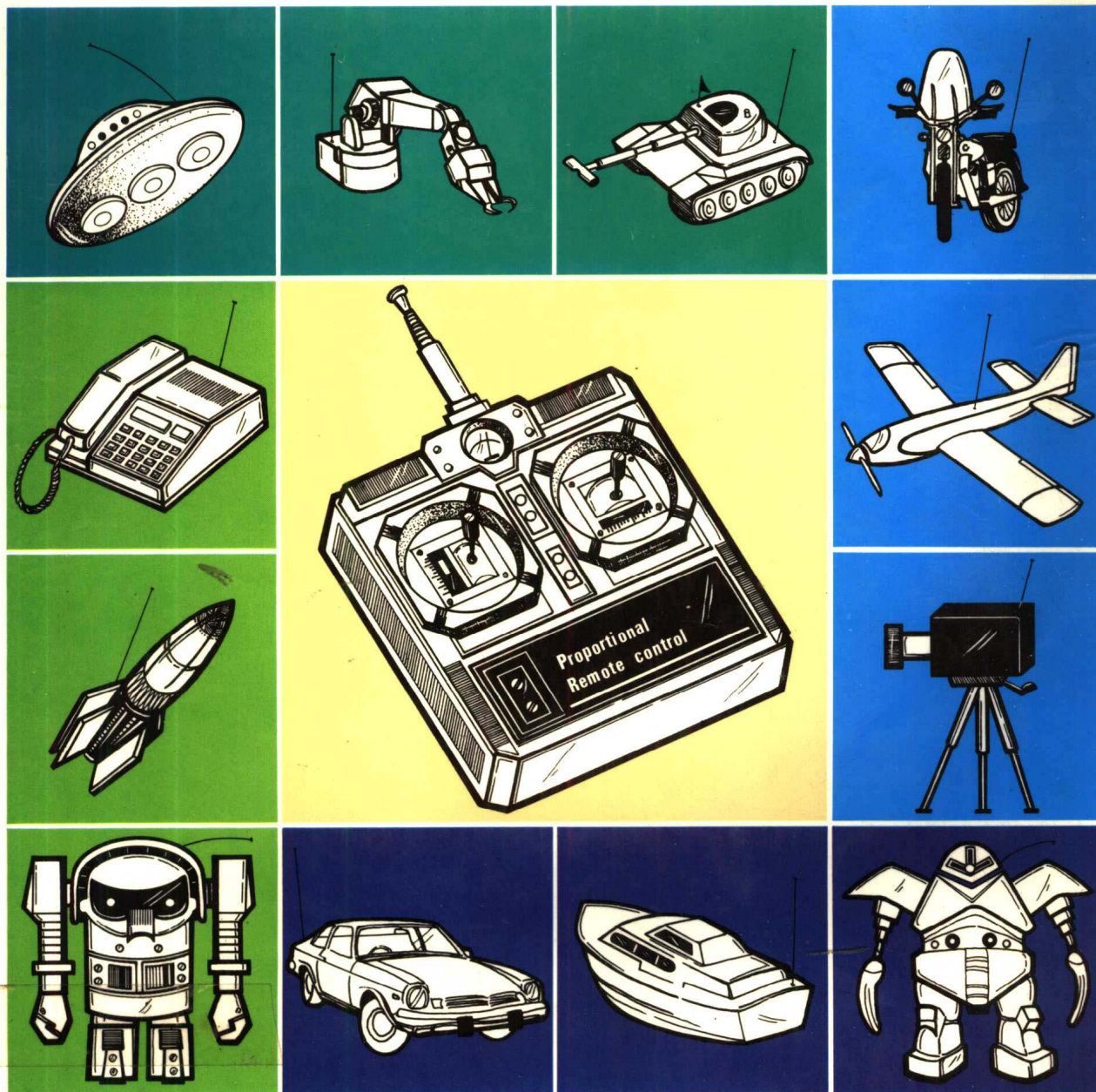


無線電遙控電路專集



發行所：無線電界雜誌社

無線電 遙控電路專集



Remote control

719499

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

無線電遙控電路專集

中華民國七十一年六月出版

中華民國七十七年六月三版

特價新台幣 200 元整

版權所有・不許翻印

編著者：王政友

發行者：無線電界雜誌社

台北市八德路二段312巷19號6樓

電話：(02)7733089・7112765

郵政劃撥帳號00027568

登記證：局版台字第3325號

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

48.16

無線電遙控電路專集

目錄

一、無線電遙控接收機電路解析

1. 超再生電路……………(1)
2. 越外差接收電路……………(3)
3. 單波道接收機電路……………(5)
4. 多波道接收機電路……………(8)
5. Variable tone 式接收機電路……………(10)
6. 類比・比例式接收機電路……………(13)
7. 數位・比例式接收機電路……………(14)

二、無線電遙控發訊機電路解析

1. 單波道發訊機……………(17)
2. 多波道發訊機……………(17)
3. 數位・比例方式之系統……………(18)
4. 發訊機之高頻電路……………(19)
5. 調制電路……………(22)
6. 類比・比例發訊機……………(28)
7. Variable tone 式發訊機……………(29)
8. 數位・比例式發訊機……………(29)

三、發射・接收機調整方法

1. 近距離用單波道發訊機……………(33)
2. 單波道超再生式接收機……………(35)
3. 遠距離用單波道發訊機……………(39)
4. 多波道發訊機……………(42)
5. 多波道接收機……………(45)
6. 數位・比例式發訊機……………(50)
7. 數位・比例式接收機……………(56)
8. 數位・比例式控制伺服馬達……………(58)

四、伺服放大器SN76604之應用

1. SN76604 結構與特性之說明……………(62)
2. 應用電路例……………(64)
3. 保險電路……………(72)
4. 馬達控制電路……………(74)

五、比例式伺服系統測試器

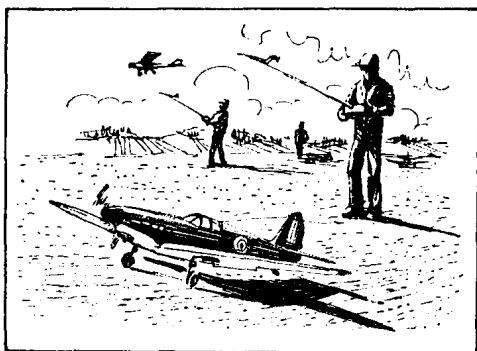
1. 動作原理……………(81)
2. 比例式系統各部份波形照片……………(82)
3. 調整及檢驗……………(87)
4. 應用例……………(88)

六、無線電遙控電路應用例

1. 無線電呼傳裝置……………(90)
2. 車庫大門之開閉裝置……………(97)
3. 獵犬訓練器……………(105)
4. UHF 頻道之遙控裝置……………(111)
5. 高級比例式遙控車……………(123)
6. 用於無線電控制的線性調變器……………(137)
7. 載波式遙控開關……………(143)
8. 多波道載波式遙控開關……………(149)
9. 27MHz 無線電收發兩用機……………(157)
10. 無線式車庫控制器……………(165)

七、無線電遙控電路圖集

1. 單波道遙控車用接收機線路圖……………(174)
2. 單波道遙控車用發射機線路圖……………(176)
3. 單波道遙控船用接收機線路圖……………(178)
4. 單波道遙控船用發射機線路圖……………(179)
5. 單波道遙控飛機用接收機線路圖……………(180)
6. 單波道遙控飛機用發射機線路圖……………(181)
7. 單波道比例式接收機線路圖……………(182)
8. 伺服放大器線路圖……………(184)
9. 單波道比例式發射機線路圖……………(186)
10. 四波道數位比例式發射機線路圖……………(188)
11. 四波道數位比例式接收機線路圖……………(190)
12. 數位比例式用伺服放大器線路圖……………(192)



無線電遙控專用 接收機 電路之解析

無線電遙控用接收機在本質上與一般的無線電接收機（收音機）並無不同。就其使用之用途而言則具有下列諸項特徵。

①高靈敏度、高穩定度：由於發訊機之輸出有限，電場強度因而亦有其限度，因此，接收機應儘可能在微弱的電場下亦能動作。亦即接收機必須有甚高的靈敏度，以便增加通達操作之距離，擴展其利用範圍。另外，控制操作不因外來之雜音電波而引起誤動作，雖處酷寒或酷暑之環境下亦能正常動作。

一般之設計基準係在 $5\mu\text{V}/\text{m}$ 之微弱電場強度內可確實動作，而使用之溫度則以 $-10^{\circ}\text{C} \sim +45^{\circ}\text{C}$ 為目標。

②高選擇度：在美、日、歐等國家，無執照之許可下，可使用的頻率為 27MHz 頻帶與 40MHz 頻帶，該頻帶均係狹窄的專用頻帶。為使在該範圍內作最多並最有效的活動起見，接收機側便要求有較高的選擇性。

在模型用的場合，或許並不苛求其精度而忽視選擇性的良否，但在實用之無線電控制裝置中，高選擇度則為其最要緊的條件。

③小型、重量輕、堅牢：能夠自由地自遠方操縱一可移動的機器乃係無線電控制最具魅力的特徵之一。此時，小型、輕量以及堅牢等，便成為重要的特點。事實上，能夠承受耐震性、耐衝擊等苛酷之試驗亦為其必要的條件。

④頻率特性之要求並不苛酷：在接收聲音等信號時，頻率特性乃係最重要的特性；但在

無線電控制用的場合，操作用的信號多係具單一頻率或可變頻率之調制波，甚或僅係載波而已，因其信號頗為單純，故對於頻率特性之要求也就相對的降低。

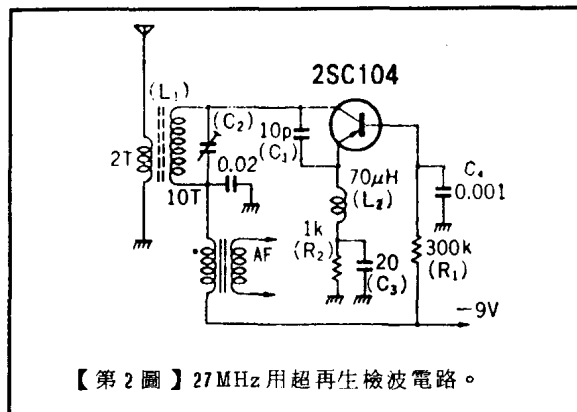
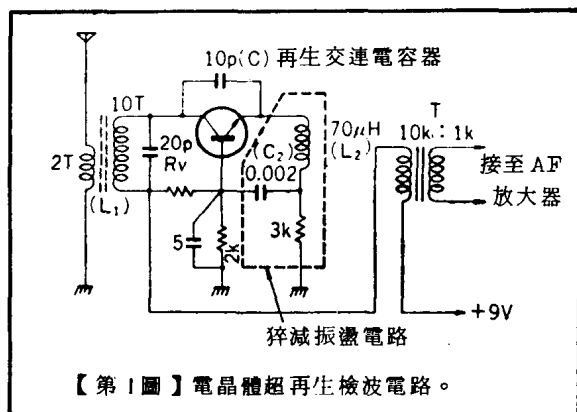
如上所述，由於用途之不同，雖目的同為接收發訊機所選出的信號，但電路結構各有不同，各使用巧妙不一之電路設計。

●——超再生電路

再生式接收機雖已成為歷史的陳跡，但確曾風靡一時。將再生式接收機之再生予以極端加強，使呈振盪狀態，再將該再生振盪予以淬滅（quenched）（使成間歇振盪狀態）亦即所謂之超再生電路，已於數10年前以特異電路之姿態被開發。其最主要且最被重視的特徵為具有極高的靈敏度。但其反面，這種接收機之選擇性以及 S/N 比甚劣，因而，除了少部分特殊用途之外，鮮為人所採用而幾為世人所遺忘。

不過，在無線電控制的場合，正可利用其超高靈敏度之特徵，而予以實際之應用。只是一般多應用於不太重視選擇性以及 S/N 比之良否的場合，諸如模型用之無線電控制裝置等。至於實際使用之機器方面，除了一部分特殊之機器外，一般則幾不使用。

由於這種電路之結構簡單，且具有高靈敏度，乃係無線電控制接收機之基本電路，故實有加以討論之必要。



►超再生檢波電路◀

圖1為電晶體化之超再生檢波電路例。雖然電路簡單，僅使用一只電晶體而已，但其檢波輸出足堪與超外差式接收機中，變頻——IF放大之標準接收電路之檢波輸出媲美。

圖中，輸入信號藉調諧線圈（ L_1 ）加於電晶體之集極，集極與射極之間則藉再生電容器（ C ）而呈強力的再生狀態。

若僅有 L_1 與 C ，則該電路僅係依輸入信號而振盪之電路而已，並不能取得檢波輸出。因此，在射極電路中加上高頻扼流圈（ L_2 ），以及與基極間之交連電容器（ C_2 ），依兩者之時間常數，使射極與基極間加上一猝滅振盪信號。此與超外差式接收機中之局部振盪電路相當，利用該振盪輸出對於已經呈極端再生狀態之輸入信號施行交換（switching）動作時，即可自輸入信號中取出調制波成分，以及施行檢波作用。這種電路雖然簡單，但為了使其功能得以提高起見，必須適當地考慮以下三個條件。

①輸入信號之再生振盪強度。

②猝滅振盪之強度。

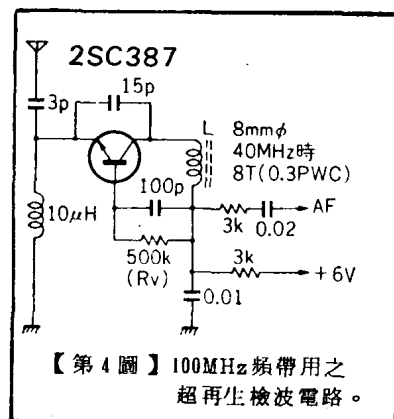
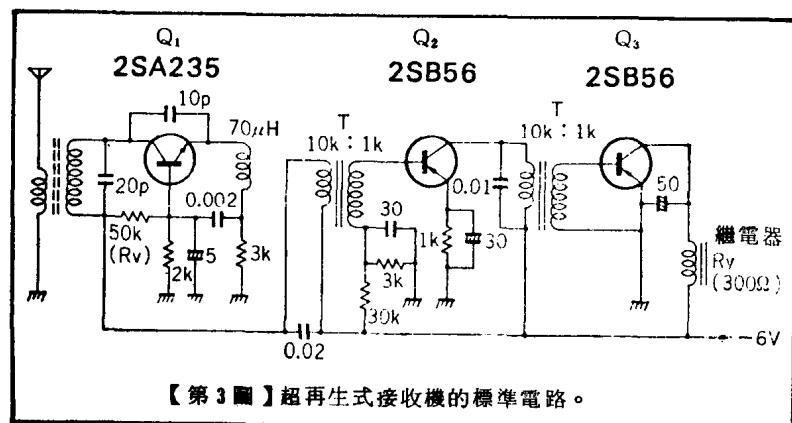
③猝滅振盪頻率（quenching frequency）之選擇。

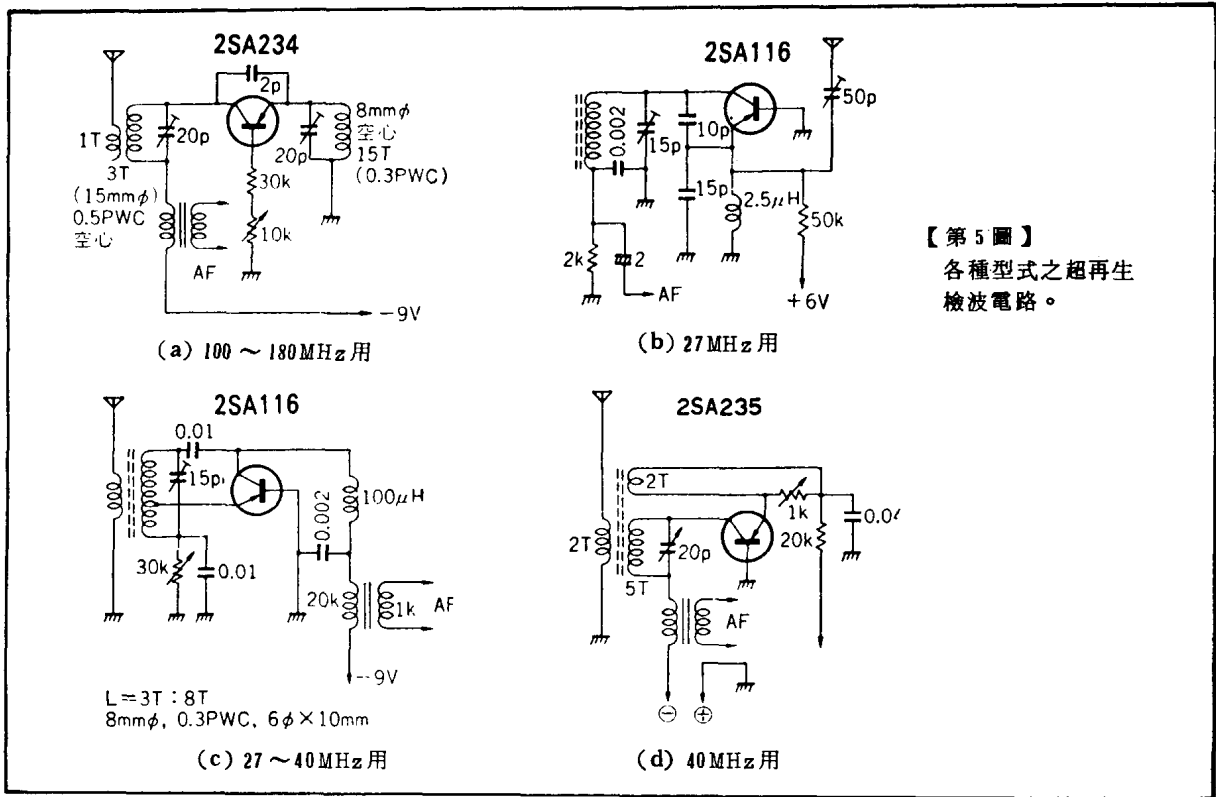
超再生檢波器電路與超外差式接收機之局部振盪電路同樣，本身具有強力的猝滅振盪（發射）動作，由於其輸出頗大，可能對於其他接收機造成影響。

關於上列①項所示再生振盪之強度問題，一般宜取剛剛能夠使得由輸入信號而引起之差頻（beat）狀態進入強力的再生狀態前之值。換句話說，理想之再生振盪強度係剛剛能通過差頻振盪時之強度。其值雖應依輸入信號之強度而調整，但一般之使用上多將電路常數固定於能夠產生強力振盪狀態時之值。

②之猝滅振盪強度依然與輸入信號間互有關係，為了電路設計容易起見，通常多少予以加強其強度。不過，電路常數之設計事實上頗為困難，一般仍以實際之實驗以求取適當之電路常數為主。

③之猝滅振盪頻率，在超再生檢波之電路





【第5圖】
各種型式之超再生
檢波電路。

中，對於靈敏度之影響最大。其適當值亦多以實體求得，一般多選擇於 10 ~ 20 KHz 之可聽頻率範圍。

► 超再生檢波電路之實例 ◀

圖 2 為最常使用之 27 MHz 頻率用超再生檢波電路，輸入信號之再生電容器為連接於電晶體集極、射極間之 10 pF 電容器 C_1 ，猝滅頻率由 L_2 、 C_3 與 R_2 之時間常數所決定，而其強度則由 C_4 所左右。

R_1 為電晶體之基極偏壓電阻，其值改變時，其他各條件均隨之變更。檢波輸出則由圖中集極電路之變壓器取出。

使用之電晶體則只需振盪特性佳，截止頻率在 50 MHz 以上者即可，若電源電壓較低，則使用漂移型之鍺電晶體更佳。

檢波輸出先經由一級放大，然後再以 Q ，作直流放大即可驅動繼電器，如圖 3 所示，該電路即為廣被使用之超再生式接收機之基本電路，當然可使用於單波道或多波道的場合。

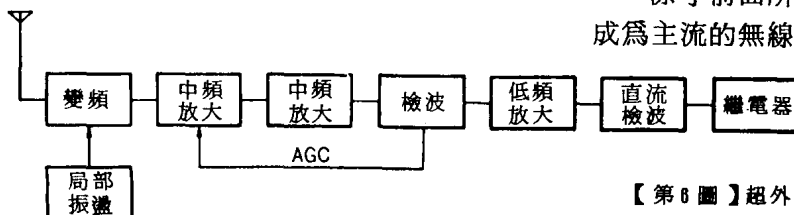
圖 4 為應用於 40 ~ 100 MHz 頻帶之超再生檢波電路例。圖 2 所示之電路雖亦可動作於該頻帶，但由於頻率愈高時，再生振盪以及猝滅振盪動作之穩定度較差，故加以改良而成圖 4 所示之電路。

至於圖 4 所示電路之動作原理則與圖 2 者相同，惟檢波效率較圖 2 者為劣。

其他各頻帶所應用的超再生檢波電路分別示於圖 5。

●—— 超外差接收電路

除了前面所述之超再生式接收機外，現今成為主流的無線電控制用接收機為超外差式接



【第6圖】超外差式接收電路之方塊圖。

●——單波道接收機電路

單波道 (single channel) 發訊機將於後面說明，係發射固定調制頻率之信號波。欲接收此種信號，依使用之用途可使用前述之超再生接收電路或超外差式接收電路。在不十分重視誤動作或其他妨害，例如模型用的場合，可使用簡單，價廉之超再生式；但在要求高精度以及高穩定度的場合，則以使用超外差式接收電路為宜。

►超再生式接收機◀

圖10為其代表的電路構成圖。係依超再生檢波——放大——整流——直流放大——繼電器驅動電路之配列方式。

經超再生檢波後之調制波利用一級低頻放大器予以放大，並將調制波之正（或負）側予以整流，並將之直流化後即可驅動繼電器。

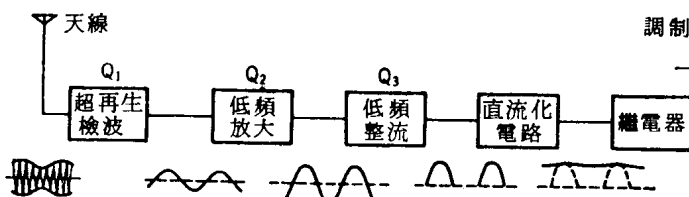
比較特異之處係末級所驅動的負載為繼電器，而非一般收音機中使用之揚聲器。其動作如圖11所示，調制信號經由 Q_3 整流與放大後，成為半波信號，由於繼電器並聯一只大容量之電容器，對於驅動電流具有平滑作用，故流於繼電器中之電流幾為直流，繼電器之動作因而更為確實。

繼電器之直流電阻值由電源電壓與繼電器之感應特性而定，一般之關係如下：

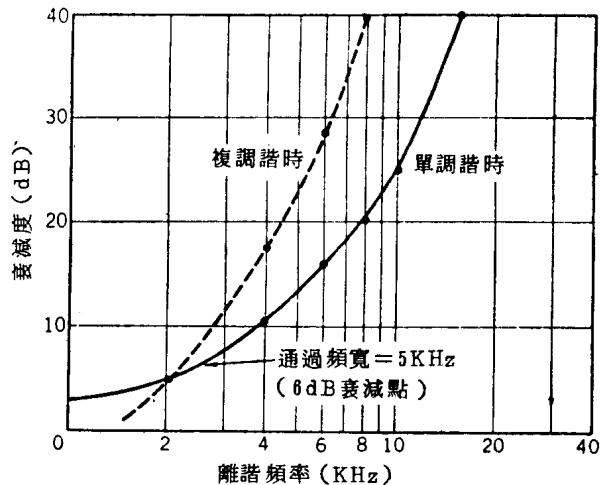
電源電壓	繼電器之直流電阻
12V	700 ~ 1000 Ω
9V	300 ~ 500 Ω
6V	50 ~ 200 Ω
3V	30 ~ 50 Ω

若使用之電源電壓較低，則繼電器之直流電阻亦小，因而最末一級電晶體將有較大的電流流過，此時應考慮其集極損失。

另外，在繼電器各接點間所連接之 CR 電路係作為火花消除電路 (spark killer) 用。避



【第10圖】單波道接收機之構成。

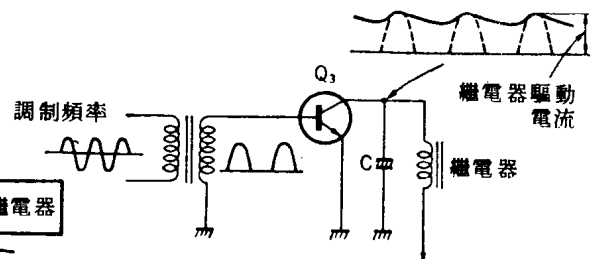


【第9圖】選擇特性之比較。

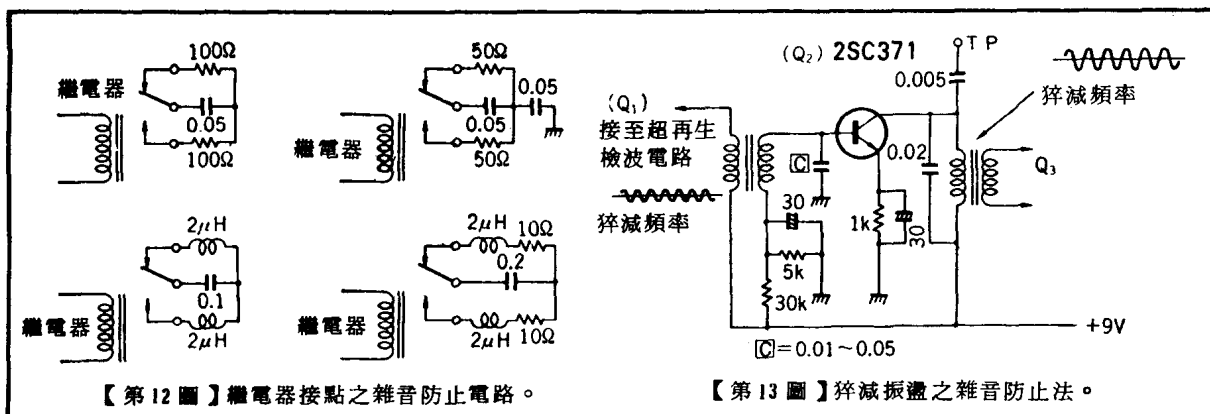
免繼電器動作之際，由其接點之火花產生雜音信號，經由天線再引入接收機中，造成誤動作之原因。因此，在使用繼電器的場合必須加上該電路。

理論上而言，由繼電器接點之負荷電流，或者依負荷為電感性或電容性而應調整 CR 之值。但就一般之使用上，圖12所示各種火花防止電路多能有滿意的動作。隨着接收機靈敏度之提高，火花防止電路之調整也要求更為精密。

放大用電晶體 (Q_2) 集極側所設置之 TP (Test point) 端子，係用來做調諧電路之調整用。若在該端連接一只晶體式耳機，則在無輸入電波的場合，應能由耳機聽得相當強度之“沙沙”音響。該信號係超再生接收機特有的猝滅振盪頻率。若能聽得該音響，即表示超再生電路之動作正常。假如該音響強度甚大，則可能使 Q_3 有較大的電流通過，以致於引起繼電器誤動作現象。此時，在 Q_2 之基極側插入一只旁路電容器藉以衰減之（參照圖13）。



【第11圖】繼電器電路之動作。



加上該旁路電容器後，對於信號亦具衰減作用，是故其值應適當選擇，俾使在僅有猝減頻率時，流於繼電器中之電流為最小，且當有信號輸入時，對於信號之衰減為最小。

超再生接收機的另一特徵係在無信號輸入之情況下可聽到“沙——”的音響，但當接收到輸入信號中之載波時，該音響立即消除。假設該音響仍未能消除，即代表接收機之調諧電路失調，此時應調整接收機中調諧線圈之鐵心位置，以迄該音響完全消失之點（當發訊機之載波甚為微弱的場合，則是項音響並不能完全消除）。

當接收機已接到發訊機所送出之調制信號時，亦可由耳機聽得該調制信號之聲音。

►超再生Relay less接收機◀

假設與接收機連接之負荷並非伺服馬達之類，而係如卡子(escapement)等，僅作ON-OFF動作的場合，則如圖14所示，最末級電晶體係作ON-OFF之交換動作，並無需其他電源，此時應注意輸出端之正負極性。

若負荷電流較大，達數100mA的場合，則如圖15所示，追加一級直流放大器。當然需對該電晶體之集極損失加以留意。此種電路由

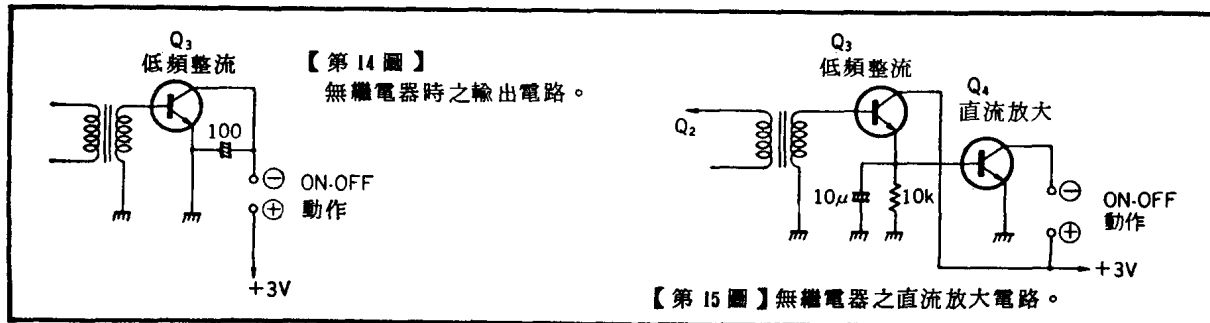
於無機械接點存在，故動作甚為確實。

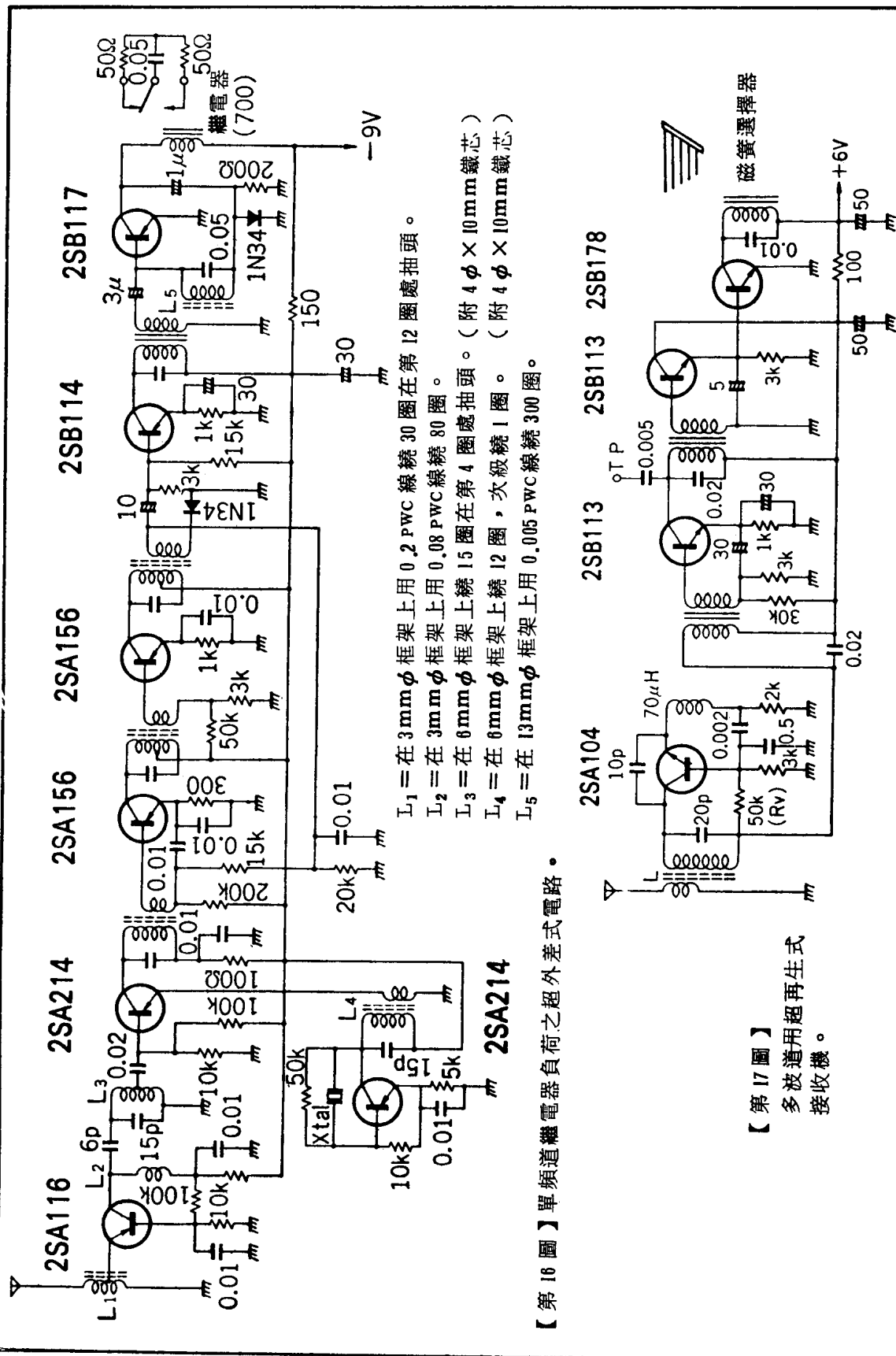
►超外差式接收機◀

實際機器中使用之無線電控制用接收機，為了需要有高穩定度、選擇性以及雜音障害之防止，期能有較高的信賴起見，以使用超外差式者為宜。不過，若單就接收機之超外差化，僅在接收機側加上放大，當繼電器驅動電路時，由繼電器接點所引起之雜音依然能夠經由天線介入接收機中，因而造成誤動作之原因，故並不能實用。

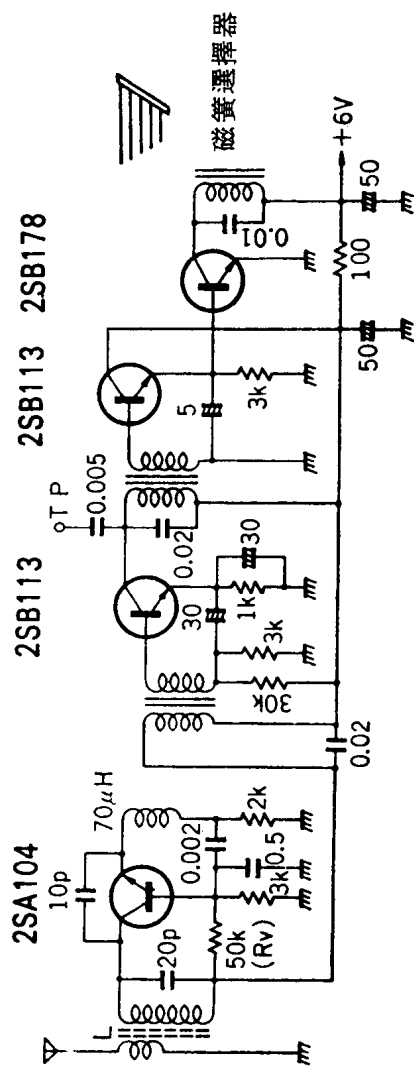
因此，實際應用之超外差接收電路如圖16所示，圖中，迄檢波電路為止，電路之結構與一般標準的超外差式接收機相同，放大後至繼電器驅動電路之間則追加一調諧電路，使與發訊機之調制波諧振，用以衰減其餘之雜音成分，而僅使調制信號得以通過。不過，低頻共振電路之Q值較低，故不易獲得甚為尖銳之選擇特性。對於雜音妨害之穩定性而言，似尚未能達最佳之特性。不過，假如在諧振線圈中加上Ferrite core以提高Q值時，則可得頗為實用之超外差接收機。

前述Relay less方式的場合，由於不使用繼電器，故無自繼電器接點之雜音所引起誤動

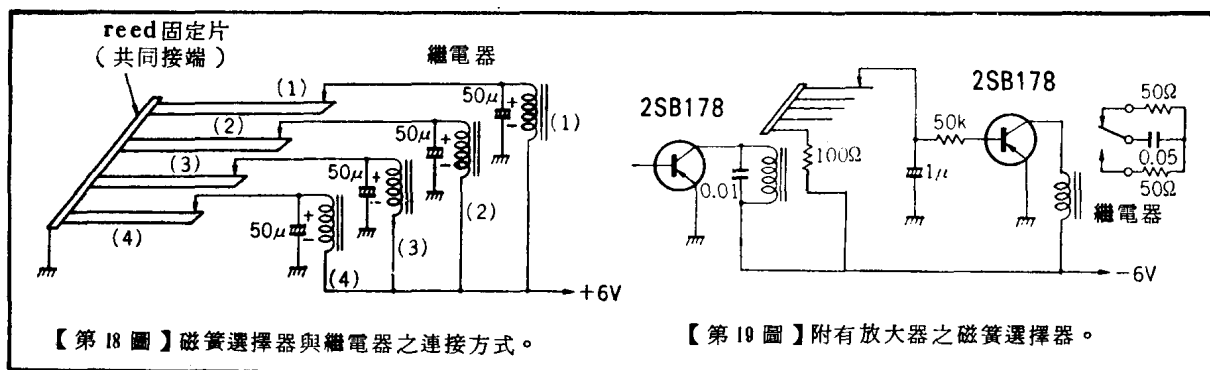




【第16圖】單頻道繼電器負荷之超外差式電路。



【第17圖】
多波道用超再生式
接收機。



作之虞，但假設接收機附近有伺服馬達系統時，由於馬達之雜音亦可能引起誤動作。因此，對於單波道發訊機而言，僅對於接收機之超外差化仍然存在許多問題，有關其對策之具體例則容後討論。

●——多波道接收機電路

所謂多波道 (Multi - channel) 係在單一載波中，含有多數固定頻率之調制波之謂。圖 17 爲多波道超再生式接收機之電路例。在此場合，接收電路部分與前述單波道方式之場合相同，所不同者係負荷之不同而已，即單波道的場合使用繼電器，而多波道的場合則使用可選擇調制頻率之磁簧選擇器 (Reed selector)。

例如，發訊機所送出之調制頻率為 400，450，500 Hz，接收機中對於上列諸頻率信號施予同等的放大，此時，磁簧選擇器在接收到 400 Hz 的場合，僅有專供選擇該頻率之簧片引起共振而接通其接點，與該簧片連接之繼電器

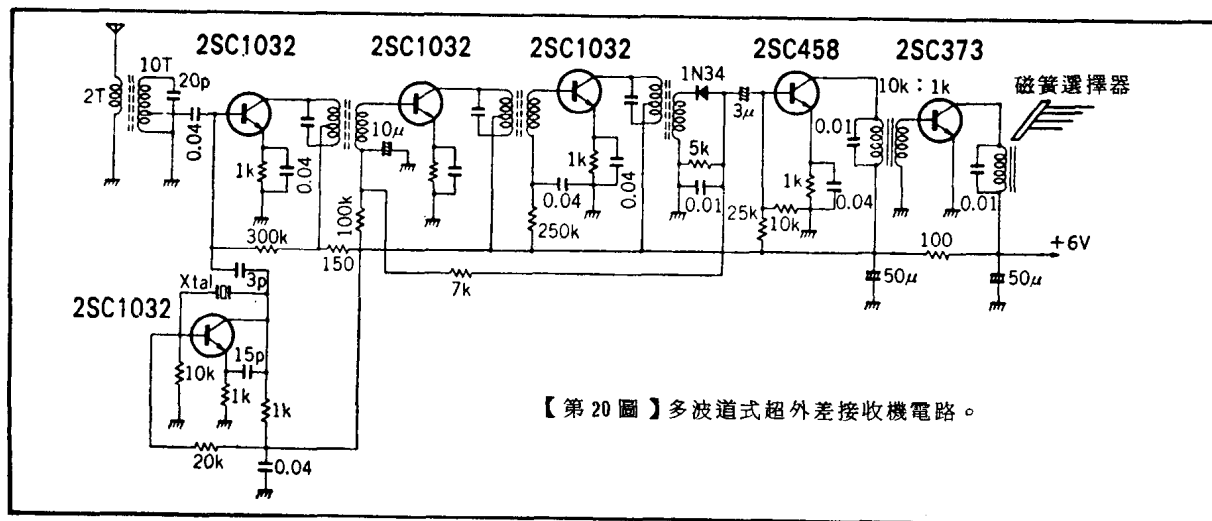
因而動作。至於各簧片與繼電器間之連接方式如圖 18 所示。

由圖可以看出，今設簧片與電阻為 $200\ \Omega$ 之繼電器連接，而使用之電源電壓為 6V ，則當磁簧動作時，其接點將約有 30mA 之電流流通，雖然簧片與接點均使用優良的材質，但在長時間斷續之動作下，其使用壽命甚短。

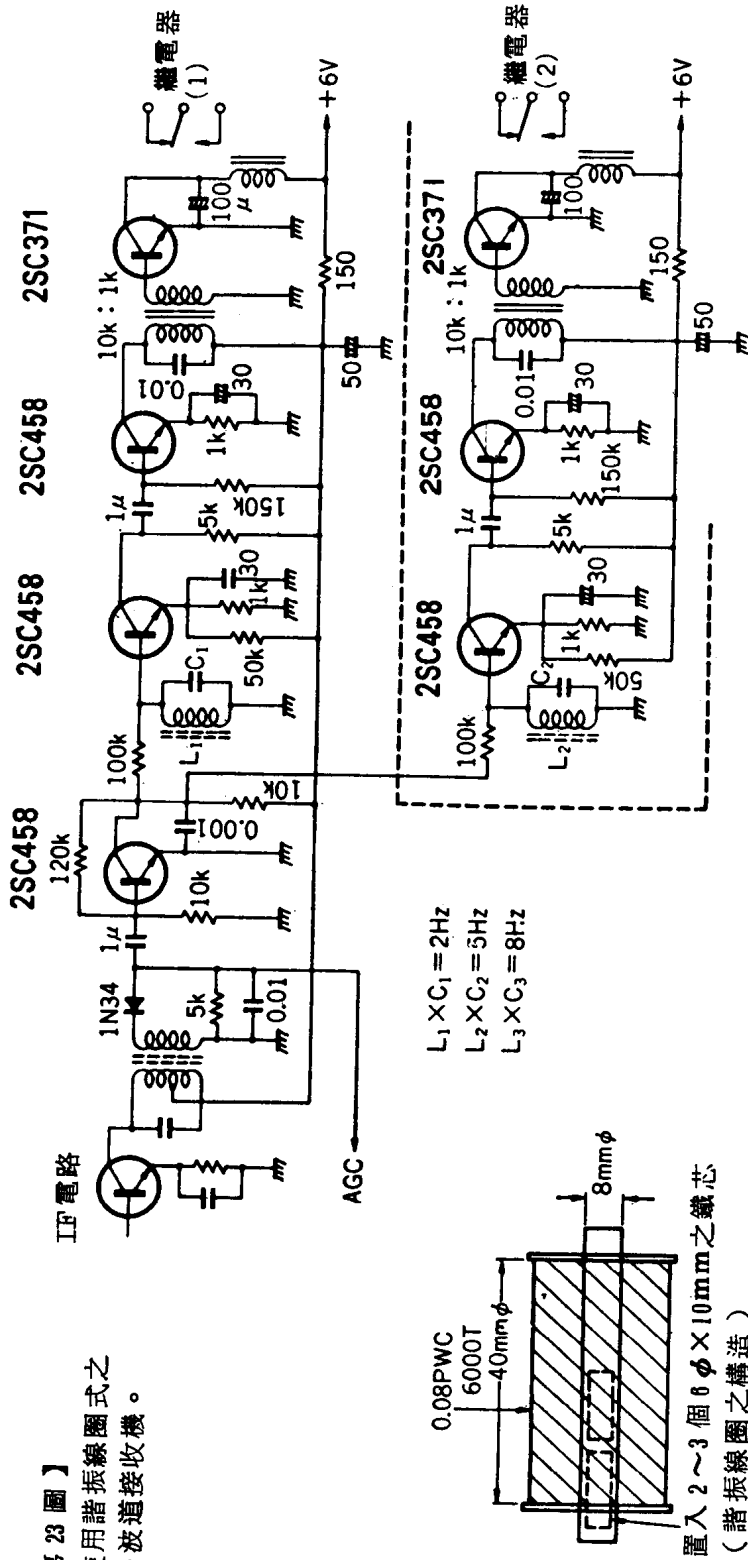
爲解決上項缺點，可使用圖 19 所示之方式，追加一只電晶體作直流通放，而以該電晶體驅動繼電器。設若電晶體之放大倍數爲 50，則流經簧片之電流僅 0.6mA 而已，如此即可防止簧片接點接觸不良或接點燒損之現象。

使用磁簧選擇器之接收機，由於磁簧具有高度的選擇特性，例如 400 Hz 之簧片與其共振之頻率為 $400\text{ Hz} \pm 2\text{ Hz}$ （一般的使用狀態下），因此，對於其他雜音頻率幾無誤動作之情形發生。

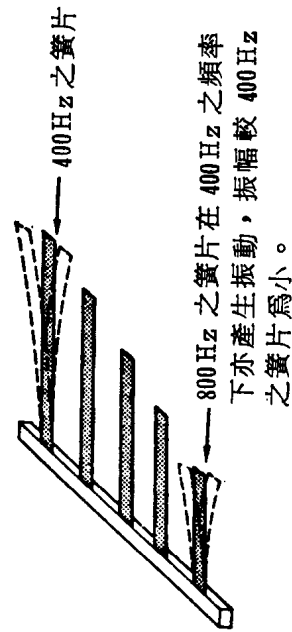
由於此種電路方式之動作穩定，對於雜音的承受力甚高，雖接收電路部分未予十分考究



【第 23 圖】
使用諧振線圈式之
多波道接收機。



3波道的場合，增加一組虛線內所示之電路



使用銼刀稍加研磨可提高共振頻率。加上鉚錫時共振頻率降低。

【第21圖】磁簧之共振情形。



，但已敷實用之要求。

圖20為多波道超外差式接收機電路例。僅係一般之超外差式接收電路加上磁簧選擇器而已。由於毋須考慮雜音之防止問題，故電路結構較單波道者簡單。

使用磁簧選擇器之接收機並可簡單地獲得多種動作，且穩定度高，應用範圍也就非常廣泛。

►磁簧選擇器之使用法◀

無線電控制用接收機中使用之磁簧選擇器大多屬簧片數與波道數相同之複合型選擇器。

這些簧片並非依特定之共振頻率設計值，諸如 400Hz，425Hz，450Hz……等而製作。而多係 403Hz，423Hz，451Hz 等具有不規則之共振頻率。當然，每只簧片經由細心的研磨加工或加上適當之焊錫後，可得所希之共振頻率值；，但一般之使用上多未加以修整，而視每只簧片均具其特定之共振頻率。在調整時，只需改變發訊機側調制頻率調整用之可變電阻即可。一般的場合，在作上項調整時，多在發訊機側調整其調制器之振盪頻率，使簧片達最大的共振點，因此，接收機側之調整甚為簡單。

在此，應注意之事項如圖 21 所示，今設第一只簧片之共振頻率為 400Hz，在發訊機側調整其調制器以求最大共振點時，往往會使長度較選擇 400Hz 之簧片為短（即共振頻率較高）而共振頻率可能為 800Hz 之簧片亦引起共振，亦即該簧片共振於 400Hz 之 2 次諧波。有時某些簧片亦可能在 1.5 倍之諧波下引起共振。

上述現象經常發生於同時操作的情況。在同時令 2 只以上的簧片動作的場合，由於高次諧波或者寄生振盪之存在，往往不應動作之簧片引起共振（當磁簧選擇器之輸入較強時，上述現象之傾向更大，但此為設計上之問題故在此未予考慮）。

在此場合下，可使用圖 22 所示，將易引起寄生振盪之簧片利用銼刀磨去稍許，使提高其共振頻率，或在簧片之末端加上少許焊錫，藉以減低共振頻率，亦即利用試驗（cut and try）之方式加以修正，使與寄生振盪頻率分離。但讀者應留意，雖僅稍加研磨或加上少許焊錫即可改變 10Hz 左右之共振頻率，故必須小心

翼翼從事上項工作。

►使用共振電路之多波道接收機◀

欲分離發訊機所送出之調制信號，除了使用磁簧選擇器外，亦可使用共振電路之方式。只是低頻共振電路不易獲得較高之 Q 值，故其選擇性較之磁簧選擇器者為低，事實上，欲得 $\pm 2\text{Hz}$ 之選擇度乃屬不可能。

假若鄰接之頻率較大，例如使用 2KHz，5KHz，8KHz 之頻率間隔時，則可使用圖 23 之電路予以分離。依實驗可知，除了使用特殊之電路外，若鄰接之頻率不大於 1KHz 以上時，則無法予以分離。

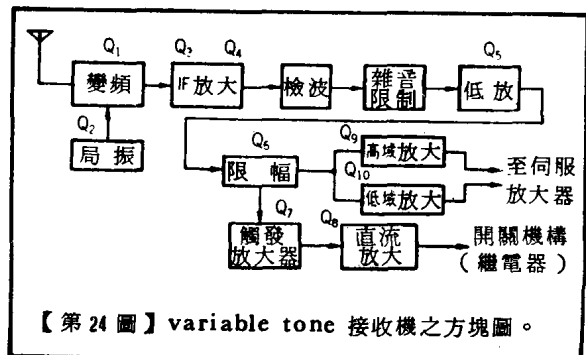
圖 23 為 2KHz，5KHz，8KHz 3 波道用之接收機，各頻率分別由獨立之共振電路予以分離。其主要的特徵為不具磁簧選擇器之機械接點，故耐衝擊，穩定度亦高；但其反面，為使共振線圈之 Q 得以提高起見，線圈須加上 Ferrite core，接收機之形體遂因而增大，同時，當波道數增加時，由頻率以及技術上之立場而言均尚有困難存在，是故除了少數特殊用途之外，並未能普及。

●Variable Tone 式接收機電路

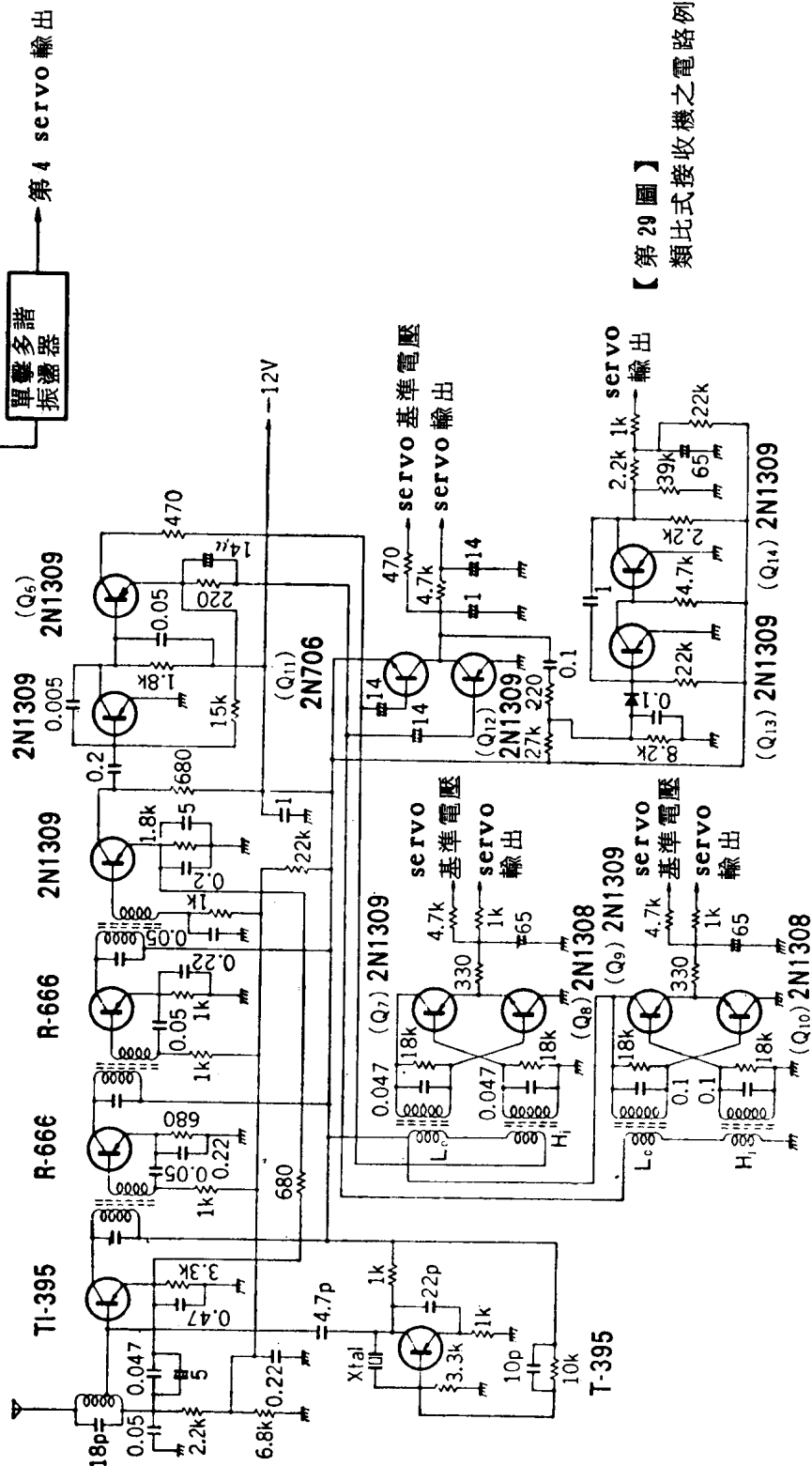
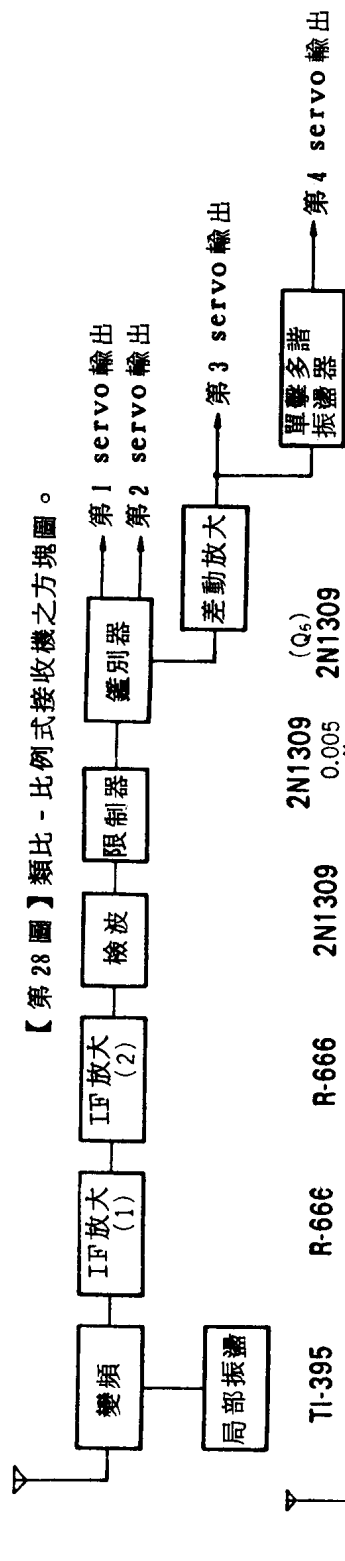
所謂 Variable Tone 方式實際上可視為一種單波道之比例 (proportional) 控制方式。

此式發訊機之調制頻率可任意改變，例如在 500 ~ 1000 Hz 間變更，並可得一與頻率變化成比例之動作，圖 24 為接收機之方塊圖，而其實際電路則如圖 25 所示。

與一般之接收機相同的電路部分在此不另作說明，至於低頻放大用電晶體之射極電路上所加上的正電壓，其主要作用係用以控制電壓



【第28圖】類比 - 比例式接收機之方塊圖。

【第29圖】
類比式接收機之電路例。

率遠離700Hz，例如在750Hz時，便需將低域側之諧振頻率降低，同時亦將高域之諧振頻率一併降低。

其次，將前述之電流計更換為電壓計（5～10V），同樣，將輸入頻率在600Hz～800Hz之範圍內變化，適當地調整2kΩ之電阻，使電壓約呈一定值。

上述之調整工作完了後，該電路之輸出信號即可接至伺服放大器中，用以控制馬達之正逆方向旋轉或停止等動作，而該等動作係與發訊機側用以變化調制頻率之可變電阻之動作成比例。

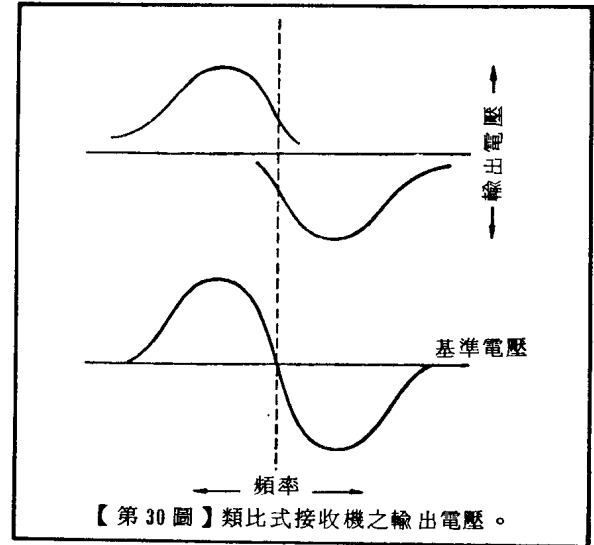
這種 Variable Tone 式裝置對於簡單的比例控制裝置而言雖已具實用性，但在多波道的場合仍有多項困難，故主要應用於模型之操作，現今一般實用之裝置則多使用數位比例方式(digital proportional)者。

●——類比·比例式接收機之電路

圖29為類比·比例式(Analog Proportional)接收機的方塊圖形。其主要之動作係利用適當的方法將變化的脈衝波幅或時間比信號予以取出，並送至類比式之伺服系統中。

在接收電路中，先將來自高頻接收電路並經檢波之高域與低域振盪信號在限制器(limiter)中予以平均，然後輸至高低域兩方之鑑別器(discriminator)中，信號在鑑別器中除了作頻率之辨別外，同時兼作檢波之動作，至於其輸出則不論在低域或高域的場合均係以諧振中心頻率為中心之正、負電壓，利用該輸出即可得兩種不同的動作。

除了上述之二種不同動作外，由兩種頻率



所形成之脈衝利用一只差動放大器來改變其時間比，尚可得另一種動作。再者，使用單擊多諧振盪器(one shot multivibrator)以改變脈衝之時間寬度時，又可得第4種動作。

以下茲就圖29之具體電路例加以說明。

由發訊機所送出之調制波係高域振盪電路與低域振盪電路之合成波形，該信號經一般的變頻，中頻放大以及檢波後，輸到用以擔任高域與低域鑑別用之2只鑑別器中。

高域鑑別器由 Q_8 、 Q_{10} ，而低域則由 Q_7 、 Q_9 構成，鑑別器之諧振線圈分為Lo與Hi兩部分，分別調諧於兩端之頻率。

例如，低域側之頻率為1800Hz，假設可變頻率為 $\pm 170\text{Hz}$ ，則其高域側之頻率為 $1800\text{Hz} + 170\text{Hz} = 1970\text{Hz}$ ，而低頻部分之頻率則為 $1800\text{Hz} - 170\text{Hz} = 1630\text{Hz}$ 。此時， Q_7 之諧振頻為1630Hz，而 Q_8 側為1970Hz。

由於 Q_7 與 Q_8 為PNP以及NPN電晶體串

