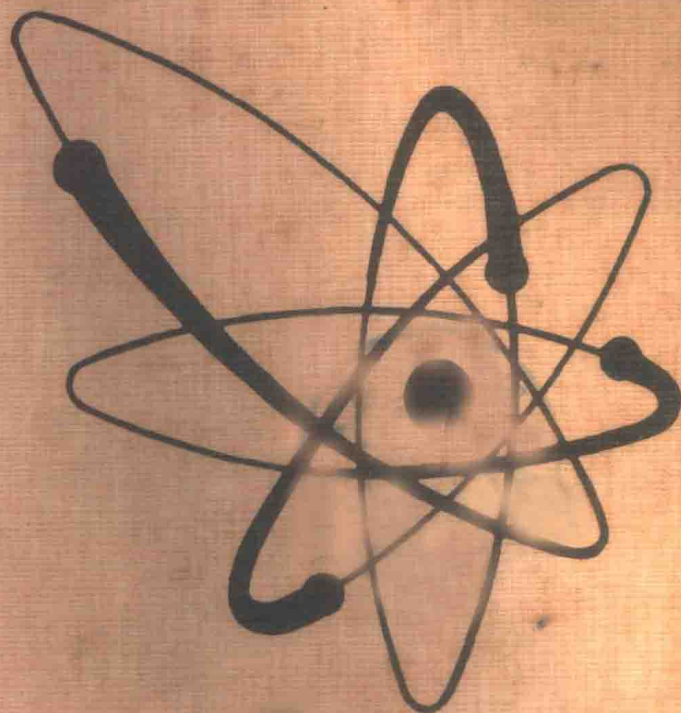


電晶體電路實驗

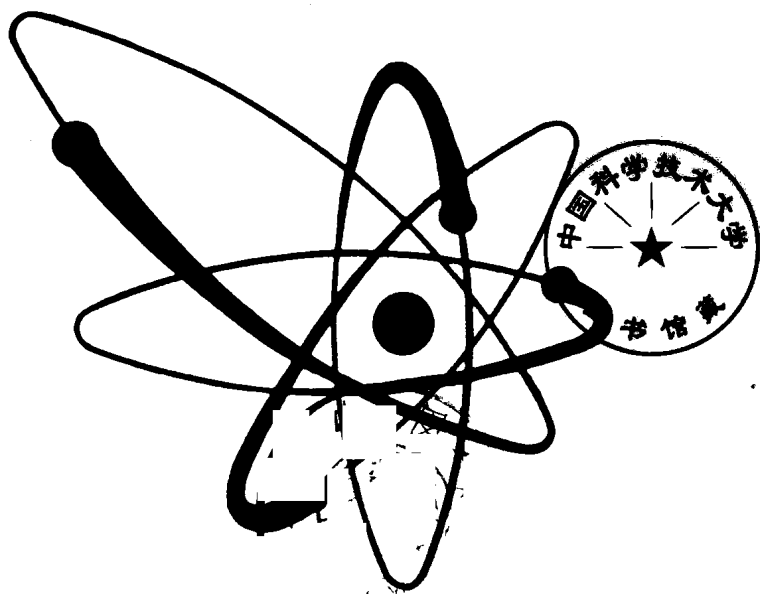
北川一雄 原著
黃華馨 編譯



無線電界雜誌社印行

電晶體電路實驗

北川一雄 原著
黃華馨 編譯



無線電界雜誌社印行



電晶體電路實驗

中華民國六十八年元月出版

◆版權所有・不許翻印◆

特價新台幣陸拾元

原著者：北川一雄

編譯者：黃華馨

校閱者：黃鑑村

發行者：無線電界雜誌社

地 址：台北市復興南路 13-1 號

電 話：7112765 • 7219828

郵政劃撥儲金帳戶 2756 號

登記證：內版台誌字第 653 號

印刷者：中美美術印刷廠

地 址：台北市天水路 32 號



電晶體電路實驗

目錄

第一章 電晶體開關電路基本試驗

- 1 前言..... (1)
- 2 怎樣用電晶體驅動繼電器..... (2)
- 3 繼電器電路的電流測驗..... (5)
- 4 P_c 的測驗..... (7)
- 5 繼電器的選擇..... (9)
- 6 使用 NPN 型電晶體的試驗..... (12)
- 7 可變電阻 (VR_1 , VR_2) 之意義..... (13)

第二章 達林頓電路試驗與應用

- 1 前言..... (16)
- 2 基本試驗..... (17)
- 3 使繼電器動作具有時限的試驗..... (21)
- 4 定時電路的試驗..... (23)
- 5 ON - OFF 週期監視繼電器..... (24)
- 6 急速放電二極體的試驗..... (26)
- 7 繼電器動作軋軋聲防止的試驗..... (26)
- 8 附有偏壓修正的高靈敏度繼電器電路的試驗..... (27)
- 9 兩方向繼電器電路..... (28)
- 10 電壓繼電器電路..... (30)

第三章 電晶體電路基礎知識

- 1 電晶體電路的基本理論…………… (37)
- 2 集極損失的檢討…………… (46)
- 3 實用電路的檢討…………… (51)
- 4 放大電路及其應用試驗…………… (54)

第四章 電晶體放大電路

- 1 基極接地、射極接地、集極接地…………… (61)
- 2 初步的電晶體收音機的試驗…………… (65)
- 3 電晶體式高壓檢電器的試驗…………… (66)

第五章 電晶體電源電路

- 1 前言…………… (70)
- 2 電源的種類…………… (71)
- 3 整流元件…………… (72)
- 4 PN 接合的整流理論…………… (74)
- 5 電源整流電路…………… (76)

第六章 晶體振盪的知識

- 1 前言…………… (78)
- 2 晶體振盪電路的基本理論…………… (79)
- 3 晶體振動子與振盪電路…………… (80)
- 4 關於 f_{ab} 與 f_t 問題…………… (82)

第七章 史密特觸發電路與微積分電路的試驗

- 1 反射觸發電路的試驗…………… (85)
- 2 微積分電路的試驗…………… (89)
- 3 電壓比較電路…………… (94)
- 4 SCR 相位控制的試驗…………… (97)

第八章 史密特觸發繼電器電路的試驗

- 1 基本試驗…………… (98)
- 2 使用史密特電路的繼電器策動電路…………… (101)

3.	使用史密特電路的波形整形試驗·····	(103)
第九章	一發多諧振盪器的試驗	
1.	基本試驗·····	(106)
2.	波形的觀察·····	(110)
第十章	多諧振盪器基本理論與試驗	
1.	多諧振盪器的種類·····	(113)
2.	單穩定多諧振盪器·····	(119)
第十一章	收音機的原理與製作法	
1.	礦石收音機的原理·····	(124)
2.	高靈敏度礦石收音機的製作·····	(126)
3.	無電池放大式礦石機的研究·····	(126)
4.	1個電晶體收音機的製作法·····	(130)
5.	電晶體再生式收音機的試驗與製作法·····	(135)
第十二章	振盪電路試驗與應用	
1.	CR 相移振盪電路·····	(141)
2.	摩爾斯電碼練習機的試作·····	(142)
3.	聲音警報器的試作·····	(143)
4.	方形波振盪器的試驗·····	(144)
5.	LC 正弦波振盪電路的試驗·····	(146)
第十三章	直流穩定化電源的試驗	
1.	小容量穩定化電源的試驗·····	(149)
第十四章	直流恒流裝置的構想與試驗	
1.	穩定化電源的構想·····	(153)
2.	小電流直流恒流裝置的電路例·····	(155)
3.	大電流直流恒流裝置的電路例·····	(157)
第十五章	光線繼電器的製作法	
1.	光電元件的構想·····	(160)
2.	使用CdS的光線繼電器的製作法·····	(162)

3. 使用光電晶體的光線繼電器的製作法……………(164)
4. 使用矽光電池的光線繼電器之原理……………(168)

第十六章 溫度檢出元件和ON/OFF控制的知識

1. 前言……………(170)
2. 電阻式溫度檢出器……………(171)
3. 熱電式溫度檢出器……………(174)

第十七章 溫度繼電器的製作法

1. 浴水溫度示警器(Ⅰ)……………(180)
2. 浴水溫度示警器(Ⅱ)……………(182)
3. S C R式溫度繼電器電路……………(184)
4. 熱電耦式溫度繼電器的製作法……………(184)

第十八章 定時器的製作法

1. 前言……………(190)
2. C R放電式定時繼電器……………(191)
3. 順序繼電器……………(192)
4. 一觸繼電器……………(194)

第十九章 電晶體式無接點接近開關的試驗

- 試驗電路……………(195)

第二十章 電晶體式轉換器的試驗

1. 轉換器的基本試驗……………(198)
2. 3W式DC-DC轉換器的試驗……………(199)
3. 電晶體式轉換器的設計與試作……………(203)

第二十一章 斬波電路、同步整流電路及相位檢波電路的知識

- ……………(208)

第1章 電晶體開關電路 基本試驗

〔1〕前言

使用電晶體和 SCR 以微弱的信號驅動繼電器的技術，可說是電子科學基本技術的第一步。

舉凡保護電路，自動控制電路乃至警報及表示裝置，皆得依賴這種 ON 或 OFF 的繼電器的動作。

最近無接點化似乎已蔚然成風，甚至有人根據某種數量的採取有接點方式（即使用繼電器的接點）或無接點方式（即利用電晶體式 SCR 等的轉接特性）來制斷其優劣哩。不過，吾人認為：有接點方式絕非幼稚初步的電路方式。因為繼電器也畢竟有它的優點，現在我們就先討論繼電器的優點。

(1)當接點 ON 時，接點間的內部阻抗不會超過 $0.1\ \Omega$ ($1/10\ \Omega$)，可以說是居於完全的導通狀態。然而當 OFF 時，內部阻抗可高達 $10\sim 100\ M\Omega$ [$1\ (M\Omega) = 10^6\ (\Omega)$] 以上，又完全居於遮斷狀態，電流完全不流通。故利用它可以設計成十分理想的電氣的 ON-OFF 電路。像這樣的特性，光靠半導體是很難實現的。在某種意義上說，甚至完全不可能實現。

(2)接點的放大率非常之大。例如以一種用 $10\ V$ 、 $10\ mA$ 動作的繼電器而言，要想使其動作，就必須有 $10\ [V] \times 10\ [mA] = 100\ [mW]$

(2)

的功率。假定接點電路上接有 100 V 、 5 A 的負載，則當接點閉合時，即可供給 $100\text{ [V]} \times 5\text{ [A]} = 500\text{ [W]}$ 的功率。換言之，利用 100 mW 可以控制 500 W 。在此情形下，就等於有 5000 倍的放大率。

(3)接點這種東西，不但可以多組接續，而且在設置上還可以互相絕緣或多組並聯動作，實在是非常難得的事情。

(4)抗雜音性很強。像保護電路等，常會因雜音的干擾而發生任意的動作。但繼電器對於這種雜音的干擾，都具有充分的抵抗性。職是之故，有些使用半導體的無接點方式，其重要部分最後有時也不得不改用繼電器哩！

(5)接點電路對於過電壓和過電流的耐力極強。而半導體電路對於此點却深感棘手。

(6)電路簡單，價格公道，動作狀況可用肉眼觀察。以上所舉，不過瑣瑣大者，如蓄意為繼電器辯護，則其優點尚不一而足。可是，凡事都是利弊相對的，繼電器也畢竟有它的缺點。譬如：

(1)驅動繼電器非有功率損耗不可。而且由於使用目的之不同，這種損耗之值，往往非常之大。

繼電器動作遲緩。高速度的小型繼電裝置，常須時數 mS ($1/1000\text{ S}$)，通常也皆有數 10 mS 的遲延，故不能用於高速動作。

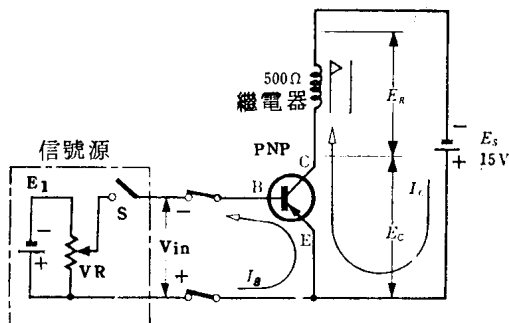
(3)接點有機械的磨損，通常壽命都在數 10 萬次左右，高級裝置雖也有高達 1000 萬～ 1 億次者，但繼電器各有不同，很難判斷。

(4)接點容易發生接觸不良，且易受震。

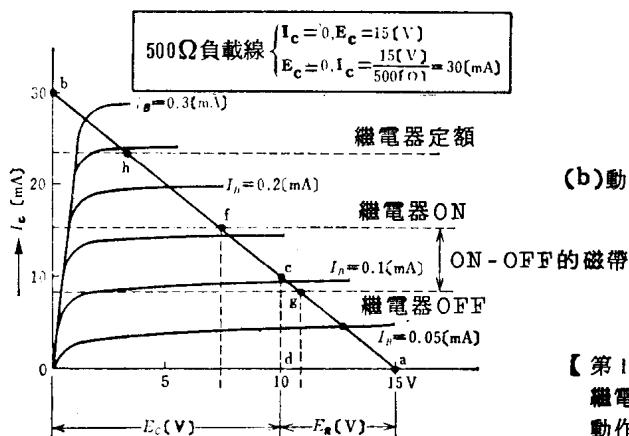
從上所述，可知繼電器有它的長處，也有它的缺點。因此，吾人在應用上必須盡量發揮它的長處，而同時也要以別的方法來補救它的缺點。此即所以利用電晶體電路驅動繼電器之目的也。

[2] 怎樣用電晶體驅動繼電器

第 1 圖(a)可以說是使用 PNP 形電晶體驅動繼電器最基本的形態。信號源為何，固不得而知，但可以看出其內部具有直流電源，並產



(a) 基本電路(例)



(b) 動作特性

【第1圖】
繼電器電路的
動作檢討。

生 V_{in} 之輸出。等到此 V_{in} 增大到某種之值時，繼電器即告 ON。假定此 V_{in} 按圖示之極性加諸電晶體，則因電晶體的射、基極間（即 EB 之間）具有數 10Ω 的內部阻抗，故能產生受此阻抗所限制的 I_B 。 I_B 須放大後，即成為 I_C 。

$$\frac{I_C}{I_B} = h_{FE} \text{ (或 } h_{fe}, h_{fe} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \text{)} : \text{射極接地的直流電流放大率}$$

h_{fe} 通常為 $50 \sim 200$ ，大部分皆為 100 。因此， I_B 須放大 100 倍後即成為 I_C 。一旦有強大的 I_C 流動，繼電器即告動作。驅動繼電器的電源，並非 V_{in} ，而是取自另外設置的 E_s 。

圖(b)是於電晶體的 $E_c - I_c$ 特性圖之上，加繪繼電器的電阻 500Ω 的負載線而成。圖(a)的電路的電氣特性，其移動範圍皆不出此負載線之外。此種負載線的決定方法如次：

① $I_B = 0$ 時當然 $I_C = 0$ ，此際因無電流通， 500Ω 不致發生電壓降，故電源電壓 $15V$ 得直接加諸 E_c (即電晶體的射・集極間)。根據此種狀況，即可決定 a 點。

② 假定 $I_B = \infty$ ， $I_C = \infty$ 而電流勢將流通三極，此時電晶體的射・集極間的內部阻抗已降低到無足垂視之程度，亦即等於短路狀態。限制 I_C 者，僅為繼電器的 500Ω 故 $I_C = 15 [V] / 500 [\Omega] = 30 [mA]$ ，而可決定 $30 [mA]$ 處為 b 點。

此外的條件，則在於用直線連結 a、b 兩點之線上。譬如在線上決定 C 點而加以檢查的話，可知 $I_B = 0.1 [mA]$ ，亦即 $100 \mu A$ 。 I_C 為 $10 mA$ 。這可視作 $h_{FE} = I_C / I_B = 10 [mA] / 0.1 [mA] = 100$ 。由 C 點劃一垂直線向上至 Oa ，則為 $10V$ 之處。 Od 為 E_c 亦即射・集極間電壓。 da 為 $15 \sim 10 = 5 [V]$ ，此乃 E_R 亦即繼電器的兩端所受之電壓。 500Ω 上則受有 $5V$ 電壓。成為 $I = 5 [V] / 500 [\Omega] = 10 [mA] = I_C$ ，與原理恰恰符合。其他各點，也可按同一方法求得之。

現在，假定 V_{in} 逐漸增大的話，其意義即為使動作點由 a 點向 b 點移動。在 a 點時， $I_B = 0$ 、 $E_c = 15 [V]$ 、 $I_C = 0$ ；在 C 點時 $I_B = 0.1 [mA]$ 、 $E_c = 10 [V]$ 、 $E_R = 5 [V]$ 、 $I_C = 10 [mA]$ 。此際，繼電器不動作。假定再繼續增大，則其進行方向為： $E_c \rightarrow 0$ 、 $E_R \rightarrow 15V$ 、 $I_C \rightarrow 30 mA$ 而到達 f 點，於是繼電器開始動作。然後再前進，至 h 點即為繼電器的規格值。所謂規格值，即表示在此值之下，繼電器不致燒壞也。

其次，假定繼電器動作一旦到達 ON 狀態而使 V_{in} 降低的話，則

當由 h 點降至 f 點，然後再循 c 、 g 、 a 的方向進行。當通過 f 點後，即使再向 c 點前進，繼電器也不會還原。仍然維持 ON 狀態，直到 g 點才開始重回 OFF 的位置。此 fg 間即為繼電器的磁滯寬。普通的繼電器，其 g 點大約居 $f \sim a$ 之中。譬如以 16mA 而 ON 的繼電器來說，一經 ON 後，非降到 8mA 前後即不會 OFF。因此，我們可以說：一般繼電器在它的動作電流的 $\frac{1}{2}$ 以前，大致是可以自我維持的。

[3] 繼電器電路的電流測驗

第 2 圖(a)的電路，是根據第 1 圖(a)的原理圖所改變而成的實現圖。祇要對 VR_1 和 VR_2 作適當的調整，則可製造出各種值的 V_{in} 。而 I_B 的流出之多寡，則依 V_{in} 而定。圖(b)是根據對 I_C 和 I_B 的關係的測驗結果所繪成之區畫圖。

①當 I_B 由 0 開始增大時，則 I_C 亦從 0 的附近開始和 I_B 作此例的增加，終於達到飽和。

②當 $I_B = 0$ 時， I_C 有少量流出。此即所謂漏電電流 I_{C0} 。鍺電晶體的這種 I_{C0} 甚大，像 2SB223、2SB415 等，在 200mW 級時，可達 $10 \sim 20\mu\text{A}$ 。對於電晶體而言，這是一種最令人困擾的電流。至於矽電晶體，這種漏電電流却很小，大約在鍺電晶體的 $1/10$ 以下，就此點而言，矽晶體實在是非常優秀的。

③當 $VR_2 = 0$ 亦即短路時， I_B 即流向倒向。這也是前述的 I_{C0} 之一種。在一般電路上， I_{C0} 總是隱藏在暗處，不易看見，但此處却彰然明甚。

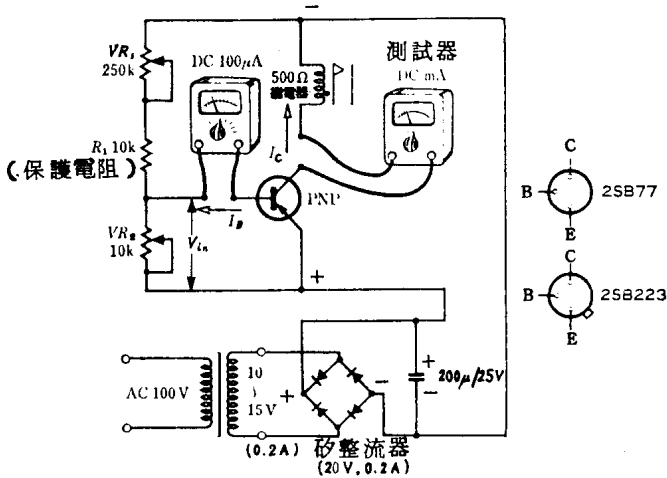
④繼電器 ON (16mA)，繼電器 OFF (8mA) 也皆有明白記載。

⑤再計算 h_{FE} 、 h_{fe} 看看。

所謂 h_{FE} 乃是射極接地電路的直流電流放大率，係按變化幅度的 10% 與 90% 之間的值來計算的。

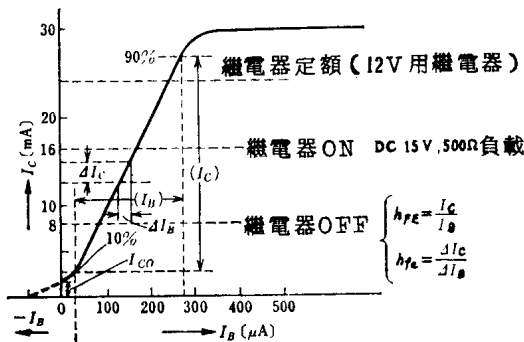
h_{fe} 為微分電流放大率，不拘何處，只須按目的之點的 Δ 變化成分考慮之。因此， h_{fe} 乃因 I_C 之值不同。此外，還具有下列關係：

(6)



- 繼電器：500Ω～1K
- 電晶體：2SB00，150～250mW（例如：2SB223、2SB415、2SB77均等不可）

(a) 基本電路



(b) 動作特性

【第2圖】繼電器電路的試驗

$h_{FE} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$ ，假定 $\alpha = 0.99$ ，則 $h_{FE} = 0.99(1 - 0.99) = 90$ 。不論

h_{FE} 或 h_{fe} 或 α ，皆是說明書中一定要載明的值。

[4] P_c 的測驗

所謂 P_c 者，就是容許集極損失功率，第 3 圖(b)就表它的狀況。由於射・基極間（即 EB 之間）及基・集極間（即 BC 之間）皆具有內部阻抗。並且，這些內部阻抗常因條件的不同而作大幅的變化。所以，電流 I_c 一經流通，當然會發生 I^2R 的熱。這種發熱，表示向外部發散並將溫度限制於範圍之內。亦即載於說明書中作為電晶體的規格之一的「集極容許損失」也。

當我們設計電晶體電路或試裝電晶體電路做試驗時，檢討此 P_c 之值是否在容許值的範圍之內，最是不可大意的事情。第 3 圖(a)就是以第 2 圖的一部分電路作實際測驗 P_c 的方法。先使 I_c 發生變化，再測驗此時的 E_c 。

$$P_c = E_c \times I_c [W]$$

或：

$$P_c [mW] = E_c [V] \times I_c [mA]$$

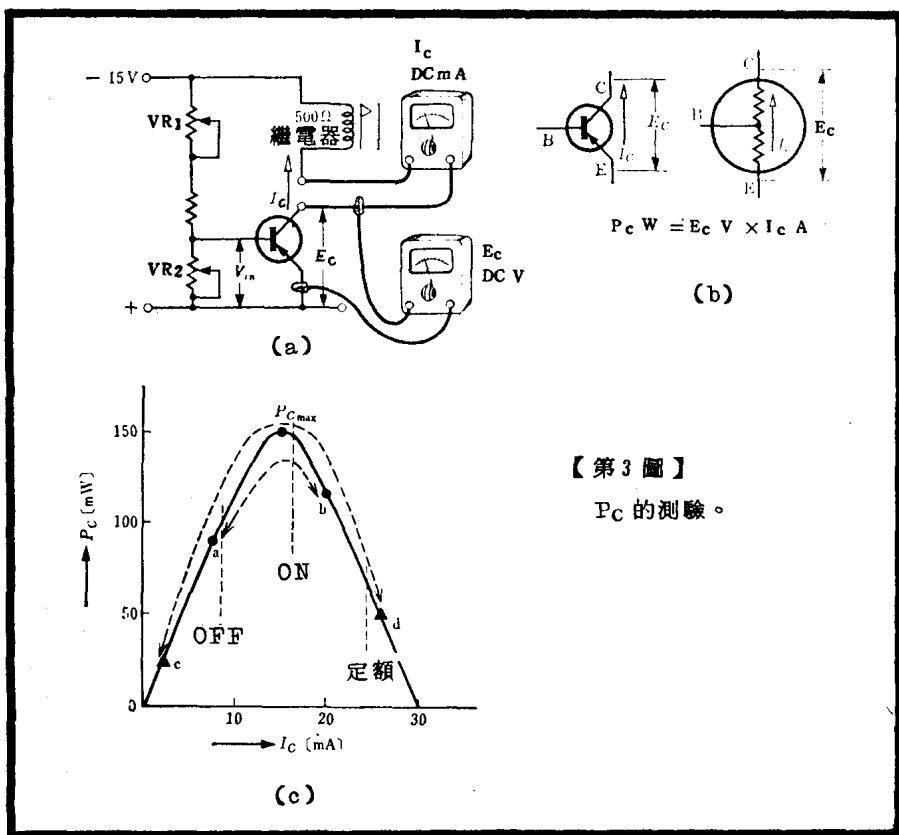
這樣一步一步地計算出來並加以區畫，即可得到像圖(c)那樣的特性圖。這種情形顯示出一種非常有趣的性質。 P_c 在 I_c 居於中間之值時（亦即剛好 $\frac{1}{2}$ 時）最大， $I_c = 0$ 時 $P_c = 0$ ， $I_c = 30 [mA]$ 時， $E_c = 0$ ， $P_c = 0$ ，析言之，在某種值的 I_c 下驅使電晶體動作，可能因發熱而將電晶體燒毀。又如將動作點移向電流增加之方向時，則 I_c 雖然增加，而發熱反倒減少，甚至冷卻。

為什麼會發生這種現象呢？這乃是數學上所處理的最大和最小的問題，此處不擬多贅，我們僅就圖(a)作試驗性的測驗，並作成圖(c)那樣的特性圖加以檢討。在該圖中， $P_{cmax} = 150 [mW]$ 。

此 P_{cmax} 之值既經求出，則下一問題便是如何選擇能耐得住它的

(8)

電晶體了。例如 2SB223 在說明書中所載，於 25°C 下 P_c 容許值為 225mW ，2SB415 為 200mW ，2SB77 為 150mW 。以電路來說，因 $P_{c\max} = 150 [\text{mW}]$ ，與 2SB77 的容許值恰巧相同，故以 2SB77 最合適。至於 2SB223、2SB415，看上去似乎亦足可採用，但實際上恰恰相反，倘不慎而選用的，則可能造成後悔莫及的嚴重後果。譬如有人認為對於 200mW 的電晶體，連續地給予 150mW 的損失，則在短的時間內就可能把電晶體毀掉，或者認為 150mW 的電晶體剛剛好等等，皆是犯了估計上的錯誤。那麼，讀者要問：是否絕對不行呢？答案是否定的。因為就電路的關係而言，大多數場合都是足可承受的。不過



【第3圖】
 P_c 的測驗。

，問題在於時間的長短而已。發熱量並非取決於功率，而是取決功率量。故對於此一問題，實有加以檢討之必要。假定根據圖(a)的電路已選妥圖(c)的 P_c 特性的話，此時， V_{in} 的變化固依 VR_1 和 VR_2 而定，但因屬試驗性質，故 VR_1 、 VR_2 分開，得以自由個別調整。但實際上， V_{in} 的給予常須按其他條件行之，究竟要作何種變化，殊無一定標準。因此，吾人可依下列兩項條件來考慮看看：

(1)給予某種信號，使其平時在 a 點待命，當 V_{in} 一有變化即向 b 點移動。

(2)給予某種強大的信號，使其平時在 c 點待命，當 V_{in} 一有變化時，一下子便移向 d 點。

在(1)的場合，待命時已經發生 80 mW 的損失，由於是待命的關係，一定要長時間保持這樣的值，故溫度必已昇高。當它再移向 b 點後，即須保持為 120 mW，故溫度亦再度昇高。此時，最少是 b 點的 2 倍，亦即 $120 [mW] \times 2 = 240 [mW]$ ，換句話說，必須具備充分的散熱裝置，使此容許值 240 [mW] 的電晶體散熱。

在(2)的場合，因為平時在 c 點待命，祇有 25 mW 的損失，當然溫度也不致昇高。動作時一下子就長躍到 a 點，也祇有 50 mW 而已。它固然也要通過 P_{cmax} 之點，但因是高速通過，功率量不多，所以熱量也不成問題，縱使是 d 點的 3 倍，也僅有 150 mW，假定使用 150 mW 的電晶體，自然也不會發生問題。

因此，我們必須牢記：當實際設計或製作某種裝置時，必先計算或實測 P_c 所能發生之變化，以及檢討平時在何處待命又動作時以怎樣的速度通過 P_{cmax} 之點，或以何種速度復歸等等，這皆是非常重要的問題。

〔5〕繼電器的選擇

那麼，當我們做本文這種試驗或裝組類似的電路時，究應選擇什麼樣規格的繼電器呢？

繼電器過去一向以借通信裝置使用而出名，而最近又加上供自動控制用者，製品更日益精良，無論在動作特性，可靠程度及價格方面，均已到達令人滿意的水準。

繼電器上皆附有許多記號，茲試舉一例說明之。

$I - 500 - 9500 - 0.14 C_{\mu} L$ (日本富士出品75號形)

- I 表示有一個線圈如是 II 就表示 2 個線圈。
- 500 表示線圈電阻為 500Ω 。
- 9500 表示線圈的圈數為 9500 次。
- $0.14 C_{\mu} L$ 表示用 $0.14 \text{ mm} \phi$ 的銅線繞成。

其次就是出品廠家的型號。

像這樣的繼電器究竟具有怎樣的性質，自不難從廠家的說明書中獲得瞭解，但如手邊沒有說明書，或雖有說明書而對於該繼電器的固有特性仍語焉不詳時，就非加以測驗不可了。

第 4 圖是繼電器試驗用的電源之一例。即使這樣簡單的東西，實際使用起來，也是非常便利的。所以當我們在使用繼電器時，最好能有一付這樣的裝置。現在，我們就利用它來檢查手邊的繼電器看看。當電壓因自耦變壓器而上昇時，電流即漸漸增大，終於使繼電器成為 ON。這時測量 I 當為：

