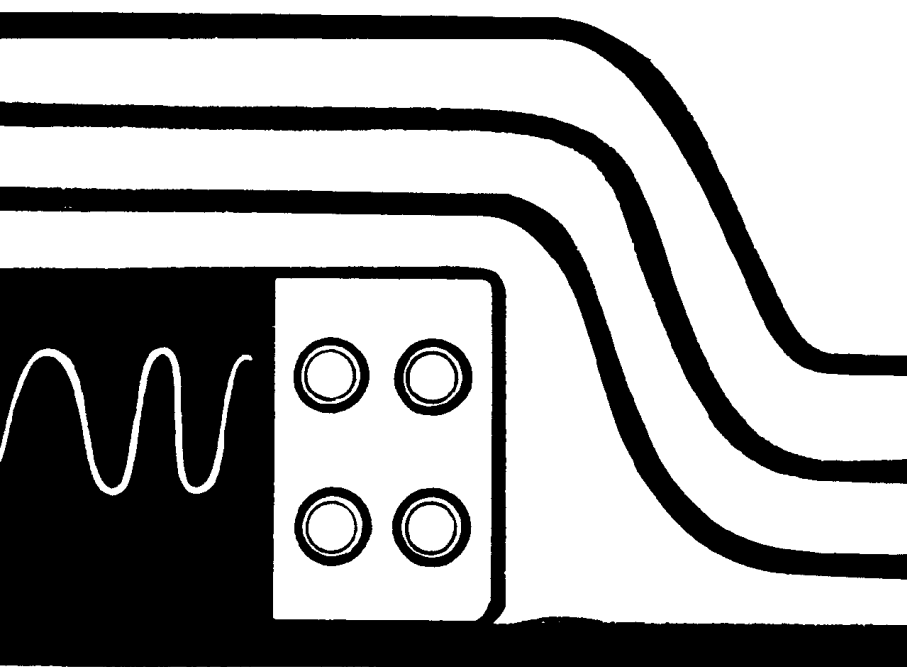


# 示波器

## 原理 ● 操作及應用

謝耀宗 李台生 編著



# 啟學科技系列

|                                     |           |        |
|-------------------------------------|-----------|--------|
| 1. 實用自動控制入門·····                    | 周賢溪編著     | 6.00   |
| 2. 圖解自動控制—入門篇·····                  | 陳憲雄編著     | 10.00  |
| 3. 圖解自動控制—實用篇·····                  | 陳憲雄編著     | 10.00  |
| 4. 工業電氣與自動控制實務·····                 | 陳憲雄編著     | 24.00  |
| 5. 實用順序控制回路解說·····                  | 陳憲雄編著     | 10.00  |
| 6. 自動化·省力化實用圖集·····                 | 黃博治編著     | 10.00  |
| 7. 電氣接線圖入門·····                     | 謝賢仁、簡輝龍編著 | 8.00   |
| 8. 產業控制系統接線圖·····                   | 陳憲雄、謝賢仁編著 | 18.00  |
| 9. 電力控制系統接線圖·····                   | 陳憲雄編著     | 18.00  |
| 10. 鑽模與夾具實例要覽·····                  | 周賢溪、施成惠編著 | 10.00  |
| 11. Hi-Fi擴大器·····                   | 曾金龍編著     | 8.00   |
| 12. 錄音機原理·····                      | 黃政協編著     | 8.00   |
| 13. 音響技術·····                       | 簡章華、林昆龍編譯 | 16.00  |
| 14. AM—FM收音機原理·····                 | 黃政協編譯     | 12.00  |
| 15. 實用電晶體電路設計·····                  | 陳逢春編著     | 14.00  |
| 16. 電晶體迴路設計與分析·····                 | 林昆龍編譯     | 18.00  |
| 17. 電子計算器·····                      | 洪添進編譯     | 8.00   |
| 18. 空調原理與維修·····                    | 崔承慰編著     | 14.00  |
| 19. 實用揚聲器技術·····                    | 陳文華編著     | 10.00  |
| 20. 微型電腦·····                       | 簡世源編譯     | 20.00  |
| 21. 三用電表的應用·····                    | 李台生、謝耀宗編著 | 6.00   |
| 22. 示波器原理及操作·····                   | 李台生、謝耀宗編著 | 8.00   |
| 23. 示波器測試與應用·····                   | 李台生、謝耀宗編著 | 8.00   |
| 24. S C R 矽控整流器·····                | 歐文雄編著     | 7.00   |
| 25. 超高頻電視調諧器·····                   | 戴全生編著     | 12.00  |
| 26. RCA—CMOS 積體電路·····              | 李海林編著     | 8.00   |
| 27. 電子振盪器·····                      | 李海林編著     | 8.00   |
| 28. HAKIAS MILLMAN 積體電子學(上)(下)····· | 薛興國、謝祖寧合譯 | 各20.00 |
| 29. HAKIAS MILLMAN 積體電子學題解·····     | 薛興國、謝祖寧合譯 | 24.00  |

科技新知·應用技術·精編精譯·陸續出版·

# 目 錄

## 第一章 示波器的基本認識

|     |                   |    |
|-----|-------------------|----|
| 1-1 | 概 述·····          | 1  |
| 1-2 | 示波器基本原理介紹·····    | 2  |
| 1-3 | 普通型與自動同步型示波器····· | 8  |
| 1-4 | 示波器面板的認識·····     | 11 |

## 第二章 示波器的基本使用

|     |              |    |
|-----|--------------|----|
| 2-1 | 示波器規格說明····· | 29 |
| 2-2 | 操作前預備動作····· | 33 |
| 2-3 | 電壓之測量·····   | 35 |
| 2-4 | 電流之測量·····   | 43 |
| 2-5 | 頻率之測量·····   | 44 |
| 2-6 | 相位之測量·····   | 62 |
| 2-7 | 差別輸入測量·····  | 69 |

## 第三章 示波器各部電路分析

|     |              |     |
|-----|--------------|-----|
| 3-1 | 陰極射線管·····   | 71  |
| 3-2 | 垂直放大電路·····  | 82  |
| 3-3 | 同步及觸發電路····· | 87  |
| 3-4 | 掃描產生器·····   | 94  |
| 3-5 | 水平放大電路·····  | 102 |

## 第四章 示波器實際電路分析

## 2 示波器原理及操作

|     |                           |     |
|-----|---------------------------|-----|
| 4-1 | National VP-5107A 示波器電路分析 | 105 |
| 4-2 | Philips PM-3200 示波器電路分析   | 127 |

## 第五章 示波器應用實例

|      |                     |     |
|------|---------------------|-----|
| 5-1  | 整流與濾波電路             | 147 |
| 5-2  | 方波與脈波之測量            | 150 |
| 5-3  | 放大器特性之測量            | 154 |
| 5-4  | 調幅波調制百分數之測量         | 160 |
| 5-5  | 調幅收音機波形之觀測與中頻之調整    | 163 |
| 5-6  | FM 接收機中頻調整與 S 曲線之觀測 | 165 |
| 5-7  | 電視波形之觀測與中頻之調整       | 169 |
| 5-8  | 二極體特性曲線之觀測          | 171 |
| 5-9  | 電晶體特性曲線之觀測          | 173 |
| 5-10 | 磁滯曲線之觀測             | 174 |

## 第六章 示波器的調整與維護

|     |        |     |
|-----|--------|-----|
| 6-1 | 示波器的調整 | 176 |
| 6-2 | 示波器的維護 | 182 |

附錄圖一 A National VP-516A 同步型示波器面板開關與規格

附錄圖一 B National VP-516A 同步型示波器電路圖

附錄圖二 A National VP-517A 同步型示波器面板開關與規格

附錄圖二 B National VP-517A 同步型示波器電路圖

附錄圖三 National VP-5107T 同步示波器掃描產生器與水平電路圖

附錄圖四 A RCA WO-535A 同步型示波器面板開關與規格

附錄圖四 B RCA WO-535A 同步型示波器電路圖

附錄圖五 BETA-1100A 普通型示波器電路圖

附錄圖六 A EICO-465 普通型示波器面板開關與規格

附錄圖六 B EICO-465 普通型示波器電路圖

# 1

## 示波器基本認識

### 1-1 概 述

示波器是電子工程上一項極為重要的產品，它使我們能直接地觀測到一切的電氣現象，或者是間接地藉着一轉換器（Transducer）將一切機械、壓力、溫度、物理、化學或是醫學上的現象轉換成電的訊號，而再以示波器來觀察分析。

示波器原文 Oscilloscope，Oscillo 為 Oscillation 之縮寫，原為振盪之意，Scope 為觀測之意，因此示波器可定義為觀測振盪之儀器。

一般示波器作適當的連接與調整後，便可對工程人員提供在一電路與系統中任一時間定點上的訊號波幅，週期、頻率、相位、波形及頻率響應變化的顯示，尤其是對於非正弦波之測量，更是非示波器莫屬，而且更重要的是可以直接測量或比較兩信號電壓及波形等。因此，示波器可以說是——種甚為有效的觀測研究儀器，但是若要使示波器充分發揮最高功能，必須對示波器原理有相當的認識，方能得心應手。

早期的示波器為一機械性的記錄工具，我們常稱為記錄器（Recorder）

它是利用一枝筆將振盪的現象或變化，記錄於一移動的紙上，或是利用光學原理將現象或變化記錄於感光紙上。此種型式的記錄方法，由於機械結構的關係，僅能使用於聲頻範圍（ $20\text{ Hz} \sim 20\text{ KHz}$ ）以下；但此種記錄器對於極低頻率變化的記錄，仍極為適用，較為常見的如 X-Y 記錄器（X-Y Recorder）等。

自從陰極射綫管 CRT（Cathode Ray Tube）發明後，則可利用 CRT 替代記錄器，訊號頻率的變化可由電子掃描束，在螢光幕上做快速掃描顯示出來。如圖 1-1，記錄器與示波器即利用相同的原理來記錄觀測的信號，CRT 的電子束則相當於記錄器上的記錄筆。由於示波器及其輔助器材不斷地研究改進，而由最基本的簡單示波器，改進為雙掃描示波器（Dual Trace Oscilloscope），自動同步觸發式示波器（Trigger Type Oscilloscope），以及儲存式示波器（Storage Oscilloscope）等，本書主要將介紹自動同步觸發式示波器的原理與應用。

## 1-2 示波器基本原理介紹

基本示波器須由下列五項主要結構而成：

- (1) 陰極射綫管（Cathode Ray Tube）簡寫 CRT。
- (2) 垂直放大器（Vertical Amplifier）。
- (3) 水平放大器（Horizontal Amplifier）。
- (4) 掃描產生器（Sweep Generator）或時基綫產生器（Time Base Generator）。
- (5) 電源供給器（Power Supply）。

如圖 1-2 為示波器之基本結構。首先談到陰極射綫管 CRT 部份，此 CRT 俗稱電子鎗，如同真空管一樣，由燈絲加熱，傳至陰極而造成大量電子的放射，此電子羣經過一連串柵極的控制而到達螢光幕上，螢光幕由於高速電子的衝擊因而發出亮光。如圖 1-3 所示，接近 CRT 陰極分別依次為第一柵極，聚焦陽極，加速陽極。第一控制柵極，如同真空管的控制

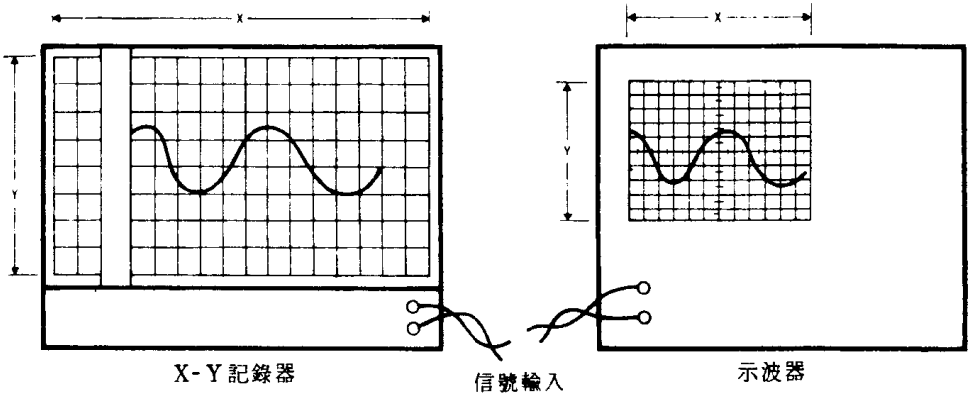


圖 1-1 示波器與記錄器

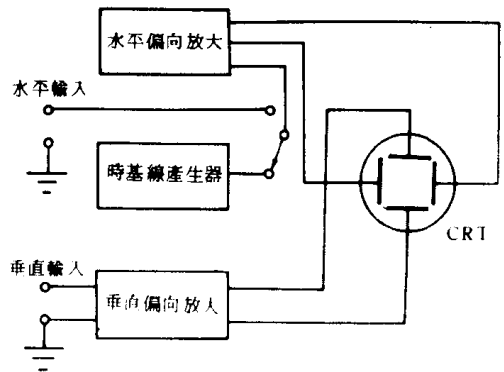


圖 1-2 示波器基本方塊圖

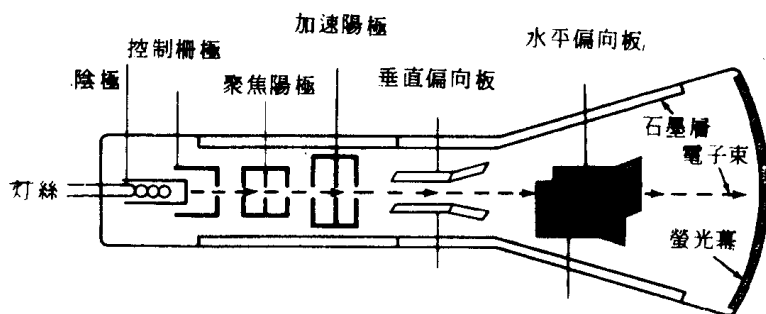


圖 1-3 陰極射線管 (CRT) 之典型結構

柵極一樣，改變陰極與此控制柵極間的電位差即能控制電子流之大小，若電子流大即可在螢光幕上產生光度較強的亮點，反之則產生較暗的亮點，這個控制作用稱為亮度調整 (Intensity Control)；又聚焦陽極與加速陽極分別控制電子流之收斂或擴散作用，將電子束予以適當的整型，使打擊在螢光幕的光點得到最清晰的一點，這兩個控制作用稱為聚焦調整 (Focus Control) 與散光 (或輔助聚焦) 調整 (Astigmatism Control) 在加速陽極之後另有兩組平行板，前面的一組為垂直偏向板 (Vertical Deflection Plate)，另一組水平偏向板 (Horizontal Deflection Plate) 在後。在這兩組平行板加上適當的電壓，則對電子束造成偏掃，致使打擊在螢光幕上的光點造成位置的變化。圖 1-4 為 CRT 偏向板之代表符號， $D_1 - D_1'$  為垂直偏向板， $D_2 - D_2'$  為水平偏向板，我們以此符號來說明偏掃的原理。

如圖 1-5，當兩組偏向板皆無外加電壓存在時，則光點發生在於螢光幕的中央，如圖 1-5 (a)；當水平偏向板右方電位較左方為高時，電子束因

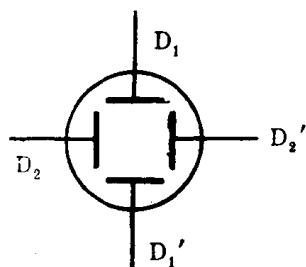
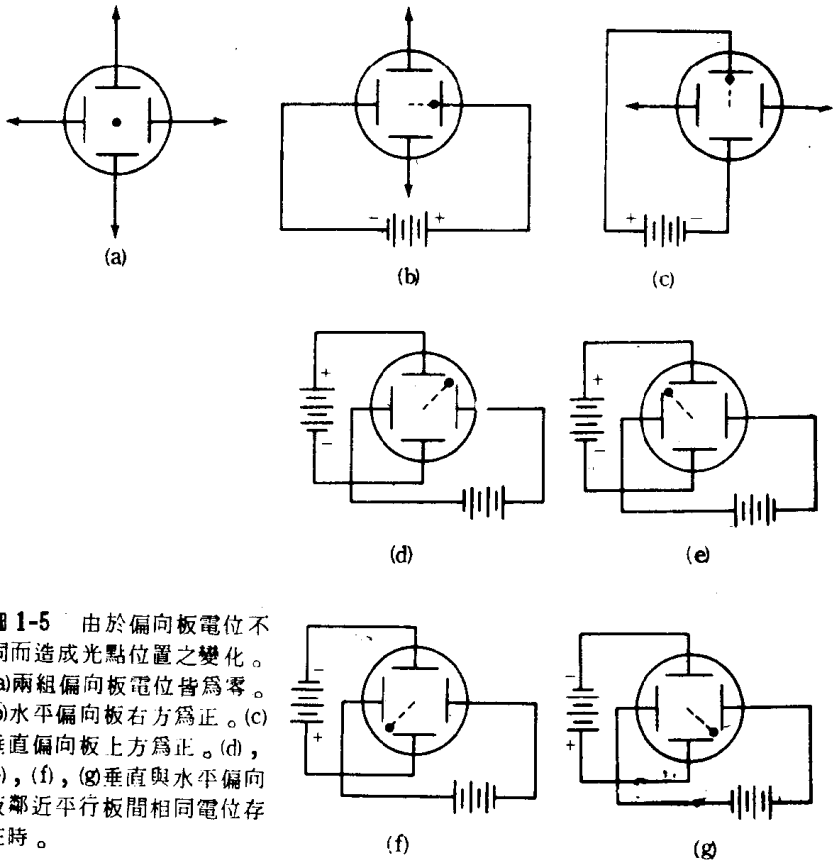
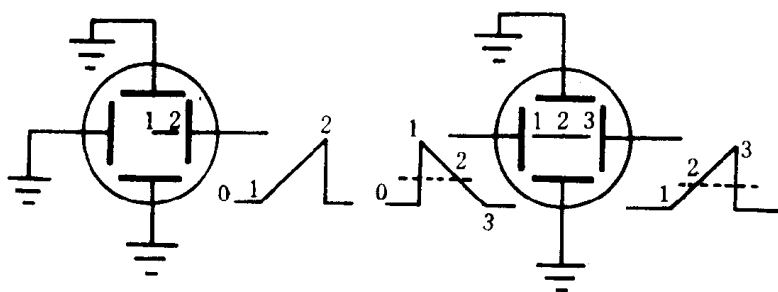


圖 1-4 CRT 偏向板之代表符號



**圖 1-5** 由於偏向板電位不同而造成光點位置之變化。  
 (a)兩組偏向板電位皆為零。  
 (b)水平偏向板右方為正。(c)垂直偏向板上方為正。(d)，(e)，(f)，(g)垂直與水平偏向板鄰近平行板間相同電位存在時。

受正電位之吸引而向右方移動，光點因而右移，如圖 1-5 (b)；同樣在垂直偏向板中若上方較正時，則光點移至上方，如圖 1-5 (c)；圖 1-5 (d)，(e)，(f)，(g)為兩組偏向板其相鄰近的平行板若具有相同正電位時，則光點分別向  $45^\circ$ ， $135^\circ$ ， $225^\circ$ ， $315^\circ$  的方向移動。若在水平偏向板之右方平行板加以一直線性良好的上昇波 (Ramp)，左方平行板施以零電壓 (即接地電位)，則掃描光點的位置將由中央漸向右方移動，由於螢光質的殘光特性以及人眼的視覺暫留，光點移動而形成一條直線的光掃描痕跡，如圖 1-6 (a)所示；若要在 CRT 螢光幕左方也形成一條光跡，則上昇波可加至左方偏向板；如果光跡要由左方經過中央位置而達右方時，我們可以在左方偏向板施以負方向的下降波，右方偏向板施以正向上昇波，則當在“1”



(a)

(b) 圖 1-6 掃描線之形成

時，左方偏向板較右方為正，光點在最左方，左方偏向板外加電壓漸減至負，而右方電壓漸增為正，則光點漸向右移經過中央“2”點而到達“3”，右方偏向板電壓最正，左方偏向板的電壓最低，則此時光點應移至最右方，若將同一頻率一正一負的上昇波與下降波連續的施加在水平偏向板上，則在水平方向形成一條掃描線，這一條線即稱之為時基線 (Time Base)。若在 CRT 垂直偏向板上加以正弦波 (上偏向板與下偏向板的電壓相位差  $180^\circ$ )，而在水平偏向板不加任何訊號，則在 CRT 的螢光幕呈現之波形如圖 1-7 所示，電子束只作上下方向的垂直掃描。

如果同時在垂直偏向板上加上正弦波訊號，水平偏向板上加上昇波 (或鋸齒波) 訊號，則示波器螢光幕的波形，可以由圖 1-8 來說明：由 1-21 各點，因為水平與垂直同時施以電壓，而造成瞬間光點的移動，此時

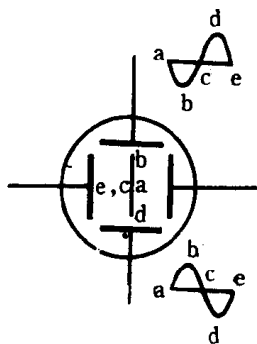


圖 1-7 相位差  $180^\circ$  之正弦波外加於垂直偏向板。水平偏向板不加任何訊號時，螢光幕所呈現之圖形。

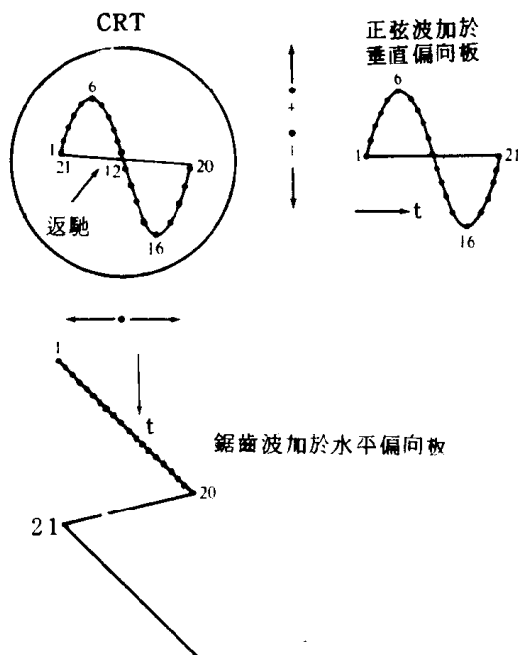


圖 1-8 垂直與水平偏向板同時施以訊號，於螢光幕顯示波形說明。

在螢光幕所顯示的波形即是垂直訊號的波形；又“20”為水平掃描光點在最右端的時候，當然為了作第二次的掃描，光點必須返回“1”點，則在“20”-“21”這段時間為光點返回原開始掃描點的時間，稱為返馳時間（Flyback Duration），由於返馳所造成的掃描線，稱為返馳線。由於線

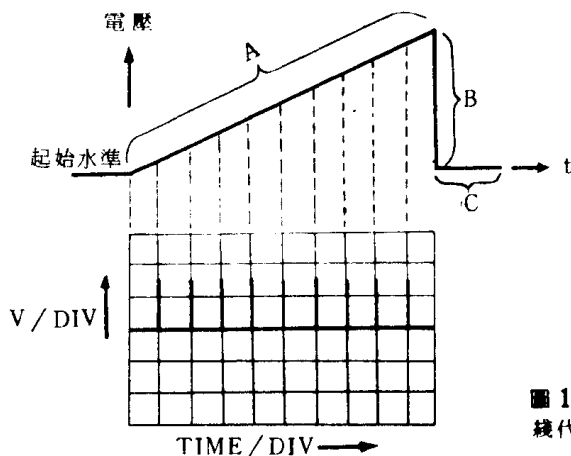


圖 1-9 水平上昇波與時基綫代表時間。

性良好的上昇波或鋸齒波 (Sawtooth)，它的電壓高低與時間成一定斜率的變化，因此在 CRT 內的電子束由左而右偏掃時所產生的光跡可以均勻地代表時間，如圖 1-9 所示。

在 CRT 螢光幕上電子束偏掃一次所需的時間，即為上昇波的週期，換句話說，若掃描頻率為  $f_1$ ，則在一秒鐘內必作水平掃描  $f_1$  次。當垂直偏向板有外加訊號，其顯示於螢光幕的圖像為三個正弦波，如圖 1-10 所示，此時即可確定外加訊號之頻率  $f_2$  為掃描頻率  $f_1$  之三倍。

### 1-3 普通型與自動同步型示波器

在圖 1-2 示波器方塊圖中，測量訊號由示波器的垂直輸入端輸入，經一衰減網路送至垂直放大器的輸入端，此一垂直放大器大都為並相 (Paraphase) 寬頻帶高增益的放大器，以真空管、電晶體或積體電路所組成，

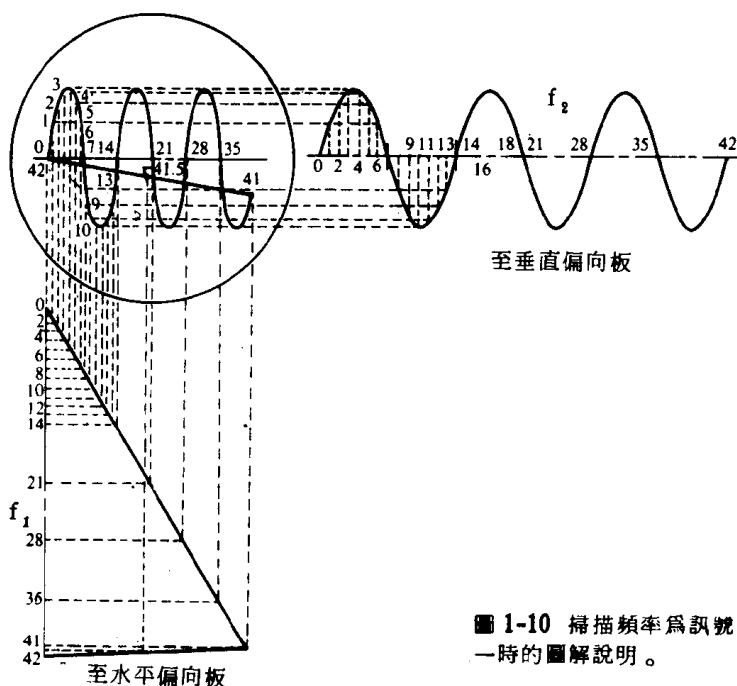


圖 1-10 掃描頻率為訊號頻率三分之一時的圖解說明。

其輸出為兩組大小相同但相位相反的輸出訊號加於 CRT 之兩垂直偏向板上，此一垂直訊號電壓將促使 CRT 的電子束作垂直上下的偏掃。水平偏向放大器乃由水平選擇開關來選擇輸入信號的方式，一是由外部水平輸入端加入，另一是由示波器本身之掃描振盪器的鋸齒波輸入，此放大器一如垂直偏向放大器為並相放大器，輸出兩組大小相同相位相反的信號而加於水平偏向板上。由於加入垂直端的輸入待測信號與水平鋸齒波信號兩者之相位起始點並不一定相同，而使每一開始掃描的相位始終在變，如圖 1-

11，掃描頻率略高於待測頻率時，在示波器螢光幕會呈現向右移的波形；相反地，如果掃描頻率略低於待測頻率時，則在螢光幕上呈現的波形會向左偏移，此種現象稱為不同步。一般用示波器觀測波形，必須能將波形穩定顯示於螢光幕上，否則觀察起來甚為不便。如欲使其波形穩定，則掃描訊號的週期必須與被測波形的週期呈整數倍的關係，換言之每次掃描的起始點或終止點以及掃描週期應相等，如果兩者的配合不當，即產生不同步現象。為了觀察順利起見，往往將垂直放大器之待測試信號，取一部份電壓來控制掃描產生器以期產生穩定的波形呈現於螢光幕上，如圖 1-12 所示。而同步信號電壓的大小足以影響同步的正常工作，信號過小無法達到同步的目的，若同步信號太大，加入後結果更產生鋸齒波的混亂，反而

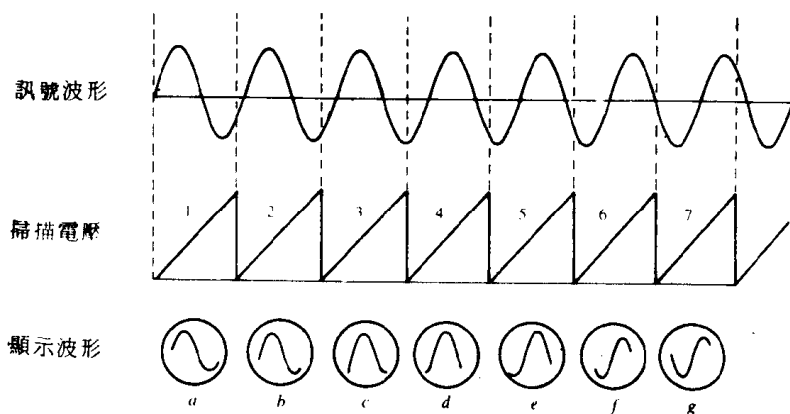


圖 1-11 掃描頻率略高於待測頻率時，示波器螢光幕呈現向右移的波形。

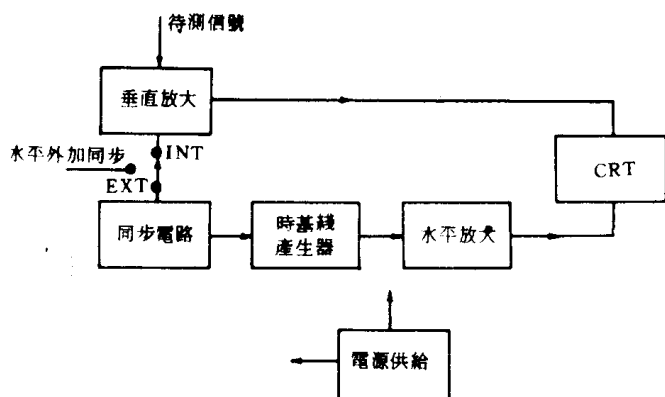


圖 1-12 示波器水平同步與放大電路方塊圖

不易達到同步的作用。一般同步的方法有兩種，一為由外面加 (EXTERNAL) 信號來同步，另一為內部 (INTERNAL) 垂直信號來同步。若是採用內部同步的話，同步信號取自垂直放大電路，如垂直輸入信號改變，同步作用也跟着改變，必須重新再調整同步，方能獲得一穩定的顯示波形。此種缺點常使示波器的使用甚為不便，因此較高級的示波器便採用自動同步或觸發掃描，觸發掃描產生器 (Triggered Mode Sweep Generator) 產生一掃描波隨時與垂直待測信號同步，並完成定振幅定速度的掃描以使螢光幕水平掃描光跡移動單位距離所需之時間 (sec/cm 或 sec/div)

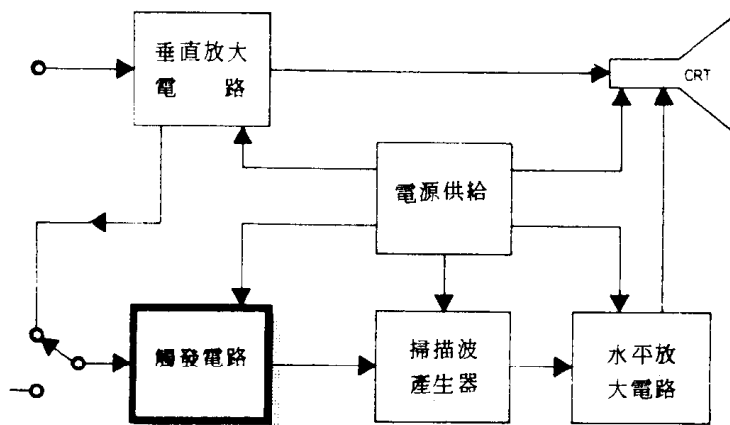


圖 1-13 同步式示波器之方塊簡圖。

可依事先校定的數值而標出，採用此種水平掃描方式的示波器稱之為自動同步型示波器，圖 1-13 為其方塊簡圖。由於水平掃描之時間已標定出，則可以利用這些數值直接計算出待測信號的頻率與週期或其他待測之數據。在垂直放大器亦利用事先校準好的衰減器，使待測信號的電壓能由螢光幕上所顯示波形之高度與衰減之刻度直接讀出。換言之，同步示波器能由螢光幕所顯示的波形，毋須經過繁雜的手續即可測出所需的數據。

## 1-4 示波器面板的認識

### A. 普通型示波器面板介紹

在未使用示波器之前，讀者須先瞭解面板上各個插孔以及旋鈕的功用。先介紹簡單的示波器面板，再介紹自動同步示波器專用的特殊開關旋鈕。LBO-311 及 BETA-1100 A 分別為 3 吋及 5 吋普通型示波器，其前面板與後面板各旋鈕的位置，如圖 1-14 所示。

### 各開關控制旋鈕與插孔作用說明：

1. **FOCUS**（**聚焦控制**）：用來調節衝擊在螢光幕上的電子束的粗細，使描繪光跡能達到最纖細的程度，如圖 1-15 (a) 所示，調整聚焦控制即可控制光點的大小。

2. **INTENSITY**（**亮度控制或強度控制**）：用以調整電子槍，控制電子束的強弱，使衝擊在螢光幕上的亮度可以變化，使用時應調整在適當亮度以便維護螢光幕。尤其當無垂直與水平偏向掃描時而出現一亮點時，必須調整亮度為較暗淡的程度，以免在此點之螢光質受到長時間不斷的打擊而燒壞。如圖 1-15 (b) 不同的亮度控制的情形。

但在測量 RF 射頻信號時，由於掃描速度增快而且掃描面積增大，使得亮度稍嫌不足時，可適當增加亮度，以獲得觀察最清晰的波形，但是如果移去加入垂直輸入端的 RF 信號，則在螢光幕上呈現一條亮度頗高的掃描線，如此一來極可能損壞螢光質，這在普通型示波器須特別注意，在同

步觸發式示波器如果 LEVEL 開關 (見後面 1-4 B 節自動同步型示波器) 放在 Level 的位置, 則無垂直信號時, 水平掃描線也因而消失, 此現象就不可能發生。

3. ↑ 或 VERT POSITION (垂直位置控制): 用以改變螢光幕上光跡的垂直 (上、下) 位置。

4. ↔ 或 HORIZONTAL POSITION (水平位置控制): 用以改變螢光幕上光跡的左右位置。

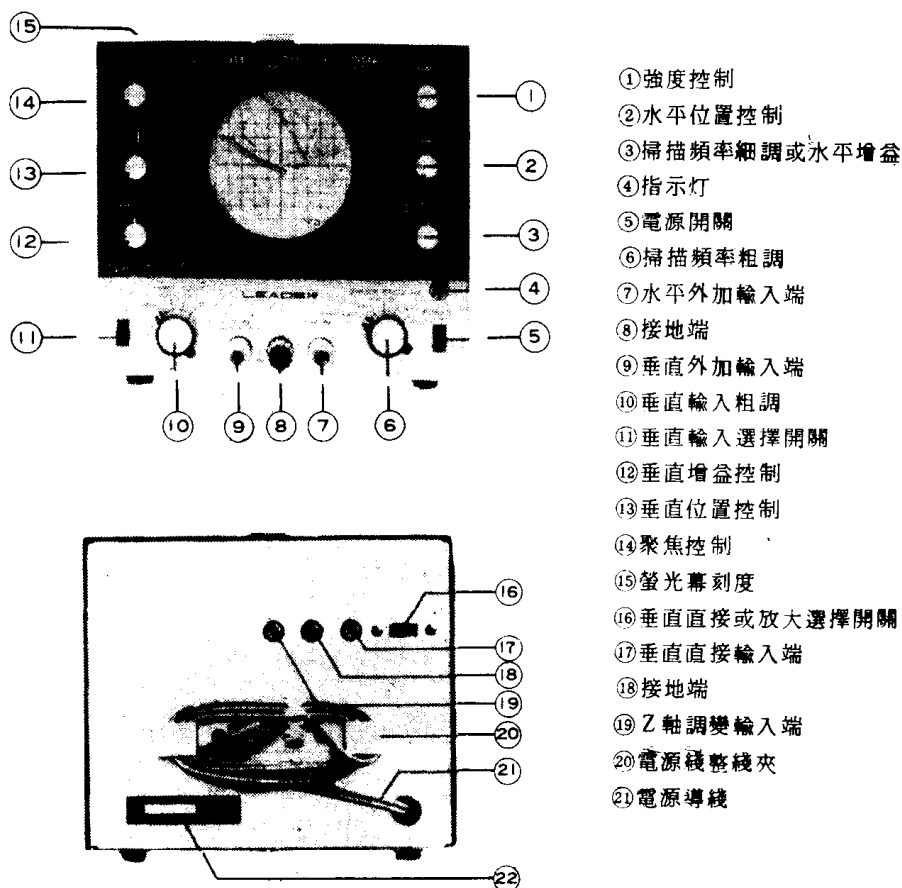
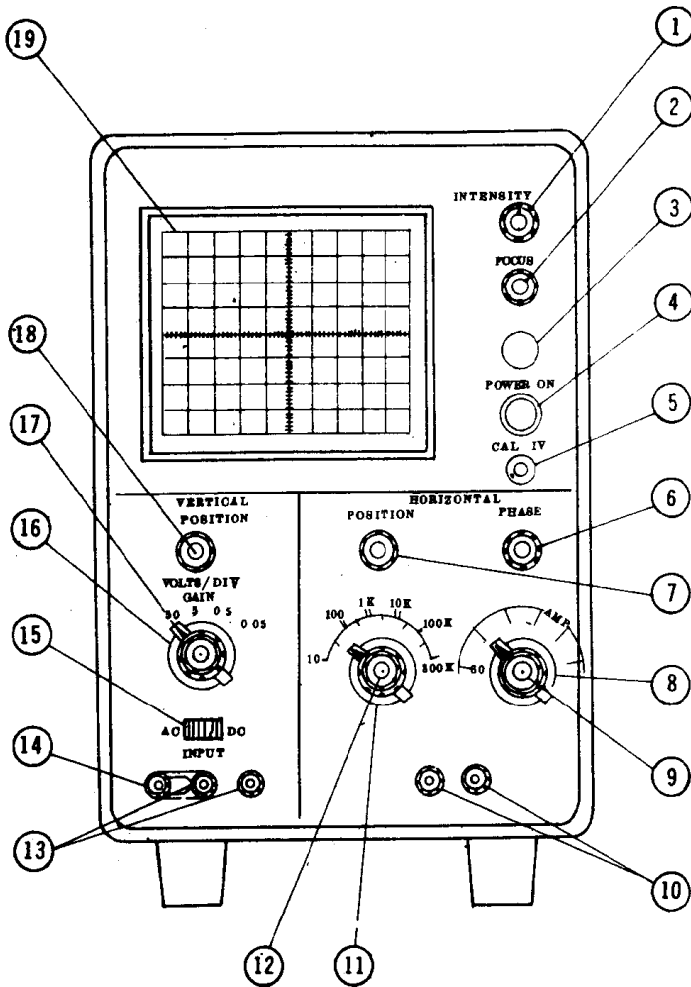


圖 1-14 (a) LBO-311 示波器前面板開關位置圖。

圖 1-14 (b) 後面板開關位置圖。



- |         |                 |                      |
|---------|-----------------|----------------------|
| ①亮度控制   | ⑧水平選擇開關         | ⑭接地端                 |
| ②聚焦控制   | ⑨水平增益控制         | ⑮AC/DC 輸入選擇開關        |
| ③電源指示燈  | ⑩水平輸入及外加同步訊號輸入端 | ⑯垂直放大器衰減範圍選擇開關(垂直粗調) |
| ⑭電源開關   |                 | ⑰垂直增益調整              |
| ⑤校準電壓輸出 | ⑪掃描頻率粗調控制       | ⑱垂直位置控制              |
| ⑥相位調整   | ⑫掃描頻率細調控制       | ⑲螢光幕刻度               |
| ⑦水平位置控制 | ⑬垂直輸入端          |                      |

■ 1-14(c) BETA-1100A 示波器  
前面板開關位置。