. 多級放大器	52
1. 達靈頓放大器	55
2. 差額放大器	55
五、實驗 3：直流放大器	58
六、聲頻放大器	63
A. 電壓放大器	63
B. 基本功率放大器	65
C. 單端功率放大器	66
D. 推挽式功率放大器	66
E. 散熱器	71
F. 音量控制電路	72
G. 音調控制電路	73
七、實驗 4：互補功率放大器	75
八、視頻放大器	82
A. 影響頻率響應的因素	83
B. 頻率補償	87
C. 典型視頻放大器	88
九、射頻和中頻放大器	92
A. 調諧放大器	93
B. 放大器之中和作用	97
C. 典型射頻放大器	99

D. 倍頻器	100
E. 中頻放大器	101
十、摘 要	105
十一、習 題	106
十二、習題解答	108

第三單元 運算放大器

一、簡 介	110
二、單元目標	110
三、課程指南	110
四、差額放大器	111
A. 基本差額放大器電路	111
B. 單輸入，單輸出的工作原理	112
C. 單輸入，差額輸出的電路	113
D. 差額輸入，差額輸出的工作原 理	113
E. 電流源和電壓源	114
F. 實用電流源	115
G. 實用差額放大器	116
H. 共模輸入的工作原理	117
I. 差額輸入的工作原理	119
J. 共模拒絕比	119
K. IC 差額放大器	120
五、實驗 5：差額放大器	123
六、運算放大器	130
A. 基本運算放大器	131
B. 電氣特性	133
C. IC 運算放大器族	134
七、實驗 6：簡介運算放大器	135
八、閉迴路的工作原理	144
A. 反相組態	145
B. 不反相組態	148
C. 頻帶寬的限制	150
D. 運算放大器電路	153
九、實驗 7：反相和不反相放大器	156

十、運算放大器之應用	164
A. 加法放大器（加法器）	165
B. 主動濾波器	167
C. 差別放大器	169
D. 其他應用	169
十一、實驗 8：主動濾波器	171
十二、摘 要	178
十三、習 題	180
十四、習題解答	183

第四單元 電源供給

一、簡 介	185
二、單元目標	185
三、課程指南	185
四、整流電路	186
A. 半波整流器	186
B. 全波整流器	190
C. 橋式整流器	193
D. 整流器的比較	195
五、電源供給濾波器	197
A. 以電容器做為濾波器	197
B. 有電容濾波器的全波供給	199
C. 漣波百分率	199
D. 電容器對二極體的效應	201
E. RC 濾波器	202
F. LC 濾波器	203
六、倍壓器	205
A. 半波二倍電壓器	205
B. 全波二倍電壓器	206
C. 三倍電壓器	206
D. 更高的電壓倍數	207
七、實驗 9：未調整之電源供給	207
八、電壓調整	219
A. 負載調整	220
B. 稽納調整器	220

九、串聯電壓調整	224
A. 射極隨耦器調整器	225
B. 回授調整器	227
C. 用運算放大器的回授調整器	229
D. 短路保護	231
十、實驗 10：電壓調整	232
十一、電源供給電路	241
A. 過負荷保護裝置	241
B. 保護電路	243
C. 並聯調整器	245
D. IC 調整器	246
E. 示波器之電源供給	247
F. 彩色電視機之電源供給	248
G. ET-3100 之電源供給	251
十二、摘要	252
十三、習題	253
十四、習題解答	257

第五單元 振盪器

一、簡介	259
二、單元目標	259
三、課程指南	260
四、振盪器之基礎	261
A. 何謂振盪器	261
B. 基本振盪器	261
五、實驗 11：實用槽路	265
六、變壓器式振盪器	271
A. 集極調諧式振盪器	273
B. 基極調諧式振盪器	273
七、LC 振盪器	274
A. 串饋哈特萊振盪器	274
B. 並饋哈特萊振盪器	275
C. 考畢子振盪器	276
D. clapp 振盪器	278
八、實驗 12：LC 振盪器	279

九、晶體控制振盪器	286
A. 晶體特性	286
B. 等效晶體電路	287
C. 哈特萊晶體振盪器	289
D. 考畢子晶體振盪器	290
E. 比而斯振盪器	290
F. 巴特振盪器	290
十、實驗 13：晶體振盪器	292
十一、RC 振盪器	298
A. 移相振盪器	298
B. 文納電橋振盪器	300
十二、實驗 14：文納電橋振盪器	303
十三、非弦式振盪器	309
A. 間歇振盪器	309
B. 鋸齒波間歇振盪器	310
十四、高頻振盪器	311
十五、摘要	312
十六、習題	313
十七、習題解答	315

第六單元 脈波電路

一、簡介	317
二、單元目標	317
三、課程指南	318
四、非弦式波形	318
A. 頻域分析	319
B. 波形之頻譜	321
C. 專有名詞	322
五、波形整形	324
A. RC 波形整形	324
B. 二極體截割電路	327
C. 電晶體截割器	330
D. 箝位器	331
六、實驗 15：波形整形	333
七、矩形波產生器	344

A. 不穩態多諧振盪器	344
B. 單穩態多諧振盪器	345
C. 雙穩態多諧振盪器	347
D. 史密特觸發器	349
E. 555定時器	350
八、實驗 16：矩形波產生器	355
九、斜坡產生器	363
A. 斜坡的形成	364
B. 運算放大器型積分器	365
C. 鋸齒波產生器	366
十、實驗 17：斜坡產生器	369
十一、摘要	378
十二、習題	379
十三、習題解答	382

第七單元 調變

一、簡介	384
二、單元目標	384
三、課程指南	384
四、調幅 (AM)	385
A. 無線電波	385
B. 二極體調變器	386
C. 旁波帶	386
D. 頻帶寬度	389
E. 調變百分率	389

F. 調幅發射機	391
G. 調變器電路	392
H. 調幅檢波器	395
I. 調諧式射頻接收機	395
J. 超外差式接收機	396
K. 混頻器和變頻器	398
五、實驗 18：調幅	400
六、其他調幅系統	404
A. 標準調幅的缺點	405
B. 單旁波帶	405
C. 抑止成份	406
D. 平衡調變器	406
E. 單旁波帶的接收	410
F. 調幅和單旁波帶的變化	410
七、調頻 (FM)	411
A. 調頻波形	412
B. 頻率調變器	412
C. 調頻發射機	413
D. 調頻接收機	414
E. 調頻檢波器	415
八、摘要	419
九、習題	420
十、習題解答	421
最後綜合測驗	423

第一單元 基本放大器

簡介

電阻器、電容器、電感器和電晶體等電子元件可用不同方法組合各種不同功能的電子電路。大多數電子裝備都需各種不同的電子電路。不過，某些形式電路的應用常較他種普遍。此外，此電子電路為組成各類電子儀器或裝置結構的基本方塊。

構成電子裝備最重要的一方塊稱為放大器 (amplifier)。放大器為一極簡單電路，用作升高位準，亦即是增加電子信號的幅度。電子裝備中雖有各種不同型放大器，但它們的基本功能則均相同。

由於放大器在電子應用中極為重要，故在本書電子電路的第一單元首先研討基本放大器電路；包括放大器的基本用途，基本電路組態和電氣特性。同時並練習簡單的設計步驟以幫助瞭解每一重要電路組態如何形成，此外作若干實驗以證明和示範教材中所述及的一些基本電路之工作原理。

單元目標

研畢本單元後，應能夠：

1. 敘述二種基本放大器型式及其基本功能。
2. 認識基本放大器電路的三種組態。
3. 說明每種基本放大器電路組態的最重要特性。
4. 認識應用於共射極電晶體電路的最基本偏壓方式。
5. 說明每種偏壓電路的工作情形。
6. 根據簡單的經驗設計法則，設計基本的共射極放大器電路。
7. 決定單一電晶體放大器的放大方式為 A 類、AB 類、B 類或 C 類。
8. 認識四種基本放大器耦合技術及說明其優劣點。

課程指南

完成時間

- ☐ 聽唱片 3，第一面。基本放大器
- ☐ 閱讀放大器的重要性一節。
- ☐ 做完課程複習題 1-11。

自修電子學課程(四) — 電子電路

- ☐ 閱讀基本放大器組態一節。
- ☐ 做完課程複習題 12-30
- ☐ 閱讀放大器偏壓一節。
- ☐ 做完課程複習題 31-42
- ☐ 閱讀放大器的耦合方法一節
- ☐ 做完課程複習題 31-51
- ☐ 作實驗 1
- ☐ 作實驗 2
- ☐ 研讀單元摘要
- ☐ 做習題
- ☐ 校對習題解答

放大器的重要性

放大器已普遍應用於電子電路中，因具有基本而極重要的電子功能，致廣用於各商業、工業和軍事裝備中。

本單元開始係敘述何謂放大器，為何使用及在何處使用它。瞭解放大器在各類電子裝置中的用途後，再進而研討下面的詳細討論。

何謂放大器？

放大器為放大或增加電子信號的位準或幅度的裝置。大多數放大器的設計，雖為增加波形的不同瞬間值或峯值，但亦應忠實地再產生原輸入信號或波形的形狀。若放大器具有理想特性，則放大後信號不致產生不規則變化。此不規則或不需要信號稱為失真 (distortion)。實用的放大器電路無法設計到完全無失真，但可使失真降到最小及在可接受的程度內。

在某些情形下，放大器的設計雖為放大，但同時亦須使信號波形產生某種變化。亦即故意使信號產生失真，俾獲某種波形或波形特性以滿足特殊應用。

目前大部份放大器使用一個或更多半導體或固態元件以及若干相關元件。固態元件常為電晶體以產生所需的放大作用。相關元件包括有電阻器、電容器和電感器，係用作控制電晶體的工作狀態和調整整個特性以及放大器電路的穩定性。

放大器的型式有那些

觀察電子裝備系統中的各種放大器，發現基本上僅有二種不同類別，即為電壓放大器 (voltage amplifier) 和功率放大器 (power amplifier)。如圖 1-1A 所示，電壓放大器係用以增加輸入信號的電壓位準。例如，放大器的輸入交流電壓峯對峯值僅有幾毫伏，但可放大到數伏峯對峯值電壓或者更高亦屬可能。然後此輸出電壓再加到其他可處理此信號或能以某種方式響應的電路或裝置中。

功率放大器係用以增加輸入信號的功率位準，如圖 1-1 B 所示。例如，若此型放大器的輸入交流信號功率位準僅有數毫瓦，經過放大後產生的輸出交流信號功率位準可達數瓦特或甚至達幾百瓦特。功率放大器係利用極低的輸入電流產生極高的輸出電流，並將功率輸送到負荷上。功率放大器常把實質功率量傳送到極低電阻或阻抗的負荷或電路上，而低電阻負荷實為產生高輸出電流所必需。

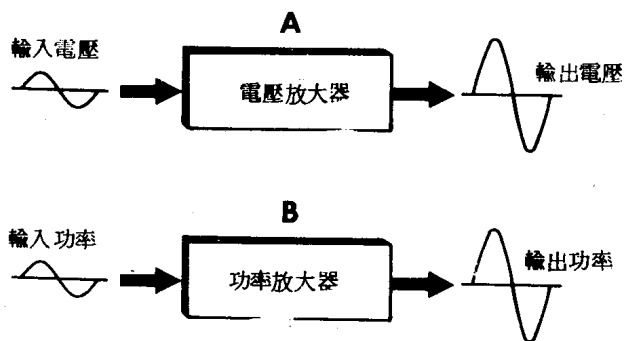


圖 1-1 所有放大器可分類為電壓放大器(A)或為功率放大器(B)

雖然基本上所有放大器均可區分為電壓或功率放大器，但此兩種基本放大器型仍有很多分類方法。例如，可按電路組態予以分類。若電晶體作為放大器電路中的主要控制元件時，則有三種電路組態，為共射極 (common-emitter)、共基極 (common-base) 和共集極 (common-collector) 電路。此三種電路組態將稍後詳加說明。

電壓和功率放大器兩者亦可依工作類別區分，通常分為 A 類、B 類、AB 類及 C 類等四類工作型態。在本課程將研討全部四種工作型態。

此兩型放大器亦可按頻率分類。大部份放大器祇有對某指定頻率範圍提供放大。放大直流信號 (零頻率) 或極低頻率交流信號的放大器稱為直流放大器 (DC amplifier)。其他放大器則工作於較高頻率且設計僅放大一窄波帶或寬波帶頻率。典型例子有聲頻放大器 (audio amplifier)、視頻放大器 (video amplifier)、射頻放大器和中頻放大器。各類不同放大器將於下一單元詳細討論。

何處使用放大器？

放大器在大部份電子裝備中是屬必需，常見於日常接觸的各種電子儀表和裝置中。例如，應用於收音機、電視機、高傳真和立體聲系統、錄音機和電子琴，如圖 1-2 所示。在任何一種裝置中，放大器均用以升高交流信號幅度至可用位準。收音機和電視接收機從天線拾取極微弱的交流信號，需予以增加位準，俾放大到可適當處理的位準。即從輸入信號中獲得有關影像和聲音訊號 (收音機僅有聲音訊號)。這些訊號再經放大，俾達到影像管和喇叭工作的位準以產生可見影像和可聞聲音。

由電子琴本身產生的交流信號必須經放大器放大以達到推動揚聲器的位準，俾經喇叭發生音響。在錄音機和高傳真擴音機中，放大器須分別從磁帶或唱片拾取微弱信號，經放大後輸送到一個或數個喇叭中。

放大器亦普遍應用於軍事上。例如，雙向無線電通信系統需將信號 (包括語言訊號) 經

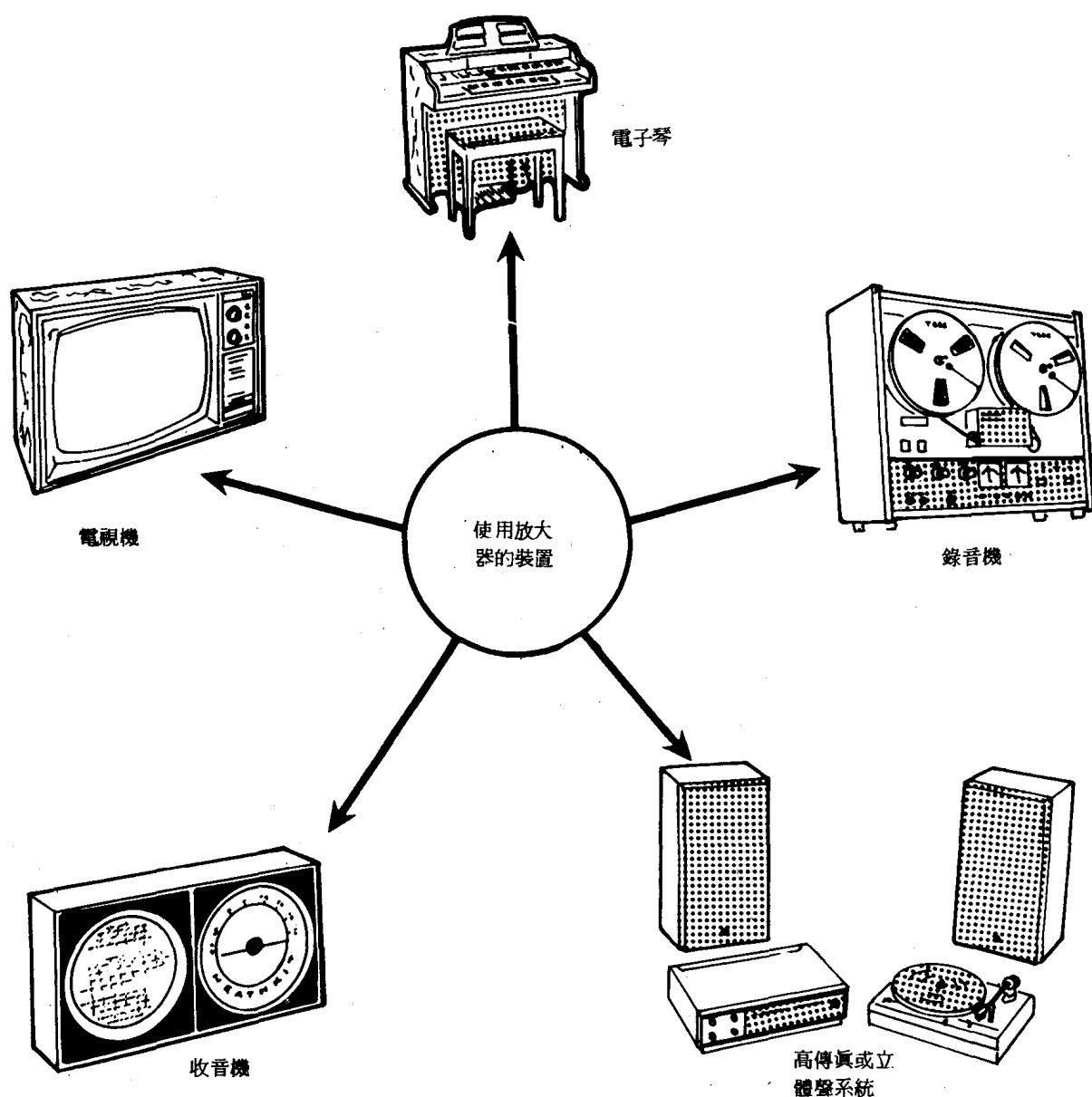


圖 1-2 這些家用裝置中都有使用放大器

放大器放大到極高位準，俾加到天線向空間發射。在接收端須將收到信號放大到推動喇叭的位準。用於雷達裝置的放大器則係將短促脈沖的高頻交流能量放大後加到天線，向空間輻射。若此能量擊中目標，則會反射回天線，經天線截收予以放大後處理。放大器在自動火力控制 (automatic fire-control) 系統中極為重要，係用以控制艦艇上大型火力槍砲。亦用於導向飛彈、衛星和大空船，作為航行通信系統的一部份以放大由各種航行試驗感觸器 (sensor) 及儀器所截獲的信號。

用於監示或控制各種工業程序的電子裝備均含有各類放大器。其亦用於電子安全系統中，以防護公司財產和個人財物。同時亦為多數公共擴音和對講系統的心臟部份。甚至遍佈全

世界的通信網路，缺少了它則根本無法實現。

正如所知，放大器在電子裝備中的應用極廣。以上舉例僅是其應用的少數抽樣，此等重要電路因用途太廣，致無法完全詳列。總之，放大器為電子中最普遍而重要的電路。

課程複習

本複習是按課程指導 (P. I) 格式編排，旨在增進對本節內容之瞭解。詳細閱讀方格內題目後，將每題之空白處填好。正確答案在下一題開始的括號內。在閱讀做練習時，請用一張紙把答案蓋住。

1. 放大器為增加電子信號_____的一種裝置。
2. (位準、大小或幅度)大部份放大器的設計係忠實地再產生原信號形狀，而非故意使信號產生_____。
3. (失真)目前大部份放大器均含有如_____之固態元件，藉以提供所需放大作用。
4. (電晶體)除固態元件外，尚有各種電阻器、電容器和電感器等相關元件以控制固態裝置的工作狀態及有效調整_____電路的整個特性和穩定性。
5. (放大器)基本上所有放大器依用途可分為兩類。其一為放大信號電壓，故稱為_____放大器。
6. (電壓)第二類為放大信號的功率位準，故稱為_____放大器。
7. (功率)功率放大器係藉提高輸入信號電流到較高位準，獲得功率放大作用。故有時功率放大器亦稱為_____放大器。
8. (電流)放大器可按照電路組態分類。若放大器是用電晶體，則有三種組態，為共____、共_____和共_____電路。
9. (射極、基極、集極)放大器亦可依工作類別區分，常用的四種工作類別為_____類、_____類、_____類和_____類。
10. (A、B、AB和C)放大器的另種分類方法為按照頻率。信號的工作頻率係從零開始，一直延伸到極高頻率。五種典型例子為_____放大器、_____放大器、_____放大器、_____放大器和_____放大器。
11. (直流、聲頻、視頻、射頻和中頻)放大器業已廣用於電子電路中。五種使用放大器的家用電器為_____、_____、_____、_____和_____。
12. (收音機、電視機、立體聲或高傳真擴音機、錄音機和電子琴)

放大器組態

在電子裝備中的各類放大器如前述可依它電路組態分類。若以電晶體做為放大器電路的主要控制元件(提供放大作用)，則有三種不同連接方法並具放大功能。電晶體本身僅有三個接頭或線端，分別稱為射極(emitter)，基極(base)和集極(collector)。但因每一放大器必須有二輸入線和二輸出線，亦即電晶體的引線之一必為電路的輸入和輸出兩者

的共用端。

因此，分別藉射極、基極或集極做為共用端，而其餘二端做為輸入和輸出端可組成三種電路組態。基於此理由，此三種組態稱為共射極 (common-emitter)、共基極 (common-base) 和共集極 (common collector) 電路。

共用端常接到電路地線，因此輸入和輸出信號係以地線作為參考點。若共用端接地，則分別稱為射極接地 (ground-emitter)、基極接地 (ground-base) 或集極接地 (ground-collector) 電路。基本上，共用線和地線具有相同意義。此外，對交流信號而言，共用端毋需直接接地即可獲得接地電位。例如，共用端可經過電池或電阻器接地，雖它有電容器傍路但仍為交流接地電位。因此對交流信號言，電池和傍路電容器可視為短路。若共用端直接接到電路地線，則為交直流兩者之地線。目前討論之電路，共用端僅視為交流接地電位。

現在研討三種基本放大器電路組態及其最重要的電氣特性。初步討論雖然簡短但極重要，須注意研習。

共射極電路

共射極電路係以電晶體之射極作為輸入和輸出信號兩者的共用端。而以基極和集極分別為輸入和輸出端。此外，共射極電路可用 NPN 或 PNP 型電晶體組成。由於其具有許多重要特徵，故共射極電路常較其他電路組態更廣泛被使用。

電路工作原理 基本的共射極電路如圖 1-3 所示。圖 1-3 A 表示以 NPN 電晶體組成的共射極電路，同時顯示基本電晶體結構。圖 1-3 B 為相同情況下的共射極電路，惟係用 NPN 電晶體之符號表示。

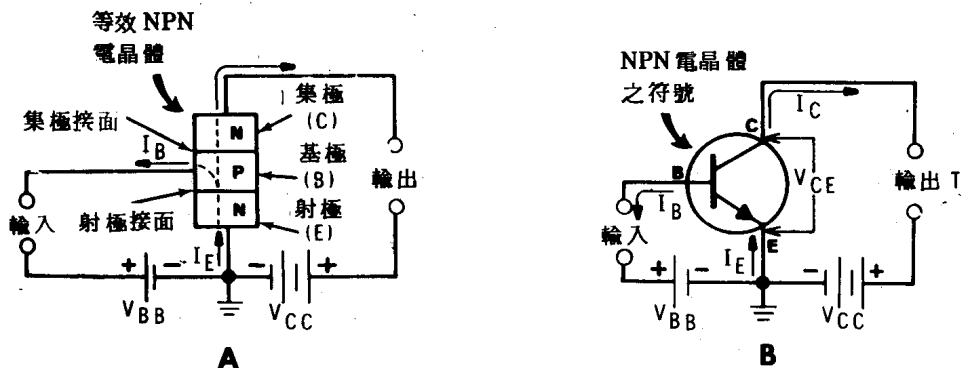


圖 1-3 NPN 電晶體接成共射極組態

如圖 1-3 所示，輸入信號加於電晶體的基極(B)與射極(E)之間，而輸出信號則呈現於電晶體的集極(C)與射極(E)之間。因此射極為輸入和輸出信號兩者共同。電晶體的射極和集極區之結構分別為 N 型、P 型和 N 型半導體物質，三層相互夾緊，構成兩個 PN 接面。在射極和基

極區之間形成的界面稱為射極—基極界面 (emitter-base junction) 或簡稱為射極界面。在集極和基極區之間形成的界面稱為集極—基極界面 (collector-base junction) 或簡稱為集極界面 (collector junction)。

在正常工作狀態下，電晶體的射極界面必須為前向偏壓 (forward bias)。換言之，亦即其電壓極性必須使界面產生電流。若射極界面的 P 型基極較 N 型射極電壓為正時，則為前向偏壓。如圖示前向偏壓係由電壓源 V_{BB} 供應。當輸入信號源接到放大器時， V_{BB} 經由信號源的內阻加到射極界面，導致一小電流流經射極界面、信號源和 V_{BB} 。此電流 (由基極區流出) 稱為基極電流，以 I_B 表示。假如將電壓源 V_{BB} 之極性反接，則射極界面受反向偏壓 (reverse bias)，致無基極電流。此情況通常應予避免。

電晶體的集極界面在正常情況為反向偏壓。亦即 N 型集極區電壓應較 P 型基極區為正。如圖 1-3 所示，反向偏壓係由電壓源 V_{CC} 供給。當輸出端接有負載 (通常為電阻器)，則 V_{CC} 的正端經由負載加到 N 型集極。 V_{CC} 的負端經由前向偏壓的射極界面加到 P 型基極。由於射極界面為前向偏壓，致使射極界面呈現低電阻，因此有一小量基極電流 (I_B) 產生。

由於集極界面為反向偏壓，顯然無電流流經集極界面。然而事實並非如此，在電晶體內發生罕奇的現象，而有電流流經反向偏壓的集極界面。前向偏壓的射極界面有一小量 I_B 從射極流到基極。不過，大部份流進基極的電子並未從基極流出以產生 I_B 。事實上，僅有 1 ~ 5 % 電子從基極流出。大多數電子 (95-99 %) 都被集極區之正電荷所吸引。這些從集極區流出的電子產生集極電流 (I_C)，流進電晶體射極區 (流自每一電壓源負端) 的電流稱為射極電流 (I_E)。因此按照剛討論的內部動作，知道射極電流 (I_E) 流進基極區，然後分成二路產生 I_B 和 I_C 。此簡單地說明 I_E 等於 I_B 與 I_C 之總和，或以數學式表示為：

$$I_E = I_B + I_C$$

此方程式亦可重新排列，表示 I_B 為 I_E 與 I_C 之差。或以數學式表示為：

$$I_B = I_E - I_C$$

同樣，此方程式亦可重排，使 I_C 為 I_E 和 I_B 之差。或以數學式表示為：

$$I_C = I_E - I_B$$

如圖 1-3 的相同基本共射極放大器亦可用 PNP 電晶體構成。不過，PNP 電晶體的構造恰與 NPN 裝置相反。PNP 裝置具有 N 型基極或中心區被二 P 型區的射極和集極夾緊。如同 NPN 裝置，PNP 電晶體必須射極界面為前向偏壓及集極界面為反向偏壓。亦即必須將偏壓 V_{BB} 和 V_{CC} 的極性反接，其電路構造如圖 1-4A 所示。除了偏壓極性外，其電路構造與圖 1-3A 相同。基本上 PNP 電路的功能與 NPN 相似，僅偏壓及電流與 NPN 電路相反。 I_B 、 I_E 和 I_C 之間的相同關係仍然存在。PNP 電路再以圖 1-4B 表示，但此時係用 PNP 電晶體的電路符號。

電流增益 共射極電路係以極小的基極電流 (I_B) 產生極大的集極電流流經電晶體。由於 I_B 為輸入電流，而 I_C 本質上為輸出電流，故整個電路可提供電流之增加。換言之，即電流增益。此外， I_B 的任何變化會導致 I_C 依比例變化。如 I_B 增加，則 I_C 按一比例量增加

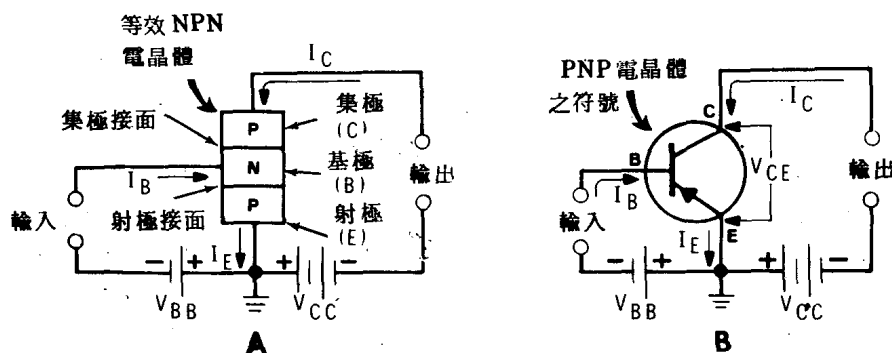


圖 1-4 PNP電晶體接成共射極組態

。 I_B 減少，則 I_C 按一比例量減少。倘若 I_B 減至零，則 I_C 亦降至零。然而因構成電晶體的半導體物質中滲用某些雜質，致仍有極小的漏電流流過。同時， I_B 和 I_C 之最大值有實際限制。若 I_B 增加太大，則 I_C 的增加逐漸變小 (taper off)。換言之，即達到飽和點。同時 I_B 和 I_C 值必須保持在安全限度內，俾電晶體的內部結構不致因本身產生熱量過多而燒毀。

共射極組態的電晶體電流增益稱為電晶體的 β 值 (β)。電晶體的 β 值為輸出電流 (I_C) 與輸入電流 (I_B) 的比值。假如定態或直流輸入與輸出電流的比值為已知，其結果即為電晶體的直流 β 值 (DC β)。以數學式表示為：

$$\text{DC } \beta = \frac{I_C}{I_B}$$

然而如前述， I_B 的小量變化 (ΔI_B) 使 I_C 產生對應變化 (ΔI_C)。求出 I_B 的小量變化值與對應 I_C 變化之比值，可獲得電晶體的交流 β 值 (AC β)。以數學式表示為：

$$\text{AC } \beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

如前述的直流 β 值一樣，交流 β 值僅是輸出與輸入電流的比值。但交流 β 值是表示變化 (AC) 信號加到共射極電晶體之所獲增益。直流 β 值則由定態 (steady-state) 或無信號狀態時決定。任何已知電晶體的直流和交流 β 值幾乎相等。 β 值的範圍可從 10 到超過 200，而典型值為 80 ~ 150。這些 β 值都在電晶體的集極對射極電壓 (V_{CE}) 保持不變時求出 (無負載電阻器)。圖 1-3 的輸出端可予短路，使 V_{CE} 等於電壓源 (V_{CC})。圖 1-5 為用以求得電晶體 β 值的二基本電路結構。圖 1-5 A 表示如何以穩定直流值求出直流 β 值。圖 1-5 B 表示如何以變化值求得交流 β 值。注意， I_B 之改變是由變化 V_{BB} 獲得。雖然圖 1-5 係用 NPN 電晶體，但 PNP 電晶體的直流或交流 β 值皆用相同基本方法求出。

有時共射極電晶體的電流增益或 β 值稱為共射極前向電流轉移比 (common-emitter forward-current transfer ratio)。直流 β 值 (前向電流轉移比) 常以 h_{FE} 表示。而交流 β 值 (前向電流轉移比) 則以 h_{re} 表示。

如前述，電晶體 β 值係在 V_{CE} 保持定值時 (無負載) 決定。不過實用上，大多數電路中

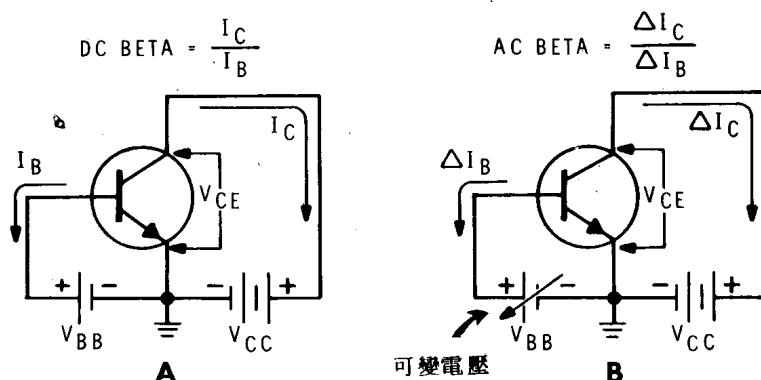


圖 1-5 決定共射極組態中電晶體的電流增益

皆有某種負載電阻與電晶體相連。電晶體的集極電流必須流經負載方能產生有用功能。雖有負載電阻器接於共射極電晶體電路中，但電晶體的 β 值仍對電路的電流增益提供合理而正確的估計值。

電壓增益 共射極電路常用以提高輸入電壓的位準（提供電壓增益）。為達此項功能，電晶體的集極電流（ I_C ）必須流經負載電阻器，俾獲輸出信號電壓。因而負載電阻（ R_L ）如圖 1-6 A 所示，應接於電路的輸出部份。

如圖 1-6 A 所示，輸入信號電壓係加於共射極電路的輸入端，即是接於電晶體的基極與射極之間。不過，輸入電壓亦與 V_{BB} 串聯，接上輸入信號電壓源後可構成完整迴路，使 V_{BB} 經電壓源加到電晶體的射極接面。當輸入電壓為零時，調整電壓源 V_{BB} 俾產生一指定 I_B 值流經電晶體的基極，因而有某一指定 I_C 值從電晶體集極流出及流經 R_L 。 I_C 值係由 I_B 值和電晶體的集極對射極電壓（ V_{CE} ）兩者決定。不過，電晶體與 R_L 串聯，且兩者跨接於 V_{CC} 。亦即跨於電晶體的電壓（ V_{CE} ）加上 R_L 電壓（ V_{RL} ）應等於 V_{CC} 。通常必須慎選 I_B ， V_{CC} 和 R_L 的數值，俾 I_C 值置於安全限度內，同時 I_C 值須在電晶體的線性工作區，俾 I_B 之變化獲得成比例的 I_C 變化。

假設輸入信號電壓為正弦波方式變化的交流電壓。輸入交流電壓（以 V_{in} 表示）之一週期如圖 1-6 B 所示。正半週（交流波形在零參考線以上部份）表示正向輸入電流。在正半週時，電晶體的基極電壓較射極為正，此時輸入電壓增高前向偏壓（ V_{BB} ），因輸入電壓係由零增到最大再降回零，故造成基極電流（ I_B ）之增加和減少如圖 1-6 B 所示。記住， I_B 係從定態或無信號值處升到最大值，然後降回無信號值。

I_B 之增加和減少可導致電晶體的集極電流（ I_C ）之對應增加和降低，其如圖 1-6 B 所示。注意 I_C 值係從定態或無信號值處升到最大值，再降回其無信號值。由於 I_C 值大於 I_B ，致輸出信號電流（ I_C ）的幅度大於輸入信號電流（ I_B ）。

由於 I_C 流經負載電阻器（ R_L ），致在 R_L 上產生的電壓降直接與 I_C 值成比例。因而 I_C 值的增加和降低在 R_L 上產生對應增加和降低的電壓，故 R_L 電壓係由無信號值增到最大

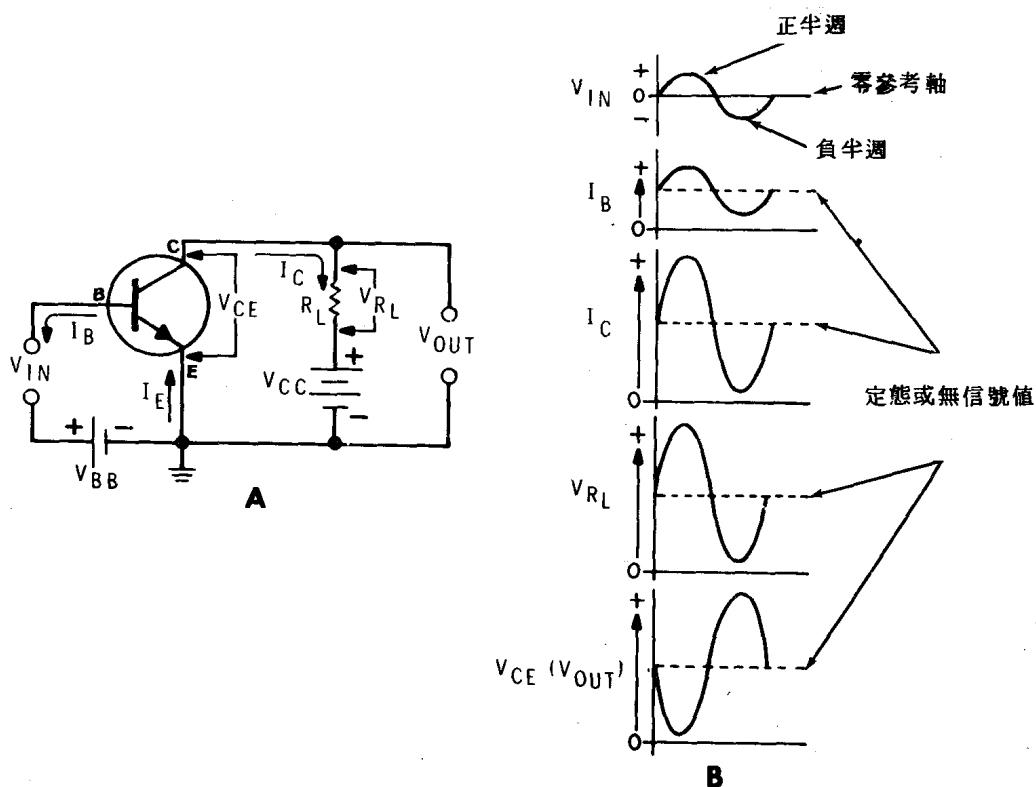


圖 1-6 共射極電路(A)及有關的輸入和輸出信號(B)

值，然後降到無信號值，如圖 1-6 B 所示。

R_L 上電壓 (V_{RL}) 加上電晶體之集極對射極電壓 (V_{CE}) 應等於 V_{CC} 。所以，若 V_{RL} 之增加與減少如圖 1-6 B 所示，則 V_{CE} 必須依相反方向降低和增加。故在任何隙間，二電壓之總和等於 V_{CC} 。 V_{CE} 的變化情形如圖 1-6 B 所示。注意， V_{CE} 係從無信號值降到最小值，然後再升到無信號值。

在輸入亦流電壓的負半週，電晶體的基極電壓低於射極。此時輸入電壓從零降到負最大值，然後升回零伏，因而反對前向偏壓 (V_{BB})，造成 I_B 從它的無信號值處降到最小值然後再升到無信號值。 I_B 的減少與增加可導致 I_C 成比例之減少與增加，又使 V_{RL} 分別降低及增加，其如圖 1-6 B 所示。不過在任何瞬間， V_{CE} 等於 V_{CC} 減去 V_{RL} 。亦即 V_{CE} 的變化與 R_L 相反。所以如圖示， V_{CE} 應從它的無信號值處增到最大值，然後降回無信號值。

共射極電路的輸出電壓係取自電晶體集極與射極之間。即 V_{CE} 為實際的輸出電壓 (V_{out}) 如圖 1-6 B 所示。比較 V_{out} 和 V_{in} ，則知其間的變化正好相反。若 V_{in} 為正向，換言之，即電晶體之基極較射極為正，故 V_{out} 為負向。因為較射極為正的集極電壓降低，致輸出電壓視為負向。若 V_{in} 為負向 (基極變得正少些)，則 V_{out} 為正向 (集極變得較正些)。由於輸入的正向或負向電壓分別在輸出產生負向或正向電壓，故共射極電路有效地將輸入信號電壓