

示波器分析

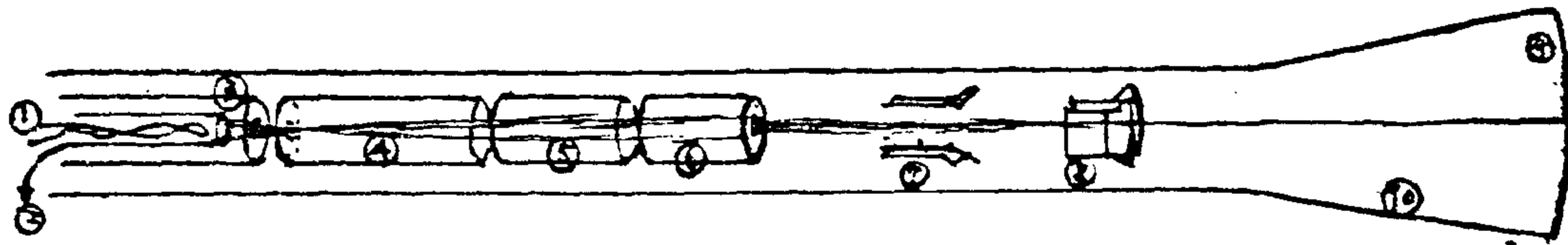
蔡民雄

示波器 (Oscilloscope) 所量度的是電壓的大小及其隨時間變化的情形 (以後姑且稱爲訊號)。當然並不因此就限於量度電壓上。我們做實驗有時會遇到量度某些物理量與時間的關係，尤其是週期性變化的。如果能夠藉助電子設備把這種物理量變成電壓關係，我們也可以應用示波器。

示波器的構造可分爲電子束系統，水平及垂直偏向系統。

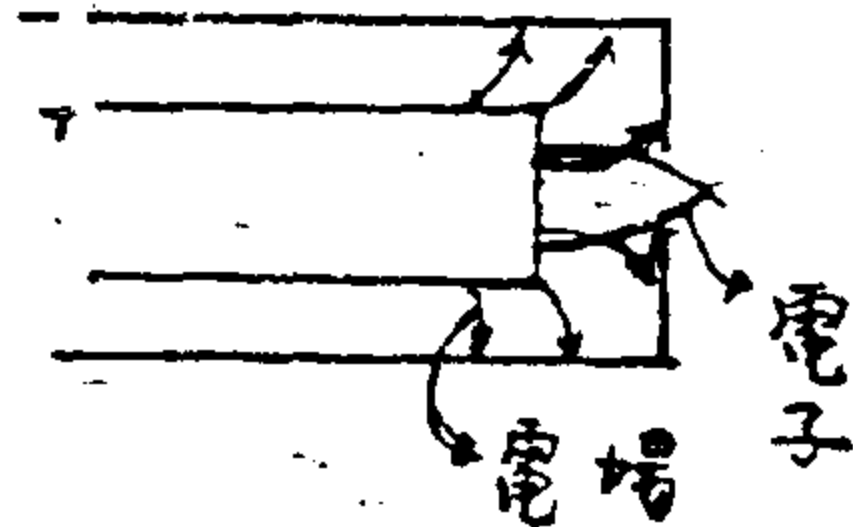
(一) 電子束系統：

這個系統有一陰極射線管及控制陰極射線 (或稱電子束) 的強度及焦點的電路。構造略圖如下：



① 加熱燈絲，② 陰極，③ 控制極 (Control grid) ④ 第一陽極，⑤ 聚焦陰極，⑥ 第二陽極，⑦ 水平極板，⑧ 垂直極板，⑨ 螢光屏，⑩ 導電殼層 (例如石墨)

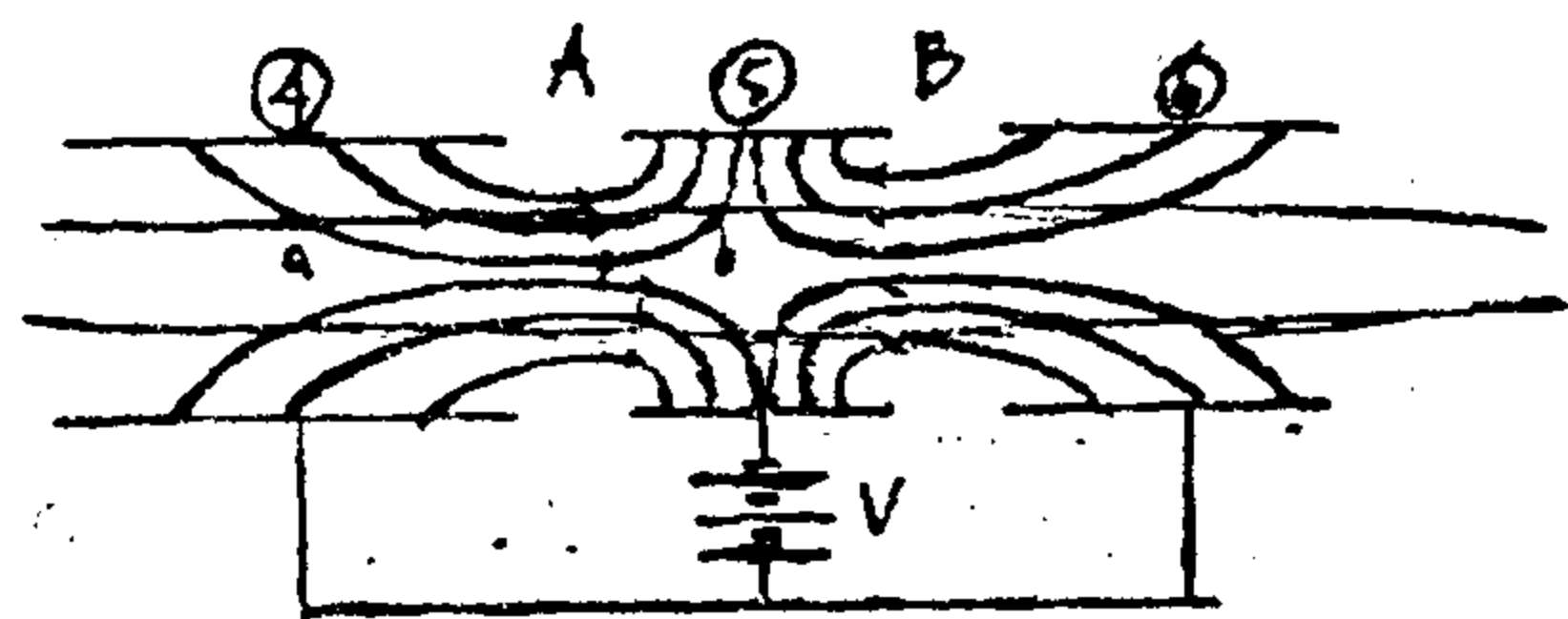
燈絲加熱陰極發射電子。控制極的電位比陰極低因此發散的電子被控在控制極的孔然後穿出 (參考右圖)。穿出的電子流量隨電場也即是兩極電位差而定。電



位差大電子流小。由此如加上控制此電位差的電路可調節電子流的強弱。示波器上調節的標示爲 "intensity"。另外也可以由外面從 Z-axis 插座接進訊號來調節。

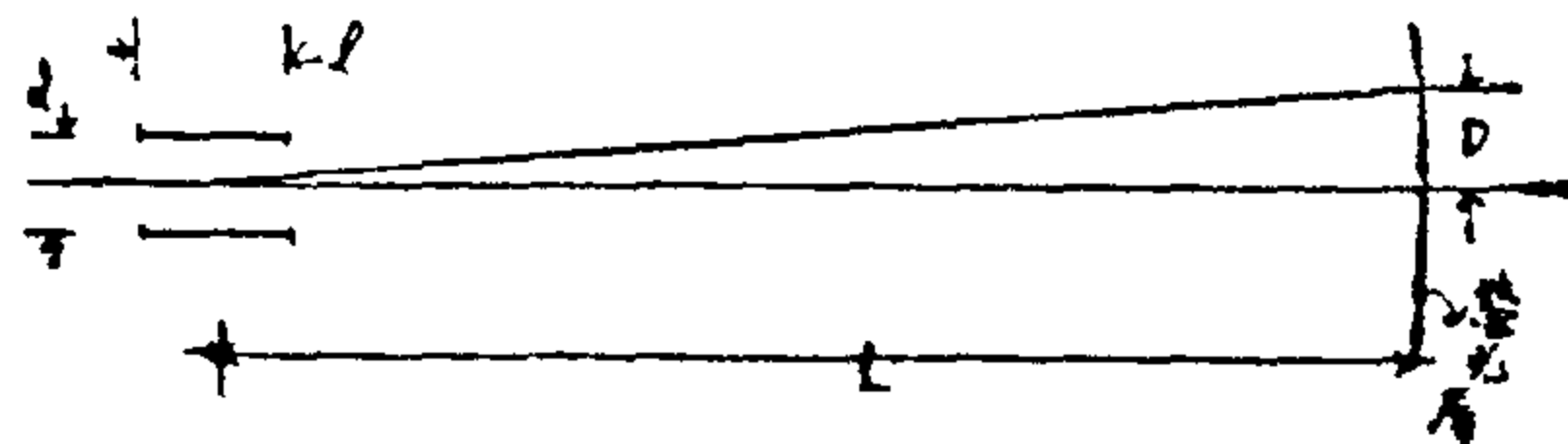
由控制極的孔穿出的電子經第一陽極加速，然後再經聚焦陰極及第二陽極，聚焦於螢光屏上產生亮點。導電殼層接通場極，消除動能的電子或螢光屏上被撞出的電子則而此殼層同至陽極。導電殼層亦可阻隔外界電場的影響。

聚焦的原理：電子在 a 點受有一向上的分力及減速分力。因此電子向上彎，對稱的，電子在 b 點則受有向下的分力使其向下彎。因電子在 a 點速度較大彎的程度也小，所以最終結果是向下



彎。B 點也有相同結果。並且由於靠近邊緣處的電場較大，電子離開軸愈遠彎曲的角度也大，原來分散的電子既可聚焦於一點。至於焦點的遠近可改變電壓 (即改變電場大小) 來調節。調節電子流強弱時改變了電子的速度因此需要再調節此電壓使電子恰聚焦在螢光屏上。

電子束經過水平極板間，如兩極板有電位差則極板間的電場使電子在電場反向有加速度，此加速度使電子撞擊在螢光屏的位置移上或移下。位置改變量可能單求得：

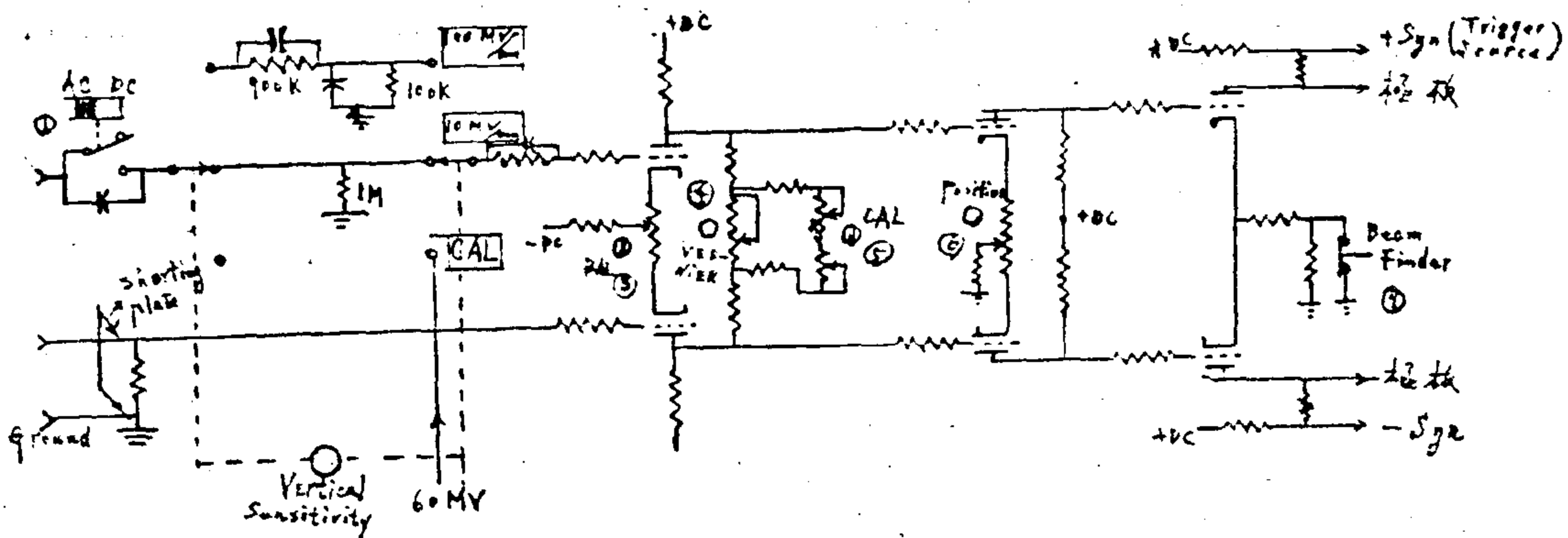


d 爲極板間隔，L 爲極板中點到屏距離
l 爲極板長，極板電位差 V_D ，陽極陰極電位差 V_a 由 $F = m(d^2 y/d^2 t) = q \frac{V}{d}$

$$\frac{1}{2} m v^2 = K E = q V_a$$

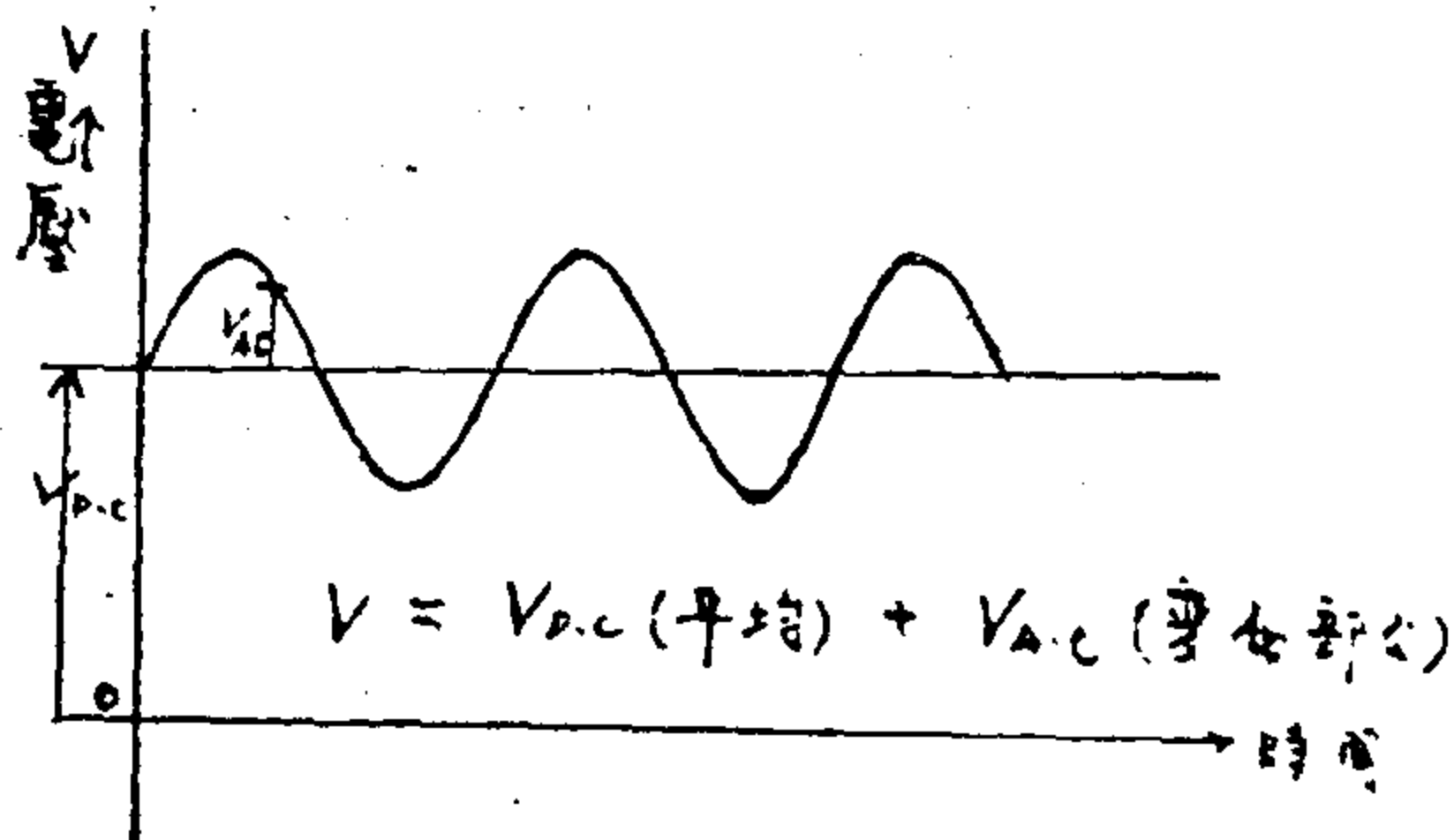
$$\text{即解得 } D = \frac{1}{2} \frac{L V_D}{V_a d}$$

從上式知 $D \propto V_D$ ，因此 V_D 的量可以由縱坐標表示。垂直極板作用與水平極板同，只是其給與電子的加速度方向是水平的。此水平加速度與水平極板產生的垂直加速使電子撞擊螢光屏的位置可由二度垂直坐標表示。而且由於位置改變量與電位差成正比，此位置也表示兩對極板電位差間的關係。



① AC, DC 選擇開關：

一個訊號通常可以把它分為 A.C (交流) 與 D.C (直流) 部分如圖：



如果 $V_{A.C} \ll V_{D.C}$ 那麼在螢光屏上我們看到的幾乎是直線。經常，我們要觀察的是交流部分，若把 AC, DC 選擇開關擺在 AC 上則訊號必經過電容器，即能把 DC 部分濾掉，然後放大交流部分。

③ Vertical sensitivity：

當此開關擺在 CAL 位置，在電路圖上兩箭頭指在 CAL 點上，則裡面有一標準電壓 (60mV) 代替外來訊號輸進 (A) 使螢光屏上的亮點

(二) 垂直偏向系統：

此系統控制水平極板的電壓，影響電子束垂直偏向及大小。——也就是亮點的垂直位置。電壓隨時間怎麼變化，其控制來源在一般用的示波器上都是由外面輸入的我們所要觀察的訊號。為了使適用的訊號大小範圍很廣，實用的示波器先減小輸入訊號電壓，再經訊號放大電路 (以後用 A 代表) 至適當的電壓再接到極板上。底下以 hp 120 B 型簡化的電路為例，略述各項調節原理。

偏移 6cm。假使不是恰好 6cm 可以調節 ③ 使恰為 6cm。那麼以後如輸入 (A) 的電壓是 10mv 則亮點恰偏移 1cm。也可以說偏移 1cm 表示輸入訊號 (A) 的電壓是 10mv。

開關擺在 10mv/cm 位置，進來的電壓與進入 A 的同。當擺 100mv/cm 位置，兩端間的總電阻是 1000K 而輸進 A 的電壓是取其中跨 100K 電阻兩端的電壓，因此恰減少 10 倍。所以進來 100mv 的電壓只 10mv 輸進 A，亮點也只偏 1cm，正是 100mv/cm。其餘的 1v/cm，10v/cm，比照 100mv/cm。

至於跨接電阻上的電容是為了補救高頻率訊號電壓減少倍數的差誤。電阻器接線間有電容 (大約 10^{-12} 法拉)。電容的電阻相當 $\frac{1}{2\pi f c}$ ，f 是頻率。f 不大時， $\frac{1}{2\pi f c}$ 很大不影響原來電阻，但當 f 很大這項電阻就不能再被忽略。因電容的電阻與原來電阻比例不同。輸進 A 的電壓與外來的電壓的比例也不固定。為了補救這差誤就在電阻兩端接上一電容器使 $\frac{1}{2\pi f c}$ 的比

跟原來電阻的比一樣，電壓的比才合於標示。

③ BAL. — 調節第一對三極管間兩陰極電流的分配。這是為了校正這一對三極管的不對稱。因為三極管不能造的完全一樣，而這種對稱的放大電路要求兩管對稱，於是加上變阻器補救。這個鈕於用示波器前校正，用時不再校。

④ Vernier } 這兩個調節兩板極傍路的電阻大小
⑤ CAL. }

改變第一對三極管的放大倍數，做為②中分段間的小調節。需要量電壓時④轉到極端鎖住（即CAL位置）。⑤的用法②中已提過。

⑥ Position :

在電路圖中的箭頭如指在電阻的中間則兩個三極管是對稱的，因此沒有訊號時，兩個板極的電位差為零。箭頭偏上或偏下，即使沒有訊號兩板極也有電位差，（因為連接陰極的電阻 R_k 不同，Operation point 不同）。隨着螢光屏的亮點也改變位置。如再輸進訊號，則此訊號改以這個新位置為原點。

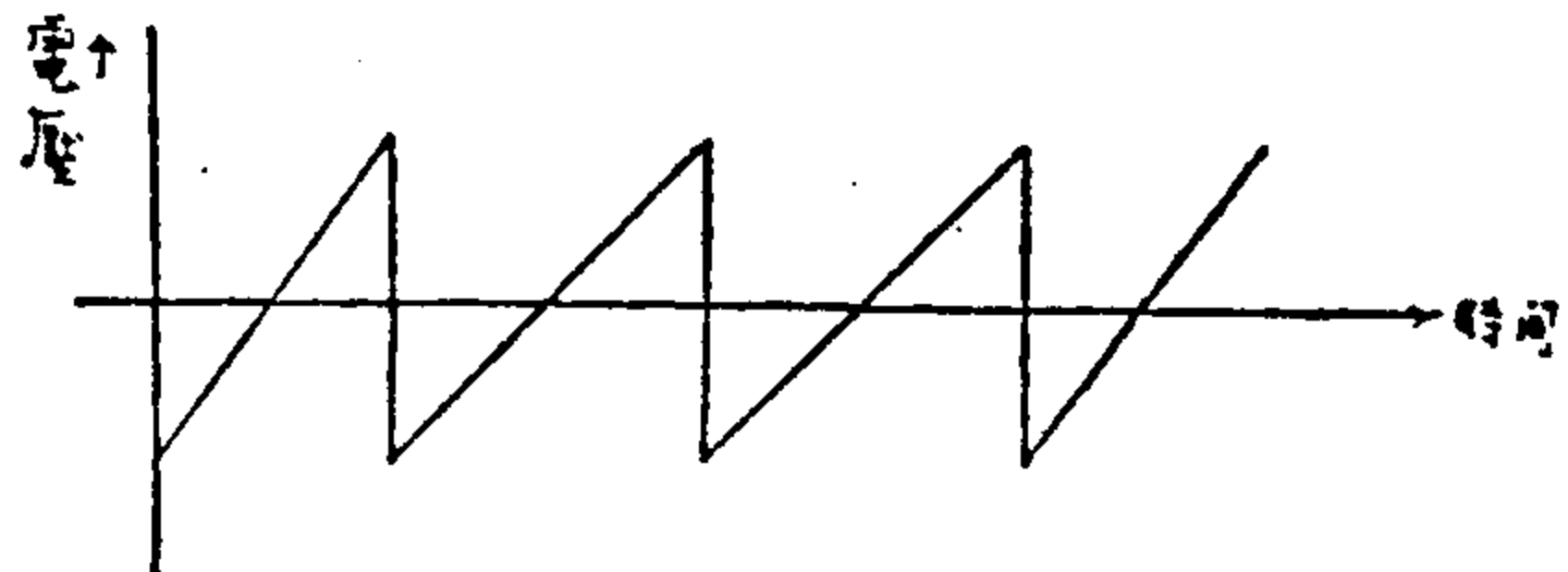
⑦ Beam Finder :

當原點位置太上，太下或訊號減小的倍數不對時，亮點就偏離螢光屏。若要知道亮點是在上邊或下邊則壓下此鍵，這時最後一對三極管的

陰極電阻增大，放大倍數減小，亮點偏的小，於是復出現於螢光屏上，然後適當調節原點位置。

⑧ 水平偏向系統 :

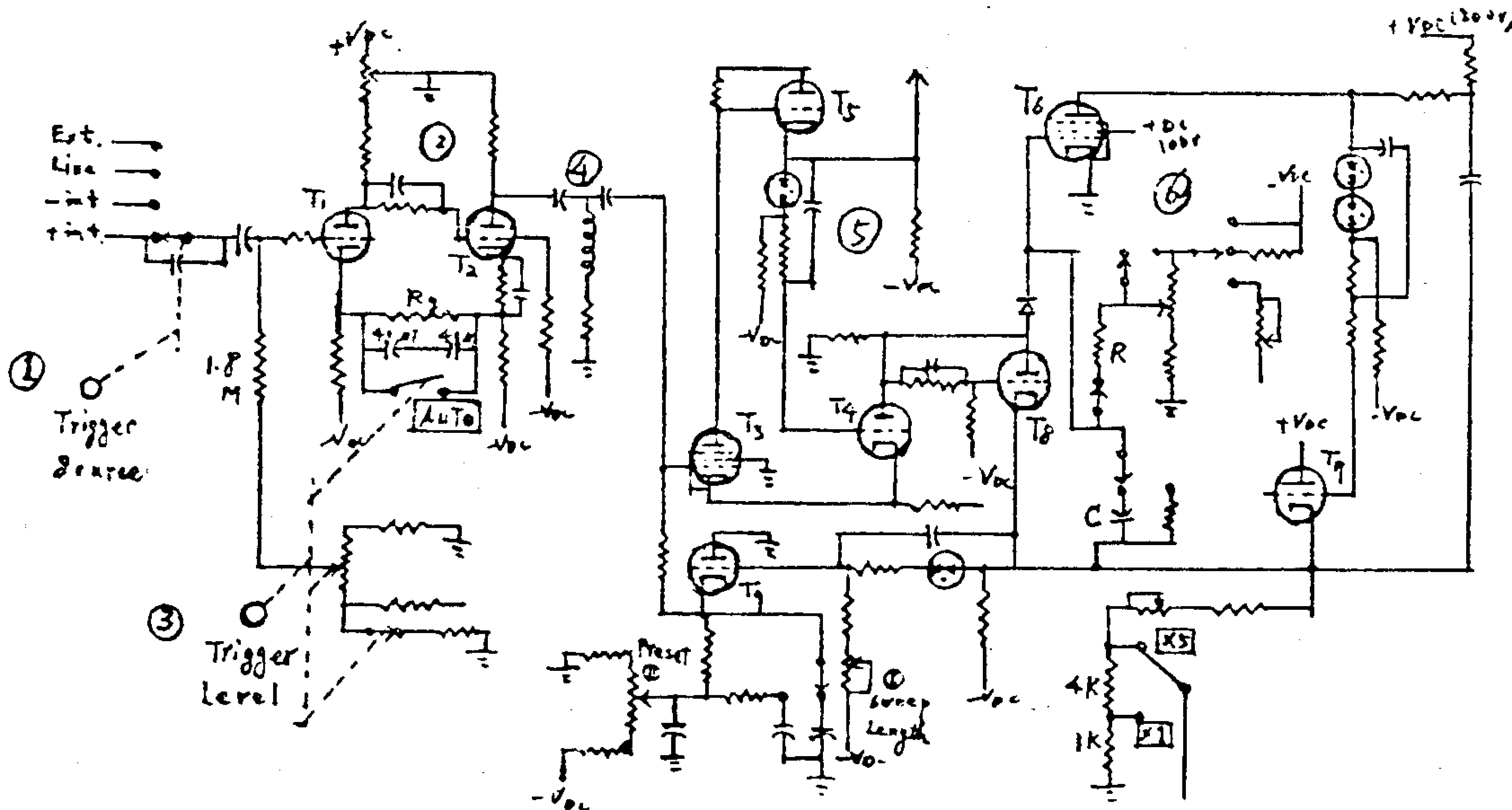
控制電子束水平偏向的訊號來源有外面輸進的及示波器內鋸齒形訊號產生電路輸出的鋸齒形訊號。鋸齒形訊號即電壓是時間的一次方週期函數，如圖：



它的斜率一定，因此亮點的水平位移相當是時差，水平軸相當時間坐標軸。

外來的訊號仍需經過減小與放大與垂直偏向訊號相同，電路也大同小異。這個系統最有用的設計是鋸齒形訊號的產生及其頻率及相位（phase）與垂直偏向訊號的頻率及相位間適當的配合（Synchronisation & trigger point）。

仍以hp 120B的電路為例簡述主要的功能：



① Trigger Source :

鋸齒形訊號頻率及相位欲與配合的訊號來源選擇開關。

有三種訊號來源(1) int. 即是垂直偏向訊號，又分為+與-，分別由垂直訊號放大電路的最後一對三極管的兩個板極取出(2) Line. 即

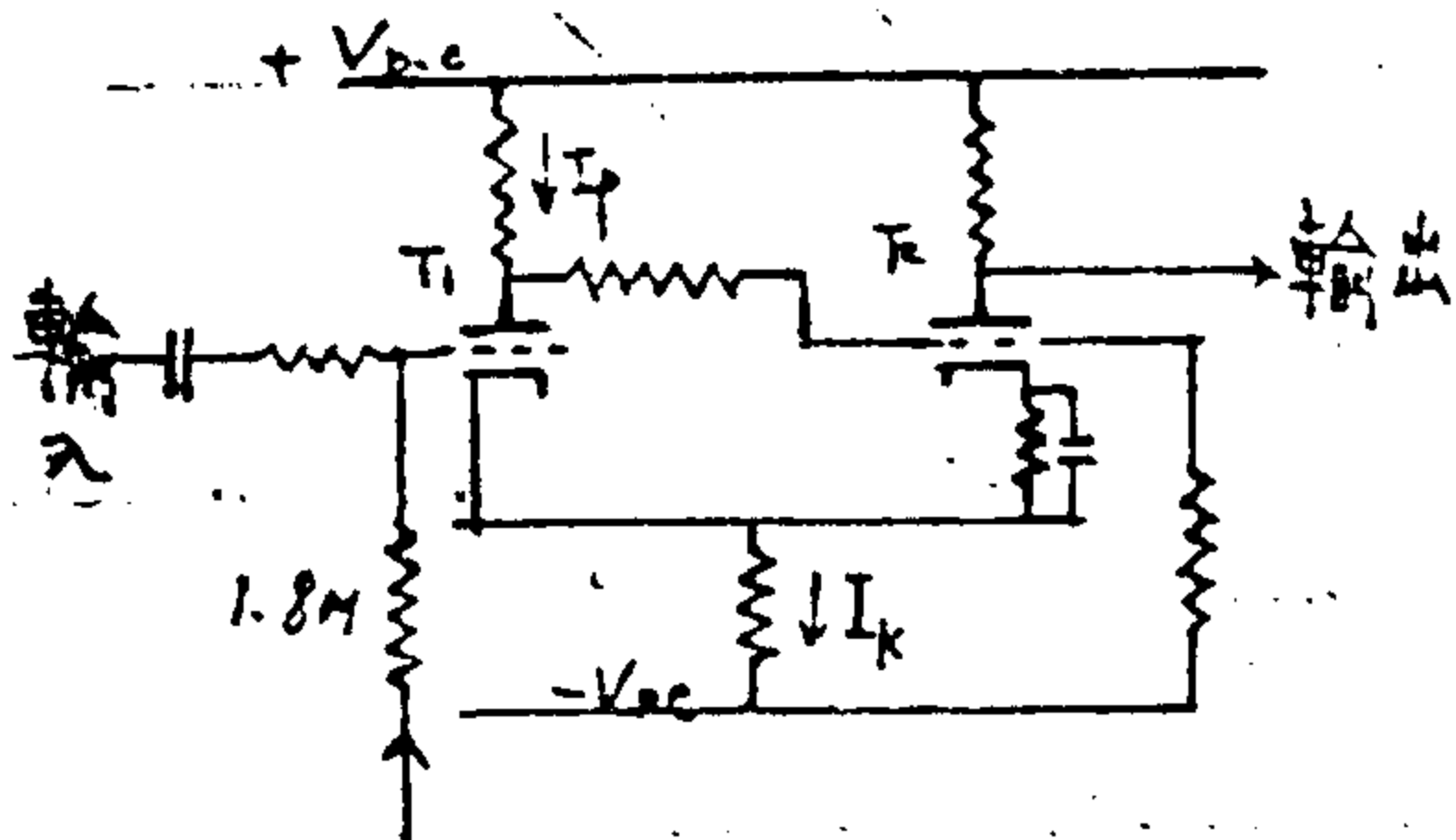
6.3伏特，每秒60週的電源(3) Ext.外來的訊號

② Trigger Generator:

由Trigger Source選擇的訊號經過Trigger Generator變成



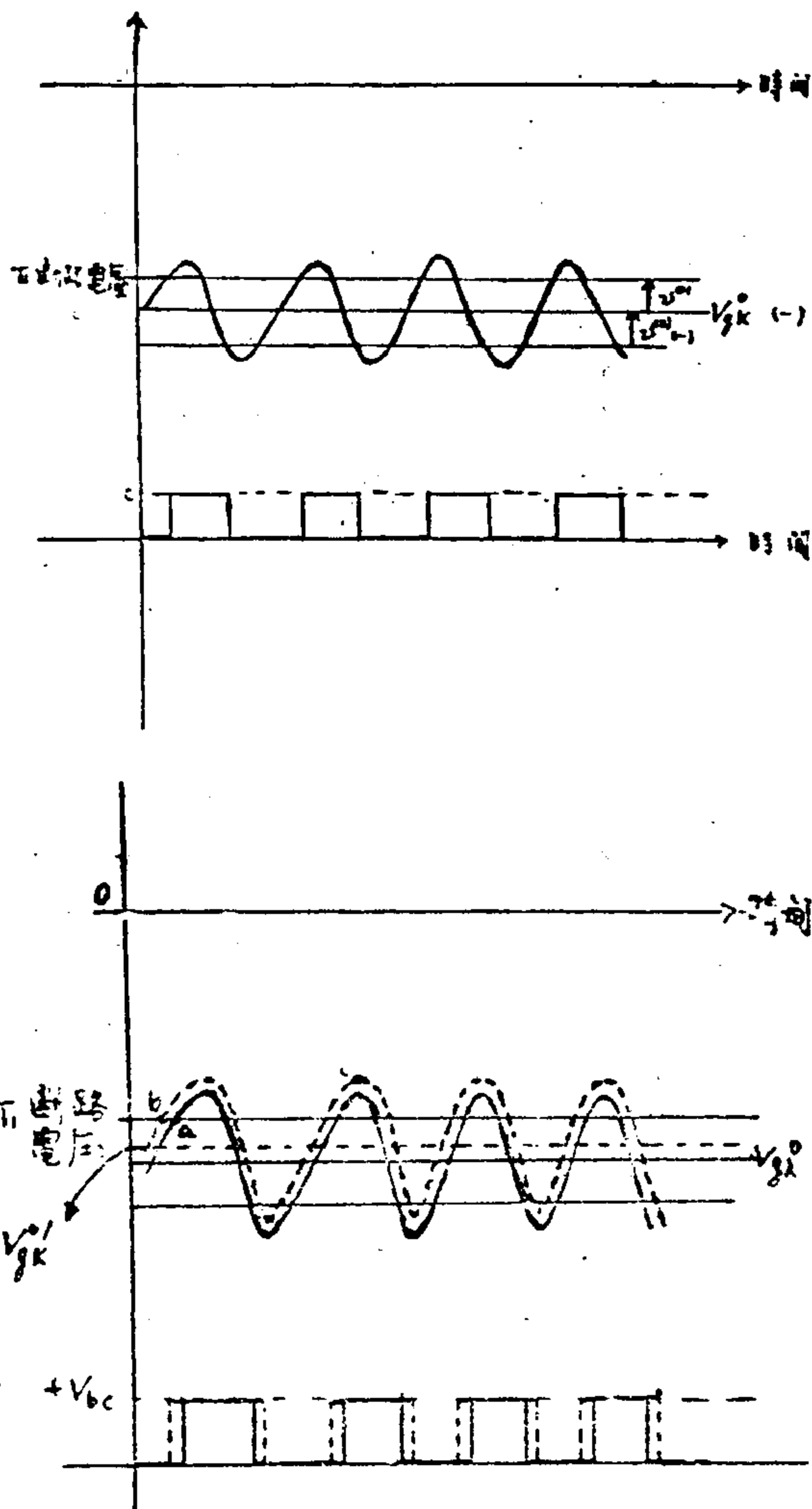
(方形)訊號。進來的訊號經電容器濾掉了直流部分，接進前面一個三極管(T_1)的控制柵極。輸出取自後面三極管的板極。設計時各電阻有適當的配合使兩個三極管不同時有電流。當“Trigger Level”轉離Anto位置，即電路圖上Anto處的兩端接通，電路變或下圖：



平常狀況 T_1 的柵極對陰極電壓 (V_{gk}^0) 小於斷路電壓 (cut-off voltage) T_1 斷路，而 T_2 是通路， T_2 板極電壓也維持一定。當有訊號輸入 T_1 柵極， V_{gk} 變成 $V_{gk}^0 + \nu$ ， ν 是訊號的電壓。如 ν 大至某值 $\nu^{(1)}$ 使 V_{gk} 大於斷路電壓則 T_1 變成通路， I_p 增加， I_k 增加，也就是 T_2 陰極電壓升高，柵極電壓降低，使 T_2 的 V_{gk} 小於其斷路電壓。 T_2 變成斷路，輸出電壓即增至 $+V_{d.c}$ 。相同的， ν 降下至某值 $\nu^{(2)}$ T_2 又變成通路， T_1 斷路。因為可以使 I_1 (表示 T_1 通路， T_2 斷路時的) 小於 I_2 ， V_{k1} (T_1 的陰極電壓在 1 的時候) 小於 V_{k2} ，因此 ν 降至 $\nu^{(1)}$ 時 T_1 並不是斷路，而降至 $\nu^{(2)}$ 才斷路。當然這視電阻間的比例及大小而定。下圖是輸入訊號與輸出的相位關係。

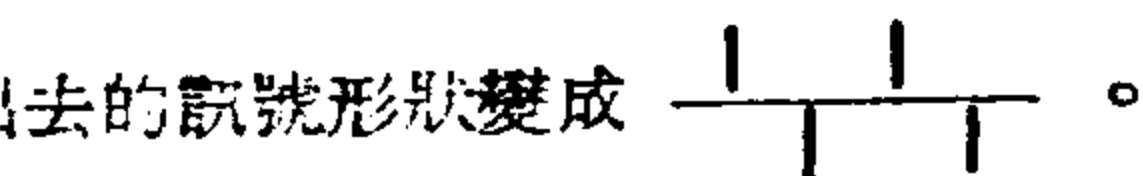
③ Trigger Level:

就是調節 V_{gk}^0 的大小，由右圖知 V_{gk}^0 升高則 $\nu^{(1)}$ 減小。對訊號來說就是它引起輸出訊號上升至 $+V_{d.c}$ 的位置 (相位) 改變 (由 a 變成 b)。當 Trigger Level 轉入 Anto 位置，電路 b 的兩端斷路，這時即使沒訊號進來 R_g 與並聯的電容產生的振盪訊號仍引起方形輸出訊號。因此用示波器時雖沒接進垂直偏向訊號仍



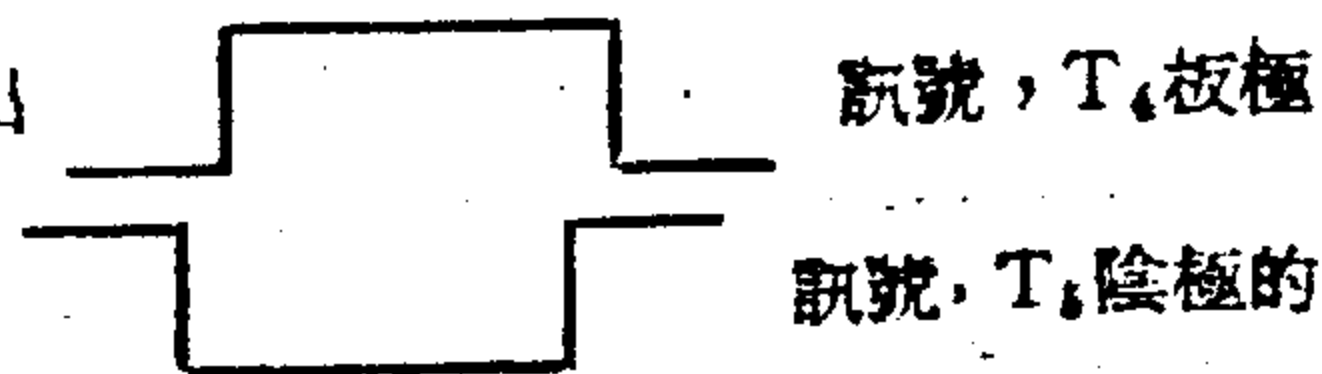
有水平掃描作用。如果有訊號則 $\nu^{(2)}$ 等於零 (可以使 Trigger Level 調至極端時 $\nu^{(2)} = 0$)。這是為了使以後的鋸齒訊號開端與輸入訊號同相位。

④ 當 Trigger generator 的輸出電壓急速上升，電流變化量大線圈上端電壓也馬上增高，但因電容器電容不大所以電容器電量很快飽和，電流變化小而量也小線圈上端電壓亦馬上降下，所以出去的訊號形狀變成



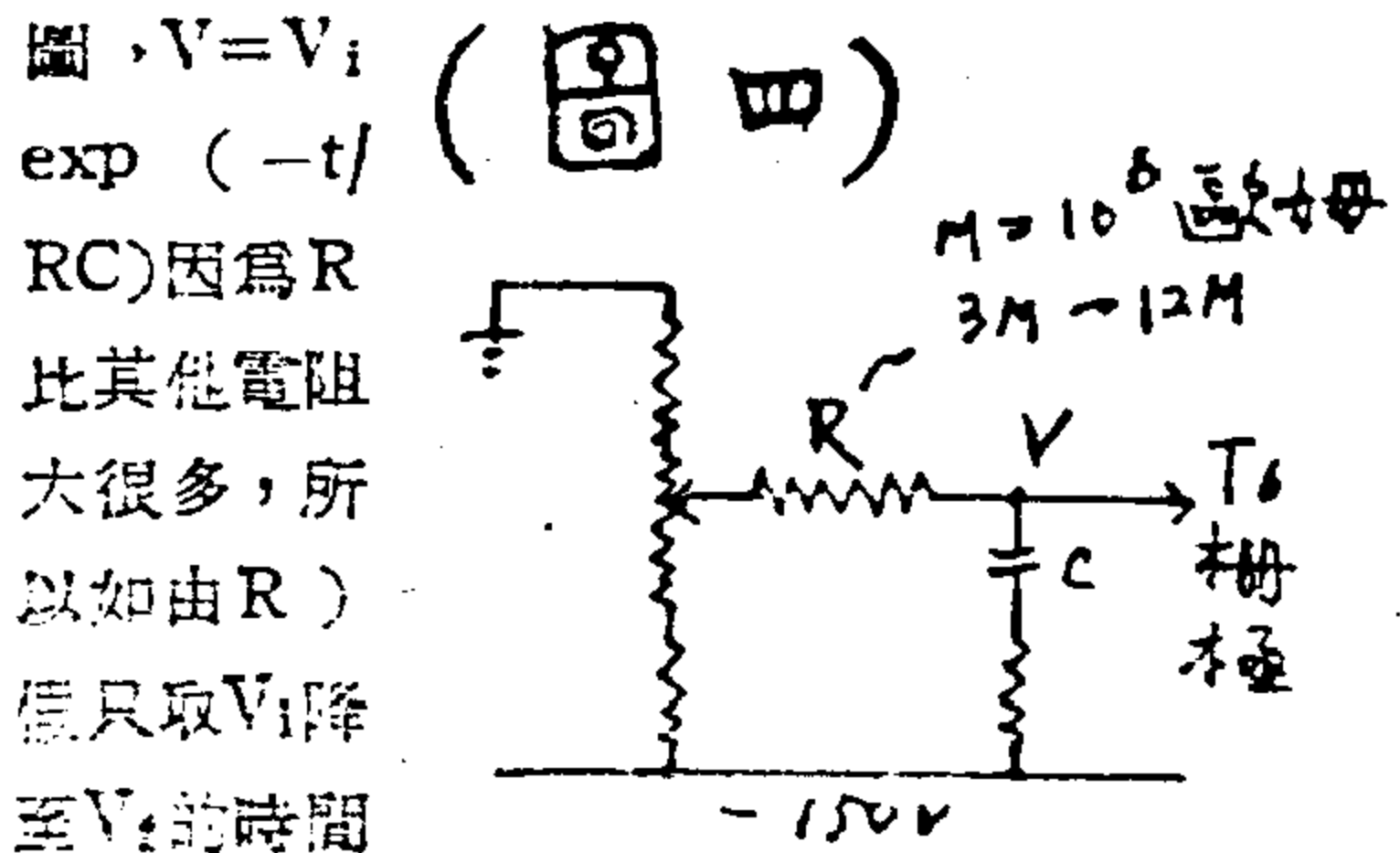
⑤ 又是 Trigger generator:

輸入的訊號來自④及 T_2 的陰極訊號。 T_2 的陰極輸出訊號， T_1 板極輸出訊號， T_1 陰極的



訊號輸入高壓直流電源
 電路然後輸進陰極射線管控制極使在這一段時間使鋸齒形訊號急速下降的部分(亮點往回移動的軌跡)不出現螢光屏。才有電子束。

⑥姑且謂 T_4 板極訊號
 上為“+”，下為“-”。當“+”的時候二極晶體(diod)是通路， T_4 的柵極電壓一定(設為 V_1)板極沒有訊號輸出。可是變成“-”時，二極晶體變成斷路。於是電容器 C 上端的電壓開始降下，降至(設為 V_2)，二極晶體變成通路板極電壓又變成“+” T_4 柵極電壓又回至 V_0 。
 電壓下降時，二極晶體斷路，電路相當右

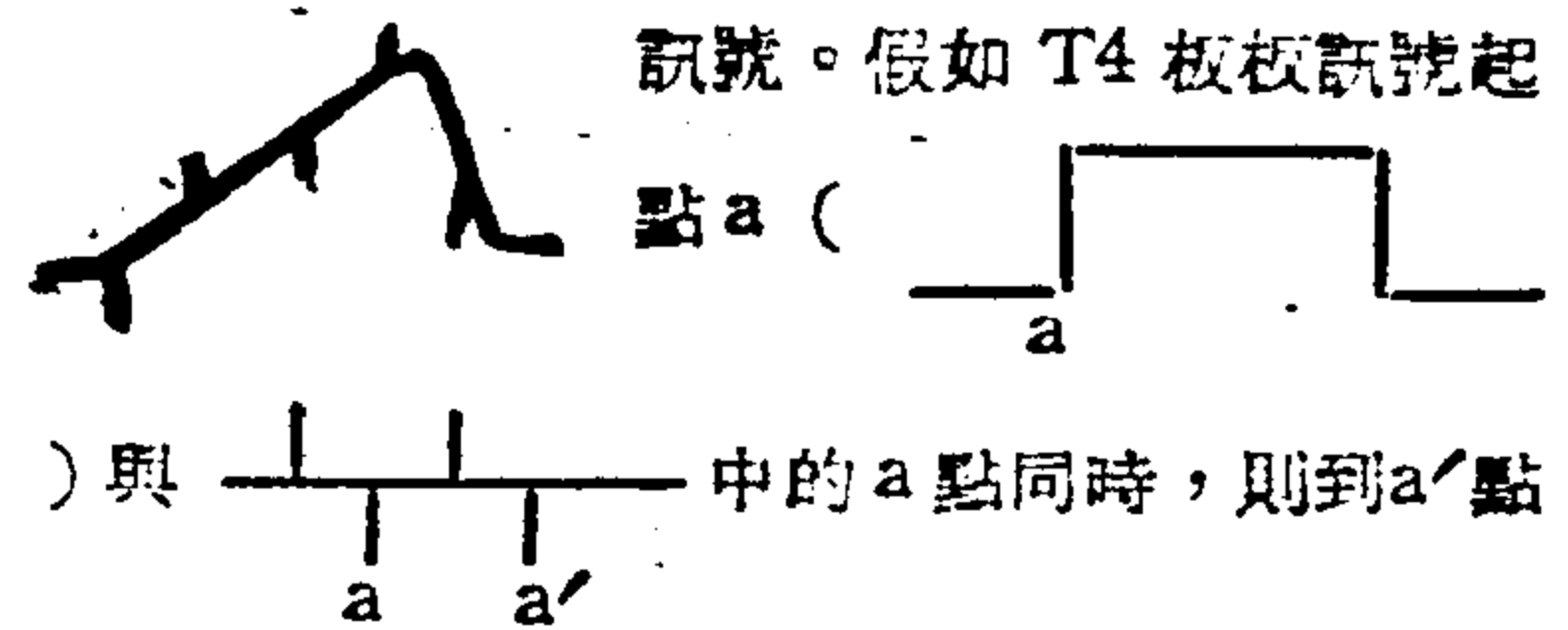


圖， $V = V_1 \exp(-t/RC)$ 因為 R 比其他電阻大很多，所以如由 R) 僅只取 V_1 降至 V_2 的時間
 比 RC 小很多則 $V \approx V_1 (1 - \frac{t}{RC})$ 是下斜的直線，斜率(電壓時變率)等於 $\frac{1}{RC}$ 。從 V_1 降至 V_2 也即需時 $(V_1 - V_2) RC$ 。因此如適當選擇 R, C 既可決定鋸齒訊號週期或一次掃描的時間“Sweep time”選擇開關即是選擇 R 與 C 的組合。

電壓上升時，二極晶體是通路，相當的電路如右：(R 很大，可以看成斷路)，決定上升時間的決定性電阻不再是 R 而是其他較小的電阻，上升所需時間比下降時小很多，上升的訊號可當做垂直的。

因此 T_4 柵極訊號形狀是倒的鋸齒形，由 T_4 及 T_7 放大後變成正的鋸齒形。然後輸到 T_4 陰極， T_4 柵極及水平偏向訊號放大電路。(Sweep output)。

⑦ T_4 決定 T_4 板極“-”“-”差的大小。 T_4 的陰極訊號與③的訊號合成

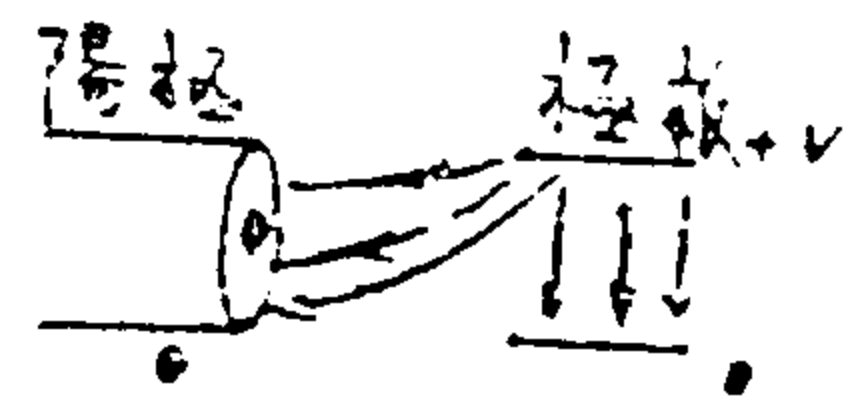


訊號。假如 T_4 板極訊號起點 a () 與 T_4 柵極訊號中的 a 點同時，則到 a' 點，板極訊號還沒從“-”降至“-”，a' 點無從引起另一次上升。要等到這一個鋸齒形訊號達到頂端使“-”降至“-”也就是一次掃描過了然後再出現另一次 a，依次循環下去。螢光屏上始能在一次掃描中前幾個連續運動的垂直訊號軌跡而不只是一個。

T_7 輸到水平訊號放大電路的信號有兩種取法；一種是“x5”另一種“x1”前面一種的電壓是後面一種的五倍。這由電路上電阻的標示馬上可以看出。

示波器最適用於週期性訊號，但是適用的訊號頻率有限制，這是由於訊號放大電路不能放大頻率太高及太低的訊號。遇到這種頻率的訊號，如果振幅够大，可以直接接到陰極射線管的極板上。這樣適用的範圍能够提高。但是兩對極板亦算是電容器，雖然電容很小，遇到很高頻率的訊號，兩對極板也變成通路。另外電子經過極板需要時間這也限制頻率。量度電壓的電子儀器以內阻愈大愈好，示波器的內阻約在幾 M 歐姆(由 hp 120B 垂直系統電路上 Vertical Sensitivity 的選擇電路可以看出大約是 1M)。

應用極板的電場使電子偏向的陰極射線管，極板與陽極相鄰，如極板與陽極有電位差，則其間亦有電場。若兩極板間有電壓而且兩極板的電位都高於(或其一等於)陽極電位，設上面的極板電位較高(如圖)則靠上面的電子增加了一向上的加速度，而靠下面的電子增加的較少，以致造成亮點垂直拉長不能聚焦。補救的方法是兩個極板



一加 $+\frac{V}{2}$ (對陽極) 另一加 $-\frac{V}{2}$ (push-

很大的分辨力。此外，從前用發散的X光 (divergent X-ray) 來放大物體得到的結果不够清楚，分辨力只有 1000Å ，用立體照像術能使分辨力大增。

二、立體照像術能立刻把運動中物體的照片攝下，故能用以研究高速運動的微小粒子的形狀，此為立體照像術在質點大小的測量 (particle-sizing) 上的一項應用。

三、立體照像術能消滅透鏡像差，其法先用底片照一個被像差扭曲的像然後在影像，重現 (reconstruction) 時，將此底片置於攝片時與物體所有的相對位置上，則由像差產生的相差可以抵銷，而得到原物體的形狀。

四、與上同理，一個擋住視線的非透明體對物體的像產生的改變可以由立體照像術消除之。

五、如果你想把一頁書中的字母A全找出來，先做一個A字的底片，則書中A字來的光線和底片上的條紋抵銷，只剩下一個亮點。如每個字母用一種波形則所有書中的字母可以同時認出。

六、立體照像術最重要且應用最多的方面是對物體振動 (vibration) 的測量，一個在共振 (resonance) 中的物體經過立體照像術能使原來靜止的部分 (如節 (node)) 變成白色，運動部分 (antinode) 變成黑色。用這種方法我們曾得到不少令人驚奇的結果，用這種方法我們也有辦法求出此物體的共振頻率，振動波形及振幅。

七、進展方面，現在已有了用三條光線的立體照像術，也就是 3-beam holography (二條參考光線)，這種方法只要一步 (普通立體照像術還要重現的手續) 就能得到像。此外，此法對相位差的靈敏度較高。

八、最近的一項進展能用日光代替雷射使影像重現，因為布拉格反射能選擇光線，若各色光線同時照在底片上，唯一反射的是原來造成底片時用的光線，所以當日光中含有與使用的雷射光相等波長的光時，影像仍可重現。

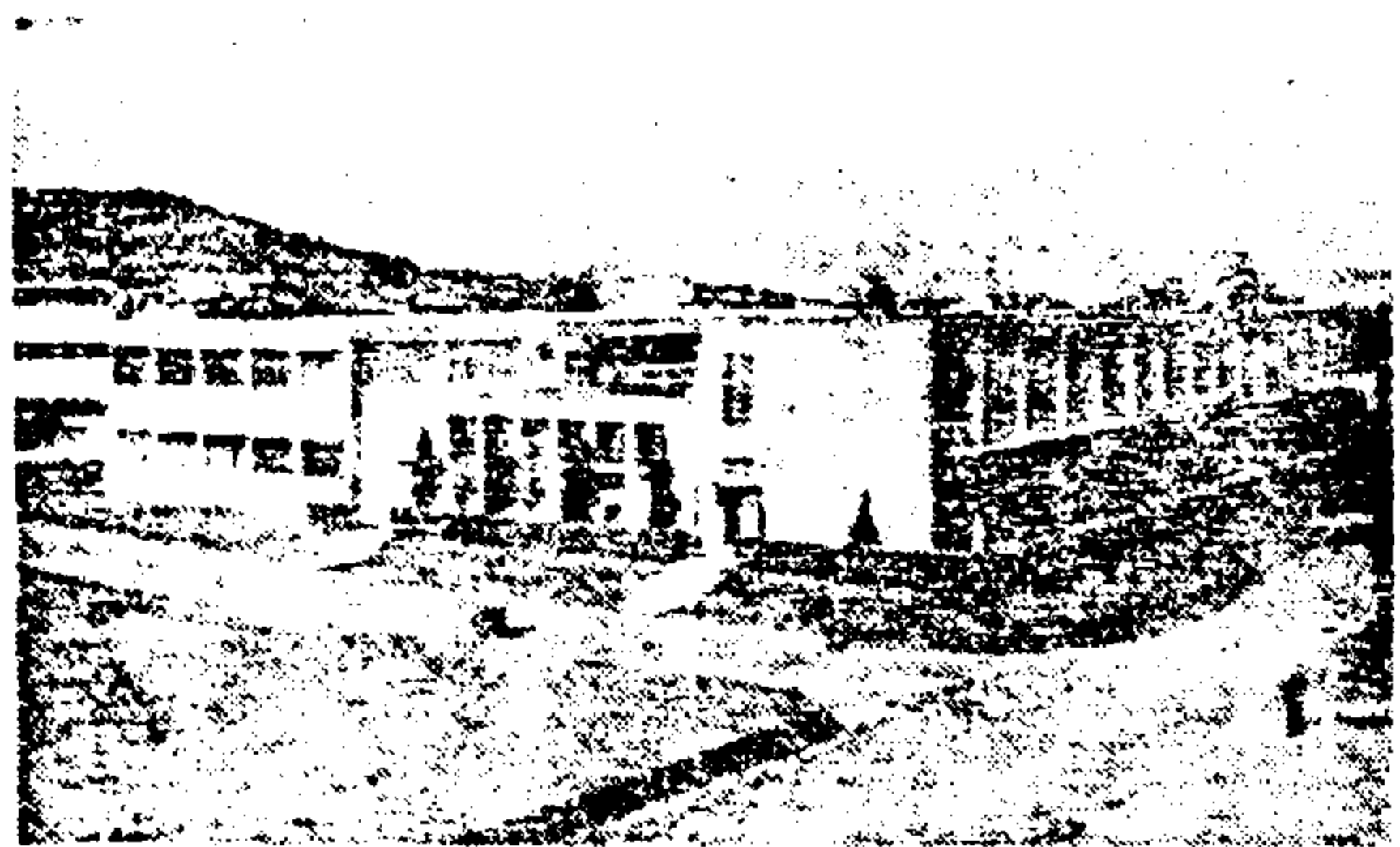
參考書籍

- 一、Wireless World Feb. 1967
- 二、E. Lieth & J. Upatnieks J. Opt. Soc. Am. 52, 1123 (1962)
- 三、同上53, 1377 (1963)
- 四、同上54, 1295 (1964)
- 五、Scientific Research, 1966

上接 41 頁 慣性

的體積卻非常大。例如太陽對慣性所產生的影響不過為全部的一億分之一。因此，重力常數實則告訴我們遠距離 (大於 200 英寸望遠鏡所能看到的距離) 物質的平均密度。

因此如果這些理論屬正確的，則在地球上作簡單的實驗，就能得到有關於遠處物質的資料。這告訴我們可能宇宙對其他的物理現象有重力的影響。例如，電子所帶的電量 (Charge on an electron)，一向被視為常數 (fundamental constant)，像慣性一樣，被認為不受周圍環境的影響。但它很可能是長距離相互作用 (long-range interaction) 的結果。要是原子的性質確實可以遠處決定出來，則遠處物體影響局部性的物理現象 (local phenomena)，這些物理現象又可以供給我們遠處物體的資料。「由一粒沙，而窺大千世界」，科學家們將可由一個原子而知道整個宇宙！



物理館外觀

上接 31 頁 示波器分析

pull)。hp 120B 型的對稱放大電路就是用這種方法。用電場控制電子偏向的方法有上述幾項缺點。因此用在高頻率訊號的示波器改以由線圈產生的磁場來控制電子偏向及聚焦。

一般用的示波器可以量訊號的量，頻率，形狀及與另一訊號的相位關係 (phase difference)。為了適應特殊用途也可以加上特殊設計。為了上幾項用途得有電壓減低，訊號放大電路及鋸齒形訊號發生電路。附帶的，還有低壓及高壓直流電源電路以供給陰極射線管，訊號放大電路及鋸齒形訊號發生電路作用所需的電壓。