

測定強力管靜態特性的一個新方法*

林貽莖

馮秉銓

(中山大學物理系)

(華南工學院電機系)

提 要

利用脈衝技術和陰極射線管柵極調亮法,可以在示波器上描繪出整套特性曲線,特別是正柵區域的特性。這個方法對於強力管的製造廠檢驗所製成品是否合乎規格時會有一些幫助。

一. 引 言

強力管放大器和振盪器的設計,必須以強力管的特性曲線作為開始的基礎。因此,為了設計者的便利,電子管製造廠必須供給整套的靜態特性曲線。強力管的主要區域是正柵區,而這個區域內的特性又最不容易測量。以前所用的一些方法^[1],不是逐點描繪,就是要靠從觀測結果間接畫出曲線,這些方法,儘管準確性相當高,但是費時費事,對於檢查成品之是否合乎規格,顯然是不適宜的。有些廠方,檢查成品時只取工作區中的兩三點來測量一下電壓和電流,這樣很可能掛一漏萬,對於成品的整個工作情形還是不能保證。

本文介紹一種方法,利用脈衝技術和陰極射線管柵極調亮法,可以在示波器的螢光幕上顯示出整套的特性曲線——包括正柵區內的曲線。這個方法對於強力管的檢驗工作,應該有一些幫助。應用時可事先在螢光幕前的膠板上繪出電子管的標準特性曲線,然後把被試管插在儀器上,調節所顯出曲線的亮度、聚焦和位置,便可以很快地試出它是否合乎規格。

本文所介紹的方法,曾由第二作者在 1942 年試用,證明此法可行,但當時所得結果甚為粗糙,未予發表。後於 1948 年由前嶺南大學物理系張翰英同志[†],作為其畢業論文,進行比較細緻的設計,所得結果,頗有改善,但仍嫌不夠準確,不夠

* 1953 年 11 月 5 日收到。

† 現在中國科學院長春綜合研究所。

穩定。最後於 1950 年由第一作者在第二作者指導下將全部設計，從新作過，得出本文所報道的結果。這些結果仍然是初步的，我們所測量的電子管，還是一些小強力管。但是我們相信，根據這些結果，將電路加以必要的適當的修改，這個方法可以應用到任何一種強力管。

在準備本文的前後十一年內，我們看到了一些他處發表的論文。其中也有的是用類似的方法^[2]。但是，根據我們手下所得到的材料，還沒有一篇是能利用到正柵區的，因此我們覺得本文還有發表的必要。

二. 板極特性曲線的描繪

(一) 設計原理

以縱坐標代表板流 i_b ，橫坐標代表板壓 e_b ，以柵壓 e_c 作為參量，在 i_b-e_b 平面上繪出一組曲線相應於不同的 e_c 值，這就是我們要描繪的板極特性曲線。

想在示波器上顯示出這些曲線，要分三個步驟：(1) 在示波器上定出 i_b-e_b 平面，(2) 挑選出相應於幾個固定值的各點，(3) 把這些點安放在 i_b-e_b 平面上，同時除去其他不需要的點。

第一步是定出 i_b-e_b 平面：在電子管的板極上，加一 60 或 50 週的交流電壓，在其柵極上則加一頻率較高的電壓。然後在板路中接一無電感的低電阻（電阻兩端電壓不得超過板壓的百分之一），它兩端的電壓波形將和 i_b 完全一樣。

將此電壓放大後接至示波器的垂直偏轉板。再用分壓器引出一部分板壓，輸入於示波器的橫偏轉板，這樣示波器的螢光幕便成為 i_b-e_b 平面。當未加柵極調亮作用之前，如果輸入柵壓的頻率不太高，則在示波器幕上出現的利薩如 (Lissajous) 圖形將為一系列的線條如圖 1 所示。這些線條的位置是不穩定的，而關鍵就是在於它們的不穩定性（愈不穩定愈好，理由見後述）。當輸入柵壓的頻率漸增時，線條的密度亦漸增，最後在幕上顯出了一個全光的區域，這個區域就是在 i_b-e_b 平面上任意 i_b, e_b, e_c 值的點的軌跡。



圖 1.

第二步和第三步是選擇所要的各點和除去所不要的各點。在幕上，如圖 1 所示的光亮區域，我們可以當它是由許許多多的光點組成的，每一個光點相當於某一定的 i_b, e_b, e_c 值。假如我們在示波管的柵極上先加一適當的負偏壓，使

全部光點消滅，然後當被試管的柵壓變動到某一些適當的數值時在調亮柵極上加一些脈衝電壓，則結果在示波器幕上將會出現一組的光點，這些光點便是相當於在 i_b-e_b 平面上某些一定柵壓的點，而這些光點在 i_b-e_b 平面上所排列成的圖形也就是一組的板極特性曲線。圖 2 示工作簡圖。S 是同步脈衝電壓發生器，用

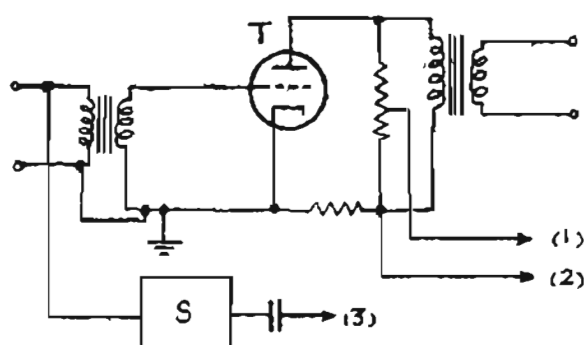


圖 2. (1) 接至橫偏板，
(2) 接至直偏板，
(3) 接至示波管柵極，
T：被試管，
S：同步脈衝電壓發生器，

以產生在時間上很準確的脈衝電壓，這個電壓和被試管的輸入柵壓在時間上的關係如圖 3 所示。圖 3 中脈衝電壓的頻率和柵極輸入電壓的頻率的比為 8:1。如果柵壓為純正的正弦波，則這些脈衝在示波器幕上所產生的光點便相當於在 i_b-e_b 平面上 5 個不同柵壓的點，這些點排列出 5 條板極特性曲線。這些柵壓的數值為

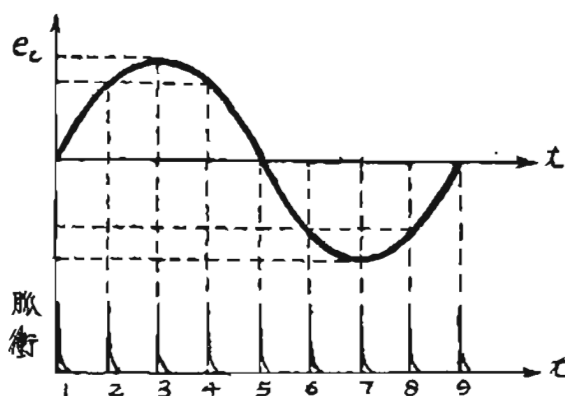


圖 3.

$$e_g = \hat{E}_g \sin \left[\frac{2m\pi}{8} \right],$$

其中 $m = 0, 1, 2, \dots, 8$ 。脈衝電壓的巔值必須大於調亮柵極的負偏壓。

(二) 電路設計要點

電路設計的目的是要在現有材料的基礎上設計一部儀器能描繪出清晰而準確的特性曲線。設計時必須注意：(1) 被試管的柵極輸入電壓必須是個優良的正弦波；(2) 脈衝電壓的延續時間必須非常之短；如脈衝延續時間太長，則示波器幕上所產生的光點的半徑必然太大而所描繪的曲線必然太粗；(3) 應該注意到：電壓經過放大器放大後，必定會產生位相移，結果在圖 3 中八個脈衝電壓便不祇相當於五個不同的 e_c 值，因為位相移的值並不很大，其結果並不是增加所產生特性曲線的數目，而是加大了每條線的寬度(靠得很近的兩條線)。

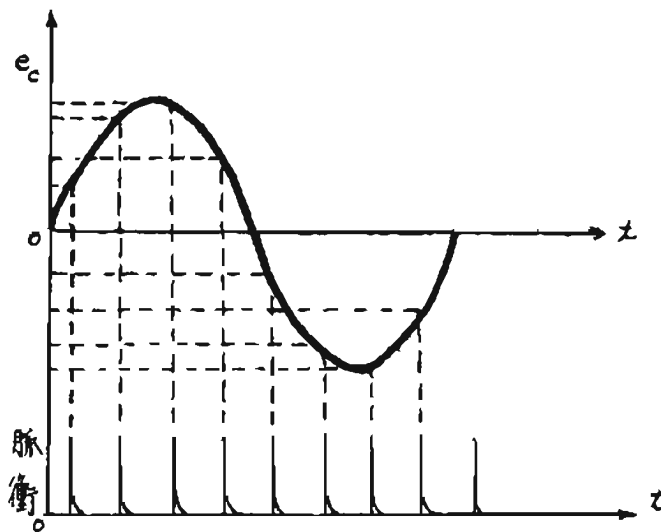


圖 4.

因此，按照上述數點，電路的主要設計可分為三部分。

1. 振盪器的設計：爲着使所產生的特性曲線易於校準和脈衝電壓的時間易於控制，輸入於被試管的柵壓必須是優美的正弦波，而且須有極穩定的振幅和頻率。這些條件用普通的 RC 耦合式音頻振盪器即可滿足。振盪器的輸出必須先經過功率放大器或陰極耦合器，然後輸入於被試管的柵極。因爲我們要取得正柵區內的特性曲線，所以被試管的工作情況不是屬於甲類的。如果音頻放大器和被試管之間不放一個適當的緩衝器的話，那麼便會因爲有柵極削波效應的緣故而使輸入的波形產生變易，同時使振盪器的穩定性受到很大的影響。輸入電壓的頻率愈高，則圖 1 中的線條便愈密，因而所得到的特性曲線愈明，但是如果頻率太高，則同步脈衝電壓發生器的設計及裝置技術便較困難，在這實驗中所採用的頻率是 4 KHz。

2. 同步脈衝電壓發生器的設計：這部分是全儀器關鍵部分，這部分設計的好壞，直接決定實驗結果的良否。這發生器的目的是要產生與被試管柵壓同步的高頻脈衝電壓，其結構可分為脈衝電壓發生器和同步裝置兩部分。

脈衝電壓發生器：脈衝電壓的頻率要看被試管柵壓頻率和所需要產生的特性曲線的條數而定。在這個實驗中我們所用的柵壓頻率是 4 KHz，要產生五條至六條的特性曲線，所用的脈衝電壓頻率是 48 Kpps。在這儀器中所需要的脈衝電壓的延續時間不能超過幾個微秒。可用在這儀器中的脈衝電壓發生器有兩種：一種是閉塞振盪器，它產生高功率的延續時間約為 1 微秒的脈衝電壓，但是它的零件的設計比較困難，而且我們所需要的並不是高功率，而只需要其電壓，所以在我們現有的情況不很適用。另一種是產生脈衝電壓的網絡 (P. F. N.)，這種網絡是普通的人工傳輸線，它可分為開端與閉端兩類。在柵路中宜用開端類的網絡，在板路中則用閉端類的網絡比較適宜。在這實驗中我們是採用了後一類。其簡單結構圖形如圖 5，網絡是接在矩形電壓發生器的板路中，當有一不連續的電壓或方形波輸入於這網絡中時在網絡的兩端，便有脈衝電壓產生，它們之間的關係如圖 6，圖 6 甲是多諧振盪器 (M. V.) 的輸出電壓，圖 6 乙是當圖 5 中

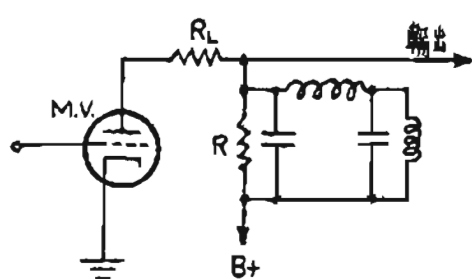


圖 5.

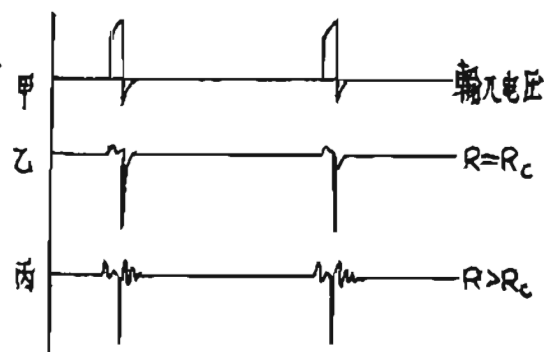


圖 6.

與網絡並聯的電阻 R 的數值與網絡的特性電阻 R_c 相等時，網絡兩端的輸出脈衝電壓的波形。在這裏應當注意的是：脈衝電壓的巔值和延續時間與輸入電壓的變化率（即 de/dt ）和電波在網絡中來回一週所需的時間 $\delta = 2\sqrt{lc}$ （其中 l 為網絡的串聯感抗， c 為並聯電容）有着密切的關係。在這裏因為多諧振盪器所輸出的矩形波的前緣的電壓變化率很小，所以在圖 6 乙中可以看出：相當於前緣電壓變動的脈衝電壓的巔值很小而且其延續時間較長。矩形波的後緣的電壓變化率很大，所以在圖 6 乙中相當於這變化的脈衝電壓的巔值和延續時間均

能達到所要求的標準(延續時間主要是由 δ 值的大小決定的,普通能產生 0.5 至 5 微秒的脈衝電壓)。這些負值的脈衝電壓經 6AC7 管放大後便成為我們所需的相當強的正脈衝電壓。圖 6 丙所示是當 R 大於 R_c 時網絡兩端的電壓的波形,它是阻尼振盪的形式。這部分設計的簡單圖形如圖 7 所示。

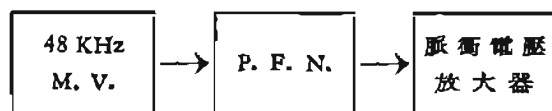


圖 7.

同步裝置是使脈衝電壓發生器的工作和被試管的柵極輸入電壓能夠相配合的裝置,使在被試管柵極輸入電壓的每一週中,脈衝電壓所相應的柵壓數值都相同。裝置的簡單圖形如圖 8 所示。主要的原理是用 R. C. 振盪器的輸出電壓來控制脈衝電壓發生器。脈衝電壓的頻率和產生的時刻是由圖 7 中的 48 KHz 多諧振盪器 (48 KHz M. V.) 來決定的。R. C. 振盪器的頻率比脈衝電壓的頻

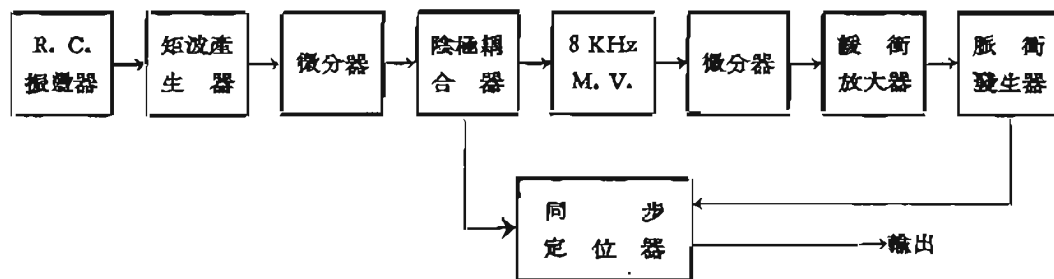


圖 8.

率小了 12 倍,所以想利用它的輸出來控制 48 KHz 多諧振盪器是非常困難的。因為 48 KHz 的矩形波之間相隔的時間為 20.8 微秒,因此用來控制它的脈衝電壓的延續時間須不大於 5 微秒,才能使控制作用夠靈敏。但是 R. C. 振盪器的輸出,經一級飽和三極管削波器後所形成的矩形波,微分後所得的脈衝電壓的延續時間為 10 微秒。所以在這裏只好用間接的控制法:先用這些脈衝電壓來控制一個 8 KHz 的多諧振盪器,然後利用這振盪器所產生的矩形波經微分後所得到的脈衝電壓來控制 48 KHz 振盪器。在每個微分器和被控制的振盪器之間必須加一級緩衝放大器,使上下兩級不至互相擾亂而影響輸出波形。

3. 同步定位器: 在圖 3 中所說明的輸入柵壓與脈衝電壓時間上的關係是在理想情況下的關係,當兩者頻率都很低,而且在時間關係的準確度要求不十分嚴格的情況下,可以說是對的。我們可以說在柵壓正弦波的第一和第二,第三

和第四 $\frac{1}{4}$ 波中間的脈衝電壓相應的柵壓數值相同，即圖 3 中的 1, 2 與 5, 4 相同，5, 6 與 9, 8 相同。而在實驗情況下，它們之間都不相同，其關係是如圖 4 所示。這將影響所產生的特性曲線清晰的程度。如果我們把脈衝發生器的輸出通過一個同步削器，除去在第二和第四 $\frac{1}{4}$ 波中的脈衝，那麼便可以使所產生的特性曲線更為清晰。

同步定位器的電路圖形如圖 9 所表示。當沒有負電壓輸入時 A 點的電位不變，即沒有交流電壓輸出。當輸入的負電壓使定位器的電流等於零時， A 點的

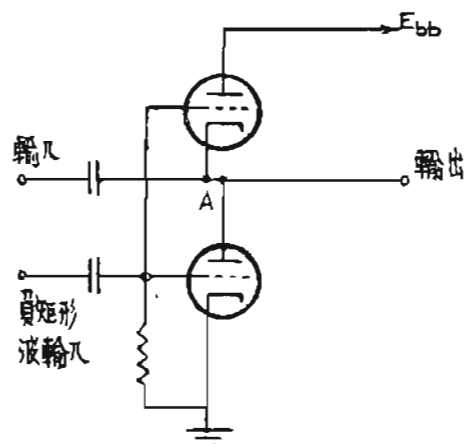


圖 9.

電壓，即輸出電壓，與輸入電壓相同。如果用圖 8 中的 8 KHz 多諧振盪器的輸出來控制這定位器，便可以得到上述的結果。被試管的輸入柵壓，8 KHz 多諧振盪器輸出（即定位器的控制電壓），和輸出脈衝三者之間的時間關係如圖 10 所表示。

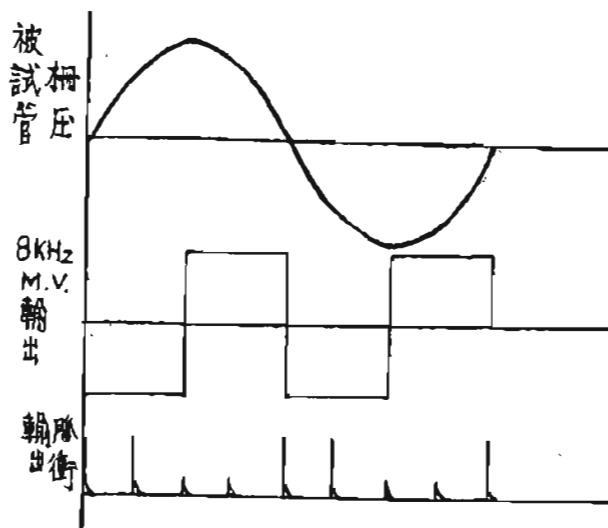


圖 10.

(三) 實驗結果

實驗所設計出的全部圖形如圖 11 所示。所描繪出的特性曲線如圖 12, 13, 14, 15 所示。

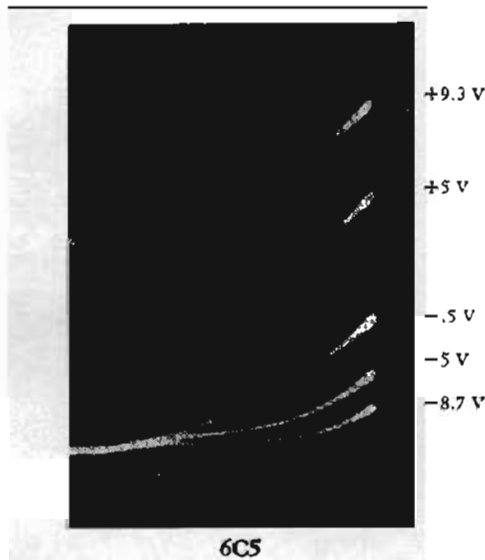


圖 12.

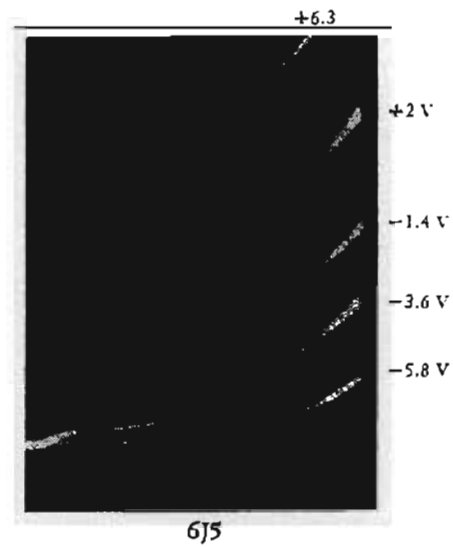


圖 13.

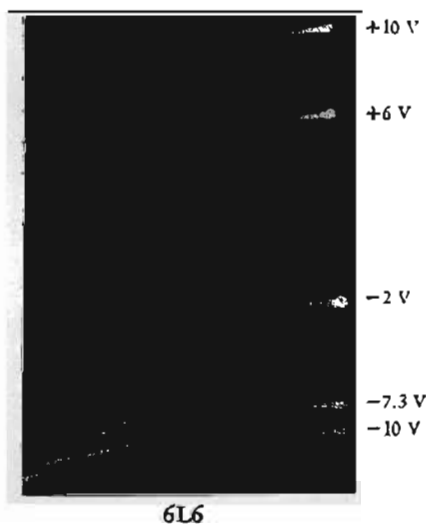


圖 14.

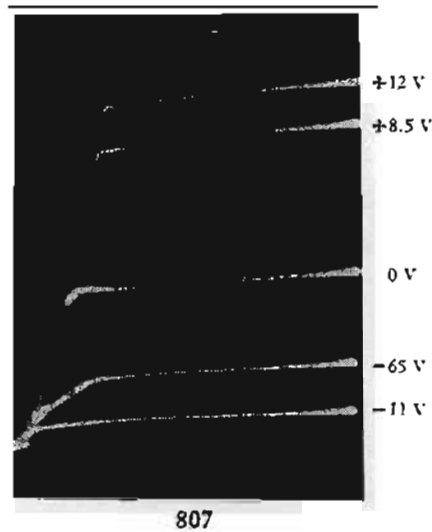


圖 15.

三. 等流特性曲線的描繪

(一) 設計原理

在示波器上描繪等流特性曲線的原理與前節所述的原理相似。以被試管的板壓和柵壓輸入於示波器的縱和橫的偏轉板極上。先在示波器的螢光幕上作出

一個 $e_b - e_c$ 平面, 再在調亮柵極上加一負壓, 使全部明亮的平面熄滅, 然後當板流變到一定的數值時, 在調亮柵極輸入強脈衝電壓, 使在 $e_b - e_c$ 平面產生許多光點. 這些光點即在 $e_b - e_c$ 平面上, 相當於某些板流值的點, 在 $e_b - e_c$ 平面上它們將自動排列成幾條曲線, 即等流特性曲線.

產生相應於某些一定的板流值脈衝電壓的方法可有兩種: 一種是應用選流器. 先把串聯在板路中的無感低電阻兩端的電壓放大後, 通過一個以階形電壓控制的可變水平削波器和一個固定水平削波器, 削波後, 再經過放大和微分, 便可以得到我們所要求的脈衝電壓. 但是這個方法, 在南方因天氣潮濕, 電容很難保持完全不漏電, 所以所產生的特性曲線的位置極不穩定. 另一種方法是利用位相移. 在設計極好的電路中都免不了位相移. 在設計精密的儀器時它是最傷

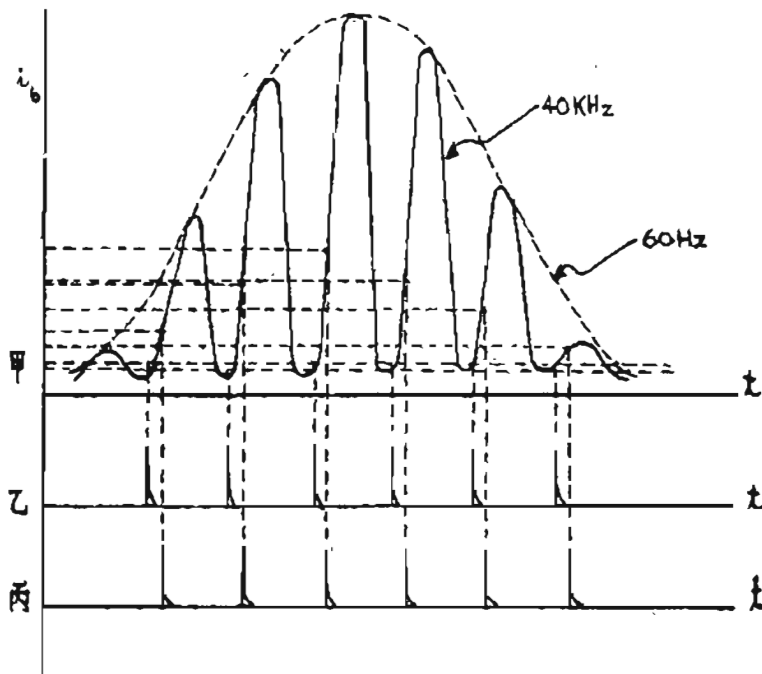


圖 16.

腦筋的東西. 但是如果我們能好好地掌握它的規律也可以省了許多設計上的麻煩. 把代表板流的電壓放大後, 經兩個削波水平不同的 (相差很少) 削波器削波後, 再經放大及微分後而形成一系列的脈衝電壓. 在沒有位相差的情況下, 這些脈衝相應於同一的板流值. 如圖 16 乙中所示. 但是在有位相移的情況下, 這一組的脈衝全部向後移, 而它們之間的相對距離仍保持不變. 在這情況下這組脈衝所對應的板流數值就不只一個, 而是如圖 16 丙所示. 這組脈衝電壓便可以

用來作描繪等流特性曲線的工具。

(二) 電路設計要點

全部電路設計除脈衝電壓產生器外其他均與上一節相同，不過在這裏的被試管的柵極輸入電壓的頻率加大了十倍。脈衝電壓產生器的簡圖如圖 17 所示。全電路分為削波器，脈衝電壓產生器及同步定位器等三部分。

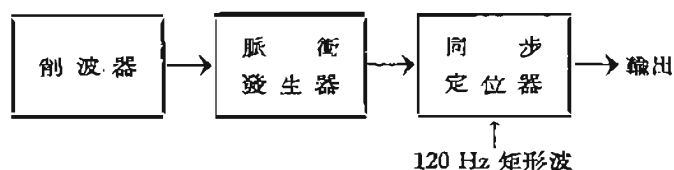


圖 17.

削波器是由兩個放大器和兩個兩極管削波器構成的。它的任務是把板流的波經放大，削波，再放大而成為一組不均勻的矩形波。這些矩形波的前緣和後緣在時間軸上的位置是在當板流變化到一定值的地方。

脈衝電壓產生器是由微分器，推動多諧振盪器 (D. M. V.)，產生脈衝電壓的網絡，和脈衝電壓放大器等構成。它的電路簡圖如圖 18 所示。這部分電路的

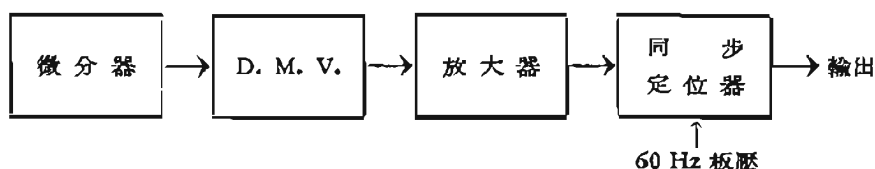


圖 18.

任務是把上述的矩形波微分使它成為一系列的脈衝電壓，同時加以適當位相移。矩形波經 R. C. 微分器後便形成一系列的脈衝電壓，改變微分器中電阻 R 的數值便可以調節位相移的多寡（調節位相移還可以用連續位相調節器可能更為有效）。但是只用這些方法所產生的脈衝的延續時間太長，所以這些脈衝只用作控制下一級的脈衝電壓產生器之用，這產生器是由一個推動多諧振盪器和網絡組成。推動多諧振盪器的電路圖如圖 19 所示，是由兩個真空管 V_1 及 V_2 組成，當沒有輸入脈衝電壓時，其中 V_2 為絕流管 V_1 為導電管，在 V_2 的板路上串聯一個網絡，當有脈衝電壓輸入時，在兩管之間產生了一種再生的轉換作用，這時 V_2 便有強的負方形波輸出，而在網絡的兩端便有合乎所要求的脈衝電壓產生，這些脈衝產生的時間與輸入的相同而符號相反。這些脈衝經一級放大後，即成為

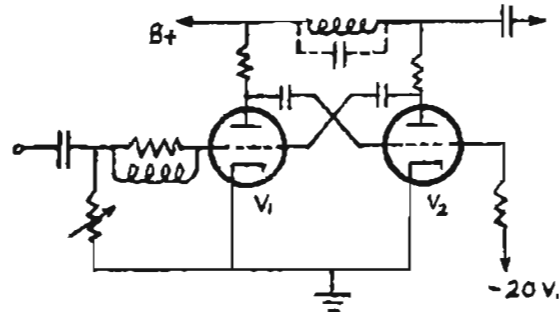


圖 19.

我們需要的脈衝。這些脈衝電壓還不能直接應用，因為在圖 16 中我們很明顯地可以看出，在 60 Hz 板壓的第二及第四 $1/4$ 波中的脈衝應用起來是利少害多的，所以在這實驗中也是和前一節用同步定位器把它除去。全電路的簡圖如圖 20 所示。

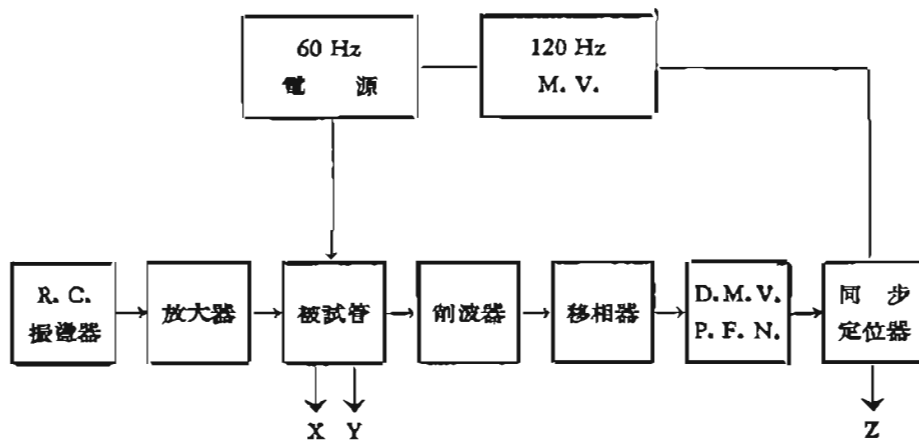


圖 20.

(三) 實驗結果

設計出來的全部電路如圖 21 所示。描繪出來的結果如圖 22, 23, 24, 25, 所示。

華南工學院電機系楊國雄同志校閱本文並協助繪製文中的插圖，作者於此表示感謝。

參 考 文 獻

- [1] 例如 Chaffee, E. L., The operating characteristics of power tubes. *J. Appl. Phys.*, 9 (1938), 471.
- [2] Webking, H. E., Producing tube curves on an oscilloscope. *Electronics*, Nov. 1947, p. 128.

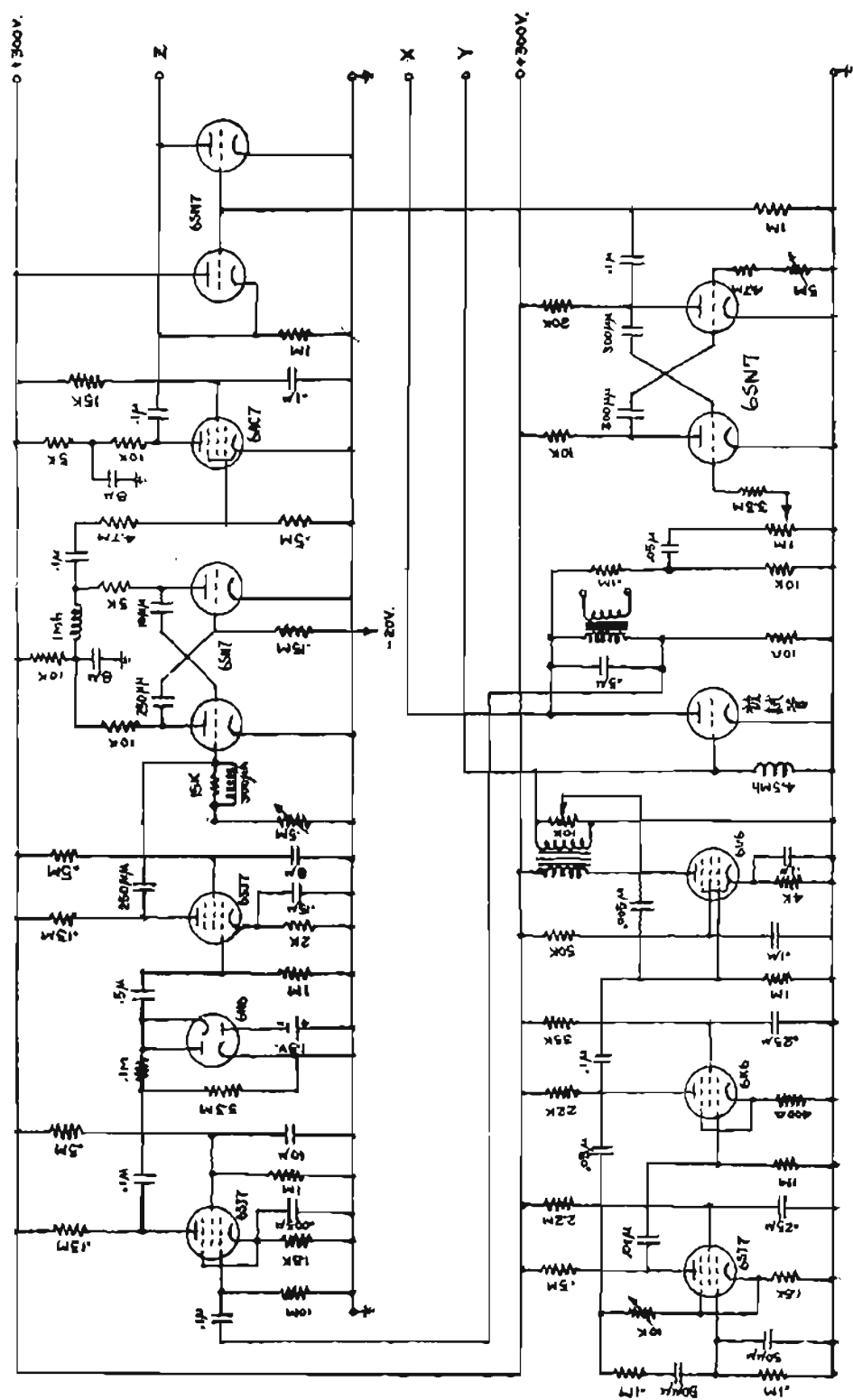
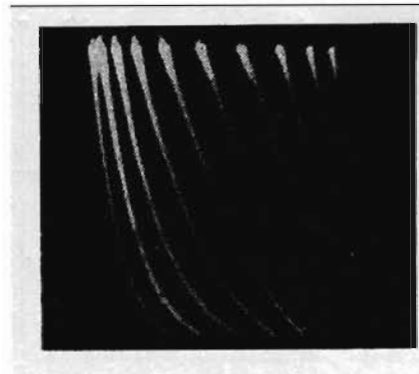


圖 21.



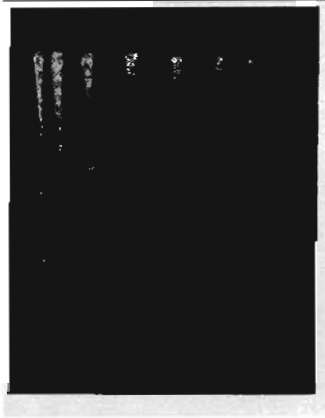
6C5 $E_b=250V$.
 $E_c=5V$.

圖 22.



6J5

圖 23.



6F6

圖 24.



807

圖 25.

A NEW METHOD OF DETERMINATING THE STATIC CHARACTERISTICS OF A POWER TUBE

LIN YI-KUN

(Department of Physics, Sun-Yat-Sen University)

And

FENG PING-CHUAN (PING-CHUAN FENG)

(Department of Electrical Engineering, South China Polytechnical Institute)

ABSTRACT

This paper presents a method by which a complete set of static characteristics of a power tube, including that of positive grid region, can be seen all at once on the screen of a cathode ray oscilloscope. Use is made of pulse-technique and intensity modulation of a cathode ray tube. Circuits are given and explained for observing plate characteristics on the plate current-plate voltage plane as well as constant current contours on the plate voltage-grid voltage plane, the former being shown in fig. 11 and the latter in fig 21. It is believed that the method here described will be of some help to tube manufacturers.