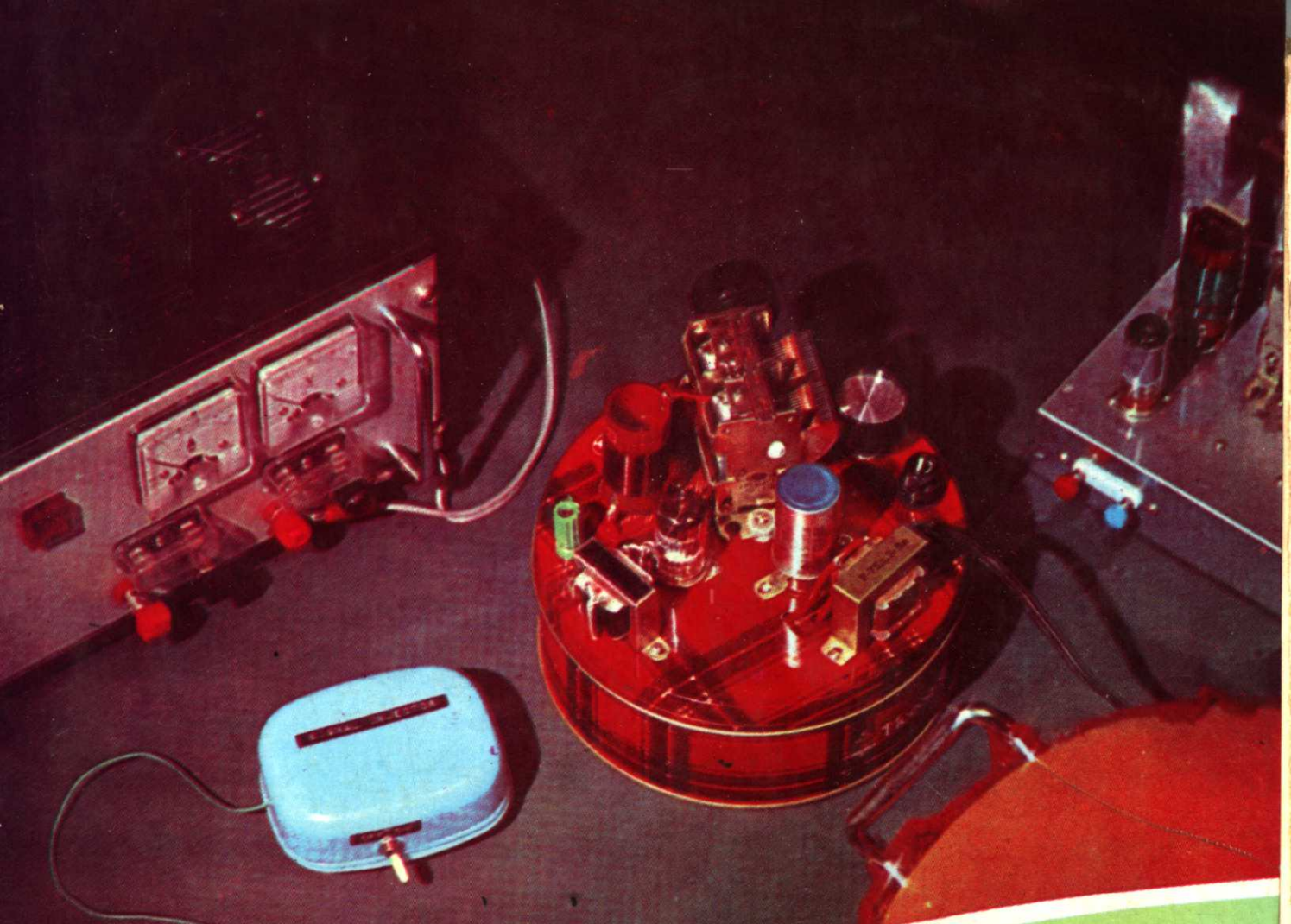




MAKE YOUR OWN
TEST INSTRUMENTS

自製電子儀器

黎華添編著·香港萬里書店出版

自製電子儀器

黎華添編著

香港萬里書店出版

自製電子儀器

黎華添編著

出版者：香港萬里書店

北角英皇道486號三樓

(P. O. BOX 15635, HONG KONG)

電話：H-712411 & H-712412

承印者：劭華文化服務社

九龍觀塘偉業街一一六號二樓

定價：港幣八元六角

版權所有 * 不准翻印

(一九七四年三月印)

前 言

裝製及修理無線電機，往往需要使用各種儀器進行測試。電子儀器可說是業餘無線電愛好者的得力助手。電子儀器所包括的範圍很廣，一般市售品價格都很昂貴，並非一般業餘無線電愛好者所能負擔。因此，自己動手裝製實在是個好辦法。通過裝製，既可了解儀器的結構性能，又合符經濟原則。

筆者為滿足讀者要求，特將自己多年來裝製電子儀器的經驗心得，編寫成書。全書介紹的常用儀器有二十餘種，如示波器、音頻訊號產生器及諧振頻率測量器……等。

由於經驗所限，書中缺點和錯誤在所難免，尚望高明多多賜教是幸。

黎華添 1970年冬

目 次

前 言

1. 晶體管式阻抗表·····	1
2. 晶體管電壓表·····	7
3. 電子管電壓表·····	14
4. 音頻功率表·····	22
5. 晶體管式 AC 毫伏計·····	25
6. 簡易小容量計·····	30
7. 直流低電壓穩壓電源·····	35
8. 電感測量儀·····	41
9. 真空管式毫伏表·····	49
10. 晶體管參數測量器·····	55
11. 射頻訊號產生器·····	61
12. 高精確度低容量測量儀·····	67
13. 示波器製作之一·····	71
14. 示波器製作之二·····	78
15. 低頻訊號產生器·····	89
16. 音頻頻率測量器·····	95
17. 晶體管式 RC 電橋·····	101
18. 諧振測量器·····	107
19. 擺頻訊號產生器·····	112

20. 晶體管最高振盪頻率測試器.....	120
21. 五吋大型示波器.....	124
22. 示波器用電子開關.....	137

1. 晶體管式阻抗表

對於一位從業或業餘的無線電愛好者來說：知道耳機、揚聲器、低頻扼流圈及變壓器的交流阻抗往往是很有需要的。這裏介紹的晶體管阻抗表也可以用來檢查上述的零件有無內部短路，還可以測量有線廣播綫路的負載阻抗（輸入阻抗）、用戶綫的負荷情況以及其他交流阻抗。



圖 1-1

圖 1—1 是晶體管式阻抗表 (Transistorize Impedance Meter) 的實物攝影圖。

這隻阻抗表，其測量分為低阻及高阻兩檔，低阻為 $0 \sim 200 \Omega$ ，高阻是 $0 \sim 50 K \Omega$ ；它能較為準確地測量幾 Ω 到上萬 Ω 的阻抗值。它的線路結構如圖 1—2 所示，基本上由兩部份組成，一部份是 1000 Hz 的交流訊號源，包括一級音頻振盪和乙類推挽電力放大；另一部份是測量電表，但表面刻度為 Ω 值。全機主要材料是三隻晶體管：2SB75 一隻及 2SB77 兩隻。兩隻晶體管收音機用的輸入及輸出變壓器，輸入變壓器鐵芯規格是 EI-19，其阻抗比是 $5 K \Omega : 2 K \Omega$ (不很嚴格)。輸出變壓器較特別，下文再述。電源用 6V 電池。由於測量時間通常很短，用電很省，用四隻三號電池 (UM-3) 則可以用數月而不需更換。

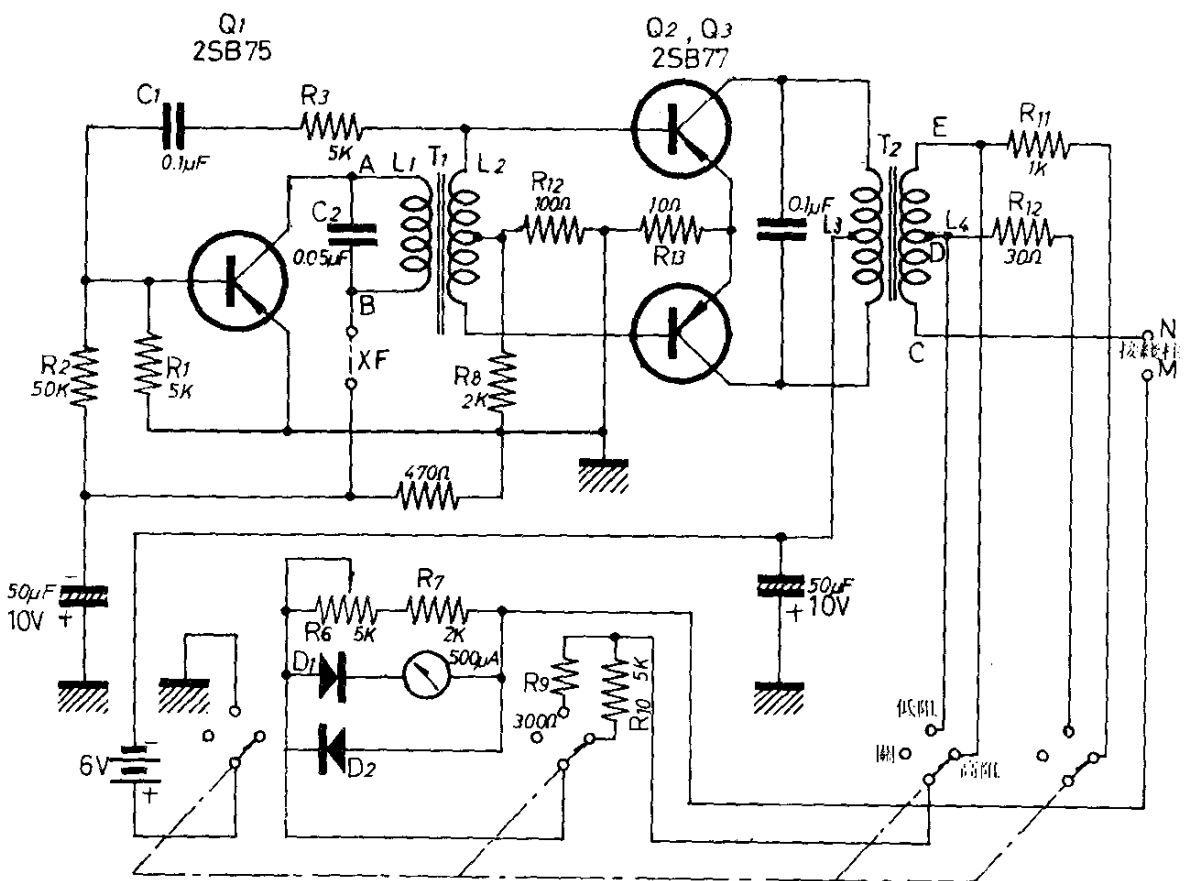


圖 1—2 晶體管阻抗表的電路圖

工作原理

晶體管 Q_1 (2SB75) 担任音頻振盪，其共發射極電流放大係數 β 值只要大於 50 便可。振盪頻率主要由 C_2 、 T_1 決定， R_3 和 C_1 對它也有影響。由於繞組 L_1 的自感量因所用的變壓器不同，出入很大，而晶體管的工作狀態對頻率影響也較大，圖 1—2 中 C_2 的數值只供參考，實際數值要試驗後才能確定。從變壓器 T_1 的次級取一個訊號電流回輸到 Q_1 的基極，如果相位和大小都適合（構成正回輸）的話，就發生音頻振盪。 R_3 用來控制正回輸的強弱，阻值隨 Q_1 的 β 值而異。 R_2 是偏流電阻，它決定集電極電流的大小，也要根據 β 值而試驗確定（因為晶體管的參數不很劃一，就算是同一編號， β 值也有差異）。

T_1 既是振盪變壓器，又是末級的推動變壓器，規格可依下列的資料繞製，也可以找隻 6V 收音機的輸入變壓器直接代替。鐵芯用截面積為 8×12 或 10×10 平方毫米 (mm^2) 矽鋼片交插，漆包綫用 0.1mm 直徑的 (SWG 42 號)，初級 L_1 繞 1000 圈，次級 L_2 共繞 800 圈，有中心抽頭。鐵芯也可以用 EI—24 這一類通用規格代替。

Q_2 和 Q_3 組成乙類推挽放大，和一般晶體管收音機的末級完全相同。輸出變壓器 T_2 的初級 L_3 用 0.12 mm (SWG 40 號) 直徑的漆包綫繞 640 圈，中心抽頭。次級 L_4 的 C、D 段用 0.3 mm (SWG 30 號) 漆包綫繞 150 圈，DE 段用 0.13 mm (39 號) 漆包綫繞 850 圈，矽鋼片鐵芯與 T_1 相同。四刀三擲開關可用小型的三波段收音機用的波段開關。

電表部份的工作原理，我們可以把晶體管輸出端看作一個交流電源，當開關位於高阻擋時，得出圖 1—3 的等效電路，可見電表部份只是一隻普通的交流電壓表，用來測量 R_{11} 上的交流電壓。由於電池日久電壓會降低，影響晶體管的輸出電壓，同時晶體管本身也容易受溫度影響，輸出電壓不能保持恒定，要用 R_6 來調整電表零點，它相當於萬用電表的零 Ω 調整。這裏用的表頭是 $500 \mu\text{A}$ 的，內阻約 100Ω 。改用靈敏度較高的電表時，可以適當加大 R_9 和 R_{10} 阻值。 D_1 和 D_2 是鍍質二極

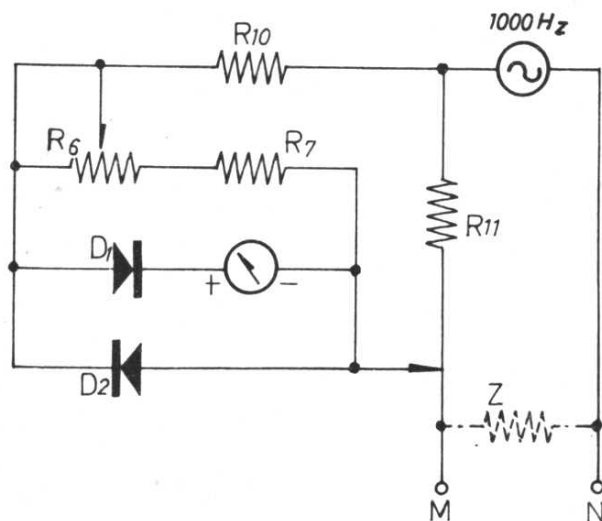


圖 1—3 測阻抗時的等效電路

管 1N34A。

當圖1—2 m,n 兩點短接(兩試筆相接),這時電壓降全部落在 R_{11} 上, 可以調整 R_6 使電表指針指到滿讀度。當 m、n 間改接被測阻抗分去部份電壓時, R_{11} 上電壓降比前小了一些, 電表就指示在低一點的地方。可見只要把電表刻成歐姆 (Ω) 讀數, 就可以方便地讀出被測 (Ω) 的值。不過這裏和一般 Ω 表也有不同的地方, 在晶體管的負載改變之後, 輸出電壓也跟着改變; 又由於晶體管輸出電壓不大, 電表的串聯電阻較小, 整流二極管 D_1 的非綫性影響很大, 因此不能用計算的辦法來刻度。

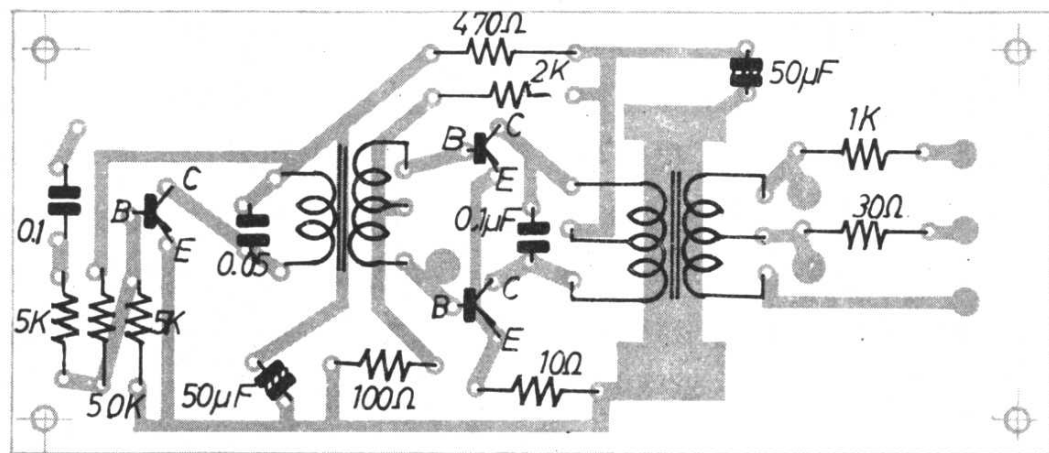


圖 1—4

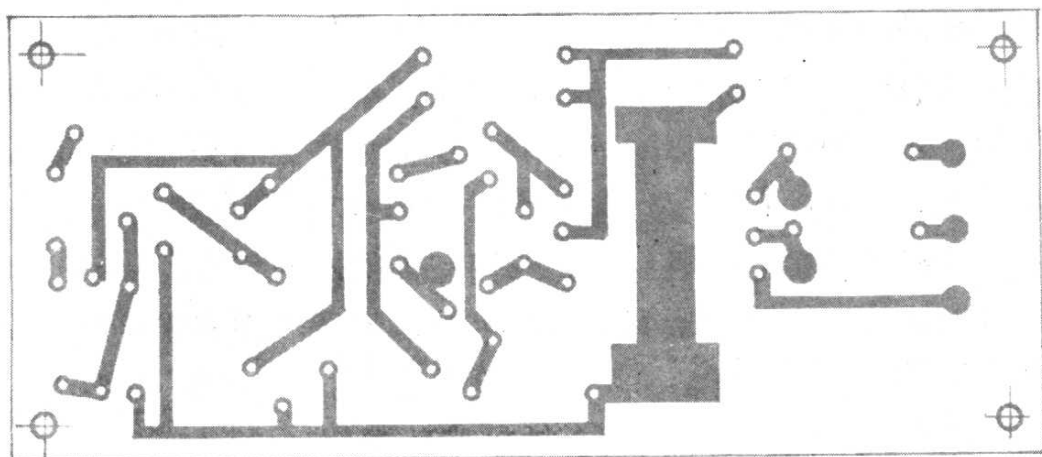


圖 1—5

爲了方便讀者仿製起見，圖 1—4 和圖 1—5 是印刷底板的參考圖。

調整和表面刻度

第一步先調整偏流電阻。調整推挽級的 R_8 時，要斷開 Q_1 (F 點)的電源，使推挽級在無訊號時集電極電流爲 $2\sim 4\text{ mA}$ 。然後恢復接通 F 點，調 R_2 使 Q_1 集電極電流爲 $2\sim 3\text{ mA}$ 左右。隨後檢查推挽級有訊號時的直流電流。當把 m 、 n 短接後，無論在低阻擋還是在高阻擋，集電極電流不要超過 30 mA ，以維持在 25 mA 左右較爲適合。 m 、 n 短接開關位於低阻擋時，用萬用表量 R_{12} 上電壓應有 1 V 上下；開關位於高阻擋時，量 R_{11} 上電壓有 $6\sim 8\text{ V}$ 左右。如輸出電壓不夠，集電極電流也不到 $20\sim 25\text{ mA}$ ，說明推動訊號不夠，可以適當加大振盪級集電極電流，例如加到 $3\sim 5\text{ mA}$ 或更大一點，但不要大於 8 mA 。

R_3 影響到第一級是否能振盪。如不起振，可能是變壓器相位不對，試把 R_3 從 A 點改接到 B 點，如仍不起振，可以把 R_3 改小一些。如振盪過強波形不好（從示波器中可以觀察得到），可以把 R_3 改大一些。通常，如果 R_3 數值合適， Q_1 只要有 3 mA 左右的集電極電流，就可以保證供給末級足夠的推動電力了。

其次是調準頻率，這裏用的是 1000 Hz。如果手頭上有音頻頻率表或有音頻訊號產生器和示波器的話，可以用李沙育圖形調整。如果條件不足的話，可以用口琴、風琴或鋼琴調整。樂器的 C 調“1”是 512 Hz（中央 C），高八度的“i”是 1024 Hz，可以作為 1000 Hz 標準。在 m、n 端接一隻有輸出變壓器的揚聲器。一面聽揚聲器的聲音，一面聽樂器的聲音，加以比較。人耳對音調是很敏感的，樂器的頻率誤差也很小，用這種方法能調得相當準確。如頻率偏低可把 C_2 改小，偏高可把 C_2 換大一些。改變 C_2 後，可能 R_3 和 C_1 也要跟着調整。

最後是進行表面刻度，這問題不能用計算來確定，因此需要一隻標準電阻箱，阻值由 0~10K Ω 。把準備妥當的阻抗表調妥零點後，就像用一般萬用表一樣去量電阻箱各個不同的阻值，記下原來尚未刻度的電表指針位置或電流讀數，隨後根據記下的歐姆（ Ω ）和電流值對照表，便可以把表面改繪成（ Ω ）值了。低阻擋和高阻擋一般不易合用一條刻度，要分開刻度。沒有標準電阻箱的話，可以用一隻 200 Ω 和一隻 20K Ω 的電位器，先用可靠的萬用電表量準阻值，代替電阻箱進行刻度。也可以用各種數值的、有較高準確度的電阻來進行刻度。

R_9 ， R_{10} ， R_{11} ， R_{12} 的阻值不要求準確，因為刻度是照標準電阻進行的。刻度一旦弄好，就要記下這四隻電阻阻值，不能隨便更換。 D_1 和 D_2 也同樣不能隨便更換。

本儀器的使用法，在測量電阻或揚聲器、耳機等的阻抗時，與一般萬用表無異；在測量變壓器時要在它的初級（或次級）接上一個與阻抗相等的電阻才可以測試，例如測量一個輸出變壓器時，要在它的次級接上一個 8 Ω 的固定電阻（因為一般晶體管大多用 8 Ω 揚聲器），然後在電表上直接讀出它的阻抗數值。對一些初、次級阻抗都不知曉的變壓器，可以對它的初級或次級任意假定（或者根據自己的需要）一個阻抗而代入相應的電阻，從而測出它另一端的阻抗。

2. 晶體管電壓表

常見的高輸入阻抗電壓測量儀器是電子管電壓表 (Vacuum tube Voltmeter)。它是利用電子管來增加靈敏度及提高輸入阻抗的，因此它能相當準確地測量各種電路裏的電壓，而且對被測的電路影響很小。可惜它需要市電源供給才行，對於出外修理或某些場合，例如在一些無市電的地區，那是不很方便的。如果能用晶體管代替電子管那不是更好嗎？但是，晶體管的先天特性就是電流放大元件，它的輸入阻抗很低，所以要想個辦法，才可以把它加以利用於電壓測量儀器的電路裏去。在未討論晶體管電壓表之前，讓我們首先認識一下萬用電表的構造。它是由一個動圈式電流表頭加上一些倍率電阻組成，如圖 2—1 (只繪出直流

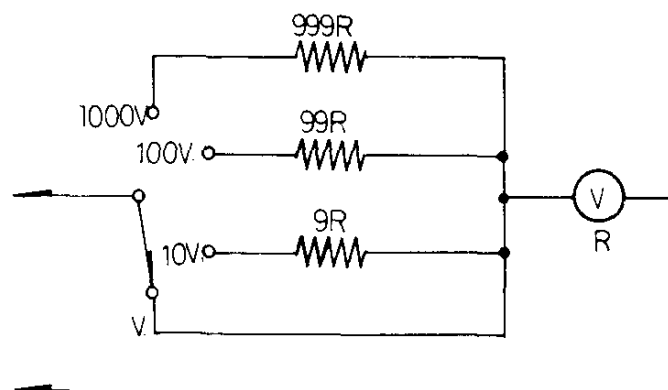


圖 2—1 萬用表的直流檔的電路

電壓部份)。如果“ R ”是當該表頭讀數滿度時的動圈內阻，則“ I ”是推動該表頭讀數滿度所需的電流。這樣，四檔所測的電壓是 IR 、 $10IR$ 、

100 IR、它們分別所測的範圍是 1V、10V、100V、1000V。一個普通的萬用電表表頭的靈敏度是 $100\mu A$ ，所以 1V 檔時的內阻是 $10 K\Omega$ ，即是 $10 K\Omega/V$ 。這樣的內阻在一般應用上可以算得上是相當寬裕了，但對於柵極電壓及一些高內阻電路的測量是不能勝任的。爲了這個原因，所以需用電子管電壓表去完成一些萬用電表不能測量的工作。下面我們討論電子管電壓表。

電子管電壓表的結構簡圖，如圖 2—2 所示，被測的電壓從其中一隻

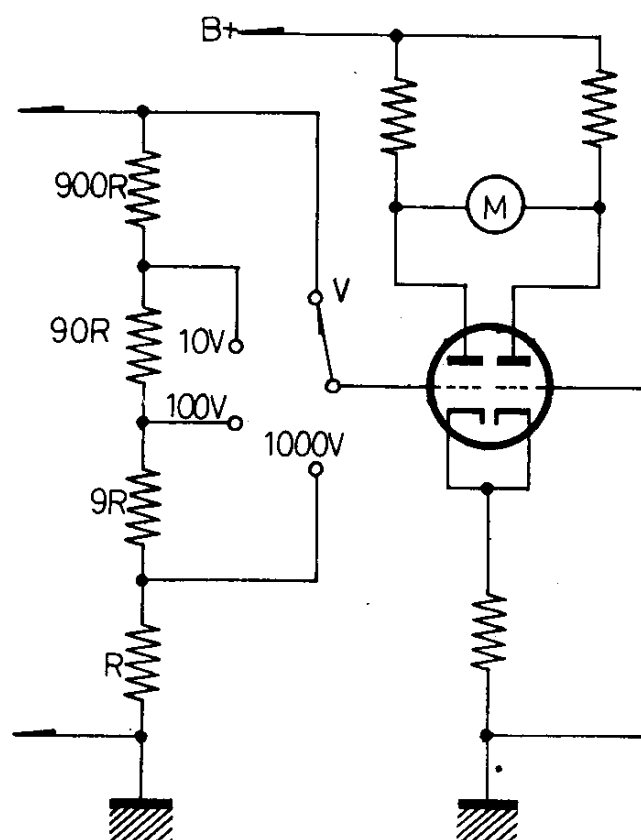


圖 2—2 典型的電子管電壓表的基本電路

三極管的柵極輸入，因爲電子管是電壓放大元件，所以它的柵極吸收外界電流是極少的，這就是電子管電壓表有高輸入阻抗的原因。因電流表接於兩個三極管的屏極之間，當其中一個三極管的柵極有電壓輸入而影響它的屏內阻時，兩個三極管屏極之間就有電流通過。因爲兩個三極管和

另二枚電阻是組成一個電橋電路的，兩個三極管分別組成電橋的其中兩臂，當其中一個三極管內阻改變時，就引起電橋失去平衡，從而有電流通過電流表而給出讀數。因為三極管本身是極高輸入阻抗的元件，所以電子管電壓表的輸入阻抗決定於分壓電阻。在圖 2—2 中，如果設 $R = 10K\Omega$ 的話，則它的總輸入阻抗就有 $10M\Omega$ 。這樣高的輸入阻抗對絕大多數的電路是沒有影響的，所以電子管電壓表比萬用電表更能準確地測量各種電路。

對萬用電表及電子管電壓表輸入阻抗的分別有了認識後，就可以討論本文要介紹的晶體管電壓表。我們知道要提高電流表本身的靈敏度亦可以增加輸入阻抗的，例如要使一個電壓表有 $100K\Omega/V$ 輸入阻抗就得要有 $10\mu A$ 的本身靈敏度才行。這種電流表，不但價格驚人而且較易損壞。若果我們先把輸入電壓（即相應的輸入電流）利用晶體管來加以放大，則只需要一個普通靈敏度的電流表就可以製成一部有高輸入阻抗及高靈敏度的電壓表了。

圖 2—3 是晶體管電壓表的基本設計。晶體管和二枚電阻及電位器組成電橋的四條臂，電位器用作調整零點。輸入電壓加於晶體管的基極

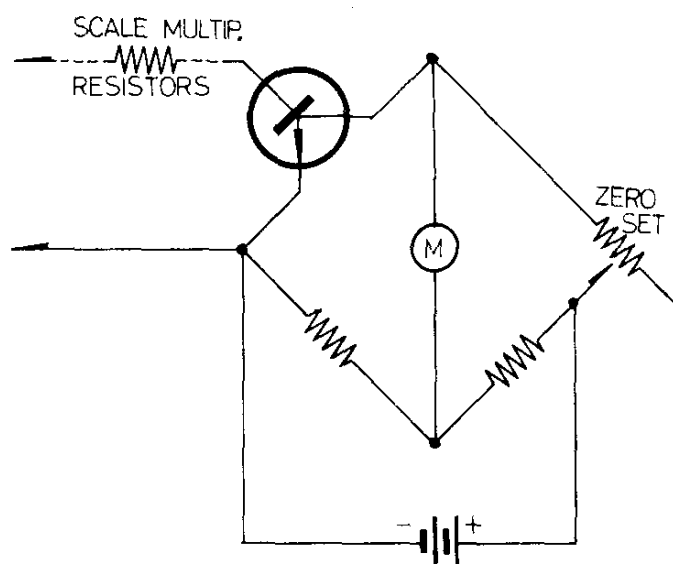


圖 2—3 晶體管電壓表的原始設計

和發射極，於是晶體管集電極和發射極之間的內阻改變，因此而引起電橋不平衡，所以電流表就有讀數。爲什麼要採用電橋電路呢？原因是晶體管本身集電極與發射極間有漏電電流 I_{ceo} 存在，當沒有電流輸入基極時，集電極和發射極間也有小量電流通過，故此要採用電橋電路才可以抵銷晶體管本身的漏電電流。

由於晶體管對溫度反應是很敏感的，就以漏電電流 I_{ceo} 來說，溫度從 20°C 升到 40°C 時，漏電電流會加大一倍，雖然採用矽質晶體管可以改善這缺點，但仍不能完全避免，在這種情形下，使用時就要常常調整零點，在實用上，這會帶來極大的不便，所以就要想個辦法來補償溫度。補償溫度的方法如圖 2—4，用二枚晶體管做電橋的兩臂，因此

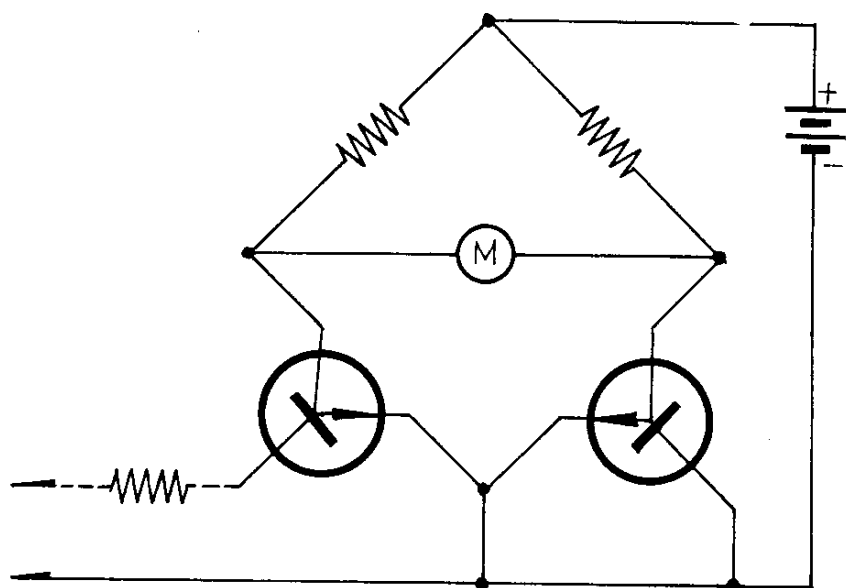


圖 2—4 晶體管電壓表的改良設計

它們的漏電電流 I_{ceo} 就能在電橋電路中彼此抵銷。最後的設計方案如圖 2—5，二枚晶體管採用同一類型產品，同時要盡可能挑選一些特性接近的。這樣安排下的電橋很容易獲得穩定的平衡，溫度特性也能符合一般要求，當室溫從 20°C 升至 40°C ，它在沒有輸入電壓時約只有 3% 的變動，這對亞熱帶及溫帶地區使用是沒有問題的。輸入電壓是從兩枚晶

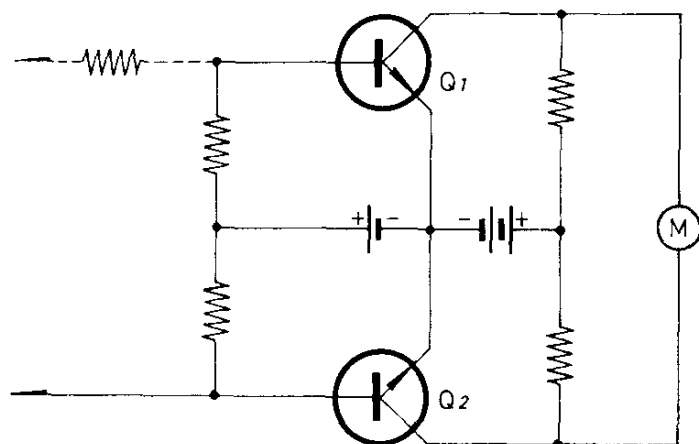


圖 2—5 晶體管電壓表的最後設計

體管的基極加進去的。當有正向偏壓使晶體管 Q_1 的內阻變小而負向偏壓令 Q_2 晶體管的內阻變大，電路於是就失去平衡而有電流通過電流表。晶體管平時也有小量偏壓加於兩基極以增加它們的線性特性。

圖 2—6 就是晶體管電壓表的完整電路，它除了能測量直流電壓外還可以測量交流電壓。測量交流電壓時頻率特性很好，從 $10\text{Hz} \sim 2\text{MHz}$ 特性平均。晶體管是採用本港出品的矽質三極管 CS 9013 HE，它的飽和電壓很低而擊穿電壓較高，而且很容易購買得到。二極管 CR_1 ， CR_2 ， CR_3 和 CR_4 要採用鍍質的 1N34A 或 SD-46 等，因為它們的起始電壓較低，這能增進測量交流電壓時表面刻度的直線性。 R_{10} 是直流電壓讀數校正器。先找個電池，用較準確的電壓表預先測定它的電壓以作為標準，然後用本文的晶體管電壓表去測該已知電壓的電池，例如該電池是 6V，這時調 R_{10} 直至表面讀數為 6V 止。未測該已知電壓的電池之前，要注意的是本晶體管電壓表的 S_1 要旋至 10V 檔處，而 S_2 旋至 DC 處。經上述處理後直流電壓讀數就被校正了。接着旋 S_2 至 AC 處，然後測量一已知的交流電壓，調整 R_{11} 使表面電壓讀數和已知的交流電壓一致便可。

表面刻度頗為簡單，只用一條刻度綫，全綫共分十大格，在第一檔