

業餘無線電發射機

陳遠琛編譯 · 萬里書店出版

上冊

TRANSMITTER
HANDBOOK
FOR
AMATEURS



504525

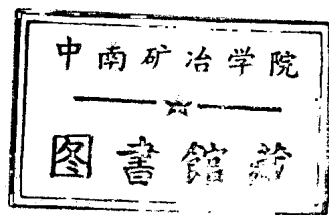
業餘無線電發射機

(上册)

陳遠琛編譯



0094771



香港萬里書店出版

現代電子技術叢書

業餘無線電發射機(上册)

陳遠琛編譯

出版者：萬里書店有限公司

香港北角英皇道486號三樓

電話：5-632411 & 5-632412

承印者：龍景印刷有限公司

香港柴灣新業街11號八樓B座

定價：港幣十七元

版權所有 * 不准翻印

(一九八〇年五月版)

目 次

第 1 章 高頻發射	1
基本電路	1
晶體振盪器	3
可變頻率振盪器	7
可變頻率振盪器實例	13
可變頻率振盪器度盤	18
倍頻器	20
推動器	23
射頻功率放大電路	28
發射管額定值	28
電子管電極電壓的電源	29
晶體管額定值	33
冷 却	34
發射機的輸出功率	36
放大電路	38
柵極接地放大器	40
晶體管電路	42
射頻功率放大器槽路和耦合	44
電感耦合	47
π 形網絡和 π -L 輸出槽路	50
晶體管輸出電路	53
寬頻帶耦合	53
穩定放大器	55
測 量	61

元件額定值	62
K1ZJH固態無線電收發兩用機	64
簡單的發信帶通濾波器	92
160 公尺波段放大器	94
傳導冷却的2kW放大器	100
使用EIMAC 8877三極管的2kW放大器	105
QRP無線電收發兩用機使用的一種放大器	114
第2章 流動、便攜和應急設備	119
流動和便攜式設備	119
電氣噪聲的抑制	120
流動天線	126
利用L形網絡的匹配	130
連續加減螺旋線鞭形天線	133
遠距離天線諧振	136
流動電源	138
晶體管化電源	141
無線電收發兩用機的流動電源	142
船上業餘無線電設備	145
波段轉換場強表	148
直接變換的20和40公尺波段接收機	149
造價低廉的接收機	157
便攜式交流發電機	166
維修保養問題	167
電氣方面的考慮	171
第3章 電碼發射	175
振盪器鍵控法	181
鍵控速度	185
鍵控的試驗和監聽	186
高級全固態鍵控器	188
單個集成電路的鍵控器	192
第4章 調幅與雙邊帶通信	195
調制包迹	197

調幅方法	201
調制裝置	201
屏極或集電極調制	202
柵極調制	205
雙邊帶信號發生器	208
調幅電話運行情況的檢查	208
使用示波器	208
發射機工作性能的檢查	212
通用調幅器	213

第1章

高頻發射 (HF Transmitting)

基本電路 (Fundamental Circuits)

無線電信號的發射方式有電碼、調幅、調頻、單邊帶、電傳打字等。不論是哪一種發射機，都要用到電子管和半導體管元件。發射機所需要的基本部件包括振盪器、放大器、倍頻器和變頻器，另外再加上適當的電源設備就構成常見的發射設備，而電子管和半導體管是這些部件的基本元件。

最簡單的電碼發射機 (Code transmitter) 是一個直接與天線相連的鍵控振盪器 (Keyed oscillator)。結構比較複雜而且比較適用，又為許多初學者所熟悉的電碼發射機包括一個或多個倍頻級



圖1-1 這個人正在進行廣播，他的聲音被當作業餘發射機進行質量檢查，不論他選擇什麼方式來發音。

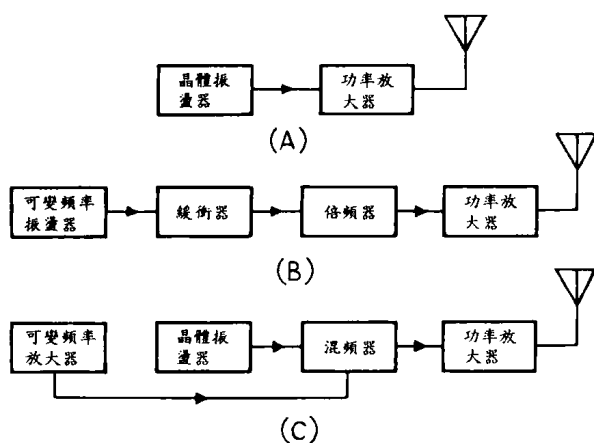


圖1-2 發射機三種基本形式的方框圖

(Frequency-multiplication stage)，以及一個或多個功率放大級 (Power-amplifier stage)。任何一種電碼發射機顯然都需要採用鍵控方式來操作。圖1-2A和B表示電碼發射機的方框圖。調幅或調頻的雙邊帶電話發射機 (Double-side-band phone transmitter) 的射頻信號發生和放大部分與電碼發射機的相似。

發射機總的設計形式主要取決於工作頻帶和輸出功率的大小。一個簡單的、頻率足夠穩定的振盪器在較低頻率範圍內可以當作發射機使用，但是能夠得到的輸出功率很小。一般情況下是把振盪器的輸出信號施加到一個或多個放大器裏，使送到天線的功率能提高到一定的電平。

輸出信號的頻率與輸入信號頻率相同的放大器稱為直接式放大器 (Straight amplifier)。某一放大級有時稱為緩衝放大器 (Buffer amplifier)，以表示它的主要目的在於起隔離作用，而不是取得功率增益。

當頻率增高時，振盪器的頻率穩定性將變得越來越難於維持。為了能發射較高頻率的信號，通常實用的方法是讓振盪器仍在較低頻範圍內工作，並根據需要加上一個或多個倍頻器 (Frequency multiplier)，以取得所需的輸出頻率。倍頻器也是一種放大器，它的輸出

信號頻率等於激勵信號頻率的若干倍。頻率二倍器 (Doubler) 是一種輸出頻率等於激勵頻率兩倍的倍頻器；同樣，頻率三倍器 (Tripler) 是一種輸出頻率等於激勵頻率三倍的倍頻器，等等。從發射機當中某一特定級的角度看來，它的前置級是一個激勵器。

通常倍頻器不應直接用來向天線系統饋電，而應通過直接式放大器向天線系統饋電。

採用晶體穩頻振盪器 (Crystal-controlled oscillator) 很容易維持良好的頻率穩定性，但是對每個頻率 (或其倍頻) 需要用不同的晶體。自控式振盪器 (Self-controlled oscillator) 或可變頻率振盪器 (Variable-frequency oscillator, 即 VFO) 可以採用收音機旋鈕的方式調諧到任何頻率值，但如果其穩定性要求比得上晶體振盪器，在設計和製造時需要特別小心。

許多發射機使用電子管，但低功率高頻發射機和多頻道甚高頻調頻發射機則以使用晶體管為主。當前正在研製一些新式固態器件，直流輸入可達 100 瓦或更多，而相互調制失真 (Intermodulation distortion) 成分的電平很低。當這些晶體管的成本降低時，可以設想將來電子管只用於功率放大大方面。

電碼發射機中進行鍵控最好是哪些級的問題，將在後面有關章節中討論。振盪器—倍頻器—放大器型的發射機老早就已普及。然而，良好的頻率穩定性和柵偏鍵控 (Grid-block keying, 這將在第三章解釋) 的優點使圖 1-2 C 所示的外差式發射機 (Heterodyne transmitter) 的應用日益普遍，雖然這種發射機的電路稍微複雜一些。

調頻發射機 (FM transmitter) 只能在振盪級或其下一級進行調制。調幅電話發射機 (AM phone transmitter) 只能在輸出級進行調制，除非調制級後面緊接着一個線性放大器。但是，在調幅級後面加一個放大器只是一種便當的權宜措施，要想取得最佳效率的話，還是以不採用為好。

隨着單邊帶電話信號的產生，其頻率只能通過頻率變換 (不是倍頻) 的方法來加以改變，進行的方式完全像接收機的信號與一個不同的頻率產生差拍一樣。單邊帶發射機 (Single-sideband transmitter) 的設計和構造的詳細情況將在本書下冊第五章介紹。

晶體振盪器 (Crystal Oscillator)

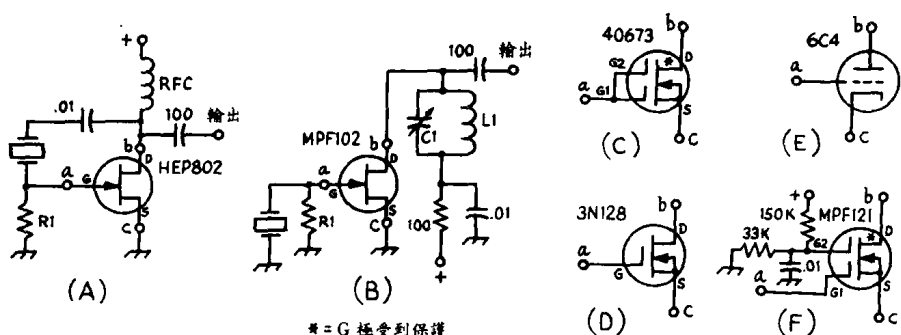


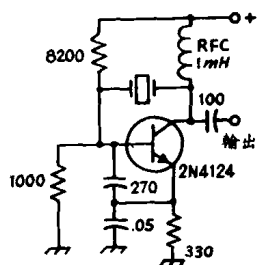
圖1-3 簡單的晶體振盪器電路

由於採用石英晶體 (Quartz crystal) 的緣故，可能使晶體穩頻振盪器以很高的準確性保持頻率的恒定。這個頻率幾乎完全取決於石英晶體的尺寸 (主要是厚度)，而電路的其他參數相對說來影響甚小，可以忽略不計。然而，可以得到的功率受到晶體能承受而不致引起破裂的熱量的限制。這個熱量取決於射頻晶體電流 (Radio frequency crystal current) 的大小，而後者又是提供適當激勵所需的反饋量的函數。未達到危險點的晶體熱量會使頻率產生漂移，漂移多少決定於晶體切割的方法。激勵量總是調到正常工作所需的最小數值。

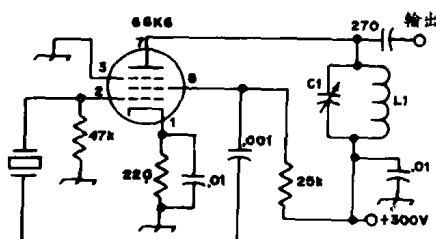
最穩定的是那些只有很小的電壓輸出 (輕負載)，而且晶體的激勵電平很低的晶體振盪器。這些振盪器廣泛應用在接收機 (Receiver) 和外差式發射機中。振盪器 - 倍頻器 - 放大器型的發射機通常需要從振盪級取得一些功率。以上兩種晶體振盪器的有源元件 (Active element) 可以是電子管或晶體管。

振盪器電路 (Oscillator Circuits)

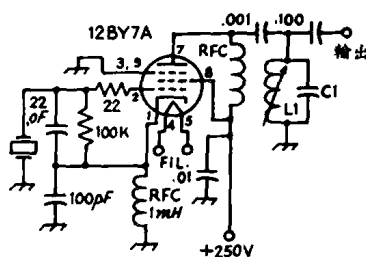
最簡單的晶體振盪器電路如圖1-3A所示。電路中的反饋是由閘源電容 (Gate-source capacitance) 和洩源電容 (Drain-source capacitance) 提供的。圖1-3B表示調棚、調屏振盪電路中的調棚電路 (Tuned grid circuit) 用晶體取代的情況。雖然在圖1-3A和B的電路中表示的是結型場效應晶體管 (JFET)，但也可採用金屬氧化物半導體場效應管 (MOSFET) 和三極電子管 (Triode)，接



(A) 雙極性晶體管



(B) 五極管



(C) 電子耦合
(柵極-屏極)

圖1-4 設計成傳送功率的晶體振盪器電路。L1和C1在晶體頻率下發生諧振，或在其倍頻下發生諧振，如果二次、三次或四次諧波是所需要的輸出頻率的話。

線情況示於圖1-3C至F中。

當遇到需要從晶體振盪器中取用一些功率的情況時，可採用圖1-4所示的電路。其中圖A的電路使用一個雙極晶體管 (Bipolar transistor)，圖B和C所示的電子管電路稍微複雜一些，其中把振盪器和放大器或倍頻器的作用集中到一個電子管裏，四極管或五極管的帘柵極被當作三極管振盪電路的屏極那樣使用。功率輸出取自實際屏極電路中一個單獨的調諧槽路 (Tuned tank circuit)。當屏極槽路在晶體的基本頻率附近調諧時，振盪器本身不能完全免受這種調節的影響，但通過適當選擇振盪管 (Oscillator tube)，這種影響可減到令人滿意的程度。

圖1-4 B和1-4 C的振盪器是圖1-3 B的柵屏電路的變形。在圖1-4 C中，接地點已從振盪器的陰極挪到屏極 (換句話說，挪到五極管的帘柵極)。激勵通過22和100pF的反饋電容器的適當比例來調節。

當圖1-4B電路採用某些類型的電子管時，遇到輸出屏極電路調諧到晶體振盪頻率的情況，振盪將會停止，這樣就需要與屏極槽路配合，使後者臨界失調，以取得穩定的最大輸出。但是，如果使用的是6 GK 3、12 BY 7 A、5763或功率較小的6 AH 6，加上對激勵進行適當調節，則調諧到晶體頻率時就不會停止振盪。這些管子與其他大多數管子相比較，取得同樣的功率輸出只需靠較小的晶體電流來操作，而且當屏極電路調諧過程中通過晶體頻率時，頻率的變化較小（在3.5 MHz時小於25 Hz）。

晶體電流可通過觀察與晶體串聯連接的60mA度盤燈(Dial lamp)的相對亮度來估計。細心調節激勵的電平，使輸出足夠大時電流保持最小。在工作電壓為已知情況下，晶體電流為40mA或更小時應能得到足夠大的輸出。

在這些電子管電路中，把屏極槽路按所需諸波進行調諧時，輸出頻率可變為晶體頻率的若干倍。在較高諸波範圍內，輸出訊號的電平自然會降低。特別是對諸波工作來說，小電容屏極槽路是值得想望的。

實際需要考慮的問題 (Practical Considerations)

晶體振盪器的工作經常受到阻礙，因為電路中也會出現甚高頻寄生振盪。消除寄生現象的一種有效方法是使用低值合金電阻器或鐵氧體磁頭 (Ferrite head)，如圖1-5所示。寄生振盪抑制器 (Parasitic stopper) 可接在控制極 (閘極G或基極) 引線上，而且應盡可能與晶體管離得近一些。圖1-5A是小功率電路的應用例子。如果要使用1MHz以上的晶體，最好在晶體兩端跨接一個微調電容器 (Trimmer capacitor)，以便能準確調節晶體頻率。

在調頻和單邊帶發射機中經常接有數個晶體，並通過選擇開關來與單個振盪器接通。如果使用的是手動開關，則接到開關的引線可能產生足夠大的附加電容而使电路的工作遭到破壞。因此，當前流行採用二極管開關 (Diode switch)，如圖1-5B所示。任何高速開關二極管都可以使用。在低電平的槽路，特別是在接收機中，已經廣泛採用二極管來完成開關動作。有一種稱為PIN的特殊二極管是專門為這些用途研製的。對於任何一個二極管開關電路來說，開關偏置電壓應比出現的最大射頻電壓大好幾倍。

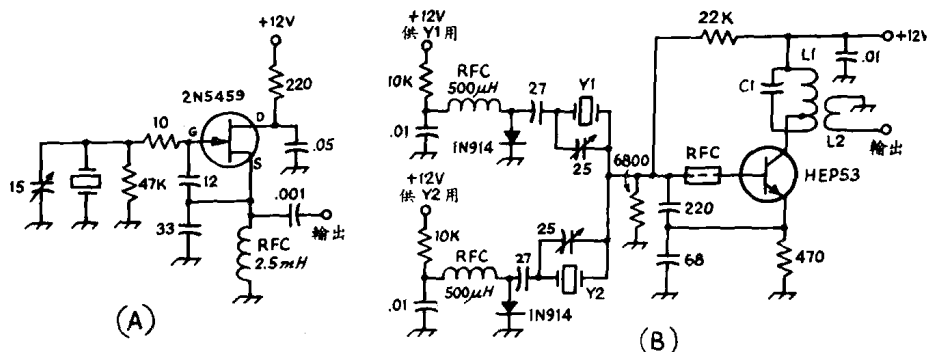


圖1-5 兩種實用的晶體振盪器設計。(A)用於小功率輸出電路，諸如變換振盪器(Conversion oscillator)或拍頻振盪器；(B)二極管對晶體起開關作用的例子。晶體管基極引線上的射頻扼流圈是鐵氧體磁珠構成，它起着防止寄生振盪的作用。

可變頻率振盪器 (Variable-Frequency Oscillator)

可變頻率振盪器 (VFO) 的頻率完全取決於電路中電感和電容值的大小。因此，應採取謹慎步驟來盡量減小那些會引起這些數值變化的客觀因素。舉幾個例子來說：(1)甚至溫度很小的變化，特別是線圈溫度的微弱變化，都會造成緩慢，然而明顯的頻率變化，這就是頻率漂移 (Frequency drift) 的現象；(2)振盪管的有效輸入電容的大小隨電極電壓而變，這種變化又對振盪器的頻率造成影響；(3)為了利用振盪器發出的功率，通常把放大器作為負載結合到振盪器裏，而負載的變化也會影響到頻率；(4)元件微小的機械運動也會導致頻率漂移，而且振動會引起調制作用。

人們採用了各種技術來設計可變頻率振盪器供發射機和接收機使用。在接收機裏，可變頻率振盪器通常稱為高頻振盪器 (HFO)。

可變頻率振盪電路 (VFO Circuit)

可變頻率振盪電路的最常見例子如圖 1-6 所示。這些電路都是為了減小上面提到的幾種效應而設計的。圖 1-6 A 和 B 是哈脫萊電路 (Hartley circuit), C 和 D 是考畢茲電路 (Colpitts circuit)。其中圖 1-6 A、B 和 C 的電路採用很大的槽路電容 (Tank capacitance) 來取得高 Q 值槽路，能減小上面除了電感變化以外的所有效應。由於

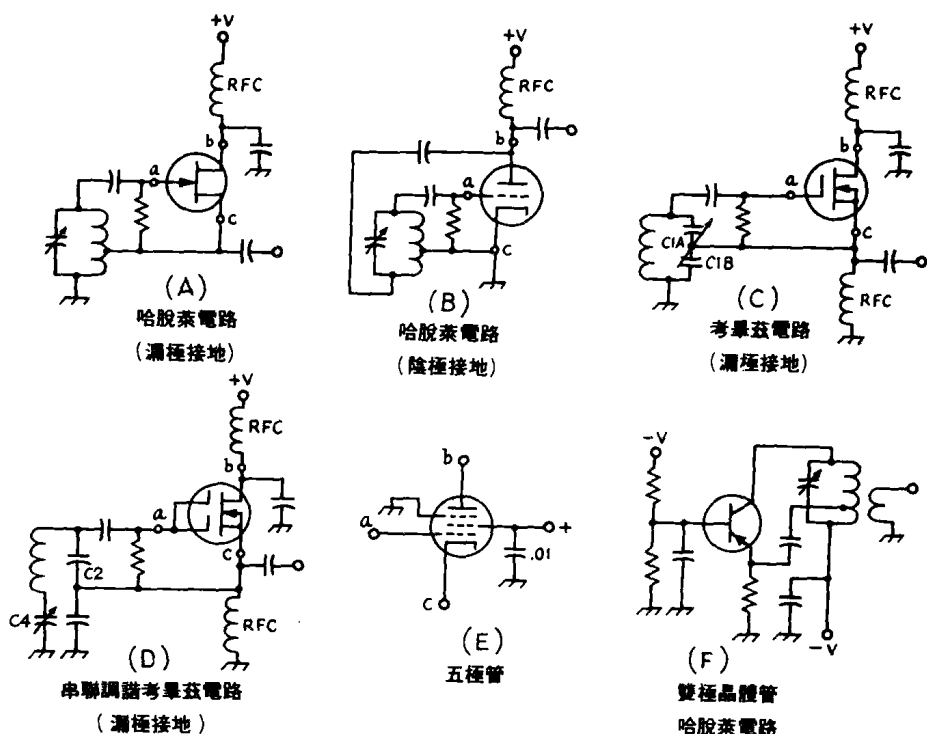


圖1-6 可變頻率振盪器電路。圖1-2C至F所示的器件也可以作為此電路的有源元件。

槽路電容大，所以任何不受控制的電容變化在整個電路電容中只佔很小的百分比。

圖1-6 D所示的串聯調諧考畢茲電路（有時稱為克拉普電路，Clapp circuit）通過不同方法取得高 Q 值槽路。電子管（振盪管）只搭接在振盪電路的一小部分上面，結果管子與電路之間的耦合很鬆。接頭是由三個跨接在線圈上的串聯電容器間接出的。此外，電子管電容被幾個大電容器所分路，這樣電子管的效應，亦即電極電壓和負載變化所造成的影響得到進一步削弱。與前幾個電路相比，所得到的槽電路具有高的 L/C 比，因此槽路電流比採用大電容的槽路時小得多。通常的結果是：其他條件一樣的兩個振盪電路，含有小電容的

電路頻率漂移比較小。

要獲得最好的穩定性，C2對C4的比值應盡量大，這樣才不致使振盪停止。線圈的Q值和電子管的互導（Mutual conductance）越高，容許的比值越大。假如在所設範圍內電路不會振盪，就必須採用具有較高Q值的線圈，或者把C2和C3的電容減小。

不論是哈脫萊電路還是考畢茲電路，都可使用圖1-6 E中的五極管（Pentode tube）或圖1-3中的任何有源器件（Active device）。使用電子管或晶體管同樣能取得良好效果，所以有源器件的選擇往往是屬於個人喜好的問題。

負載隔離（Load Isolation）

儘管採取了上面討論的預防措施，在發射機後面幾級調諧時還是有可能引起頻率的顯著變化。假如設計一個五極管振盪器使它的工作頻率為所要頻率的一半，再在輸出電路中把頻率加倍到所需數值，就能在很大程度上減小頻率不穩定的效應。

在可變頻率振盪器的頻率控制範圍以外調節發射機的調諧控制電路時，最好盡可能做到對頻率不起什麼影響。但如果失調是認可的而且已加以考慮的話，就不一定非要如此不可。這個目的可以這樣來達到：在發射機中加上一個或數個隔離級（Isolating stage），它（們）的調諧固定在振盪器和第一個可調諧放大級之間。

圖1-7 A就是這種電路的例子，它能起到很好的隔離作用。五極管接的是低阻抗電阻性負載，帘柵極電壓是已加穩壓的。圖1-7 B表示採用一種簡單的輸出器電路（Follower circuit）。這種電路的缺點在於輸出信號的電平很低，一般低於1 V。圖1-7 C的直接耦合輸出器電路使用雙極三極管（Bipolar transistor），輸出電平較高（3V以上）。可以通過簡單方法測試一個緩衝級（Buffer stage）把可變頻率振盪器與負載隔離開來的能力。用接收機來監聽可變頻率振盪器（VFO），先讓緩衝器輸出保持開路，接着再予短路，注意聽兩種情況下發出的聲音。一個良好的緩衝器能保持頻率變化小於100 Hz。進行這種試驗時往往出現頻率變化達幾千赫數量級的情況，這說明緩衝器的工作性能不正常。

啁啾聲，振盪器頻率牽引，漂移（Chirp, Pulling and Drift）

任何一種振盪器，當屏極電壓和帘柵極電壓改變時，其頻率總要

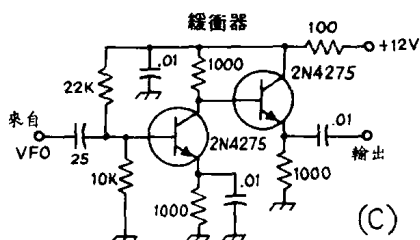
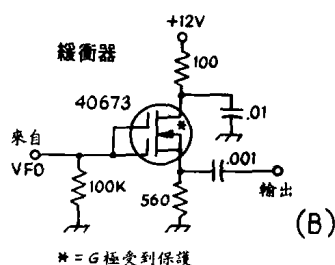
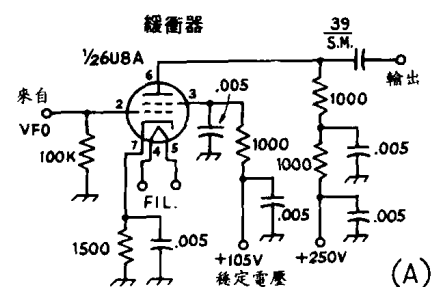


圖1-7 在可變頻率振盪器和後繼的放大級或混頻級之間使用的隔離級電路

變化，這兩個電壓採用穩壓電源（Stabilized source）供電是個好辦法。不過，對振盪器進行鍵控或強烈調幅時出現的極端的電壓變化，穩壓電源也無濟於事。這時不免會發出一些啁啾聲或出現調頻現象。

鍵控或調幅放大器對推動級（Driving stage）提供一種可變負載。如果激勵級是一個振盪器，則鍵控或調幅放大器（可變負載）在鍵控或調幅期間會對振盪器頻率起「牽引」作用，這可能在等幅波上產生啁啾聲信號或在調幅電話中產生附帶的調頻作用。這兩種現象的克服辦法是在振盪級和變動的負載之間加一個或數個「緩衝」或隔離級。如果不這樣做，則上述對放大器進行鍵控或調制，其作用和對振盪器本身進行鍵控或調制幾乎沒有差別。

把那些決定頻率的元件的溫度偏移限制到最小程度，有可能減小頻率漂移現象。這要求發射機通風良好及盡量少用發熱元件。

可變電容器（Variable capacitor）應用陶瓷絕緣座和良好的軸承接觸，最好是雙軸承式。固定電容器（Fixed capacitor）應有零溫度係數（Zero-temperature coefficient）。電子管的管座

(Socket) 應用陶瓷質的。

溫度補償 (Temperature Compensation)

振盪器的設計結構雖然良好，但如果工作溫度太高，溫升時的頻率漂移 (Warm-up drift) 仍然會很大。假如通風情況不能改進 (例如不能減少極限工作溫度)，則振盪器的頻率漂移可以通過加一個「溫度係數電容器」 (Temperature-coefficient capacitor) 來減小。這種電容器有正係數和負係數兩個類型。

振盪線圈和振動 (Oscillator Coils and Vibration)

可變頻率振盪器電路本身或其下一級電路中的感應線圈的 Q 值應盡量大。感應線圈與屏蔽罩或其他導體表面之間要有一定距離，這樣才能減小渦流效應 (Eddy-current effect)。連接導線最好採用粗線號的實芯線，長度要求短捷。

振盪器過熱時通常產生長期性頻率漂移，這往往不像振動引起頻率突然改變的情況那麼嚴重。所有的元件必須牢靠固定在可變頻率振盪器的底座 (Chasis) 和電路板 (Circuit board) 上，整個裝置墊以橡皮圈，以減小機械振動影響。同時要注意可變頻率振盪器中的電容器和度盤的接合方法。度盤所在面板的振動不應傳遞到電容器轉軸上。

濾波 (Filtering)

振盪級、混頻級 (Mixer stage) 以及類似的級別的輸出信號通常是有用信號伴隨着諧波和其他寄生頻率能量。根據應用條件的不同，這些寄生成分可能造成各種不良效應，因此需要進行濾波處理。圖 1-8 所示的電路具有良好的高通 (High-pass) 或低通 (Low-pass) 濾波特性，可以採用。某些情況下需要的可能是帶通濾波器 (Band-pass filter)。

圖 1-8 所示的濾波器是以捷比謝夫設計 (Chebyshev design) 作為基礎，元件參數列於表 1。這些濾波器的正常工作頻率定為 1MHz，正常輸入和輸出阻抗定為 52Ω 。為了適應其他頻率，濾波元件的參數要用新的頻率數值 (以 MHz 為單位) 來除。(1MHz 數值代表「截止」頻率，亦即在低通場合，在此頻率以上衰減得很快，在高通場合，在 f_c 以下衰減得快。這種效應不應與帶通濾波器的衰減變化相混淆。) 例如，假設頻率在 5MHz 以上時需要從可變頻率振盪器中消滅諧波成分，