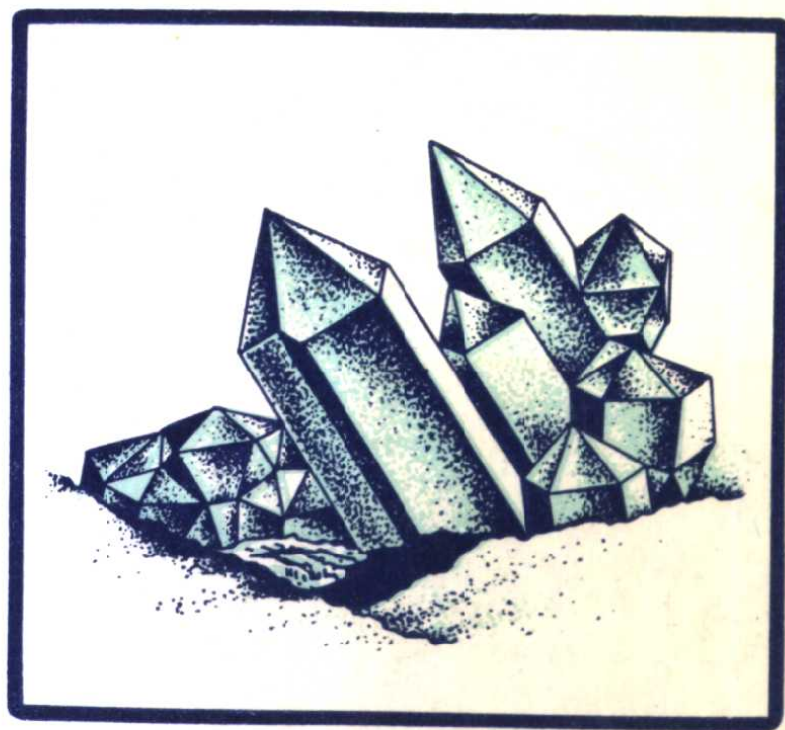


石英諧振器



人民郵電出版社

А. Ф. ПЛОНСКИЙ
КВАРЦЕВЫЕ РЕЗОНАТОРЫ

內 容 提 要

本書敘述了在業餘無線電愛好者實際採用壓電石英諧振器的問題。簡單地介紹了石英片的型式，石英支架的結構及諧振器調整的方法。也敘述了各種石英穩定式振盪器及石英濾波器的線路。並提出在業餘條件下選擇石英片及調整石英片頻率的實用參考意見，以及設計、調整及試驗研究石英振盪器和濾波器的參考意見。

本書適合於熟悉一般無線電原理及從事短波無線電通信或頻率測量器械的讀者。

石 英 諧 振 器

著 者:	蘇聯 А. Ф. 普 隆 斯 基
譯 者:	毛 源
出 版 者:	人 民 郵 電 出 版 社 北 京 東 四 六 條 13 號
印 刷 者:	郵 電 部 供 應 局 南 京 印 刷 廠 南 京 太 平 路 戶 部 街 15 號
發 行 者:	新 華 書 店

書號:101 1955年10月南京第一版第一次印刷 1—3,500 册
850×1168 1/32 47頁 印張:2 $\frac{3}{4}$ 字數: 66,000字 定價:(8)0.52元
★北京市書刊出版業營業許可證出字第〇四八號★

序 言

無線電廣播事業和無線電通訊事業的發展，在設計者面前提出了一系列的任務，如怎樣改善發信設備和收信設備及提高這些設備在工作中的效率及可靠性等。在這些任務中，首先是提高發射頻率的穩定性；其次是改善收信設備的選擇性能。這兩個問題的解決，需要創造新型的振盪裝置；即這種振盪裝置要比通常的由集中電感和電容組成的振盪槽路要優越與穩定許多倍。這種振盪裝置即為壓電石英諧振器；目前這種諧振器不僅廣泛用於無線電通信與無線電廣播方面，也廣泛應用於天文學與氣象學等方面。

壓電石英技術的發展奠基於蘇聯學者與工程師們的工作，在這些學者與工程師中有：斯大林獎金獲得者蘇聯科學院正式院士A. B. 舒伯尼科夫及H. Γ. 科法林克，B. K. 申別利以及其他等人。A. H. 別勒格院士、A. A. 羅善斯基教授、Γ. A. 基揚得斯基教授等曾研究了具有石英穩定的振盪器。帶域石英濾波器是H. H. 愛弗露西在1931年發明的。應當指出，在發明了石英濾波器以後過了三年，在美國才發表了美國人姆遜關於“發明”石英濾波器的消息。上面所提到的“發明”的“作者”事實完全是抄襲1931年H. H. 愛弗露西發表的線路圖。

H. H. 愛弗露西所設計的線路圖直到如今尚無本質上的改變。發明者本人以及其他蘇聯學者的工作中，使該線路圖更進一步地加以研究，並使它獲得了進一步的發展。

壓電石英技術科學的發展進行得十分迅速。人們進一步改善了

石英諧振器的構造；並創造了新的振盪器和濾波器的線路，以及新的頻率校準（度量）器的線路圖等等。

本書的目的是向無線電愛好者介紹關於壓電石英技術的原理以及石英諧振器在通信機械及測量儀器中的運用。

作 者

目 錄

序 言

第一章 石英諧振器 ..	(1)
壓電效應 ..	(1)
壓電石英的一般知識 ..	(2)
石英諧振器 ..	(2)
石英片的振動形式 ..	(6)
石英片的切割型式 ..	(6)
石英諧振器的計算 ..	(8)
石英支架的構造 ..	(9)
石英諧振器的主要參數 ..	(12)
壓電石英生產的簡單知識 ..	(14)
業餘條件下石英片的調諧 ..	(15)
第二章 石英穩定式振盪器 ..	(19)
石英振盪器的工作情況 ..	(19)
石英振盪器振盪電路的工作機構 ..	(21)
石英振盪器頻率的穩定性 ..	(22)
以振盪線路工作時石英振盪器的活動度 ..	(24)
石英穩定式振盪器的實用線路 ..	(25)
連續調諧式石英振盪器 ..	(32)
超高頻的石英穩定 ..	(37)
石英振盪器的設計 ..	(41)
石英振盪器的調整 ..	(42)

第三章 石英濾波器	(44)
濾波器的一般知識	(44)
在業餘無線電通訊中的石英濾波器	(48)
在帶通濾波器裏石英諧振器的工作情況	(49)
石英濾波器的類型	(51)
石英濾波器的實用線路	(53)
石英濾波器的結構	(59)
石英濾波器的調整	(61)
第四章 測量器械	(69)
在業餘條件下石英頻率的測量	(69)
更精確地測量振盪頻率用的儀器	(71)
標本振盪器及頻率標準	(76)
工業上石英校準器的型式	(85)

第一章

石英諧振器

壓電效應

某些結晶體(石英, 電石, 酒石酸鉀鈉等)具有所謂壓電效應, 該效應就是作用於晶體某一稜的機械力, 使在該稜上出現電荷; 電荷的數值與作用力成比例, 其符號決定於力的性質(拉力或壓力)。這種壓電效應稱作正向壓電效應。同樣還有一種反向壓電效應。這種效應在晶體發生極化作用時, 同時發生變形——收縮或拉長——而這種變形是隨電荷的符號而定。

應用如圖 1 所示的線路圖即可以發現壓電效應。被研究的晶體放在平滑的金屬電極 A 上, 並用具有尖端形狀的另一電極進行試探。當用尖端急促地在晶體的表面加以壓力時, 在電子管 N 的屏極電路中即產生直流脈衝, 這脈衝使微安表 (ma) 的指針發生偏轉。如果在尖端加以壓力時形成正電荷, 因而, 電子管的柵極亦帶正電荷, 屏極電流增加, 微安表的指針偏向右方; 當形成負電荷時, 使屏極電流減小, 指針則偏向左方。

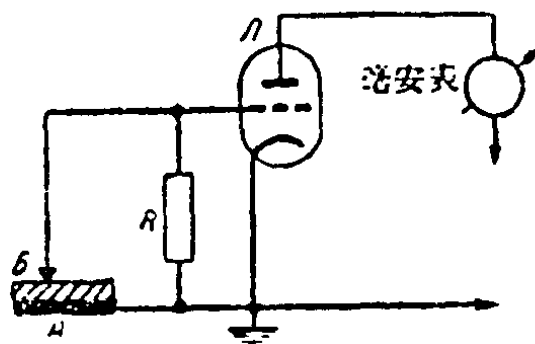


圖 1. 觀察壓電效應儀器的線路圖

因此, 具有壓電效應(壓電)的物體可認為是一個由機械能變為電能或由電能變為機械能的轉換器。

壓電效應用於聲電方面(壓電拾音器, 送話器及揚聲器), 機

械製造方面（壓力測量儀器），以及應用於無線電工程方面（機電振盪系統——諧振器）。本書只研究上述各壓電應用中的無線電工程應用方面。

壓電石英的一般知識

用作機電振盪系統的壓電片多半由晶體石英製成。

石英是氧化矽 SiO_2 的同素異形體。氧化矽約佔地殼的12%。只有所謂“低溫”石英才具有壓電效應，此種石英在自然界中呈結晶狀態或不定形的砂礫狀態。當加熱超過 $573^{\circ}C$ 時，石英轉變為“高溫”的同素異形體，同時壓電性能消失。

石英的化學性穩定，除了氫氟酸以外，石英在任何酸中均不溶解。石英的硬度在十度制中為7度。

石 英 諧 振 器

由壓電石英片、電極及支架構成的機電振盪系統稱為石英諧振器。

如把低溫結晶用一定方式切割成石英片，置於金屬的平板電極間，且用支架加以固定，並向電極加一交變的電位差，則由於壓電效應，石英內將被激起振盪。

如同任何機械振動系統（擺，彈簧等等）一樣，石英片具有固有的諧振頻率。如果加至石英片的交流電壓的頻率與石英片的諧振頻率一致，則振盪的振幅急速增長。石英片的機械諧振的本質即是在片內產生彈性駐波，而片的大小（振盪沿着他的方向傳播的）應恰為此波半波長的倍數。在預定振盪頻率下，彈性波的波長與傳播速度成正比，而該速度又決定於石英的密度和彈性。晶體石英的密

度與彈性應這樣，即使調諧至射頻的石英片的尺寸是用公厘和公分來測量的。

如果用機械的壓力阻礙石英片內發生振盪，則此石英片轉變為普通的電容器，該電容器的電容將決定於電極的面積、兩極間的距離以及石英的介電常數。此電容器構成了無功電容性電納，而與石英壓電效應所引起的電導同時存在。除了諧振頻率以外，所有頻率下的壓電電導值均很小（比電容性電納要小許多倍）。在諧振時那時石英的變形很大，諧振器的電阻急速降低，而通過石英的壓電電流增長。因此，石英諧振器是等效於一個 L_1 $r_{\kappa\theta}$ C_1 串聯的振盪電路，而被電極、石英支架及其它裝置的振盪電路的靜電電容 C_0 分路着。此石英諧振器的等效電路圖如圖 2 所示。

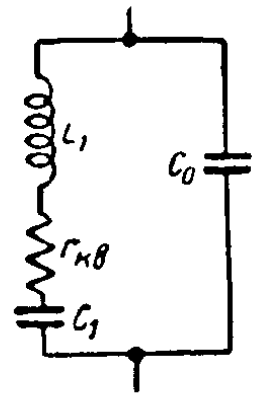


圖 2. 石英諧振器的等價線路圖

由於石英諧振器的能量消耗較小，所以它相當於一個品質因數很高的電氣振盪電路。如果普通迴路的品質因數不超過 100—300；則在石英諧振器的情況下，此因數可達 1,000,000。

石英的良好機械性能、化學性穩定及絕緣性極良好等保證了石英諧振器的頻率不變，這種優良的性能使石英廣泛地應用於無線電工程方面。

現在研究如何畫石英的電抗與頻率的關係曲線。等效電路的串聯（壓電）分路可用兩個符號不同而串聯的電抗來代替。感抗用已知公式表示為：

$$X_{L_1} = \omega L_1,$$

而容抗則為：

$$X_{C_1} = -\frac{1}{\omega C_1}.$$

圖3. a所示為電抗曲線。在圖3. b中，用圖解法將兩曲線相加，得到串聯振盪迴路的總電抗曲線。此曲線說明存在着頻率為 f_1 的串聯諧振。當頻率低於 f_1 時，迴路電抗具有電容性（負的），而當頻率高於 f_1 時，迴路為電感性，其電抗為正值。

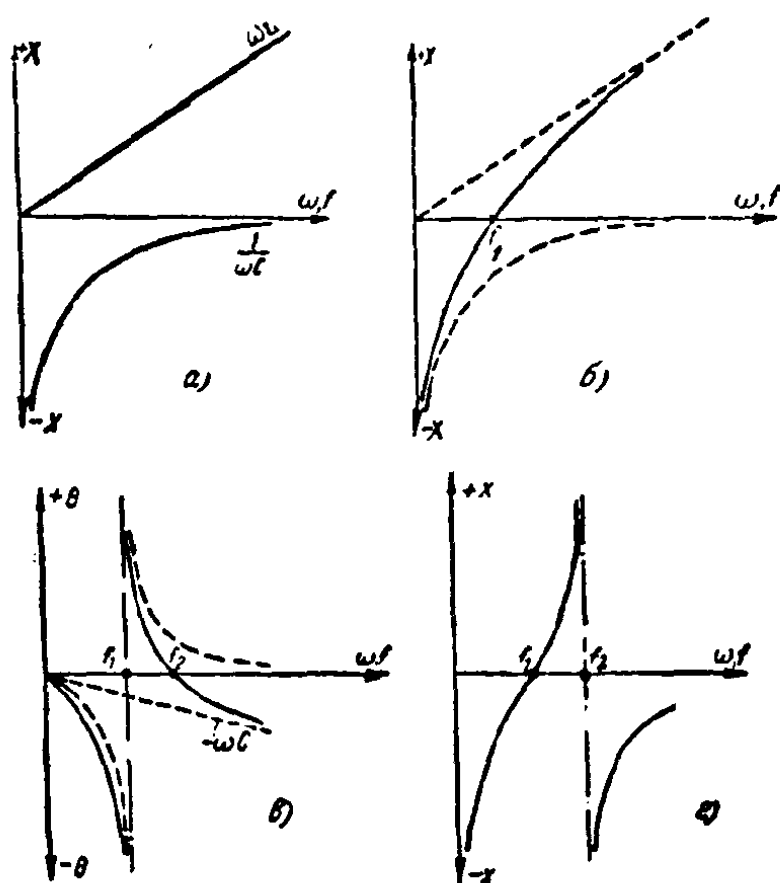


圖 3. 石英諧振器等效線路的圖解分析

a—諧振器支路的電抗曲線；b—電抗曲線的圖解加合；c—諧振器支路的電納曲線及總曲線；d—石英諧振器的總電抗特性曲線。

所畫曲線沒有考慮靜電電容的影響。爲了得到整個石英諧振器的總電抗曲線，需要把諧振器兩個並聯分路阻抗用圖解法相加。因爲這些電抗不是串聯（如上述情況），而是並聯的，所以需要畫它們的倒數圖（即電導），以後把它們相加（相加的結果，得到石英諧振器的電納曲線），然後畫倒數曲線，此曲線將爲整個石英諧振器的電抗特性曲線。

圖3.6所示為石英等效電路分路的電納 $B = \frac{1}{X}$ 曲線。在此圖上畫出了石英諧振器的總電納曲線。此曲線有兩個特性頻率 f_1 和 f_2 。在頻率 f_1 時，電納為無限大，在頻率 f_2 時，電納為零。因為在該點時，電容性電納與電感性電納彼此相等。頻率 f_1 相當於石英諧振器的串聯諧振，頻率 f_2 相當於石英諧振器的並聯諧振(或反諧振)。由 L_1 、 C_1 分路決定的串聯諧振頻率可以由下列已知公式表示：

$$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}。$$

由 C_1 、 C_0 的串聯電路與等效電感 L_1 並聯所定出的並聯諧振頻率可用下列公式表示：

$$f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 \frac{C_1 C_0}{C_1 + C_0}}}$$

由此

$$\frac{f_2}{f_1} = \sqrt{1 + \frac{C_1}{C_0}}。$$

因此，並聯諧振頻率與串聯諧振頻率的比值決定於石英的動電容及靜電容。當然，比值 $\frac{f_2}{f_1}$ 愈高兩頻率間的間隔 $\Delta f = f_2 - f_1$ 的數值也愈大， Δf 的大小決定於許多因素：如石英片的型式，石英片的尺寸，電極的面積等等。實驗證明，石英諧振器的串聯及並聯諧振頻率的最大差數趨近於 f_1 的0.4%，該值實際上相當於石英靜電容與動電容比值可能達到的最小值（ $\frac{C_0}{C_1} = 125$ ）。

圖3.7所示為石英諧振器的總電抗特性曲線。曲線上任意點的電抗就是電導的倒數值。因而在串聯諧振頻率 f_1 時石英的電抗等於零，而在並聯諧振頻率 f_2 時為無限大。

在畫曲線時，我們沒有考慮石英有效電阻 r_x 的作用。在串聯諧振頻率 f_1 時，石英諧振器的總阻等於有效電阻 r_x 。

石英片的振動形式

石英諧振器的振動可以按決定諧振頻率的石英片的尺寸和按石英變形的型式來分類。

變形可能有四種最簡單的形式：彎曲，剪切，扭轉，壓縮（或拉伸）。有時也遇到複雜的變形，例如：外形變形。

實際上，振動的形式通常按決定振盪頻率的石英片的尺寸來分類。根據這種分類，振動形式可分成兩個基本的組別：1) 在厚度方向的振動（有時也稱做橫向振動）；2) 在長度和寬度方向的振動（也稱做縱向振動）。石英諧振器也相應地分為按厚度方向振動的諧振器及按長度方向振動的諧振器。厚度方向振動所應用的頻率高於300—400千週，長度方向振動應用於較低的頻率。頻率低於300千週的應用橫向振動是不好的，因為在這些頻率時，按厚度方向振動的石英片的尺寸過大，且原料消耗過多，縱向振動應用於頻率高於400千週時也是不好的；因為在這些頻率時，按長度方向振動的石英片的尺寸過小。

石英片的切割型式

石英內發生的壓電現象藉助於座標軸系來研究時極為方便，座標軸系的位置對於晶體格是不變的。在圖4中繪出這些軸。應該指出：在此情況下，“軸”的概念不只是指一根或幾根一定的直線，而是指無限多的平行方向線，因為在同一方向的晶體性質完全相同。

經過晶體頂端的軸線叫Z軸或光軸。與Z軸垂直處有三個X軸（電軸）。在任一電軸方向上晶體受壓縮或拉伸時，則由壓電效應所產生的電荷值為最大。在電軸相對二端產生符號相反的電荷。Y

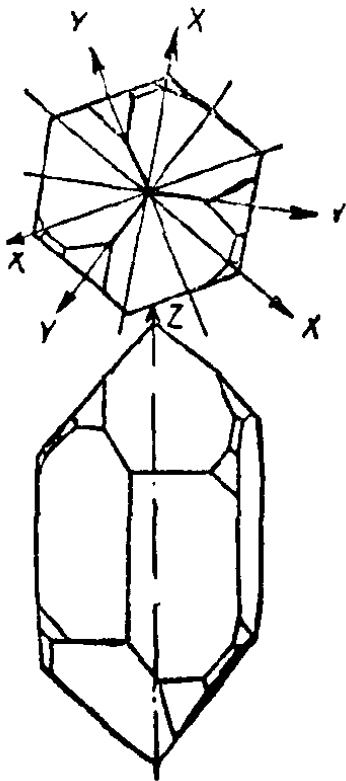


圖 4. 理想石英的結晶

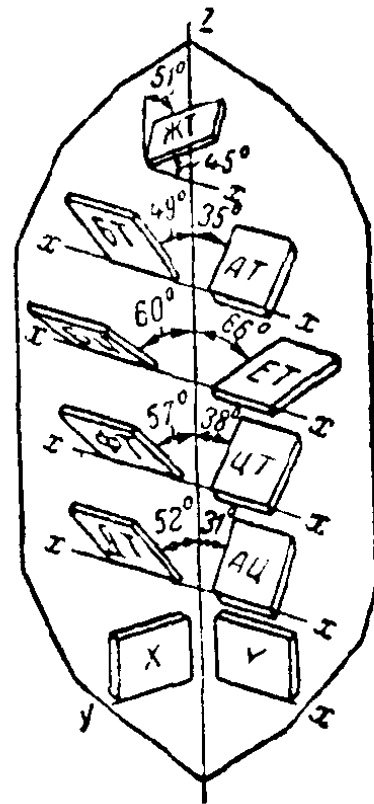


圖 5. 對晶體成不同切割的取向

軸垂直 XZ 平面，也稱為力軸。

在對晶體軸的不同角度下切出石英片。在大多數的切割中，使片的寬度方向與電軸平行。此時，計算切割角係以光軸為準（所謂切割角即石英片平面與 Z 軸之間的角度）。

實際上切割所採用的字母符號有： X ， Y ， AT ， BT ， DT ， QT 等等。某些最常用的切割對結晶軸和晶體格的方向在圖 5 中繪出。歷史上第一批石英片係垂直於電軸切製的（ X —切割或《標準》垂直切割）且振動是縱向的。這類石英片為矩形，且長度方向與 Y 軸重合。選擇這種方向是因為與 X 軸成 90° 切製成的石英片，其壓電效應最大。以後才開始應用“標準”切割的橫向振動石英片。

但 X —切割的諧振器具有嚴重的缺點即具有大量的寄生（附帶的）諧振，且熱穩定性較差。目前這類諧振器用得較少。

在改善石英諧振器方面的工作已完成了所謂《斜》切割的方法。《斜》切割在製造上較複雜，但這種切割有許多優點，由於這些優點這種切面用得很廣。

在按厚度方向振動的石英片中， AT 及 BT 切割的諧振器最為普遍。在按長度方向振動的情況下，則採用 XT ， LT 及 DT 切割的諧振器。上述斜切割型的特點是熱穩定性高及寄生諧振的數量較小。

石英諧振器的計算

決定諧振器振盪頻率的各個尺寸，按下列公式計算：

$$h = \frac{N}{f},$$

式中 h —決定諧振器頻率的尺寸（按長度方向振動時的長、寬或直徑；按橫向振動時的厚度），以毫米計；

N —頻率係數；

f —諧振器的固有頻率，以千週計。

最常用切割的頻率係數在表 1 中列出。

表 1

切割	石英片的形狀	振動形式	頻率係數千週·毫米
X	矩形	橫向	2870
AT	矩形	橫向	1662
BT	矩形	橫向	2550
DT	圓形	縱向	2470
DT	正方形	縱向	2073
DT	正方形 45° *	縱向	2341
LT	圓形	縱向	3766
LT	正方形	縱向	3087

LT	正方形45° *	縱向	3583
KT	矩形	縱向	3293

* (註) 在LT及LT切割的正方形石英片中，有時其切製方向與電軸成45°。

表1中所列頻率係數的數值是近似值；當石英片的輪廓尺寸及切割角度的偏差變化時，該數值可在某一範圍內變動。但是利用該表，可以在相當的程度內確定石英片的切割型式（如果石英片的頻率已知）或頻率（若切割角度已知）。

石英支架的構造

按長度方向振動的石英片及按厚度方向振動的石英片用不同的方法固定。橫向振動諧振器最老的固定方法是把石英片壓在金屬平板（電極）之間。具有夾板電極的石英支架構造如圖6.a所示。該類固定方法使諧振器中所引起的衰減作用顯著增加，並強烈地影響到諧振器的頻率。諧振器等效有效電阻的增加是由於石英的振動表面與金屬極間的摩擦損失所引起的。

由於想要減少由固定所引起的損失，創製了具有間隙的石英支架結構，在此支架結構中，石英片不承受明顯的機械壓力，而活動地放在兩金屬平板（電極）之間（圖6.b）。具有間隙的諧振器的等效電路圖如圖6.c所示。電容 C_0 是間隙的電容。這種諧振器的等效電路可以化成普通石英的等效電路。在某種程度上，串聯諧振的頻率與間隙的大小有關（與石英的等效迴路串聯的間隙電容可提高諧振頻率），因此，使數值一般等於十分之幾毫米的間隙保持不變，乃是這種諧振器工作穩定的最重要的條件之一。

在某些結構中，間隙的大小可以用移動一個電極的方法來加以調整，電極的移動係利用能保證兩電極表面平行的螺釘。螺釘具有

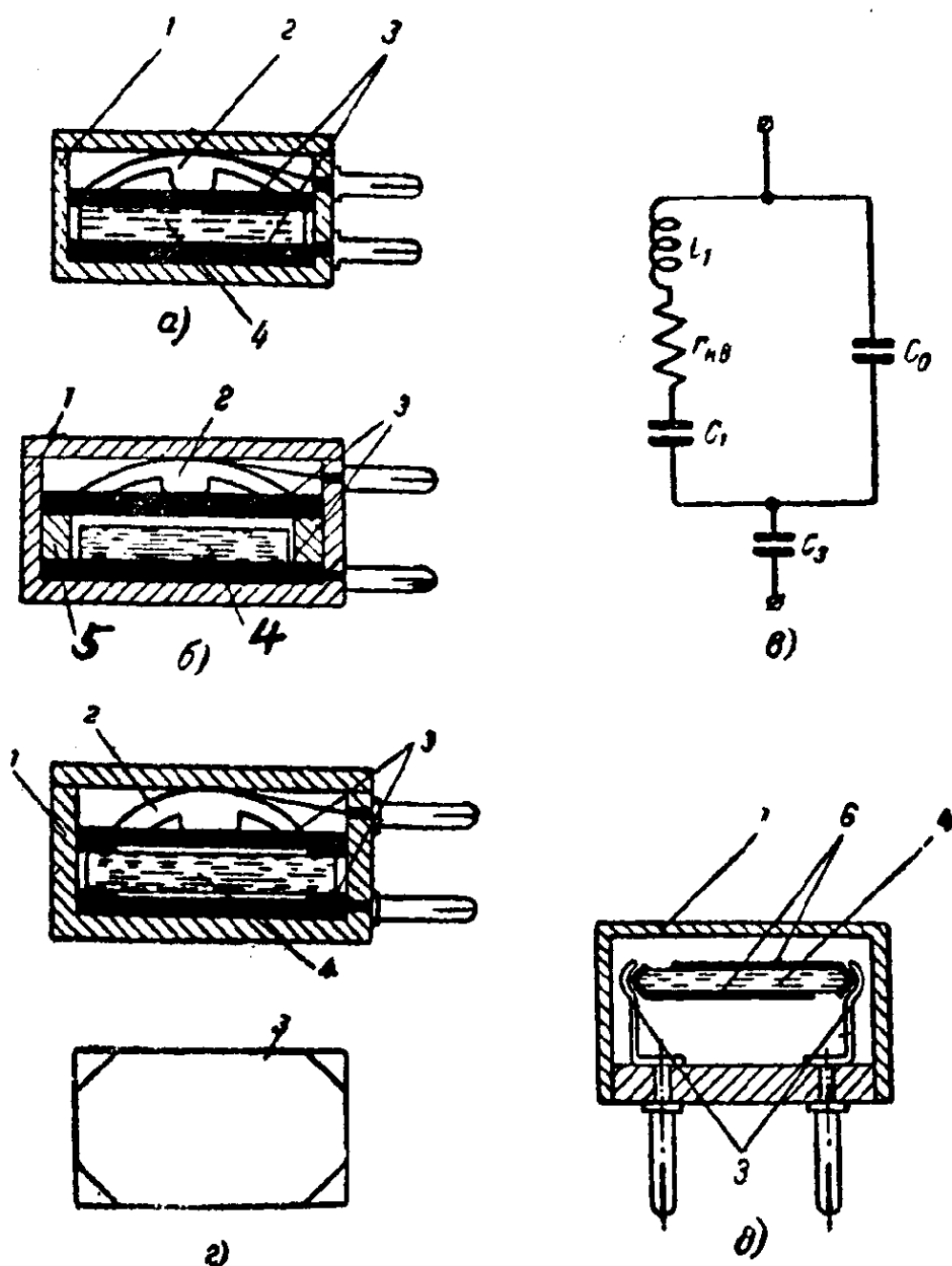


圖 6. 沿着厚度振動的石英片其支持架的各種結構

а—帶有夾板電極的；б—帶有間隙的；в—帶有間隙的石英支架的等效線路圖；

г—在石英片角上固定用的石英支持架；д—尾端壓緊的。

1—外壳；2—彈簧；3—電極；4—石英；5—框；6—金屬覆蓋。

精細的螺紋。

具有間隙的諧振器的缺點是有可能發生聲音諧振，此諧振急劇地降低了石英品的品質因數。振動着的石英諧振器像所有的運動物件一樣四週承受着空氣或在其中進行運動的介質的阻力。石英片的

振動面發射出空氣的超聲頻波，如間隙的大小為聲波的半波長，則在間隙內超聲頻振盪波的振幅增強，並開始發生聲音諧振。結果使能量的損失增加，使諧振器的品質因數變壞。如果逐漸改變間隙的大小，則可發現許多相當於聲音諧振的電阻尖峯。

在具有間隙的石英諧振器中，常常隨着石英片在振盪電路中工作時的受熱情況，發生振盪強度的變化。這種現象是由於支架附件的溫度變形引起了間隙大小改變的緣故。

有着這樣一種石英支架結構，在該支架結構中，用做電極的金屬平板在角上具有平的突緣（該突緣是作為壓緊及固定石英用的）。此時，電極的中部與石英片間保持恆定的間隙（圖6.2）。此種結構的石英支架已有應用，而目前主要用於大量廉價的裝置中。

照例，現代的石英諧振器大部分沒有夾板電極；電極的職能由金屬覆蓋層實現，此金屬敷蓋層位於石英片的表面。

敷以金屬層的矩形石英通常用彈簧的壓力把石英在尾端固定，該尾端磨製成楔形。壓縮彈簧同時也作為連接石英的電極與石英支架底腳的導線。用彈簧壓緊尾端的標準的石英支架結構如圖6.3所示。當正確地選擇石英片的長度時，彈簧壓緊力給予諧振器等效電路以極小的衰減。

敷以金屬層的橫向振動石英片有時製成透鏡的形狀，即製成圓形的或凸形的。此石英片以透鏡的稜在三處加以固定。金屬的敷蓋層（多半用銀做的）用作為電極，這點在上述情況中也如此。電極用細導體與石英支架的腳或引出線接連。

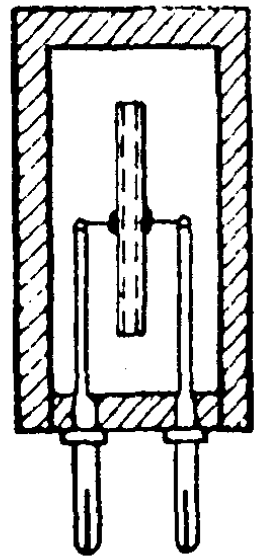


圖 7. 目前做縱向振盪石英片的石英支架結構

縱向振動的石英片最初用針狀物壓緊的方法在振動節點處（該點多半在中心處）固定。在該處石英片不承受變形。在如此固定的情形下，石英諧振器的有效電阻實際上與壓力無關。以後由於結構的原因把石英片轉而固定到黃銅導體上，黃銅導體則鉗在連到石英節點的銀點上。一種新式縱向振動石英片的石英支架結構如圖 7 所示。

石英諧振器的主要參數

表明石英諧振器特性的主要參數有：石英的品質因數，石英的頻率溫度係數及單頻性。

在前節曾指出，石英諧振器的結構在極大的程度上決定了石英品質因數的大小。石英的品質因數也決定於石英片的加工質量。粗磨的石英片，由於表面損失的原因，比以細金鋼砂研磨或細磨的石英片具有較大的等效電阻。石英片角度的扭曲，石英片表面的面平行性破壞，以及其他的工藝缺點都將使品質因數急劇降低。

石英片的工作質量決定於石英片的品質因數；品質因數較高的石英片在振盪線路中容易被激振，且保證振盪頻率有良好的穩定性，因此希望把諧振器做得有高的品質因數。為此，有時把諧振器放在真空裝置中。真空裝置可以減少空間發射的損失，因此提高了品質因數。

石英諧振器的頻率溫度係數表明了諧振器的諧振頻率以溫度為函數而變化。在數值上此係數表示當諧振器加熱或冷卻 1°C 時，石英諧振器產生相應偏差的數值。通常溫度係數為在某溫度範圍內的溫度係數的平均值。頻率溫度係數的大小由許多因素決定：如切割的角度，石英片各面的比例、存在各種不同形式的耦合，諧振器內的振盪、結晶的均勻性等等。

圖 8 所示為各種切割石英片的溫度曲線。由這些曲線中可以看出，在橫向振動的各個切割中， AT 切割的頻率溫度係數最小，而在縱向振動中， πT 切割的溫度係數最小。 πT 切割的溫度係數由石

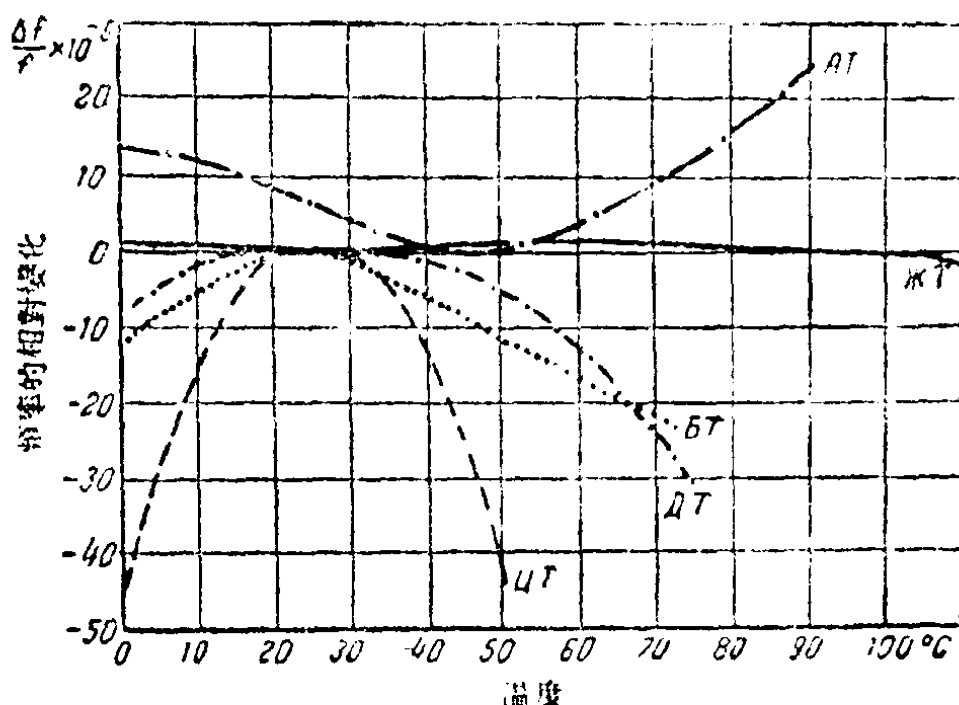


圖 8. 各種石英片切面的溫度曲線

英片各切面的比例決定，當比例等於0.857—0.863時溫度係數數值最小。 πT 切面諧振器的振盪頻率由較小的切面尺寸來決定；頻率溫度係數的調整可以把石英片較大的面（長度方向）進行研磨的方法做到。

單頻性，也就是在石英片的頻譜中沒有寄生諧振，是石英諧振器性能的極重要指標（特別當石英在濾波中應用時）。絕對單頻性的石英片並不存在，通常所說的多頻性是指基本諧振兩側的預定頻段內的單頻性。

單頻性、品質因數及頻率溫度係數之間存在着密切的關係。具有特別明顯的寄生諧振的石英片照例具有較高的頻率溫度係數，且品質因數隨溫度改變。

“標準” X 切割的諧振器：以及 Y 切割的石英片，在多頻性方面是不夠好的（頻率溫度係數方面也同樣如此）。 AT 、 BT 、 AT 、及 LT 切割的石英片具有較良好的單頻性。在 LT 切割的諧振器中，寄生諧振被大的切面所決定，且其頻率比基本諧振頻率低16%。在 LT 切割的石英片中，有時發現振盪頻率由基本諧振跳躍到寄生諧振的現象。這種現象同樣也出現在其他切割的石英片中，如果這些石英片是有接近於基本諧振的特殊明顯的寄生諧振的話。這一類石英片稱做複波性石英片。

在某些情況下，複波性能有效地消除掉。在 AT 及 BT 切割中（當頻率達1兆週時），單頻性可以用選擇石英片的寬度來達到。隨着石英寬度的減小，寄生諧振頻譜由頻率較低方面移到頻率較高方面。寄生諧振是成羣地分佈，每個之間相隔幾十千週。應該考慮到：在研磨石英片的寬度時，石英片的諧振頻率稍許改變。單頻性可用檢查單晶體濾波器（第三章）的諧振曲線的方法加以檢驗，在該濾波器線路中接入被試驗的諧振器。

爲了改善按厚度方向振盪的石英片的單頻性，有時把這種石英片製成透鏡形狀。爲了上述目的，採用特殊形狀的電極使並不完全敷蓋石英片。

壓電石英生產的簡單知識

在生產過程中，首先把石英晶體鋸成塊狀，段狀，片狀及毛坯（如圖9中之 a, b, c, d ）。石英原料的加工次序如圖9所繪。鋸工手續大半用金鋼石鋸來做，金鋼石鋸爲圓板狀，沿着邊緣具有切紋。金鋼砂黏壓在紋中，構成用來切削的圓盤邊緣。切割所需要的角度可藉助於特殊的光學儀器和 X 光檢查儀器來確定。

石英片的毛坯放在金屬的砂輪上進行研磨；砂輪由電動機帶動。在砂輪上置放由水弄濕了的磨粉。毛坯的厚度及兩面的平行性用千分尺檢驗。

石英片的頻率用外差式波長表或頻率原器（頻率標準）來測量。檢查時，應以酒精洗淨石英片，弄乾並嵌放在簡單的石英支架上，然後“接入”諧振器的電路中。

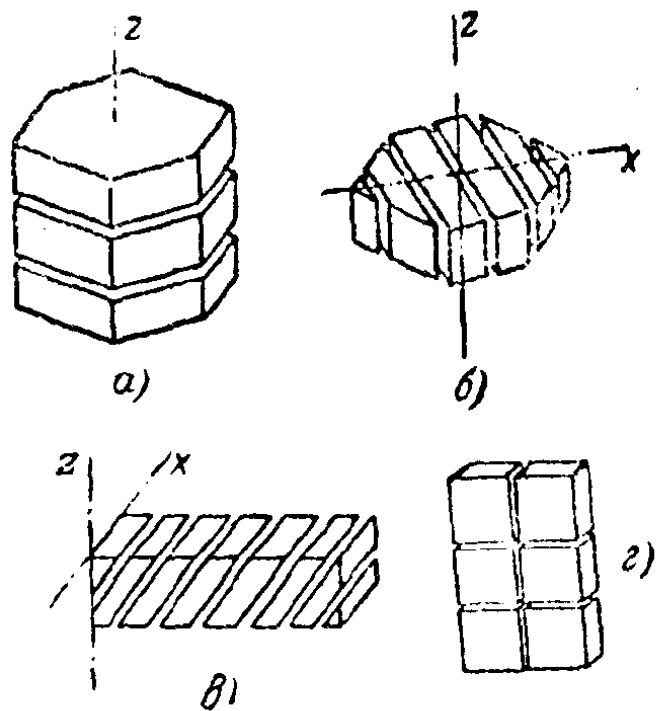


圖 9. 石英原料加工的順序
a—塊；b—段；c—片；d—毛坯。

在初步調整石英片的頻率以後，在石英片上敷以金屬層，橫向振動石英片的最後調諧用改變金屬敷蓋層的厚度進行。縱向振動石英片整可用研磨相應的平面，或者調整敷蓋層的厚度加以調諧。

業餘條件下石英片的調諧

無線電業餘愛好者的實際工作中，經常要求把石英諧振器由一個頻率改變為另一頻率。在家裏要調整石英片是一件十分困難的事情，但這是完全有可能的。改製諧振器只能夠用於提高頻率方面。例如，調諧到頻率為 2 兆週的石英片可調整至 3 兆週，但相反的手續則不可能，因為我們只能夠減小石英的尺寸，而提高頻率却需要增加石英的尺寸。

改製縱向振動石英片的頻率比按厚度方向（橫向）振動的石英片簡單。改製縱向振動的頻率是縮減石英片的長度、寬度或直徑。

若知道頻率與相應的石英片尺寸成反比以後，則計算相當於新的，所希望的頻率的大致尺寸並不困難。石英片的減縮應該由兩端平均進行，否則固定導體將不在中心，因而帶來較大的衰減。平板的縮減量不大時可用金鋼砂研磨。將金鋼砂混入水中，使形成砂漿，其濃度類似乳酪漿。把金鋼砂層放在毛玻璃或平滑的金屬平板上。研磨後的石英片尺寸以千分尺測量，面的垂直度用角規檢驗。如果石英片需要顯著減縮時，石英片長度的餘量可用鋸切去（在石英片不太厚的情況下）。當石英片的長度趨近於計算的尺寸時，需要檢驗諧振器的頻率（測量方法及測量儀器在第四章中將述及）。當石英的頻率接近要求的值時，測量的次數應增多，且研磨也要愈小心。應當記住，當石英片減縮過多時則造成不可補救的廢品。每次在石英諧振器置入線路以前，應仔細地將石英在酒精中洗淨，並用布擦乾淨。

稍許降低縱向振動石英片的頻率時，可以把石英的某一角加以磨圓（磨去某一角）來達到目的。

稍許提高敷有金屬層的橫向振動石英的頻率時，只能用取去部分銀製敷蓋層的方法。金屬敷蓋層可用擦墨水用橡皮、玻璃絨的小刷或毛氈上放以牙粉擦去。然後將石英片放入水中沖洗，以酒精洗淨後把它置於石英支架上，然後進行測量，必要時應該重覆這些手續，此時應該經常保持小心；因為原先低於所需值的頻率是極容易超過所需頻率的。從另一方面來看，過多地剝掉銀敷蓋層會使敷蓋層出現孔隙，因而使石英片損壞。

可以用軟的石墨鉛筆來稍許降低敷有金屬層的石英片的頻率。在金屬敷蓋層上置以石墨層，就好像增加了石英片的厚度，如此就可使頻率降低。應該指出，這種方法是一種代用方法，僅僅在業餘

愛好者的條件下才允許使用。通常增加敷蓋層的厚度用電鍍金屬的方法。

用擦去或鍍上金屬的敷蓋層的方法，諧振器的頻率僅僅只能改變原來的萬分之幾，最多也只能改變千分之幾。若要較顯著地提高橫向振動石英片的頻率，那末需要剝除金屬敷蓋層，相應地減小石英的厚度。因為在業餘愛好者的條件下，研磨以後再按置敷蓋層是不可能的。所以必需採用平面壓緊式金屬夾片電極。

在業餘愛好者的條件下，石英片厚度的磨削可按下述方法進行：

1) 將金屬敷蓋層剝下，最簡單的方法是用硝酸。萬不得已時，則銀製敷蓋層可用牙粉擦去。

2) 在石英片的一面洒水，並研磨以使它與玻璃或金屬平行面模塊（模塊的面平行性以千分尺檢驗）密合。

3) 在玻璃平板或金屬平板上灑以液體金鋼砂。金鋼砂層不應太厚。（金鋼砂粒不應遺留在肉眼能見的各種傷痕的表面上）。在研磨的過程中，用被研磨的石英片沿灑有金鋼砂的平板移動。石英片上的壓力在整個平面上應該均勻。石英片的厚度要時常以千分尺測驗，同時要測量塊的平行性。研磨的設備如圖10所示。

4) 在達到給定尺寸後，將石

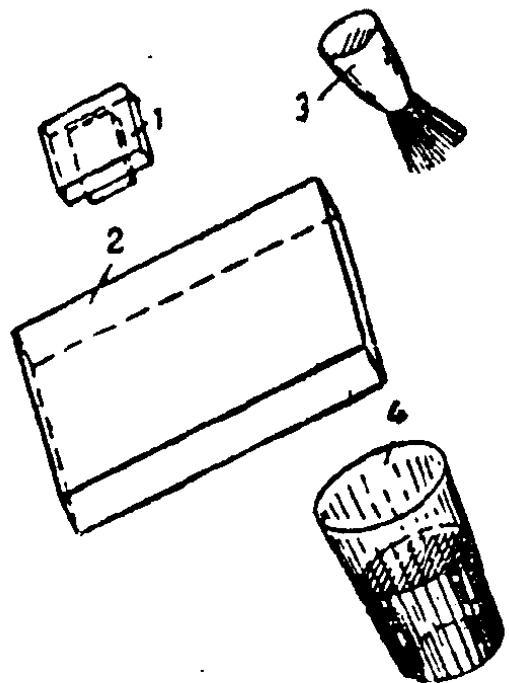


圖 10. 在業餘條件下來研磨石英片的設備

1—帶有研磨後石英片的模塊；
2—平板；3—把液體金鋼砂塗在平板上用的毛刷；4—盛金鋼砂的器皿。

英片自模塊取下，放入水中及酒精中洗淨，乾燥，最後置入石英支架上（在業餘愛好者條件下做石英支架並不難），並“接入”振盪電路，以便檢驗振盪頻率。石英片的面應該嚴格平行（註），否則石英片不可能發生激振。

5) 用細金鋼砂粉末（《120 分鐘沉澱的粉末》）研磨石英片的平面來進行精確的調整。

稍許提高石英片的頻率時也可用取消石英片某一稜上的角來達到。

稍許降低石英片頻率時，可在石英片的某一側面磨以小溝槽達到。

應該特別着重指出，在處理石英時需要十分清潔。往往石英片停止激振，僅由於它接觸了不夠乾淨的手。諧振器應預防污染及積塵。諧振器的所有零件在安裝前應該在酒精中清洗。

註：表面突起只允許有幾個微米。

第二章

石英穩定式振盪器

石英振盪器的工作情況

我們已經指出過，在振盪器中的石英片執行着振盪系統的職能，因此，石英振盪器與一般的振盪迴路式振盪器沒有原則的差別。

石英穩定振盪器有兩種工作方式：1)振盪器工作方式，2)牽引效應的工作方式。

當以振盪器工作方式工作時，石英諧振器用作諧振器的基本初級振盪系統，當諧振器與線路斷開時，振盪作用停止。

當以牽引效應工作方式工作時，石英諧振器作為次級迴路接入振盪系統，並在電氣上與諧振器的主要初級電路耦合。在某些牽引工作方式下，石英本身就是一個耦合元件；不過石英並不直接參與自激振盪過程，振盪的發生與石英片是否激勵無關。

為了以牽引方式工作，可以應用任何一種自激式振盪器。使這

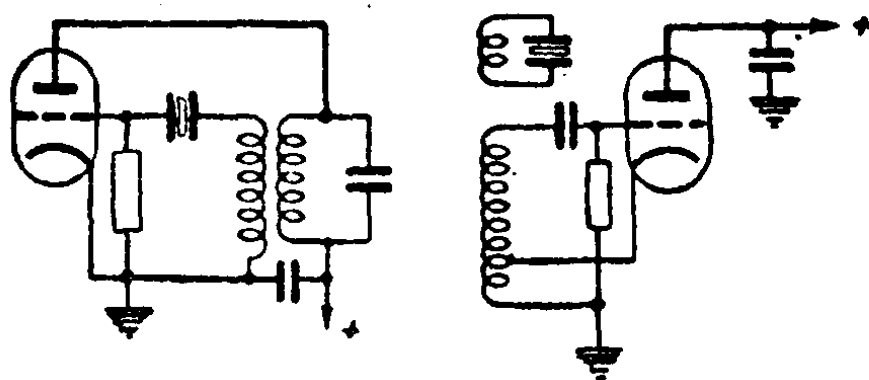


圖 11. 在牽引方式下工作的石英振盪器線路

振盪器的初級電路以某一種方法與石英迴路耦合。牽引電路的例子示於圖11。

如果石英諧振器的頻率與初級迴路的頻率相差很大，則電路如一般自激式振盪器一樣發生振盪。當振盪器初級迴路的固有頻率十分接近石英的諧振頻率時，則出現牽引現象，且線路以石英的頻率發生振盪。圖12所示為振盪頻率隨着初級迴路調諧而變化的特性曲線，該曲線稱為“牽引迴線”。由此曲線可以看出，在其某些區域內（ $A-B$ 及 $B-\Gamma$ ）振盪

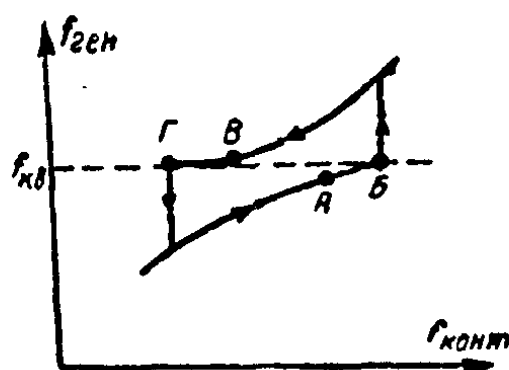


圖 12. 牽引迴線

f_{osc} —振盪頻率； $f_{\text{кв}}$ —石英頻率
 $f_{\text{конт}}$ —迴路頻率。

頻率主要決定於石英諧振器的頻率，而幾乎與初級迴路的調諧無關。

按牽引線路工作的石英振盪器在目前使用較少，主要是由於在這種工作方式下，振盪頻率穩定度最大的條件與振盪的最大穩定條件相矛盾。實際上，振盪頻率的穩定度相當於直接與頻率跳躍點相臨地方的牽引迴線的傾斜線段。在該線段處的工作十分不穩定，當振盪器的工作方式發生極小的變化時，振盪頻率有可能自牽引迴線的一個分支跳躍到另一個分支。為了避免頻率的跳躍，需要選擇工作點，使其在坡度較陡的牽引迴線段上，但這樣做時將降低振盪器頻率的穩定度。

在業餘愛好者的條件下，牽引線路具有特殊意義的一些優點是：與振盪方式相比較，有可能獲得較大的功率；有可能應用品質因數較低的石英，而這些石英在振盪電路中使用時其激振情況較差或者根本就不能激振。

石英振盪器盪振電路的工作機構

在石英振盪器中能發生振盪的原因及存在振盪條件可以用最簡單的振盪電路（圖13.а）例子加以說明，在該振盪電路中，石英是接在電子管柵極及陰極間。

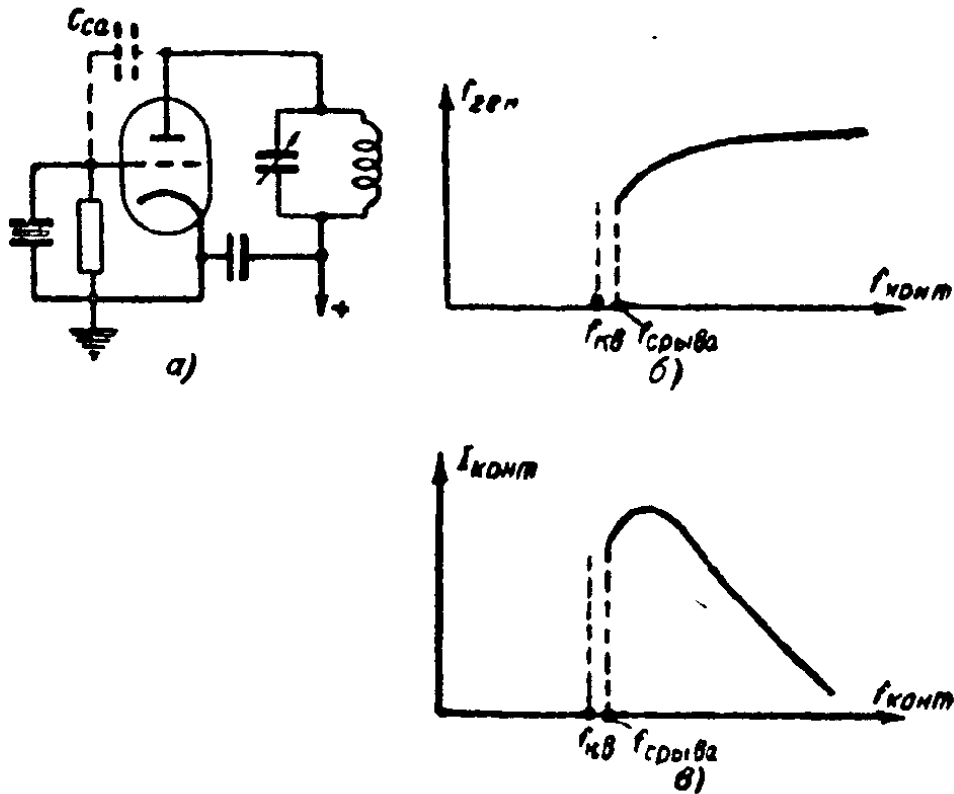


圖 13. 接在電子管陰極和柵極間的石英振盪器的振盪線路圖
 а—原理圖；б—振盪頻率對迴路調諧的曲線關係；в—迴路中電流的曲線。
 f_{sryk} —振盪頻率； f_{kv} —石英頻率； f_{kont} —迴路頻率； f_{sryva} —中斷頻率。

前面早已指出，石英諧振器可以用等效振盪迴路來代替，因此按照圖13.а，振盪器與一般具有二個振盪迴路的振盪器相同，其中有一個接在電子管的屏極電路內，而另一接在電子管的柵極電路內。在此振盪器中，反饋通過屏極與柵極間的電容來實現。

極易看出，以等效振盪電路代替石英諧振器可以使任何振盪電路變換成普通振盪迴路式線路。由此得出結論：對普通振盪迴路式振盪器正確的自激理論及建立振盪的理論，對於石英振盪器是完全

適用的。在這些振盪器中（如果其參數滿足自激條件），由於振盪器電路中偶然的電流起伏作用，自發地產生振盪。振盪的振幅逐漸增大，直到由其電源進入振盪器振盪系統的能量與在振盪系統中的能量消耗相等為止。在電子管振盪器中，由於電子管的屏極或柵極的非線性電流關係，當達到一定的振盪振幅時，這種能量的平衡開始出現。

在石英振盪器中，振盪的發生與建立過程與此完全相似。

被研究電路所發生的振盪頻率接近於反諧振頻率，因為在該線路中，石英諧振器的作用與並聯的振盪迴路的作用類似。

石英諧振器等效電感 L_1 的大小為幾亨和幾十亨。它比換算到諧振器等效電路後電路其他元件的有效電感大許多倍。石英等效電容 C_1 的大小以百分之幾和千分之幾微微法測量，相反它比其它元件的有效電容小許多倍。把線路各元件的有效電感和有效電容換算成諧振器的等效電路，發現它們是與等效電抗元件 L_1 、 C_1 串聯的，由於上述關係，因此對 L_1 、 C_1 的影響不大。也就是使石英穩定式振盪器有高的頻率穩定性的一個原因。

石英振盪器頻率的穩定性

現在來研究石英穩定式振盪器的頻率穩定性問題。石英振盪器的頻率與標定頻率的偏差決定於下列幾點：首先是原來調到標定值的頻率準確度，其次是由於不穩定因素所引起的頻率偏離。頻率偏離的大小表明了振盪器頻率的穩定性（或者更確切地說，是表明了振盪器的不穩定性），頻率穩定性可以用頻率偏離的絕對值 Δf 表示，或者用相對數值 $\frac{\Delta f}{f}$ 來表示。相對不穩定性往往以百分數來表示。

現在研究不穩定因素對振盪器頻率的影響。不穩定因素包括：電源電壓的變化，在使用過程中或在更換電子管時其參數的變化，負載變化，溫度的影響，濕度以及大氣壓力的影響等。當設計振盪器時應力求設法使它具有良好的工作條件，即在該工作條件下，不穩定因素的影響所產生的頻率變化要最小，並應力求使這些不穩定因素的影響趨近於最小。

蘇聯學者在頻率穩定方面的研究佔着優先的地位。榮獲斯大林獎金的技術科學博士B·K·申別利及M·C·涅依曼教授在其著作中分析了各種因素對振盪器頻率穩定性的影響，並擬定了穩定的方法。

應該將兩種穩定性加以區別。

1) 振盪器頻率對振盪器振盪系統固有頻率的穩定性。振盪器振盪系統的品質因數愈高，則這類穩定性愈高。

2) 振盪系統固有頻率對某一標定值（標準的，絕對不變的頻率）的穩定性。這種穩定性決定於振盪系統參數對外界各種因素（溫度、濕度、大氣壓力、寄生電容或電感）影響的安定性。這類穩定性的重要指標之一是頻率溫度係數。

因此，振盪器頻率偏離由兩個組成部分而得：即由振盪頻率對於初級振盪系統的諧振頻率的偏差值及由諧振頻率對於給予標定頻率值的偏差值（標定值在開始時是與諧振頻率相符合的）組成。

爲了使振盪器的總頻率偏離最小，振盪器的振盪系統應該滿足下列兩個要求：1) 其品質因數應該高；2) 其諧振頻率不應隨時間以及在某一外部因素影響下發生顯著的變化。後一條件常常稱爲振盪系統的“標準特性”。

我們已經談過，石英振盪器無論在品質因數方面及在標準特性方面都比所有舊式的振盪系統優越。然而在設計石英振盪器時，需

要採取一系列的降低不穩定因素影響的措施。這些措施將在下面加以敘述。

以振盪線路工作時石英振盪器的活動度

以振盪線路方式工作的諧振器的重要特性之一是諧振器的振盪強度及活動度。活動度為一條特性曲線，它沒有數學的意義。石英的活動度可按石英片接入線路時振盪管柵流的大小來判斷，或屏流降落的大小來判斷（上述是指振盪器工作方式的情況）。諧振器的活動度愈大，則當振盪器接入線路時柵流愈大，屏流的降落也愈大。

活動度與石英的品質因數成正比，但活動度不僅與諧振器本身的性質有關，而且也與振盪電路的特性以及振盪管的工作方式有關。因此在不同的線路中，同一石英片可能具有不同的活動度。

在大多數沒有振盪振幅自動調節的簡單石英振盪器中，石英片電極上的高頻電壓大致與其活動度成比例。如果振盪器在歉壓的情況下工作，則不同品質因數的石英將產生不同的高頻電壓。但是在過壓情況下工作時，品質因數彼此之間差別很大的石英片，其發出的電壓可能大致相同，雖然在這種情況下高品質因數的石英片會給出較高的電壓。

實際上存在這種情況，當把石英片接到預定是採用活動度較小的石英片的電路中時，由於振盪振幅過高及與振幅有關的變形，它將被毀壞。因此需要控制振盪的振幅，而控制振盪振幅的最簡單方法是測量流過石英的振盪電流。對於厚度方向振動的石英片，通過諧振器的最大許可電流密度為每1平方厘米的石英片面積20毫安，而對於長度方向振動的石英片等於10毫安/平方厘米。

實際上，控制流過石英的振盪電流係利用各種指示器。最簡單

的指示器可用白熾燈（1伏特，0.075安培），此白熾燈與石英串聯。指示器的電阻應該很小，否則石英諧振器的活動度將變壞。

石英穩定式振盪器的實用線路

石英振盪器的線路有很多。其中最有趣的是振盪線路。圖13.a所示為廣泛採用的石英振盪器線路，在線路中石英接在陰極與柵極之間。已經提過，此線路以接近於並聯諧振頻率處進行振盪，而反饋則通過振盪管的屏柵極間的電容來實現。此電容係由屏柵間電容與佈線電容所組成，因此總電容通常相當大，因而具備了自激條件。在低頻率時，就得用人工方法使該電容增大，因為隨着頻率的降低電容性導納減小。當振盪管為四極管或五極管時，這時也得增加屏柵極間的電容。為了引起振盪，通常把電容為2—10微微法的輔助電容器並聯在屏極與柵極間即足夠了。

在被研究的線路中，僅當屏極迴路調諧到比石英的固有頻率高時才有可能發生振盪，即當屏路對振盪波頻率具有電感性的電抗時才可能發生振盪。若調諧屏極迴路使朝繼續提高頻率的方向變化時，則振盪頻率也將稍許提高，這是該線路明顯的缺點。

圖13.6所示為振盪頻率與屏極迴路的調諧的關係曲線，而圖13.c為在屏極迴路失諧時，屏極迴路中振盪電流的變化曲線。兩曲線均用實驗方法求得。最大振盪強度相當於趨近石英諧振器固有頻率的迴路頻率，也相當於中斷點邊緣的迴路頻率。在此頻率上，振盪的穩定性很低，當振盪管的工作情況改變時振盪有可能中斷。

振盪頻率的穩定性也決定於屏極電路的調諧。此迴路的固有頻率愈接近於石英的頻率，則迴路調諧改變對振盪頻率的影響也愈大。為了提高振盪頻率的安定性及穩定性，當然，就得提高屏極迴路

的頻率而使它去諧。隨着迴路去諧，其等效電阻減小，由此在迴路上的高頻電壓降低，振盪器的有效功率減少。由此在希望得到較良好的穩定性時，需要加以調整。去諧的數值一方面受屏極迴路可變電容器的原始電容限制，另一方面爲自激附加條件的要求所限制。石英片的活動度愈高，則在其它條件相同的情況下所允許的去諧值也愈高。爲了簡化電路，屏極電路中的迴路常常以電感（扼流圈）代替。

石英穩定單管式簡單發射機（初學短波無線電的無線電愛好者用）提高穩定性方面的問題採用第二方法。這種發射機希望其有效功率不少於5瓦特。爲了提高輸出，屏極迴路應具有足夠高的品質因數，且工作點的選擇應接近於振盪中斷頻率。也可以提高振盪強度，這時把高頻扼流圈與柵漏電阻串聯（而有時完全代替了它）。與柵漏電阻串聯的扼流圈降低了柵極電路中高頻能量的損失。實際上柵極扼流圈的電感大約選用2毫亨。應該指出，在某一電感值時（該值與頻率及其他條件有關）可能會產生寄生振盪。

在上述線路中不應把功率提高到超過5瓦特，因爲這樣會使石英片過載，有時會使石英片破壞。在較繁重條件下工作的石英諧振器不能保證振盪頻率的高度穩定性。振盪電流將諧振器加熱，由於加熱結果，諧振器的頻率改變（在頻率溫度係較大的情況下這種改變特別顯著）。在發射機發報時，諧振器將週期地被加熱及冷卻，這就影響到電報信號的音調。

在電子管陰極及柵極間接有石英的石英振盪器線路在歷史上是石英穩定式諧振器最初線路之一。正因如此這線路才有可能在實際上得到廣泛的應用。

圖 14.a 所示爲第二種“標準”線路，在該線路中諧振器接在電

子管的屏極與柵極之間。這種線路應用較小，主要由於當接在屏極與柵極間時，石英諧振器的負載過大。

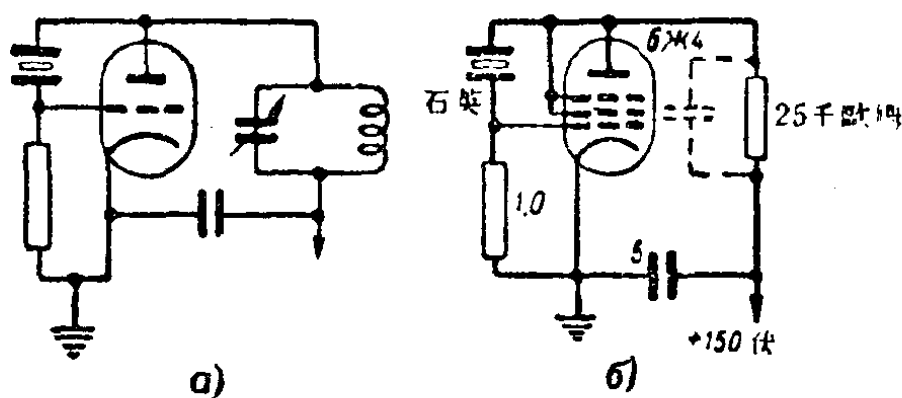


圖 14. 接連在電子管屏柵極間石英振盪器的振盪線路圖

α —有調諧的屏極迴路； σ —在屏極電路中為有效電阻。

該線路的反饋是通過柵極與陰極間的電容來實現的。應當把振盪迴路調諧到比石英諧振頻率更低的頻率，即在振盪頻率時此電路應具電容性阻抗。振盪頻率是接近於石英片的並聯諧振。

在穩定性方面來說，上述線路類似於在柵極與陰極間接入石英的振盪器。同樣在該情況下，隨着接近諧振的程度，屏極迴路的調諧對振盪頻率的影響增大，所以爲了提高穩定性，也建議振盪器的屏極迴路應顯著地去諧。因爲電子管屏極迴路應該具有電容性阻抗，所以該電容性阻抗可以用電容較小的（5—10微法）電容器代替。當諧振器需要有高的穩定性時，這種更換是很合理的。此時諧振器給出的功率顯著地減小。

圖14.6所示爲較優良的線路。在此線路中，屏極電路中的迴路代以普通的電阻。該類線路與上述線路無原則的差別，因爲在線路中振盪管的屏極與陰極間的電容爲高頻電流的屏極負載。爲了促使振盪有時把電容很小的電容器與屏極與柵極電路中的電阻並聯。這種線路的特點是頻率的穩定性相當高，而且可以用作爲多管式高穩

定性發射機的主控振盪器。有寬的頻帶，也就是說不需微調振盪器的元件，而在石英諧振器廣闊的頻率範圍內產生振盪的能力，是該線路的優良特性。當調整或重調石英片頻率的時候可以利用此種線路的特性。在此振盪器中，由頻率從 600 千週到 20 兆週的石英來產生振盪都具有同樣良好效果（當品質因數相同的條件下）。

再研究另一個具有寬的頻帶的石英振盪器線路。把柵極電路具有電容分壓器及串聯迴路的已知線路（圖 15. a）作為這種電路的基礎。串聯迴路與電容 C_2 （其中包括分壓器的總電容 $C_3—C_4$ 及接線電容）一起所構成的線路，則與石英諧振器的等效電路相似。如果把 $L_1 C_1$ 迴路以石英代替（圖 15. b），則適當地選擇電容分壓器時，電路將發生振盪，發生振盪的頻率在石英串聯諧振與並聯諧振之間。總之應該指出，在石英諧振器中的振盪頻率照例與在石英標籤

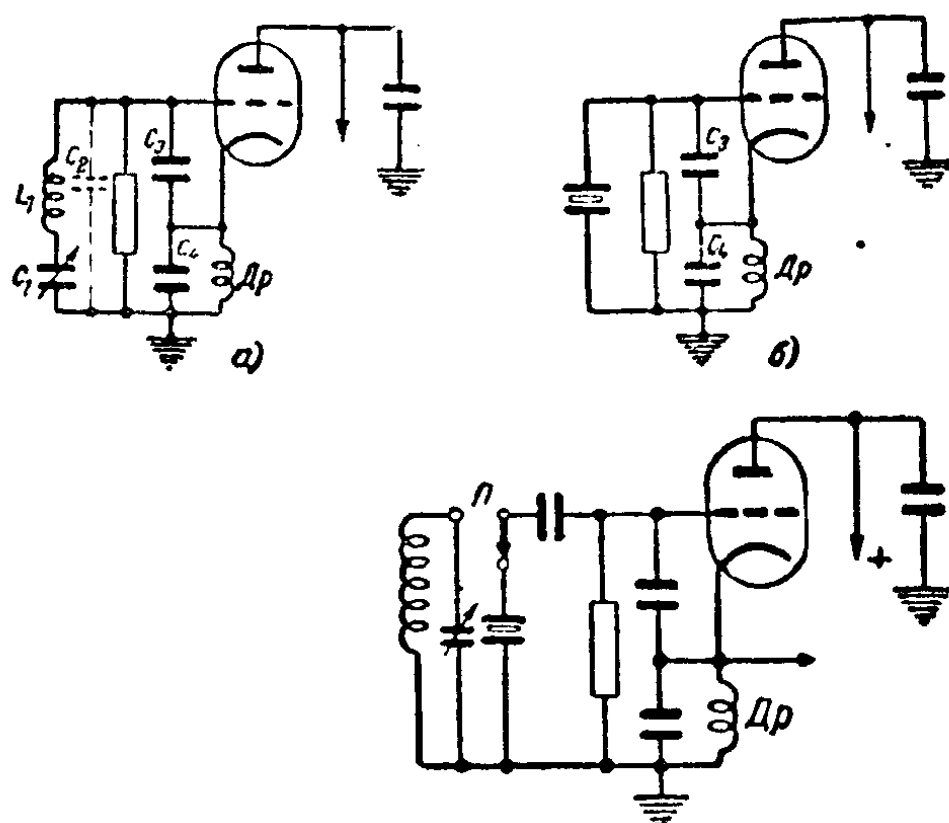


圖 15. 在柵極電路中有電容分壓器的振盪電路圖

a—有串聯振盪迴路的線路圖；b—石英振盪器的線路圖；c—綜合的線路圖

上的頻率是有差別的。在不同的線路中，同一諧振器振盪的頻率是不同的；而且因線路元件（在該情況下爲分壓器及接線電容）影響所引起的差異在 7 兆週的頻率上可以達到幾千週。當確切地依照晶體來校正某種儀器，接收機或均勻調諧激勵器時應該考慮這種情況。

分壓器中電容器的大小可用實驗的方法來選擇，且允許在某一範圍存在偏差。大體上電容 $C_3 = 10$ 微微法， $C_4 = 200$ 微微法。可以利用一個具有 0.5—10 毫亨電感的任何線圈作爲扼流圈。用實驗方法來選擇振盪器的參數可以使頻率在 40 千週到 8 兆週的石英線路的工作很穩定。

在陰極電路的扼流圈 L_p 不是調諧元件，在某些情況此扼流圈可以用有效電阻來代替。

圖 15.6 的線路具有相當高的穩定性，這是由於石英與電子管等效電路的疏耦合。在業餘愛好者的實驗中，應用一種變形線路是較方便的，這種變形線路能極簡單而又很方便把石英穩定轉換爲參數性穩定，其方法是把電子管的柵極從石英轉接到普通的均勻調諧式電路上（圖 15.6）。高频電壓可以從振盪管的陰極取得，送到以下各級。

現在來研究電子耦合式石英振盪器線路，這種線路的作用原理首先是由蘇聯學者 Б. К. 申別利在 1933 年所創議的。這種線路有時也稱作《三極管四極管電子耦合電路》。在電子耦合式線路中，用三極管或五極管作振盪管。

在電子耦合式振盪器線路中，電子管的簾柵極代替了屏極的職能，此時電子管的屏極成爲放大級的屏極，此放大級以公共的電子流與諧振器耦合。因此在電子耦合式線路中，一個電子管實現兩種

職能：振盪與放大。接入電子管屏極的迴路不直接參與自激過程。這樣既可以調諧至石英的諧振頻率，也可以調諧至石英的諧波。

在三極管四極管電子耦合線路中，負載對振盪頻率的影響比上面談到的簡單線路顯著降低。而且如果結果不夠好，則可以在發射機振盪器線路引入用單個電子管的特殊分離（緩衝）級。

三極管四極管電子耦合線路的優點在於除了減少電子管的數目外，當石英的負載相同時，與簡單的石英振盪器相比較該線路可以保證產生較大的功率。這樣，如果在普通單管式線路中，如我們已經提到過，有效功率不應超過5瓦時，則三極管四極管電子耦合線路中當石英在正常負載時，功率可能增加到20—30瓦。

在電子耦合式振盪器中，振盪功率分配在簾柵極電路的迴路及電子管屏極的迴路間，在該功率達到某一程度前係與各迴路的等效

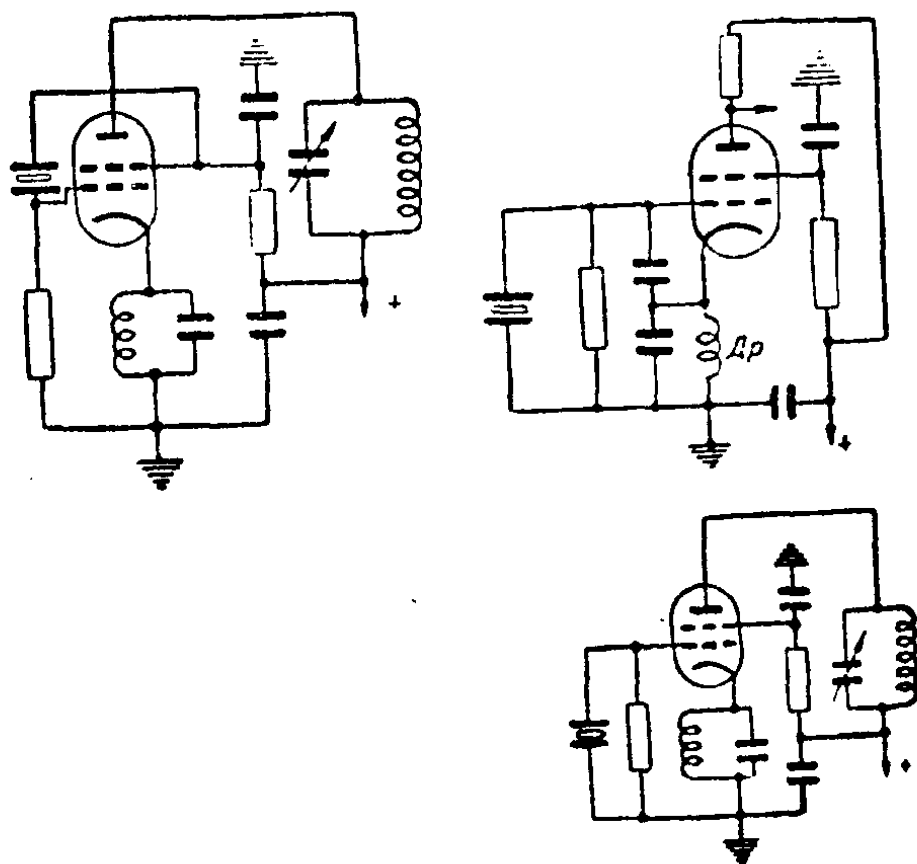


圖 16. 電子耦合式石英振盪器的線路方案

諧振電阻成比例，因此送出有效功率的屏極負載的等效電阻應比簾柵極電路中迴路的電阻高出若干倍。實際上是調諧簾柵極中的迴路，使諧振頻率去諧（當然是去調到相應於選定電路的一方面），直到屏極電路發出的有效功率開始降低為止。這類措施同樣也可以促使振盪頻率的穩定性提高。

圖 16 所示為幾種電子耦合式石英振盪器的線路方案。

圖 17 介紹了一種石英穩定式發射機的實用線路，該線路可給二等和三等的短波工作者用。發射機用二個電子管裝成。第一個是五

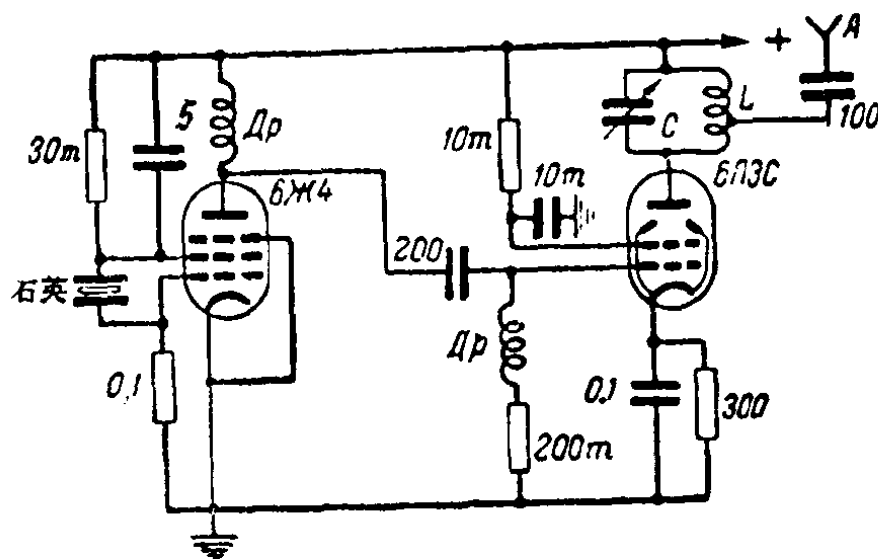


圖 17. 石英穩定式發射機的實用線路

m —千歐姆

極管 6X4，它擔任振盪管的職能。振盪器是利用電子耦合式線路。石英諧振器接在控制柵極與簾柵極（簾柵極作為振盪器的屏極）之間。在電子管 6X4 的屏極中具有一電感約為 2 毫亨的高頻扼流圈 $4p$ 。放大是用電容來耦合的。功率放大器由電子管 6П3C 裝成。主控振盪器所應用的線路的諧波很多，因此不論在放大的工作方式或是在石英倍頻的情況下，發射機發出的功率幾乎相同。例如在業餘愛好者的波段內，7 兆週的發射機可以用 3.5 兆週及 7 兆週的石

英工作，在14兆週的情況下工作時，適合應用7兆週及14兆週的石英等等。當由一個波段轉換到另一波段時，只有一個接在放大管屏極電路的LC迴路要進行重調。該線路的優點在於使用極簡單方便。

連續調諧式石英振盪器

一般的石英穩定式振盪器，其大的缺點在於振盪頻率是固定的，不能夠連續地改變。同時，對近代通信用的無線電發射設備提出的基本要求之一，就是要在預定的頻率範圍內，能夠連續地改變發送機的頻率。在業餘短波無線電通訊的實驗中，二個通訊者照例是在同一頻率下工作的。在希望進行通訊的時候，短波工作者調整自己的發送機到某一電台的頻率，在此頻率上召喚該電台。業餘範圍的頻率寬度為200千週或更寬些。因此爲了佔用所有波段範圍，必須有大量的石英（最少40個）。

現在來研究並應用波段能連續調整的石英振盪器的線路圖。這些線路圖可以分成二個基本組：1. 石英頻率引離式振盪器，2. 高頻石英振盪器和參數穩定式低頻本機振盪器的混頻線路。

我們已經指出過，在不同的振盪線路中，同樣的石英諧振器會發生不同的頻率，這是由於線路電抗元件之影響。此現象可以用來在不大的範圍內改變石英穩定式振盪器的頻率。

把電抗元件接到諧振器上會使諧振器的並聯諧振或串聯諧振偏移。可以有四種方式：1) 把石英與電容串聯，2) 把石英與電容並聯，3) 把石英與電感串聯，4) 把石英與電感並聯。

當電容與諧振器串聯時，電路串聯諧振的頻率提高，並接近於石英並聯諧振的頻率，但石英並聯諧振的頻率是不變的。

當電容並聯時，並聯諧振的頻率降低，如同上述情況一樣，縮小了諧振間的範圍。

把石英與電感串聯，由於降低了串聯諧振的頻率，擴大了電路並聯和串聯諧振頻率間的間隔。

電感的並聯提高了並聯諧振的頻率，同樣擴大了諧振間的範圍。

上述關係可以用我們在研究石英諧振器電抗特性時的圖解法得到。

前節所研究的振盪線路圖的工作接近於石英片的並聯諧振，因此其頻率由並聯諧振所決定，而幾乎與串聯諧振無關。這樣，可應用可變電容或電感與石英並聯來改變此線路中的振盪頻率。電容增加，振盪器的頻率將要降低，直到產生振盪中止。自然，在此種情況下頻率的變動範圍受諧振間隔的大小所限制，而不超過石英固有頻率的 0.4 %。

可變電感的並聯，保證了石英振盪器大的頻率《引離》。在此情況下，石英振盪器頻率的改變範圍與接至諧振器線圈的品質因數有關，電感元件的品質因數愈高，則最大頻率引離亦愈大，藉助於可變電感，振盪頻率的相對變動達到 0.8 %。

採用頻率調諧到略高於石英頻率的振盪迴路的方法，可得到良好結果，這時迴路為感抗性的。藉助於可變電容的電容器改變電路的調諧，可以在極大範圍內改變其等效電感量。

可能產生寄生自激這是石英振盪器頻率《電感》調節的缺點，除此以外，隨着頻率的引離其穩定性減低了。

相反，《電容》調整不僅不降低穩定性，並還促使其穩定性提高，因為提高了石英的靜電容，寄生電容（主要地是電子管的輸入

電容)對振盪頻率的影响就減小了。

藉助電抗元件來微調石英振盪器的頻率，可以大大地縮減完全

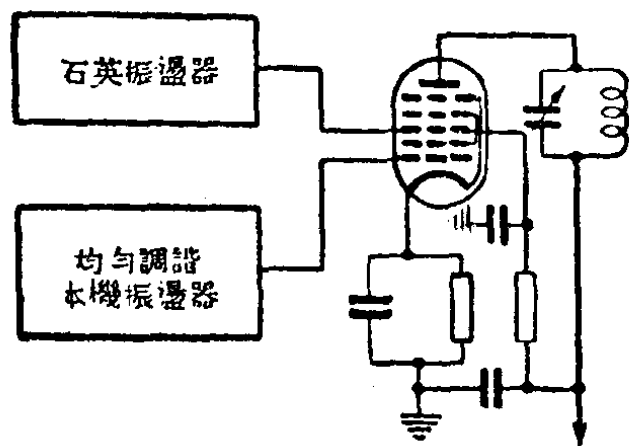


圖 18. 在頻率可連續調整頻帶內石英穩定作用的最簡單線路圖

佔用業餘波段所需的石英數。

蘇聯學者 Г. А. 謝特列諾克教授在1932年提出了在連續可調頻帶內的石英穩定作用的第二種方法。以下便是這種方法。假如說，混頻管的柵極上供給石英穩定式振盪器的振盪波和普通參數穩定式振盪器（具有連續調諧

的）的振盪波（圖18），此時在混頻管的負荷中出現了混成頻率的振盪，其中，和頻及差頻為：

$$f_1 = f + F \quad \text{和} \quad f_2 = f - F。$$

其次假定，石英振盪器的頻率 $f = 5000$ 千週，而其連續振盪器頻率 F 可以在 5 到 50 千週內變動。那時，總頻率將在 5005 ~ 5050 千週內變動。中級石英振盪器頻率的不穩定性大概為 0.0001%，而連續調整的振盪器頻率不穩定性大概為 0.01%。很明顯，和頻的最大不穩定性將相當於下列情況，即當兩個振盪器的（石英振盪器和連續調整振盪器）頻率向同一方向內改變時，亦即是當頻率的偏離相加：

$$\Delta f_1 = \Delta f + \Delta F，$$

此處 Δf_1 ——和頻的偏離；

Δf ——石英穩定式振盪器頻率的偏離；

ΔF ——連續調諧振盪器頻率的偏離。

當最高頻率 F 為 50 千週時得到 ΔF 的最大值。知道振盪器的頻

率不穩定性，就容易決定頻率偏離值：

$$\Delta f = 0.0001\% \times f = 5 \text{ 週；}$$

$$\Delta F = 0.01\% \times F = 5 \text{ 週。}$$

這樣，二振盪器頻率的絕對偏離是相同的。當頻率在同一方向變化時的總偏離為 $\Delta f_1 = 10$ 週。

讓我們來計算一下振盪器和頻的不穩定性：

$$\frac{\Delta f_1}{f_1} = \frac{10}{505 \times 10^6} = 0.0002\%。$$

很明顯，和頻的穩定性接近於石英振盪器頻率的穩定性，並大大超過連續調諧振盪器的穩定性。

用係數 $M = \frac{f}{F}$ 來表示石英穩定式振盪器頻率和連續調諧本機振盪器頻率的比率，該時即可按下列公式來決定和頻的不穩定性：

$$\frac{\Delta f_1}{f_1} = \frac{\Delta f}{f} + \frac{\Delta F}{MF}。$$

這種在波段內能連續調整的石英穩定最簡單線路圖的主要的缺點，是在振盪器頻譜中有混成頻率及混成頻率的諧波。因此，在無線電發射設備中，只有在具有調諧到寄生頻率及消滅寄生頻率的帶消濾波器時才能夠採用此線路。但是這個方法很複雜，在業餘的條件下應用是不恰當的。

採用平衡調制器能得到好的效果，在圖19表示平衡調制器式線路圖的方案之一。

平衡調制器由二個同樣的電子管組成，或者是一個變生管（雙三極管，雙五極管等）。這些管的參數應該相同；否則平衡調制器的工作方式將被破壞。

從圖19的線路圖很明顯地看出，由石英振盪器發出的電壓以相

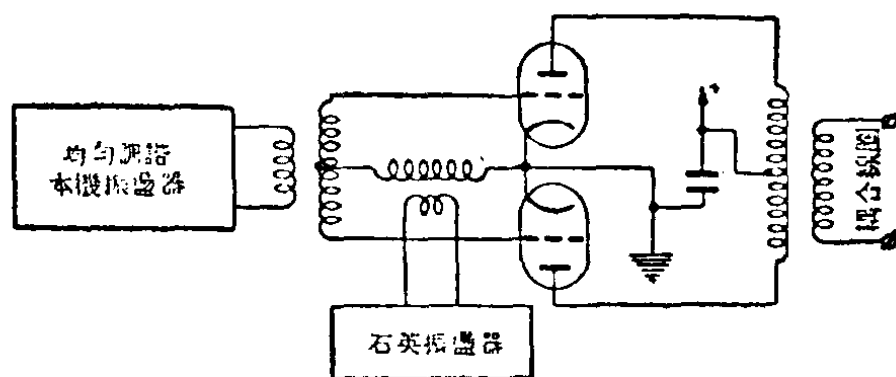


圖 19. 應用平衡調制器波段能連續調整的石英穩定線路方案

同的相位加於平衡調制器二個電子管的控制柵極，而由低頻本機振盪器來的電壓是以相反的相位加於二柵極上。

在沒有低頻電壓時，電子管柵極上的電位是相同的。在屏極電路中振盪電流的大小及其相位是相同的。因此在耦合線圈中它所激發的電動勢其大小相同，符號相反，亦即彼此是均衡的。不難看出，當在電子管柵極上的高頻電壓是同相時，永遠具有類似的補償作用。

現在我們接上低頻振盪器的電源。此時電子管柵極上的電位平衡破壞這使電子管屏極電路中的振盪電流和耦合線圈中所感應的電動勢發生了相應的調整。其中有一個電動勢將比另一個大，因此它們不能完全補償，而在耦合線圈的兩端出現電壓。

在數學上可以證明，此情況下在耦合線圈內循環流動着頻率為 F ， $f+F$ 及 $f-F$ 的電流。低頻電壓振盪波的振幅通常很小，因為按高頻設計的低電感耦合線圈對低頻電流來說呈現着極小的阻抗，而接近於短路。我們可以看到，平衡調制器的主要優點是從耦合線圈的頻譜中去除掉頻率 F 及偶次諧波。

如果在二電子管的柵極供給以相位相反的高頻振盪波，而以相同的相位供給低頻振盪，則總頻率譜將包含頻率 f ， $f+F$ 及 $f-F$ ；

因而這種方案對我們的情況是不適用的。

在具有上述主控振盪器的無線發射設備中天線或以差頻發射，或以和頻發射。頻率分離及所希望頻率的振盪的鑑別在後面幾個放大級中的帶通濾波器來完成。

按平衡調制線路裝成的連續調諧式石英振盪器適宜用於業餘愛好者的發射機中，雖然這種振盪器要比一般的振盪器繁雜得多。

超高頻的石英穩定

由於缺乏設計在超高頻時用的石英片，許多從事於超短波工作的無線電愛好者放棄應用石英穩定法。另外一部分人則是走向使發射機複雜化，而在主控振盪器中應用頻率較低的諧振器，再進行多次倍頻。下面將敘述在超短波範圍內應用的各種石英穩定方法，以及指出簡化用石英穩定的發射機的方法。

目前製造的石英片其頻率可達100兆週。此時多半應用 X 及 BT 切割，這是由於這些切割有較高的頻率係數。從前曾應用過電氣石製成的片。電氣石比石英；電氣石的頻率係數幾乎是石英的一倍半，但電氣石諧振器的品質因數，特別是電氣石的頻率溫度係數，比相應的石英製的諧振器的參數要差得多。

超高頻片通常製成圓形，且在平面上壓緊固定。從製造工藝方面來看，超短波諧振器的製造屬於精密的工藝等級。超高頻片的生產有很多大的困難問題；因此使超高頻石英的價值高昂應用較小。

在設計超短波範圍的石英振盪器時，不僅需要考慮電子管內的電容影響，而且也要考慮到引線電感及電子管零件電感的影響。

超短波石英振盪器的線路與一般自激式工作的超短波振盪器有許多共同點。圖20. a所示為自激式超短波振盪器，而圖 20.6及c所

示為類似於上述振盪器的石英振盪器線路。不難指出，後二線路是屬具有牽引效應的線路，在該線路中發生振盪與石英是否激振無關。

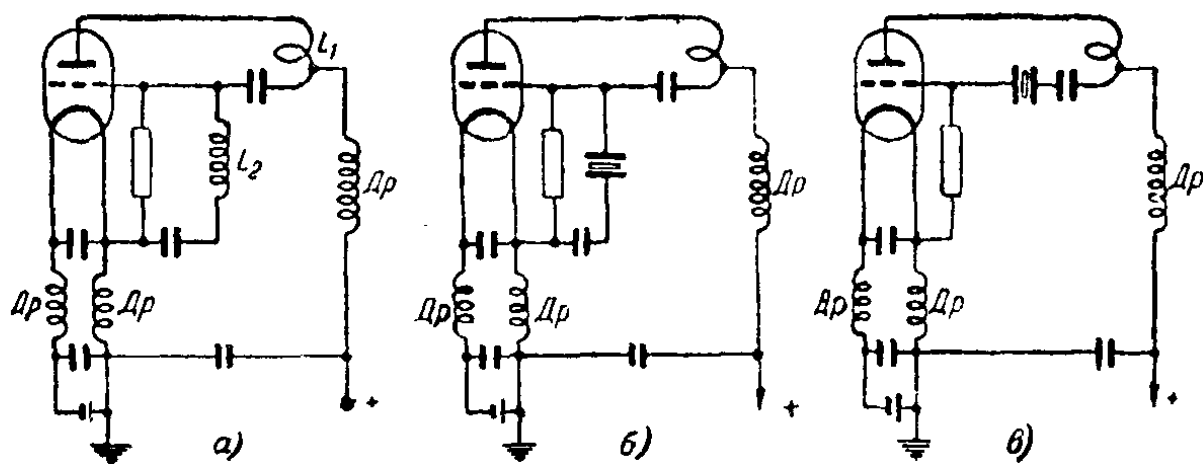


圖 20. 超短波振盪器線路圖

圖20.6的線路以接近於石英片的並聯諧振頻率振盪，因為柵極電路的阻抗正在此頻率時為最大。

圖20.6的線路以接近於石英片的串聯諧振頻率振盪，因為此時石英為一個耦合元件，其阻抗恰在串聯諧振頻率時最小。

一般的振盪電路在超短波中應用很少，因為在這些頻率時諧振器品質因數較低，僅在牽引效應的線路中能很好地激振。

當缺乏基頻石英諧振器時，應採取石英倍頻方法。這種石英穩定法的缺點，上面已經指出過，是線路複雜化及使發射機的級數和零件增加。

在這種情況下，圖14.6有寬的頻帶的線路其效果較好，這種線路的諧波較多，且能夠到20兆週及更高的頻率（具有相當活動度的石英）下振盪。

也有利用石英諧振器機械諧波的石英穩定法。知道這種方法的人很少，在業餘愛好者的實驗中還未被應用。

石英諧振器不僅可在機械諧振基率上激振，而且可以在機械振盪諧波上激振。我們把 X 一切割石英片的橫向振盪情況作為例子來研究。

當在基頻上振盪時，石英片厚度為彈性振盪波的半波長（圖 21.a），而且在相對兩面的電荷其符號不同。

當在奇次諧波振盪時，石英片的厚度為半波長的奇數倍（圖 21.b），在相對兩面電荷的符號也相反。

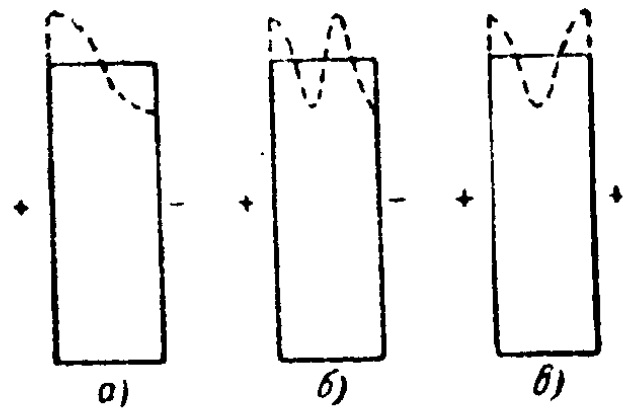


圖 21. 石英諧振器在機械諧波上的激振

如果在上述石英片的電極引入偶次諧波的電壓，則厚度為半波長的偶數倍，那時在兩面上的電荷符號相同。十分明顯，此時沒有壓電效應，因此在偶次諧波要激振振盪是不可能的（圖 21.c）。

在一般的振盪線路中，僅利用較低的奇次機械諧波（最好的情況為 5），這是由於下列原因。

在機械諧波上，石英的等效電容 C_1 的減少是與諧波次第成比例。例如在三次機械諧波時，等效電容為基頻時的 $1/9$ ，在五次諧波時將為基頻時的 $1/25$ 。由接線電容，石英支架電極間電容所決定的靜電容仍然不變。結果隨着諧波次第的增長，諧振器的靜電容與等效電容的比值 $\frac{C_0}{C_1}$ 增加，石英等效迴路的阻抗降低。這使振盪器輸出減小，並限制了振盪器自激條件仍然具備的諧波次第。

為了提高諧振器等效電路的阻抗，與石英並聯接入一電感，電感的大小應選擇得使由電感及石英靜電容形成的迴路是調諧接近於選定的諧振器諧波的頻率，但是略為比這頻率高一些。

屏極電路也應調諧至比所用的機械諧波頻率稍微高一些。此時振盪器的振盪電路變為牽引效應式線路。

振盪的檢驗可藉助與電子管柵漏電阻串聯的微安表進行。振盪器的調諧按下列次序進行：

1. 把諧振器的屏極迴路調諧至接近於選定的機械諧波的頻率。
2. 與石英並聯的電感值應選得使電子管柵流值最大。
3. 把屏極電路進行微調。調諧達到機械諧波的瞬間可由柵流的急劇跳動來確定。

應該注意到，並非所有的諧振器均能用機械諧波進行激振，而僅僅是那些有相當高的活動度及在基頻能很好地振盪的諧振器才激振。具有 AT 與 X 切割的石英片有最好的效果。這種石英片在極高的機械諧波次第（直到15次—19次）進行激振。由5.67兆週的石英片可不用電氣倍頻能直接得到相當於業餘愛好者範圍的85兆週頻率。

應當利用具有較高的跨導電容及較少輸入電容的五極管作為振盪管。應用五極管6Ж3П可以得到較好的效果。

應用石英機械振盪的諧波可以顯著地簡化超短波發射機的線路。微調石英線路中的電感可以在某一範圍內改變振盪頻率。利用電抗管作調整電感可以實現石英振盪器的調頻作用。

上述線路的缺點與所有牽引效應線路的情形相同。缺點是：在與石英頻率（即石英的機械諧波）不同的頻率上有寄生自激的危險性。雖然如此，在超短波內這種石英穩定的方法仍值得給以極大的注意，且對無線電愛好者的實驗提供了廣闊的活動範圍。

石英振盪器的設計

石英諧振器高的標準特性通常尚未完全應用。儘管具有石英的穩定作用，但有時發射機的工作仍不穩定，其頻率隨着時間，及當電報鍵控時，都發生明顯的變化。照例這是由於：振盪器的工作情況不正確，零件的質量不好，設計的結構不能令人滿意，石英諧振器過載，外加電壓的變動等等。

應當牢牢地記住：在設計的結構良好，工作情況的選擇正確，在消除反穩定性因素方面進行了必要的措施以後，則任何一種石英諧振器線路都能保證振盪頻率有十分高的穩定性；相反，如果不具備上述的條件，則甚至極高穩定性的線路也不能得到好的效果。

在設計石英穩定式振盪器的過程中，應該規定下列一些措施，這些措施對於獲得振盪頻率的高穩定性以及實現石英諧振器的標準特性是必要的。

1. 穩定電源電壓(穩壓器及電子穩定器、磁鐵飽和穩定器)。主控振盪器的電源建議由備專用整流器供給。需要正確地計算電力變壓器的功率，並不允許整流器過載，否則電源電壓在電報鍵控時將急劇地變化。

2. 消除負載對主控振盪器振盪頻率的影響(工作中無柵流的緩衝級，負載與振盪器的疏耦合)。

3. 正確地設計振盪器的結構與安裝。在業餘愛好者無線電通訊的條件下應用恆溫器(保持石英諧振器及其他線路部分的工作溫度不變的設備)及預防振盪器零件受潮濕的密閉屏是沒有必要的，但是應該使石英及調諧的振盪迴路遠離電子管，以及把振盪器放在乾燥的地方，應用防濕的零件，陶瓷製成的絕緣子，以及應用具有

較小溫度係數的電容器及電感線圈等。諧振器的零件以及其整個結構的機械強度具有很大的意義。當衝擊或震動時空氣電容器平板的振動及所佈導體的移動都會影響到振盪頻率。

4. 正確地選擇石英諧振器的工作方式。我們已經提過，當石英過載時，可能由於過大的機械變形或電的擊穿作用而被損壞。過載的石英片被振盪電流加熱到相當高的溫度，這使振盪頻率的穩定性變壞，並會使導電的電線脫焊（在用三點固定的圓形石英片諧振器中）。

石英振盪器的調整

爲了調整石英振盪器，希望有下列儀器：測量振盪器各個電路高頻電壓的陰極伏特表，測量石英諧振器電路振盪電流的高頻毫安表，測量振盪管屏流和柵流的毫安表（或微安表）以及調整振盪器振盪迴路的標準信號發生器。

振盪器的調整按下列次序進行：

1. 用於通斷試驗器或歐姆計來檢查線路的安裝是否正確。
2. 把振盪器接以電源，並測試電子管的工作方式（屏壓和簾柵極電壓，屏流，控制柵極的偏壓）。
3. 在電子管的控制柵極供以標準信號發生器的電壓，測量在屏極迴路的高屏電流（用屏極伏特表）和柵極電流（用直流微安表）。將迴路調諧到相當於選定線路自激條件的頻率。按上述儀表的最高指數進行調諧。此時應當考慮到由陰極伏特表引入到槽路的電容。
4. 接入石英諧振器。把檢驗流過石英的振盪電流的高頻毫安表與石英諧振器串聯。已經提到，當石英接在柵極與陰極間線路後

不振盪時，需要在屏極與柵極間增加若干個微微法的電容。

5. 調整石英諧振器的工作方式。用選擇屏極和簾柵極的電壓和柵極漏電阻的方法來調整消耗在石英上的功率（振盪電流的大小）。當電源電壓和漏電阻的數值減少時，功率降低，漏電阻的數值可以在幾千歐姆到百萬歐姆的範圍內變化。當石英諧振器在額定載荷時，選擇電源電壓及漏電阻的數值，以及調諧屏極迴路，可以使屏極迴路中所發生的有效功率達到最大值。

所介紹的調整方法主要應用於調諧式振盪迴路的振盪器電路。當具有足夠的經驗時，石英振盪器的調整可以不用儀表，這時可應用氖管及白熾燈（1伏，0.075安）作為指示器。

第三章

石英濾波器

濾波器的一般知識

在通訊技術中常常有必要分開不同頻率的電流，阻止某些頻率的電流，並使另一些頻率的電流通過。這種任務由電氣濾波器來完成。濾波器——這是指一種特別電路，這種電路對加於其輸入端的振盪頻譜的不同部分表示出有不同的阻抗。

一般的電抗元件——電感和電容及其串聯或並聯的迴路（例如：按圖22所連接的電路），都可看作爲電氣濾波器，因爲它們對不

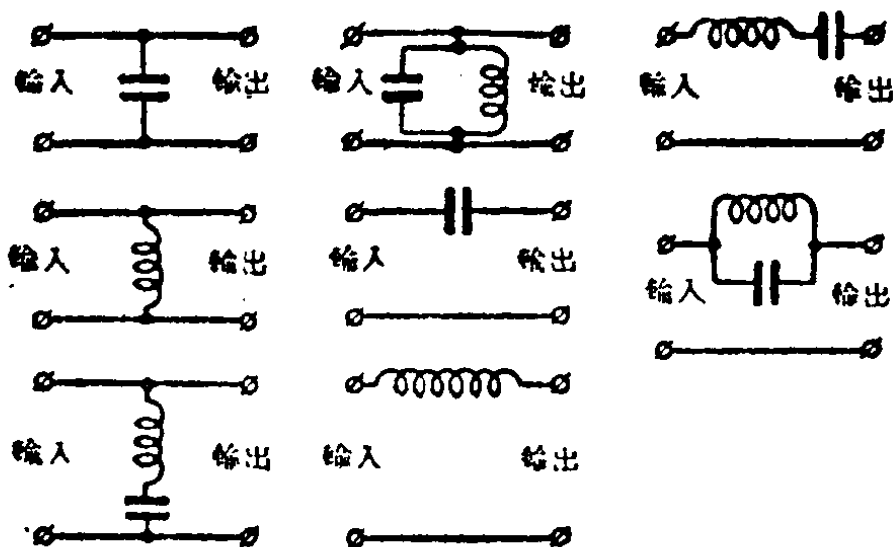


圖 22. 最簡單的電氣濾波器

同頻率的電流其阻抗是不同的。但是實際上這些濾波器的選擇性質量是不夠的，因此爲了提高選擇性質量，必須使用電抗元件的更複雜組合。

濾波器按其通頻特性可分爲四類：

1. 帶通濾波器。它讓一定的頻帶通過，而阻止其他頻率通過。這種濾波器也叫作通頻帶濾波器。
2. 帶消濾波器。它阻止一定的頻帶，而讓其餘頻率通過。
3. 低通濾波器。它讓一切較預定邊界頻率低的頻率通過，並阻止較高的頻率。
4. 高通濾波器。它讓一切較預定邊界頻率高的頻率通過，並阻止較低的頻率。

濾波器主要指標是其衰減特性曲線。所謂衰減特性曲線就是輸入端電壓與輸出端電壓的比率視頻率而改的關係曲線。

濾波器的諧振曲線與衰減特性曲線是不同的，而我們把濾波器輸入電壓恆定時，輸出端電壓與頻率的關係曲線當作爲濾波器的諧振曲線。

一般將諧振曲線用直線比例尺來畫，而衰減特性曲線用對數比例尺來畫（電壓間的關係用分貝或奈比來表示）。

現在來看一下上述幾種濾波器的理想衰減特性曲線。

圖 23. a 所示爲最簡單的帶通濾波器線路圖及其衰減特性曲線。此濾波器係由並聯支路和串聯支路二個振盪電路構成。將此二電路調諧到諧振，而諧振頻率就是濾波器通頻（《透明》）帶的中間頻率。串聯諧振電路的電抗對諧振頻率電流來說等於零；而在同一頻率上並聯迴路的電阻，是非常大，因此在某一頻帶範圍內（也就是通頻帶內），濾波器輸出端電壓近似地等於其輸入端電壓。在通頻帶的兩邊有非通頻（《不透明》，止頻）帶。隨着電壓的頻率離開邊界頻率 f_{z1} 和 f_{z2} ，濾波器輸出端電壓 $U_{\text{вых}}$ 減低，因而 $\frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{вых}}}$ 之比也增加。

在圖 23. 6 上所示爲最簡單的帶消濾波器線路圖及其衰減特性曲

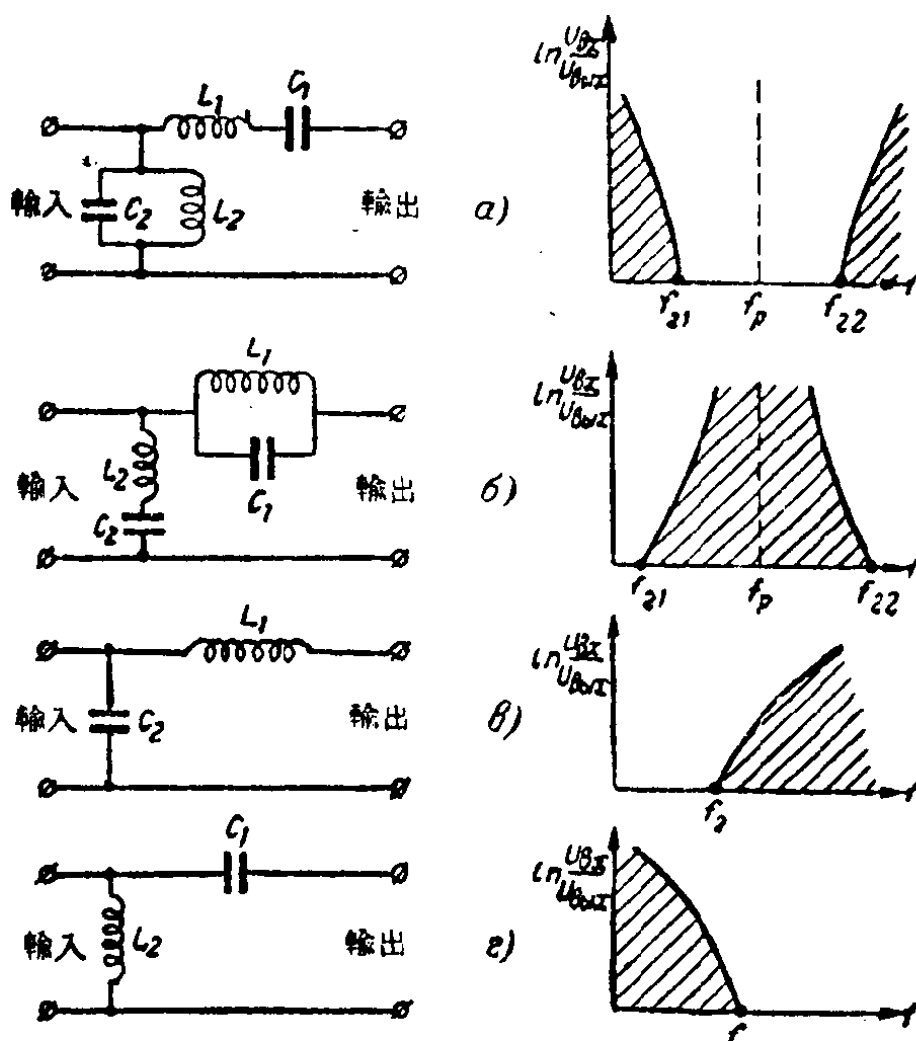


圖 23. 濾波器的線路圖及其特性曲線

a—帶通濾波器；b—帶阻濾波器；c—低通濾波器；d—高通濾波器。

線。此濾波器也如前者一樣是由兩個迴路構成的，但是串聯諧振電路連在濾波器的並聯支路內，而其並聯諧振電路接到串聯支路上，結果，此種濾波器的作用正與上述相反。對某一頻帶(止頻帶)裏的電流，其並聯支路的電抗很小，但串聯支路的電抗相當大。隨著電壓頻率離開邊界頻率，兩電壓 $\frac{U_{bx}}{U_{blix}}$ 之比將從很大值降低到1。

在圖23.c上所示為最簡單的低通濾波器線路圖及其衰減特性曲線。此種濾波器的串聯支路是一個電感，而並聯支路是一個電容。對於直流($f=0$)來說，在並聯支路的電抗為無窮大，但在串聯支路的電抗等於零。這時輸出電壓等於輸入電壓，故其比 $\frac{U_{bx}}{U_{blix}}=1$ 。

在頻率升高時，串聯支路電抗增加，而並聯支路的電抗減少。從某一頻率開始（該頻率為邊界頻率）其輸入與輸出電壓之比顯著地大於1，在頻率繼續升高時，兩電壓之比繼續急劇地增加。

在圖23.2上所示為最簡單的高通濾波器原理圖及其衰減特性曲線。此種濾波器也和前者一樣是由電感和電容構成的，但是電容不連接在並聯支路上（如在低通濾波器中），而是接在串聯支路裏。因此這種濾波器的性質與前者相反。在並聯支路（電感）的電抗對於高頻是很大的，而對直流的電抗則等於零。串聯支路的電抗則正相反對於低頻很大，而在頻率升高時其電抗逐漸減少。高通濾波器的通頻帶只在低頻率方面有限制，但對通過較高頻則將沒有衰減。

當研究濾波器的作用時，我們並沒有考慮到它的電阻，而認為沒有電阻。各元件不存在電阻的濾波器稱為《理想的》濾波器。迴路也是一樣的。實際上理想上的濾波器是不可能存在的，因為任何一種電抗元件都是有一些電阻的。因此實際的串聯迴路的阻抗對於諧振電流來說不等於零，並且並聯迴路的阻抗當諧振時也不等於無窮大。引用《理想迴路》和《理想濾波器》的概念是為了將實際迴路和濾波器的分析加以簡化。振盪迴路的特性曲線越接近於其理想特性曲線，則其電抗元件的品質因數也越高。現今的電容器其損失都非常小，其品質因數都很大。但是電感線圈直到今天還不能製造成具有很高的品質因數。因此振盪迴路的品質因數基本上是決定於電感線圈的品質因數。

迴路的品質因數越高，則其等效阻抗隨着頻率遠離諧振頻率而變化得越急劇。因此高品質因數的迴路其諧振曲線的傾斜度遠較低品質因數迴路的大，而通頻帶要窄一些。對於濾波器而言也是如此。

由於濾波器的選擇性品質受到了元件品質因數的限制，而尤其是電感線圈中品質因數的限制，故對於繼續提高濾波器的選擇性（收縮通頻帶，提高諧振曲線傾斜度），只有使用石英諧振器的方法才可滿足，這是由於石英諧振器的品質因數是普通振盪迴路的品質因數的幾百倍。

石英濾波器的優點除去有高的選擇性外，同時還有高的穩定性，這是由於石英諧振器的優良標準特性。

除去石英濾波器外，還可以利用再生管濾波器來得到窄的通頻帶。此種濾波器裏所得到的窄的通頻帶是依靠反饋，這反饋把負電阻引入迴路，減少了迴路中的損失，因而提高了迴路的品質因數。

但是再生式濾波器在諧振曲線傾斜的斜度方面，衰減特性曲線方面，而尤其是穩定度方面是不如石英濾波器。再生式濾波器的諧振曲線及其衰減特性曲線決定於很多的因素（電子管的工作方式、參數及其他等等）。

無線電愛好者在設計中還有應用再生式濾波器的，其原因在於它與石英濾波器相比較要簡單很多，而價值又便宜些，但這種方法認為只能在較簡單和便宜的裝置中的一種作代用品的措施。再生式濾波器適於應用在音頻範圍內（在電報工作情況下），因為在這些頻率上用的石英濾波器，其價值是非常貴，並且只能有很窄的通頻帶。

在業餘無線電通訊中的石英濾波器

帶通石英濾波器在通訊工程中得到了最廣泛的應用。在無線電接收設備裏應用此種濾波器來提高超外差中週放大器的選擇性。

石英濾波器是設計用於不同的通頻帶，並且可以用在高級的廣

播收音機裏及無線電報接收機內。

當發送電報時我們輪流把電流接入及切斷（鍵控），而在這同時是有不穩定的瞬間過程發生。從物理觀點來看，高頻電流的電報鍵控就是用低頻來調制高頻電流，因為可以把直流脈衝看作是交變電流，而其頻率則決定於脈衝迭更速度及脈衝間的息止時間。電報工作的速度越快，則等效的交流頻率也越高。

顯然，鍵控的速度決定了通頻帶對不失真接收所必須的最小寬度。電報訊號所佔頻帶寬度以週為單位，並由下式來決定：

$$\Delta f = 2.4n,$$

式中 n ——每秒發出的標準字數。

當為每秒100電碼（20個標準字）的速度工作時，頻帶的寬度近似地等於50週。估計到發射機和本機振盪器頻率的不穩定性，故接收機的頻帶寬度必須增大到100—150週。當以該速度通報時這個數字決定了石英濾波器的最低要求的通頻帶。

在業餘的短波通訊接受機中，到現在尚使用着最簡單的通頻帶寬度能均勻調整的石英濾波器，通頻帶調節範圍從50—100週到幾百週。當接收電話時，照例把這些濾波器與電路分離。

以下我們來研究一下最簡單而大家所熟悉的石英濾波器線路，和到現在在業餘無線電機器機構中尚未應用的較複雜線路。

在帶通濾波器裏石英諧振器的工作情況

以前曾證明，石英濾波器在電氣上等效於一個串聯振盪電路和一個靜電容相並聯。在圖24.а上所示即為一個最簡單石英濾波器的等效線路圖。為了把分析簡化，我們假定石英的靜電容不存在（在實際上一般是被均衡起來）。圖24.а是完全等價於圖24.6的普通 π

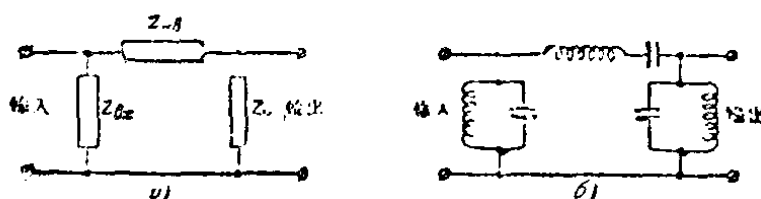


圖 24. 在帶通濾波器電路中的石英濾波器

型帶通濾波器。

我們用 Z_{BX} 來表示並聯輸入迴路的阻抗，用 Z_L 表示負載阻抗。從等效電路中可看到諧振器的總負載等於 $Z_{BX} + Z_{BLX}$ ，因為這二阻抗串聯後把諧振器分流。石英諧振器的等效電感 L_1 比負載電感大很多倍，因此後者可以忽略不計，而完全有根據認為電路的總電感等於石英的等效電感。

大家知道，品質因數的表示式為：

$$Q = \frac{\omega L}{R}。$$

當把迴路調諧到諧振於石英頻率時，迴路阻抗變成爲純電阻。

我們用 R_g 來代表電路中的總純電阻，這時，

$$R_g = R_{BX} + R_{KB} + R_L，$$

式中 R_{BX} 和 R_L ——迴路的純電阻；

R_{KB} ——晶體諧振器的純電阻。

因此，電路的品質因數可由下式來決定。

$$Q = \frac{\omega L_1}{R_g} = \frac{\omega L_1}{R_{BX} + R_{KB} + R_L}。$$

從這個式子中可以看到，負載電阻越大則電路的品質因數越低，因之濾波器的通頻帶也越寬。如輸入迴路和負載迴路恰好調諧到石英諧振器的諧振頻率時，則得到最大的通頻帶寬度。此時迴路的等效電阻最大，並在石英電路裏引入最大的衰減。當迴路對石英

諧振器的諧振頻率逐漸失諧時，則迴路的等效電阻降低，因此通頻帶寬度也減小。

這樣，這類頻波器電路裏，其通頻帶不僅決定於石英的參數，而且還決定於負載電阻值。改變後者就可以使通頻帶寬度在某些範圍內調整。

石英濾波器的類型

石英濾波器可分為兩種：鏈式濾波器和橋式濾波器。

圖25所示為鏈式濾波器的原理圖及其等效線路，此濾波器是由

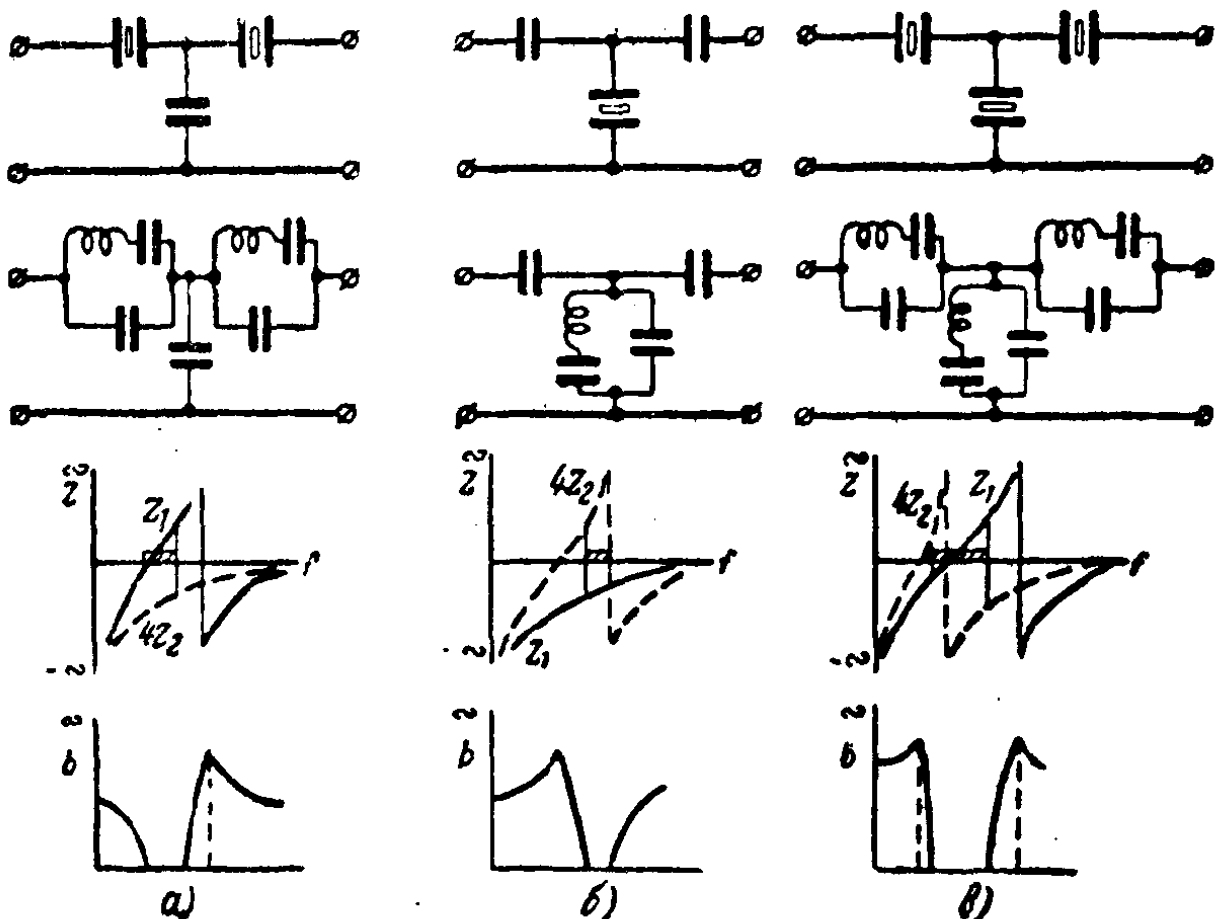


圖 25. 由石英諧振器和電容組成的鏈式濾波器原理圖及其等效線路

石英諧振器和電容組成的（此種濾波器通常稱為純石英濾波器或窄帶式濾波器）。那裏並給出濾波器支路的電抗曲線（串聯支路的電

抗用實線來表示，而並聯支路用虛線表示）及其衰減特性曲線。

現在來看一下濾波器的衰減特性曲線（圖25. *a*和*b*），不難看出他們是不對稱的，因此這種濾波器不能滿足實際需要。只有圖25. *c*上的濾波器才能滿足實際上的需要，因為只有用它們才可以得到對稱的衰減特性曲線。但在此種情況下只有在專門選擇石晶濾波器的電感量時才可以得到特性曲線的對稱性。在串聯支路裏諧振器的電感量必須是並聯支路裏石英電感量的若干倍，這就大大地複雜了濾波器的調節，因此在業餘條件下不可能應用它。

在業餘的機械結構中可以使用綜合的（寬帶式）鏈式濾波器，此濾波器由石英、電容及電感組成的，其線路將在以下敘述。

在橋式濾波器裏，晶體諧振器連接在均衡電橋的電臂上。圖26示《典型的》橋式濾波器原理圖及其等效電路、隣接二橋臂阻抗的特性曲線以及衰減特性曲線。

相對位置橋臂的頻率是相等的。隣接二橋臂石英的頻率彼此的差別是這樣的，即一對橋臂的並聯諧振頻率等於另一對橋臂的串聯諧振頻率。

電橋隣接臂的電抗其符號相異是橋式濾波器的通頻條件。在止頻帶中橋式濾波器橋臂電抗有相同的符號，且電抗值很近似。因為電橋已接近平衡位置，所以電橋的衰減很大。在隣接橋臂阻抗曲線的交叉點上電橋達到平衡並且其衰減達到最大值。此點一般稱為無窮大衰減點。在通頻帶中，隣接橋臂的電抗曲線其符號相異。此頻帶其寬度等於石英串聯諧振頻率和並聯諧振頻率間間隔的兩倍，並且在實際上不超過濾波器諧振頻率的0.8%。

實際上不用典型的橋式線路。在實用的線路裏濾波器的臂數縮減了一半，而用差接變壓器來代替兩個隣接橋臂。圖27示等價的兩

對橋臂的電橋式濾波器等效線路圖（圖27.a）和一對橋臂式但是具有差接變壓器的等效線路圖（圖27.6）。

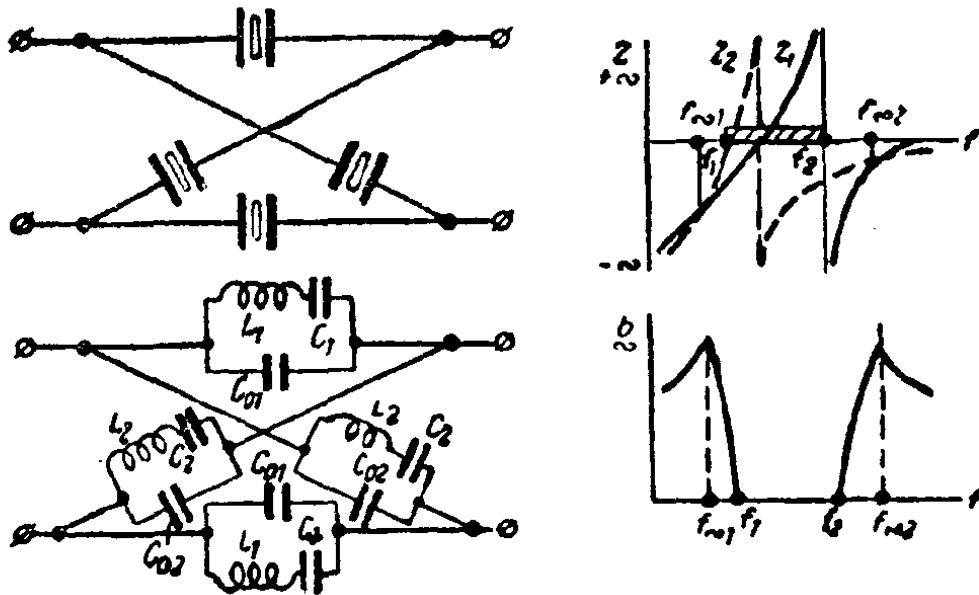


圖 26. 《典型的》橋式濾波器

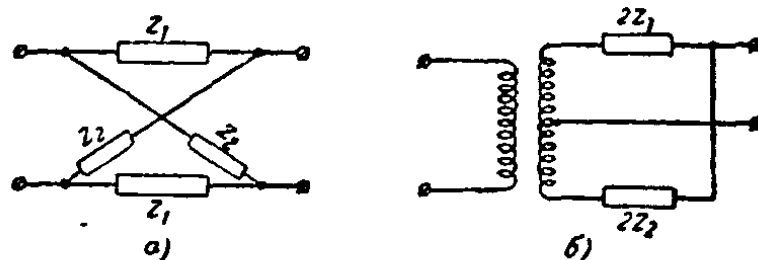


圖 27. 用差接變壓器式電路 6) 來替代典型電橋電路圖(a)

差接變壓器式石英濾波器的實用線路依其在濾波器裏石英諧振器的數目來分類較方便，因為在這些濾波器裏衰減特性的好壞（衰減特性的斜度及止頻帶裏的衰減值）及其工作的穩定性決定於石英諧振器的數目。在濾波器裏石英越多其衰減特性曲線的傾斜越尖銳，在止頻帶裏其衰減量也越大，其諧振頻率也越穩定。

石英濾波器的實用線路

在業餘無線電的實用中多半用單晶體濾波器。圖28上示此種濾波器的簡單線路圖，隣接臂的電抗曲線及其衰減特性曲線。在電橋

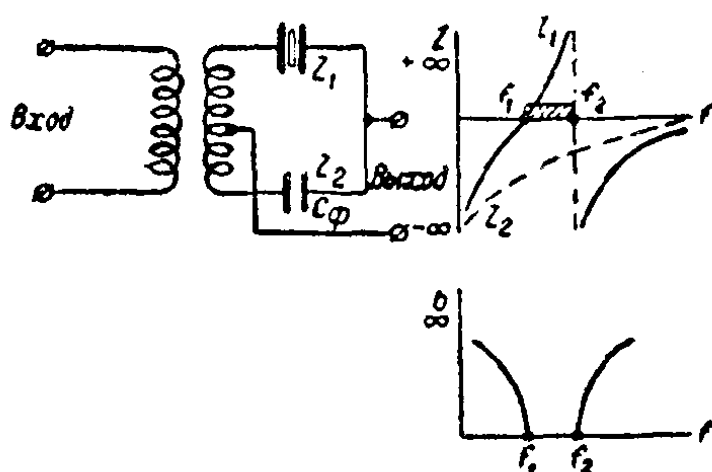


圖 28. 最簡單的單晶體濾波器線路，電橋隣接臂的電抗曲線及電橋的衰減特性曲線
內一臂連接石英，在另一端連接電容。此濾波器的通頻條件是完成在石英串聯諧振和並聯諧振的區域間。通頻帶的最大寬度不超過濾波器諧振頻率的0.4%。

連接在一個橋臂內的電容器稱為定相電容器。單晶體濾波器只在石英的靜電容 C_0 和定相電容器的電容 C_ϕ 均等時才是對稱的。這時在電橋隣接橋臂裏的電容性電流其大小相等而方向相反，由此它們彼此平衡，使石英好像是沒有靜電容一樣，也就是說類似於一般的串聯迴路。如果容量 C_ϕ 小於 C_0 ，則其諧振曲線如圖29.a所示；如 C_ϕ

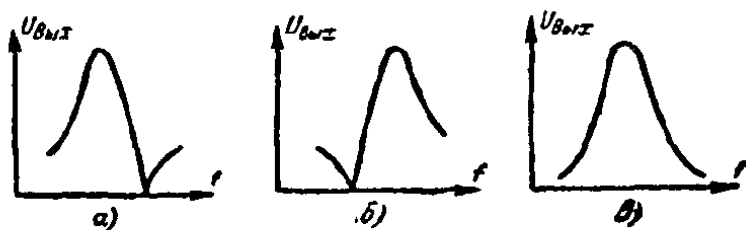


圖 29. 濾波器諧振曲線的形狀視定相電容器電容和石英靜電容間關係而變的關係曲線 U_{BHX} —輸出電壓，a—電容 C_ϕ 小於電容 C_0 ；b—電容 C_ϕ 大於電容 C_0 ；c— C_ϕ 等於 C_0 。

大於 C_0 ，則諧振曲線如圖 29.b；最後當兩電容相等時如圖 29.c。

有時將固定電容器 C_ϕ 的旋鈕裝到接收機前部的面板上。當干擾電台的頻率與無窮大衰減配在一起時，可以大大地減少干擾的影響。

單一晶體石英濾波器並不具備高質量的衰減特性曲線。所以能採用它這是由於價值便宜，設計及調節簡單，並且又可以調節通頻帶的寬度。

圖30上所示為單晶體石英濾波器各種實用線路圖。在圖30. *a*上其頻帶的調整藉助於可變負載電阻 R_n 。當調整頻帶時，有濾波器的管子管放大級的放大係數為顯著變化，此為其缺點。因此只是當需要充分簡化濾波器並要減小濾波器體積，而同時在運用過程中頻帶寬度是保持不變的情況下在適於採用這種濾波器。

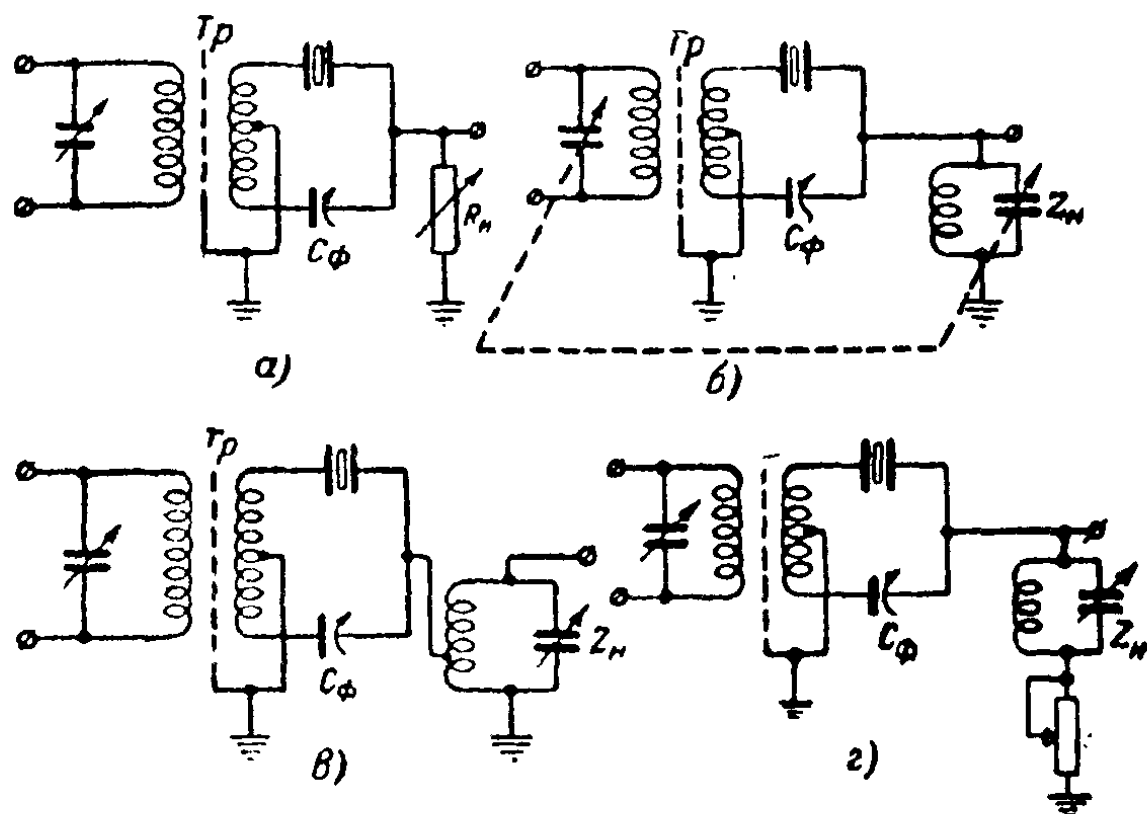


圖 30. 單晶體石英濾波器實用線路類型

a—用可變電阻來調整通頻帶的寬度；*б*—用調諧迴路來調整通頻帶；*в*—自耦變壓器式負載；*г*—改變負載迴路的總阻來調整通頻帶。

圖30. *б*內是用使負載迴路和差接變壓器對石英串聯諧振頻率失諧的方法來調整通頻帶。為了保證保持濾波器曲線的對稱性而使二迴路在不同方向失諧這會更好些。通頻帶在迴路諧振頻率接近於石

英頻率時加寬，而在遠離石英諧振頻率時將減小。

當需要增大有濾波器的放大級的放大時，建議採用圖30.6帶有自耦變壓器輸出的線路。

在圖30.4上的線路是用把可變電阻與負載迴路串聯來調整頻帶。

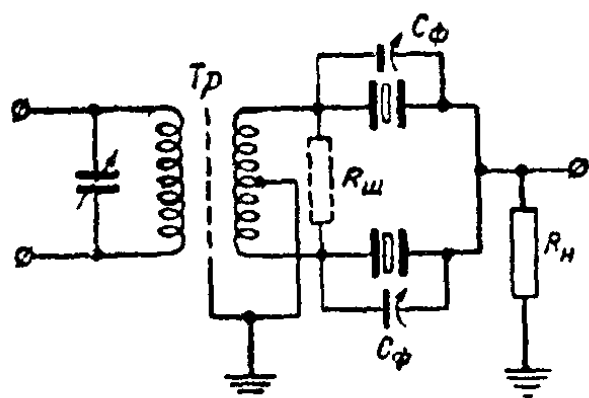


圖 31. 雙晶體濾波器的典型線路

在圖31上所示為雙晶體差動變壓器橋式濾波器線路圖。此種濾波器與單晶體濾波器相比較，是具有良好的衰減特性曲線及有更高的穩定性，這是它的優點，但在運用過程中不

可能調整通頻帶的寬度是其缺點。

雙晶體濾波器通頻帶的最大寬度不超過諧振頻率的0.8%。頻帶主要決定於電橋隣接臂裏石英片的頻率間隔。

此種濾波器的負載可以用有效電阻（從穩定性觀點來看最有利）、調諧迴路或自耦變壓器。負載電阻的大小幾乎不影響雙晶體濾波器的頻帶寬度，但對於諧振曲線上部的形狀則有很大影響。

在石英片相同的雙晶體濾波器裏，諧振器的靜電容是彼此均衡的。定相電容器是來用作調整無窮大衰減的頻率，調整衰減特性曲線的斜度及止頻帶內的衰減值。

雙晶體濾波器可以看成是四晶體濾波器的一節（部分）。四晶體濾波器的線路圖如圖32所示。

四晶體濾波器應用在現代高級幹線無線電通訊接收機裝置中。由於其構造及選擇石英諧振器時所發生的困難問題。所以在業餘無線電的實用中尚未得到應用。但是此類濾波器具有卓越的衰減特性

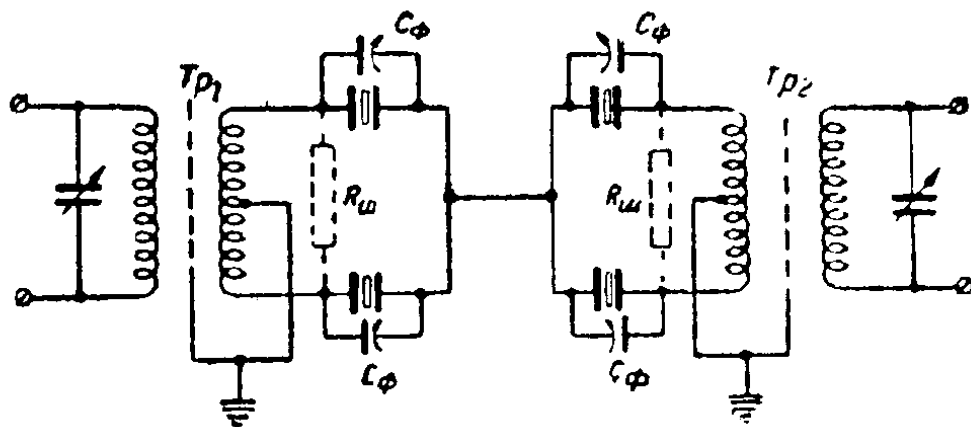


圖 32. 四晶體雙節濾波器的線路圖

曲線，因此在今後毫無疑問被業餘短波無線電者應用。

無窮大衰減頻率間隔不同的兩個雙晶體濾波器特性曲線（圖 33. a 及 b）相乘的結果可以看作爲四晶體濾波器的衰減特性曲線（圖 33.6）。

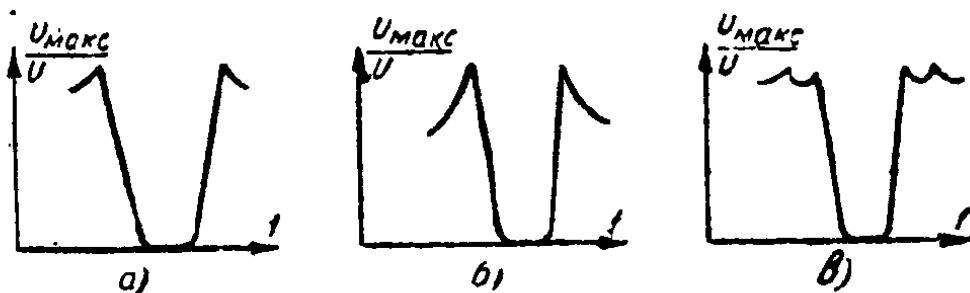


圖 33. 四晶體濾波器的衰減特性曲線此曲線，就是二節雙晶體濾波器的特性曲線相乘的結果

四晶體濾波器的通頻帶寬度同樣決定於在各節隣接臂內石英片的頻率間隔，並且不超過諧振頻率的 0.8%。

有很多諧振器的濾波器在現今的設計中幾乎不用。

以上所研究的線路是屬於窄帶式的。過去曾提過，窄帶式濾波器的最大寬度不超過諧振頻率的 0.8%。但在很多情況下需要較寬的通頻帶，而這樣寬的頻帶使用純石英濾波器是不能得到的。

爲了增加通頻帶的臨界寬度，可在上述任一線路內將《廣程》電感線圈與石英諧振器串聯或並聯。過去我們已經指出過，在諧振器

裏連接電感時可以增大串聯與並聯諧振間的間隔。很清楚，當增加諧振間的間隔就使通頻帶相應擴大。

在濾波器裏使用《擴程》電感時稱為寬帶式濾波器或綜合濾波器。根據參考書，關於單晶體綜合濾波器頻帶的最大寬度大約是諧振頻率的 9%。雙晶體濾波器頻帶的最大寬度超過了諧振頻率的 12%。

綜合橋式濾波器的調整是相當複雜的。也屬於寬帶式的 T 型橋式濾波器在製造上和調節上則較簡單。此種濾波器的線路，各臂的電抗曲線及其衰減特性曲線如圖 34 所示。 T 型橋式濾波器的衰減特性曲線與雙晶體差動變壓器式濾波器曲線是一樣的，但後者的穩定性較高。

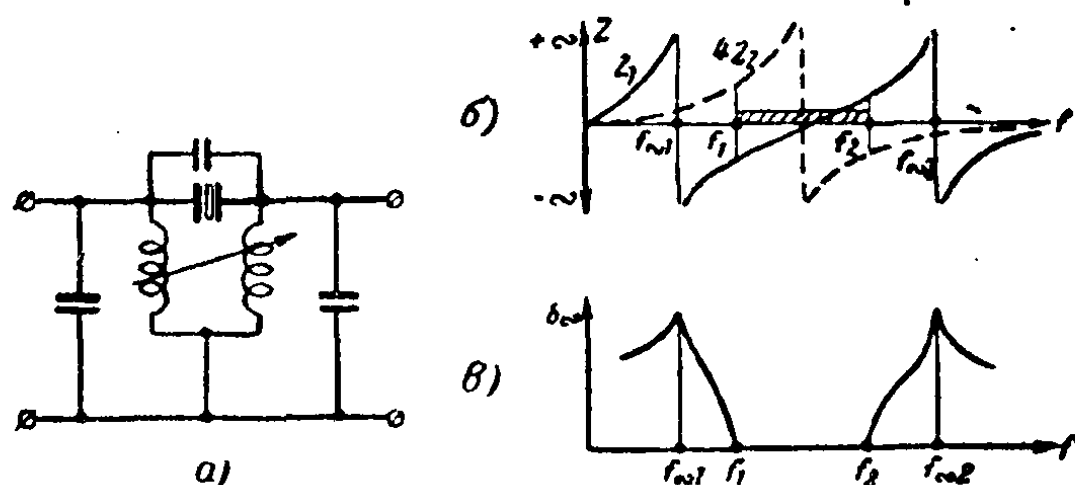


圖 34. T 型濾波器的線路圖，橋臂的電抗曲線，及其衰減特性曲線

上述的濾波器其名稱雖然是橋式的，但它並不屬於橋式而屬於鏈型。在純橋式濾波器裏其負載電阻並不包含在橋的各臂裏，而連接到對角線上。但在該濾波器裏其負載電阻則直接接到橋臂中。

以上所研究的濾波器是由兩個耦合迴路組成的。這些迴路的耦合有三種方法：經石英諧振器耦合，用與石英並聯的電容（此電容是由諧振器的靜電容及與石英並聯的微調電容器所組成）耦合，以

及最後由電感（利用互感）耦合。

當電容耦合係數的絕對值等於電感耦合係數的絕對值時，電感耦合與電容耦合相均衡，在迴路間的耦合僅能通過石英壓電支路實現。這時濾波器的衰減特性曲線是對稱的。

T 型濾波器裏可以用迴路失諧方法或用可變電阻把迴路分路的方法來調整通頻帶的寬度，但在附有差動變壓器的雙晶體式濾波器裏則不可能作到，這是 T 型濾波器的優點。

圖35上所示為另一種寬帶鏈式濾波器的線路圖。此濾波器的工作原理，橋臂電抗曲線及衰減特性曲線與上述情形一樣。

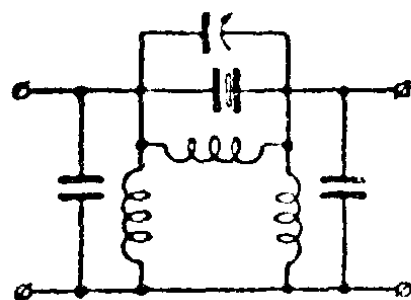


圖 35. 一種寬帶鏈式濾波器的線路圖

石英濾波器的結構

濾波器的結構是一個很重要的環節。不合適的結構型式照例會使衰減特性曲線變壞，降低了通頻帶諧振頻率的穩定性，並不易調整線路。

在無線電接收機裏對於短波通訊一般都使用窄帶橋式石英濾波器。我們首先研究這種濾波器的兩種結構型式。

第一種。利用現成的中週變壓器作為差動變壓器。在此種變壓器的次級線捲中沒有中心抽頭，而藉助於電容分壓器作出中心抽頭來（圖36）。在標準的中週變壓器裏其迴路間的耦合較弱，因此兩迴路必須調到諧振。

第二種。製造特殊的差動變壓器。其線圈的線捲可以是蜂巢式（或萬用型）的，以及線匝間是多層式的。在後一種情況下是把差動變壓器各組繞在骨架上，骨架的斷面如圖37。無論是初級線圈或

次級線圈的兩個部分都平均分置在骨架的兩個部分，並使在每一組次級線捲的下面置放一半初級線捲。次級線捲和初級線捲用電屏分

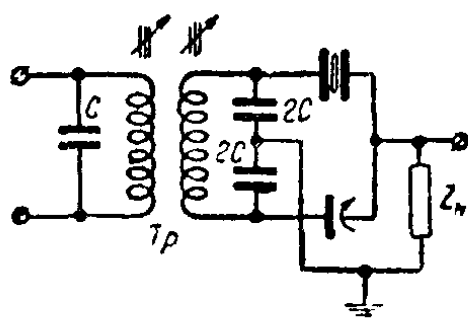


圖 36. 在窄帶橋式濾波器中利用標準中週變壓器

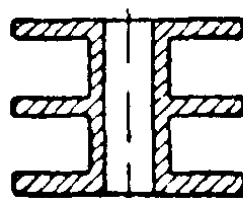


圖 37. 差動變壓器骨架斷面圖

開。電屏是由直徑為0.3—0.5毫米導線或編織線做成的單層線捲，其一端要有可靠的絕緣，而另一端連到次級線捲的中心抽頭。電屏同樣可以由銅薄片製成的非封閉環形。電屏是爲了去除變壓器線捲間的電容耦合（由於分佈電容，在變壓器次級端所感應的電壓是同相的；流過石英靜電容和定相電容的相應電流不能均衡，相反的是加合起來，因此在濾波器的輸出端產生了某些寄生電壓，並且減低了止頻帶內的衰減）。當沒有靜電屏時，則無限大衰減點是不明顯的，並在其中存在有剩餘電壓，線圈間分佈電容越大，則此電壓也越大。在低頻上（約150千週及比150千週低的），因爲電容性導納在此頻率上不大，故電屏就不需要了。

在上述差動變壓器的結構中，線捲間的耦合一般是很強的，因此僅調諧一個線捲即足夠了（多半調諧次級線捲）。

線捲匝數的比一般用實驗方式來選定。爲了當外部電容（例如電子管的輸入電容或佈線電容）的變化儘可能引起較小的失諧，迴路電容要選擇得足夠大。並希望用具有負溫度係數的電容器來作溫度補償。但是在通頻帶寬度可調式濾波器裏其穩定性問題已屬次要地位，這時當選擇迴路參數時要照顧到獲得最大的放大。因此差

動變壓器的比例用 1 : 3 或再大一些，但迴路的電容要選得最小。

石英濾波器要很好地與外界電磁場隔離起來，在二節式濾波器裏每一節也要有單獨的隔離屏。在各節差動變壓器之間，變壓器和負載間等等都不應該有分佈電感和分佈電容。濾波器的線圈要裝置成其軸彼此互相垂直。在綜合電橋式濾波器裏其擴程電感也必須放在單獨的屏蔽裏。

一般適於用薄黃銅片來隔離，同樣也可以使用鋁。但不希望使用鐵，因為在線圈間可以產生磁耦合，而降低濾波器止頻帶裏的衰減。在低於 200 千週的頻率上此現象尤為顯著。

爲了簡化濾波器的調整和消除各部分間寄生耦合的可能性，常常用電子管把濾波器各部分分開，也就是不用複雜的濾波器而應用兩級簡單濾波器，而置於放大系統的各大級中。也可以使用兩個有相同諧振頻率和相同通頻帶的單晶體來代替雙晶體濾波器。在適當地佈置單晶體濾波器的無限大衰減頻率，不難得到完全與雙晶體濾波器相似的總曲線。

利用兩個單晶體濾波器代替一個雙晶體濾波器時則可以調節通頻帶。

石英濾波器可連接到超外差接收機中週放大器的任一級。一般都將濾波器接到變頻管的屏極電路裏；當如此連接時，在中週放大器輸入端就已清除了干擾，而不致干擾而使電子管過負載。

我們沒有談到寬帶鏈式濾波器的構造問題，因為這些濾波器在一般中週變壓器的基礎上可以很容易地製成。

石英濾波器的調整

在調整石英濾波器時標準訊號發生器和陰極伏特表是必需的。

但爲了複製精確的衰減特性曲線和調整石英濾波器的頻率，還需要更複雜的測量器具（參閱第四章）。

建議直接在濾波器所工作的放大器線路裏來調諧該濾波器，因爲由於外部負荷的改變（電子管內阻，柵極——陰極間內阻及其他等等）會引起衰減特性曲線的相應改變，也就是會使濾波器失諧。

調整是從調諧差動變壓器開始。這時應把石英諧振器與線路斷開。把陰極伏特表接到濾波器的輸出端上。如果濾波器是兩節的，則將伏特表接到第一節的輸出端。如果是單晶體濾波器，則把定相電容器調到最大電容上；在雙晶體濾波器（兩節）情況下，把兩個定相電容器置於相反位置（否則通過電容器的電容性電流其大小相等，且由於相位相反而互相平衡）。

陰極伏特表同樣可以並聯到差動變壓器的次級線捲上，但當這樣連接時伏特表的《地》端子對線路的零線呈現出某些電位，而儀器的讀數將會不穩定。

依照陰極伏特表的最大讀數進行調諧差動變壓器。爲了避免儀器斷開後變壓器失諧，建議把陰極伏特表經一個容量爲3—5微微法的電容器接入。

雙節濾波器中第一節的差動變壓器調諧完畢後，將伏特表接到濾波器的輸出端，調諧第二節的變壓器。

差動變壓器調諧終了後，把石英放於原處，並將定相電容器置於中間位置。

橋式結構單晶體濾波器的調節一般是不難的。變壓器經過調諧後僅剩下來的就是選配負載電阻，確定通頻帶所需調節範圍，並藉助定相電容器使衰減特性曲線不對稱，如果定相電容器的旋鈕置於接收機的面板上，那末檢查定相作用。

雙晶體的和四晶體濾波器的調整是複雜得多。首先必須調整石英諧振器所需要的頻率間隔，如以前所敘這頻率間隔決定於所需的通頻帶。石英頻率的差異一般是頻帶寬度的 0.8。把調到所選擇頻率的石英片連接具有事先已調諧好的差動變壓器的濾波器上。可根據諧振曲線頂端的波形來檢驗雙晶體濾波器中的變壓器的調諧是否準確。如果變壓器沒有準確地調諧到濾波器的諧振頻率上，則諧振曲線的頂部出現深谷，在接近諧振時此谷將減小。

如果變壓器經過調諧後其諧振曲線的頂部出現圓形時，則變壓器線圈的品質因數是過分大了，應當把分路器並聯到線圈中的一個線捲上。分流器的電阻應該選擇得使曲線的頂部變成平頂，並具有降低到最大值 0.9—0.95 的谷。如果當調諧差動變壓器時諧振曲線的谷過大，即說明線圈的品質因數過低，那末必須增大品質因數。採用繞變壓器用的編織線、猴基及鋁矽鐵鐵心等等可以達到增大品質因數的目的。

當石英諧振器的頻率間隔過大時同樣發現到諧振曲線頂部的深谷。在此種情況下適於把差動變壓器的變壓係數增加到約 1:3，如果還是不夠的話可以使用擴程電感。但是我們指出，諧振曲線頂端降低到最大值 0.7 以前的坑對衰減特性曲線說來並不是一個很大的缺點。

按濾波器諧振曲線頂層具有最小的谷把差動變壓器調好後，應開始調整無限大衰減頻率。已正確調諧的雙晶體濾波器存在着兩個無限大衰減頻率。當頻率較高的石英的靜電容超過頻率較低的石英的靜電容時，即出現了二個無限大衰減頻率。當靜電容相等時，則所得到的諧振曲線倒向水平很利害（在理論上無窮大衰減點彼此離開無限遠）。當頻率較高的石英的靜電容增加時（用增加並聯於石

英的定相電容器的電容)，特性曲線的斜度增大，無窮大衰減頻率互相接近，止頻帶中的衰減減少。當頻率較低的石英的靜電容減小時也出現同樣的情形。

圖38.a所示為石英諧振器的靜電容相等的濾波器的曲線，及當頻率較高的石英的靜電容增加時(頻率較高的石英的靜電容減少時)

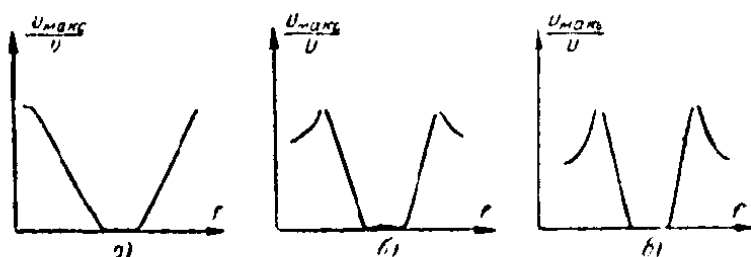


圖 38. 雙晶體濾波器的諧振曲線波形與定相電容器容量比例的關係曲線

U_{Max} —最大電壓

其曲線的變化(圖38.б和в)。這樣，無窮大衰減頻率間隔不僅決定了曲線的傾斜度，並且也決定其《尾部》(註)的大小。諧振曲線的斜率越大則《尾部》也越高。一般採用折衷辦法，而給定《尾部》以最大允許值，在這個值時來滿足該值時的斜率。在業餘短波無線通訊用的濾波器裏，《尾部》的值不得超過最大值的0.05。

應當指出：當在同樣電壓值時在止頻帶裏的斜率可以是不同的。此斜率決定於諧振頂部谷的大小，也就是決定於變壓器的調諧，其線捲的品質因數，並同樣決定於變壓係數及負載電阻值。斜率隨着谷的加深而增大，如以前已經說過，最有利的谷是最大值的0.9—0.95。谷低於最大值0.7時是不允許的，因為在濾波器的通頻帶裏這樣的衰減不均勻性在收音時是很顯著的。

確定了《尾部》值後再來校準濾波器通頻帶的寬度。因為在業餘條件下調整石英頻率是很困難的，所以應當儘可能少進行。一般藉助於定相電容器可以使頻帶寬度在較小的範圍內變動。以前我們已

譯者註：《尾部》還是指止頻帶中的電壓最大值。

經提過，增加並聯在石英上的容量會縮小串聯和並聯諧振間的間隔，因此濾波器的通頻帶就縮減了。

實際上是把標準訊號發生器調諧到其中一個《尾部》的最大值，並增加（或減少）兩個定相電容器的電容，而使《尾部》的大小恢復到原來數值。同時增加定相電容器的電容量就縮減了通頻帶，反過來如減少二定相電容器的電容量會使通頻帶增加。

不要忘記，當每次重調定相電容器之後一定要檢查諧振曲線頂部的形狀，並要調整差動變壓器。

最後根據各點畫出衰減特性曲性。因此按次序調諧標準信號發生器到相當於諧振曲線各值的頻率。將這些頻率畫在衰減特性曲線的水平軸上。在每一點測量濾波器的輸出電壓（這時的輸入電壓，也就是從標準訊號發生器所取得的電壓，必須是不變的）。沿垂直軸記上濾波器輸出端最大電壓和每一預定點電壓的比率。此時應注意到由於放大器電子管特性曲線的非直線性所引起的振幅限制。放大器電子管必須在其直線特性範圍內工作，否則衰減特性將會失真。用一般方法來檢驗放大器的非直線失真，其方法是用一般方法是描出振幅特性曲線（頻率恆定時放大器輸入端和輸出端電壓的相互關係）。在振幅特性曲線的直線區域內是沒有限幅作用的。

有另一種濾波器衰減特性曲線畫法，與上述比較雖然比較笨，但却保證沒有非直線的失真。此方法如以下所述。

和以前一樣，將振盪器調諧到特性曲線範圍內的許多頻率上，但此次是在濾波器的輸出端維持電壓恆定，其方法是變化從振盪器取得的電壓。濾波器輸出端電壓必須是很小（在 0.5—1 伏）。標準訊號發生器的電壓依照衰減器的刻度來計算，並以微伏表示。沿衰減特性曲線的垂直軸上記從振盪器所取得電壓值與此電壓最小值

的比率。當《尾部》數值很小時可沿垂直軸標以這些比率的對數值。

衰減特性的斜率不夠大時可用四晶體濾波器。調節這些濾波器一般都是很麻煩的，因此這僅僅對最熟練的無線電愛好者們是易於作到的。

正如以上所述，四晶體濾波器的衰減特性曲線可以是雙晶體濾波器節電路特性曲線圖形的相乘結果，但此兩節濾波器其輸入的諧振頻率應相同，其通頻帶的寬度也應相同的，而其無窮大衰減點的間隔是不同的。

四晶體濾波器各節的最簡單調諧方法是把它作為一般的雙晶體濾波器來進行單獨調整。可以把其中一節的無窮大衰減頻率間隔選擇為最大值 0.7 二點間寬度的 2.5 倍作為開始點，另一節則選擇為最大值 0.7 二點間寬度的 4 倍為開始點。

在各級間沒有寄生耦合存在時，把各級接成四晶體濾波器照例會得到有四個《尾部》的衰減特性曲線（圖 33.a）。應當特別注意到在第一節和第二節中其相同臂裏石英片的頻率要做到相當接近。調諧到諧振時頻率的精確度，當通頻帶的寬度為 200 週時其頻率相差不得超過 10—20 週。

調諧了每一級後再接到一起，並注視四晶體濾波器的諧振曲線。進一步的調諧包括有分流阻抗的調整，諧振曲線頂部的校正及使《尾部》均勻。像在雙晶體濾波器裏一樣，分流器要選擇得正確調諧差動變壓器時要使諧振曲線有平的頂部及具有為最大值 0.9—0.95 的谷（萬不得已情況下谷可允許低到最大值的 0.7）。

將標準訊號發生器調諧到諧振曲線頂部谷的最小值，並且在每節裏輪流微調差動變壓器，將谷《升高》到所述的值。

為了均勻《尾部》，必須要記錄其電壓，然後重新將濾波器分成兩

節，如果《尾部》很大，可以調諧相應的定相電容器來使《尾部》降低，當希望昇高衰減特性的斜率則提高《尾部》。但是要記住，當二節一起使用時，減小一節裏的《尾部》是會自動地增大另一節《尾部》的。

要記住，調諧四晶體濾波器時需要多次將濾波器分為各節，並要把它們作相反連接。

調諧四晶體濾波器還有另外更完善的方法，但是這些方法很複雜，對於業餘無線電愛好者來說是不很適合的。

當正確地調整《尾部》時至少要做到其中的三個值必須是大小相等的。在四晶體濾波器裏的《尾部》值不得超過諧振曲線最大值的0.01，

爲了比較起見，在圖33上所示爲幾條實際的衰減特性。(A)爲單晶體濾波器衰減特性曲線，(B)爲雙晶體濾波器的，(B)四晶體濾波器的。

列於圖34的T型濾波器的調整帶有某些其他特性。我們已經指出過，輸入和輸出迴路間電感和電容耦合係數的均等是此種濾波器衰減特性曲線的對稱條件。在此種情況下在迴路間的耦合僅是通過石英的串聯（壓電的）迴路來實現。

濾波器的調整按如下順序來進行。

1) 把迴路調諧到石英頻率。這可以藉助於標準訊號發生器，或者由同樣的石英所裝成的補助石英振盪器。石英是臨時斷開濾波器中線路接出來的。

2) 用橡皮塊接觸石英片平面來制止晶體，或用電容器來代替晶體，電容器的容量應等於該諧振器的靜電容（可以用普通方法測得）。其次移近或撥開迴路的線圈，使濾波器輸出端沒有電壓，這就證實電感和電容耦合均等。

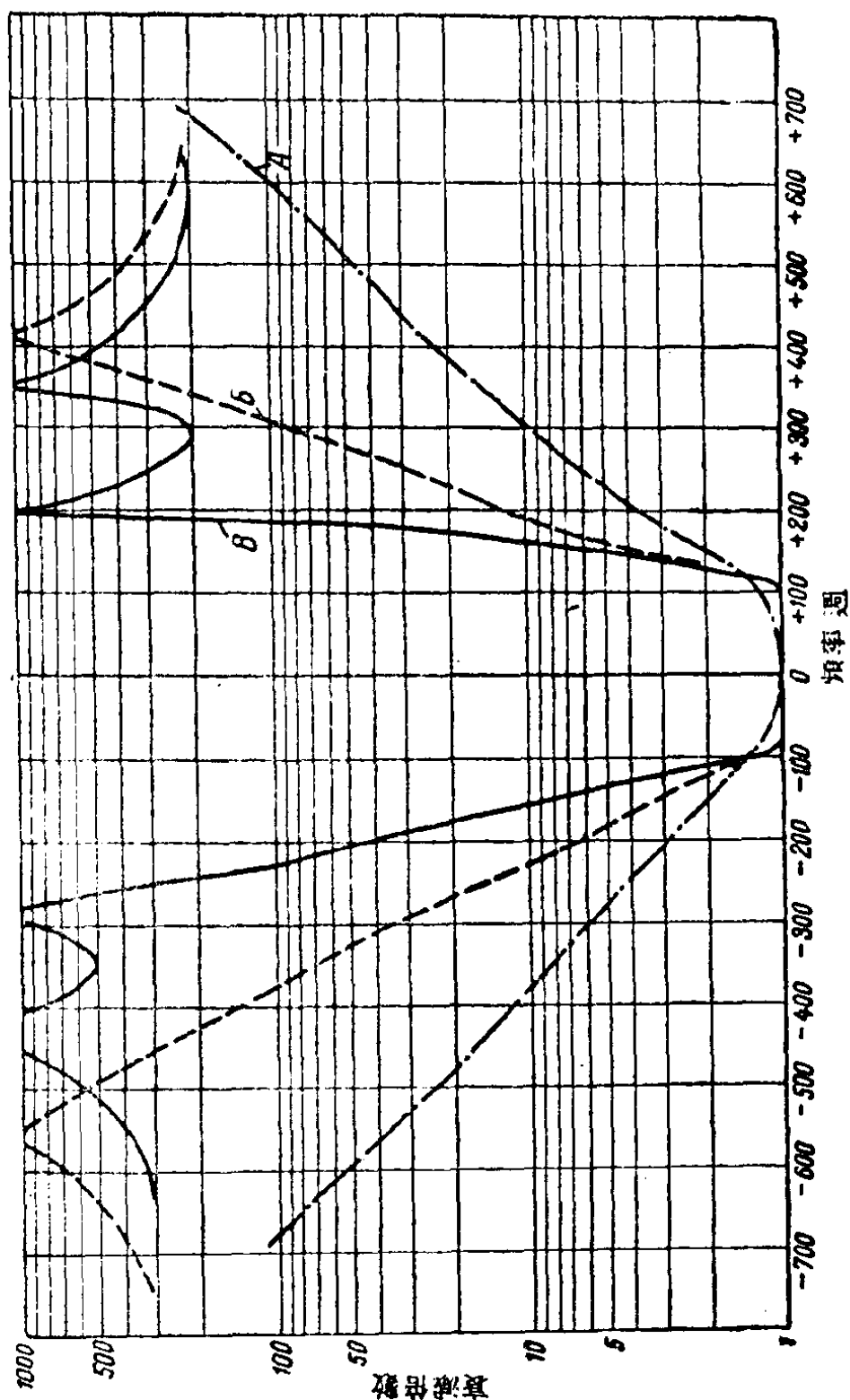


圖 39. A—單晶體的實際衰減特性曲線 B—雙晶體的衰減特性曲線

3) 旋轉並聯於石英上的微調電容器，在不制止石英的情況下調整所希望的無窮衰減頻率間隔，其次再制止石英片，並重新調整電感耦合的數值。

4) 校正與濾波器通頻帶寬度有關的迴路。

第四章

測量器械

在業餘條件下石英頻率的測量

在最簡單的情況下，用 $\Gamma CC-6$ 型的標準訊號發生器或與其相類似的發生器可以大體上確定石英片的頻率。

為此將石英諧振器連接到 $\Gamma CC-6$ 型發生器《16》的輸出端，慢慢的轉動調諧旋鈕，並觀察其輸出電壓指示器的讀數。

在不同於諧振的頻率上石英的電阻很大，並且它所消耗的功率也是微不足道。在串聯諧振頻率上，則石英片電阻顯著減少，因此，由發生器負載所消耗的功率就增加了，並且其輸出電壓大大降低。實際上在串聯諧振的頻率時在指示器的讀數中可以看到死點，但此死點只有當慢慢地旋轉調諧旋鈕時才可以看到。當調諧到諧振時，石英的有效電阻越小，這時輸出電壓的下降也愈利害。

可以在石英諧振頻率的諧波上觀察指示器指數中的死點，但是這個死點是不大的，比較基頻上的死點顯然要小得多。此外，若知道振動形式（根據諧振器結構特點，振動形式是很容易確定的）及石英片的寬度和長度，就可以確定出大致的諧振頻率。

上述的石英頻率測量法其精確度是不大的，它的準確度主要是決定於標準訊號發生器的誤差，但在業餘的實際應用中這樣的準確度一般是足夠了。

應當指出，上述方法不僅能測量石英諧振器的頻率，而且還可以測量一般的串聯振盪迴路的頻率。

如果無線電愛好者擁有幾塊頻率相近的石英，若必須把它們調諧到諧振，而精確度要達到幾個週茲，此時可以利用一原理圖如圖40的最簡單儀器。

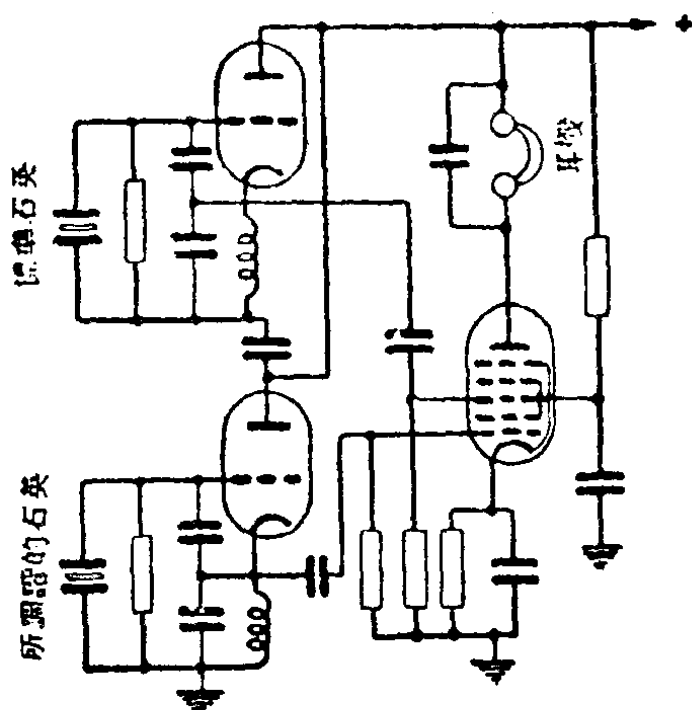


圖 40. 最簡單的外差頻率表的線路圖

這種儀器是一個最簡單的外差式頻率表。在一般的業餘條件下很容易製成，並且不需要任何分度。

此儀器是由三個電子管級組成的。其中的兩級是依寬頻帶發生器的線路安裝成，另一個是用來作混頻器。將電話聽筒 (T) 連接在混頻器的屏極電路內。所比較的石英片產生不同的頻率，但彼此間相當接近。依照標準訊號發生器進行初步調諧，而要保證頻率的差異不大於音頻的準確度。因此，由於從振盪管陰極加到混頻管柵極上振盪波的差頻作用，在混頻管的屏極負載上得到了音頻振盪，其頻率為 $F = f_1 - f_2$ ，這裏 f_1 和 f_2 是兩個相比較的石英頻率。根據電話聽筒裏所聽到的聲音可以判斷其頻率差別。

爲了確定那一個石英的頻率較高些，可以拿一個 10—100 微微

法的電容器與其中一個諧振器並聯。如並聯電容以後音調變低時，則該石英的頻率是高於第二個諧振器的頻率，如果連接電容後音調變高，則與電容並聯的石英其頻率是低於第二個石英片的頻率。

逐步改變一個石英的頻率，把石英片調整到諧振頻率。在諧振的瞬間，在電話聽筒內沒有聲音，或者只聽到若斷若續的《零》差拍，其頻率不超過每秒鐘 1—2 週（此時二石英片的頻率差別是 1—2 週，這是允許的）。

這一類儀器的工業樣品中，有不用電話聽筒，而是用指針的指針式頻率表。這種儀器不僅能把石英片調諧到諧振，並且能調諧到預定的頻率差。但是這一類儀器在製造上和調節上都比較複雜（必需依照標準音頻振盪器來校正頻率表的刻度），以及由於它的應用範圍較窄，所以不適於自己製造。

當製造雙晶體的和四晶體的濾波器時，通常必須把石英片調諧到某一頻率間隔，而這頻率間隔值則確定了濾波器通頻帶的寬度。在業餘愛好者的實用中一般不必要精確調整通頻帶寬帶。例如對於接收業餘短波的無線電報台的接收機來說頻帶選擇在 150—300 週範圍內，頻帶寬度的等級可以由標準訊號發生器來決定。

更精確地測量頻率用的石英振盪器及任何種其他振盪電源將在以下敘述。

更精確地測量振盪頻率用的儀器

在某些情況下，振盪頻率測量的準確度需要此標準訊號振盪器所保證的高。當要把石英調諧到業餘波段的某些具體頻率上，校準主控振盪器、測量儀器及其他等等的情況下就產生了這種要求。

用二次差拍法可以以足夠的精確度來測量振盪頻率。此方法則

如下述。被测頻率 f_x 同標準石英振盪器已知頻率 f_s 先混頻。把 f_s 選擇得使其差頻不超過20—30千週此差頻是：

$$F_x = f_s - f_x,$$

這差頻可以自混頻管負載取得。再將該差頻與音頻振盪器混頻。第二混頻器的屏極負載上產生下列頻率的振盪波：

$$F = F_s - F_x,$$

這裏 F_x ——被测頻率和標準頻率混頻後所得到的差頻，

F_s ——音頻振盪器頻率。

第二次拍頻 F 在接於第二混頻管的屏極電路內的電話聽筒上能聽到。改變音頻振盪器的調諧就可以改變差拍的音調。

實際上把音頻振盪器調諧到零拍($F_s = F_x$)，並且固定其刻度的讀數。這時被测頻率就是標準頻率和音頻振盪器頻率的總合(或者是差數)。

因此現在所剩下來的僅是查明音頻的記號問題。為此，稍許減低被测頻率(如果被測頻率是由石英振盪器產生的，可與石英並聯一個10—100微微法的電容。把被测頻率減低後，重新把音頻振盪器調到《零》拍。如果這時音頻振盪器 $F_s = F_x$ 也減低，則被测頻率高於標準頻率，如果在減低被测頻率後音頻升高，則未知頻率低於標準頻率。

在第一種情況下：

$$f_x = f_s + f_s,$$

而在第二種情況下：

$$f_x = f_s - F_s.$$

用二次差拍法來測量頻率的線路方塊圖如圖41上所示。

裝置笨重乃為上述方法的缺點，並且需要有校準過的音頻振盪

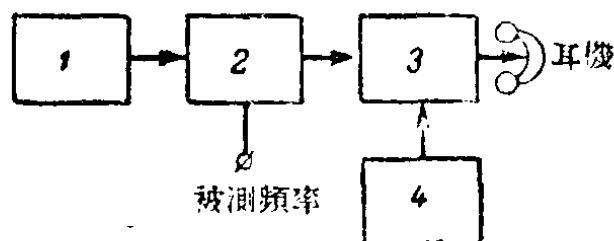


圖 41. 二次差拍法測量頻率的方塊圖

1—標準石英振盪器；2—第一混頻器；3—第二混頻器；4—音頻振盪器。

器，以及由於音頻符號確定得不對可能產生錯誤，這些都是它的缺點。當只有一個標準石英片時其測量範圍很狹，或者當要測量寬的頻率範圍時必須有很多的標準石英片也是這方法的缺點。

在運用上比較方便的是石英控制器外差式波長表。當正確分度時，在100—500千週範圍內此儀器的誤差不超出3—5週。

在業餘條件下來製造外差式波長表是並不困難的。圖42上所示

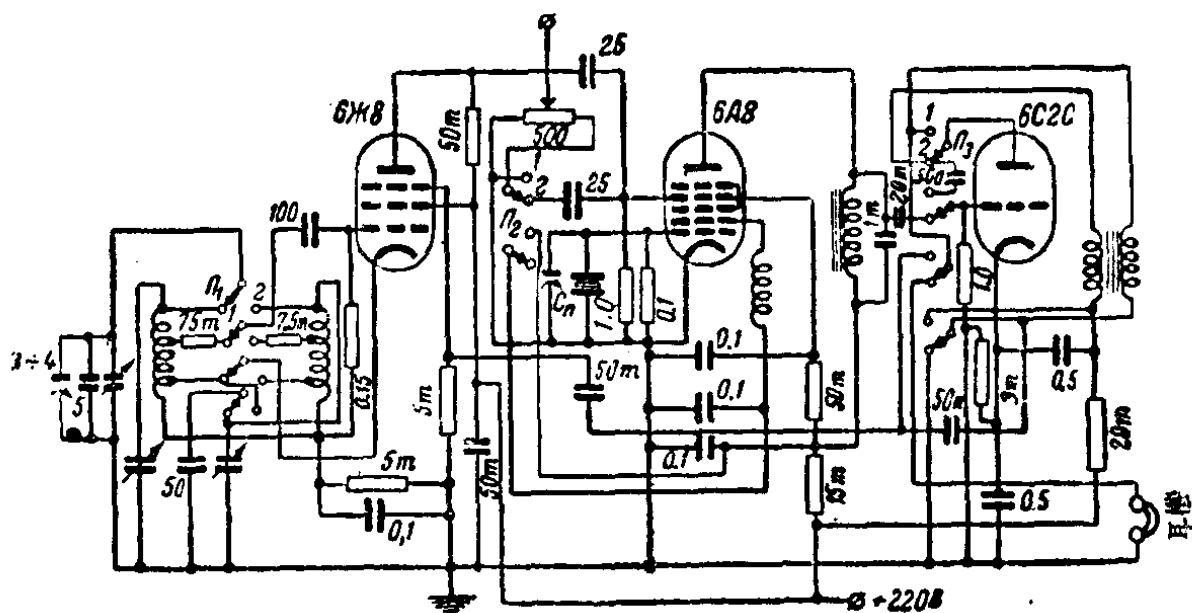


圖 42. 通用的外差式波長表線路圖

m —千歐姆, B —伏特

爲既可作爲外差式波長表又可以用作標準訊號發生器的儀器線路。
該儀器所佔頻帶共分爲兩個波段：從 125 到 2,000 千週和從 2,000 到 20,000 千週。

外差式波長表包括有三個電子管。其均勻調諧振盪器是用6Ж8電子管，按電子耦合式三點振盪電路安裝成。它所佔的頻率是從125到250千週和從2,000到4,000千週。當此儀器以標準訊號發生器方式工作時，在6Ж8管的抑制柵極上加上調制電壓。有石英本機振盪器的變頻器是由6А8電子管安裝成的。石英頻率等於1,000千週（藉助於微調電容器C來調整）。變頻器的本機振盪器是按陰極與柵極間接諧振器的電路裝置成的。音頻放大器（外差式波長表工作方式）或調制器（標準訊號發生器工作方式）用6С2С電子管裝成。在調制器電路內，6С2С以電感反饋音頻振盪器方式工作。

由於利用振盪器的諧波，在該儀器裏能得到比較寬的頻帶（在低頻波段上利用到8次諧波，在高頻波段上利用到5次諧波）。當以外差式波長表方式工作時，被測頻率與振盪器的基波或與其諧波在一起進行混頻。因此其刻度的多數值性為此種儀器的缺點。實際上當測量時在刻度的許多點上將會聽到拍頻。其中有一點相當於被測頻率的基波同振盪器的基波或諧波所產生的差拍，但其餘各點是被測頻率的多次諧波同振盪器諧波相互作用的結果而得到的。因此外差式波長表僅僅是當已知被測頻率的大致數值，來精確測量其頻率的情況下，才會給與良好的結果。頻率的近似數值可以由諧振的波長表和計算方法得到。當以標準訊號發生器方式工作時，此儀器也有許多重大的缺點。沒有輸出電壓測量器和刻度分壓器也是其缺點之一，並且在諧波上其輸出電壓很小及其非直線失真係數很大這都屬於其缺點方面。

在高的測量精確度時，由於上述儀器比較簡單，及其具有萬能性而補償了它的缺點。

在運用過程中，儀表的調諧由石英振盪器(6A8管)來校準，振盪器的諧波及分諧波形成了儀表分度時在分度曲線上(分度對照表上)所指出的稠密《支點線條》網。

在測量前把石英振盪器的轉換開關 Π_2 放在1位置上(接通)。這時外差式波長表的輸入端(標準訊號發生器的輸出端)與變頻管的訊號柵極成爲開路，並且標準訊號發生器的輸入端被短路。同時把電壓加於石英振盪器的屏極。

石英振盪器的諧波干擾了均勻調諧式振盪器(6Ж8電子管)的基波和諧波，產生了差拍，當振盪器調諧合適時在電話聽筒裏可聽到這差拍。

如果必須確定某頻率(事先以較低的準確度測量出來的)的正確數值時，在支點線條(此支點線條可根據刻度曲線或圖表找到)附近調整振盪器調諧游標，並且把補償電容器 C_n 旋轉到相當於零差拍的位置。

校正了均勻調諧式振盪器的頻率後，轉動石英振盪器的轉換開關 Π_2 到2位置上(斷開)進行測量。

如果儀器是用作爲外差式波長表，那末把轉換開關 Π_2 (調制)置於2的位置上(斷開)。這時如以前曾經說過，輸出管6C2C以音頻放大器方式工作。

當長時間使用儀器時，應該定期(每10—15分鐘)按石英支點線條來校正其讀數。振盪器在使用兩、三小時以後就不需要常常檢查了。

當儀器作爲標準訊號發生器時，把它的輸出端(外差式波長表的輸入端)與被調諧接收機的天線端子相連接。藉助於分度對照表確定好所希望的標準訊號發生器頻率，按最近的支點線條校正了發

生器的調諧以後，扭轉轉換開關 Π_3 (調制) 到1位置上(接通)。這時 $6C2C$ 管作為音頻振盪器(調制器)進行工作。將電話聽筒轉換到被調諧接收機的輸出端，然後按最大聲音來進行調諧接收機。使用指針式的指示器時會得到較良好的結果。

接收機各級的調諧是用普通方法進行，這些我們不準備再談了。

如果希望按石英來檢查振盪器的調諧，可將電話聽筒重新接到儀器的輸出端，置轉換開關 Π_3 於位置2上(斷開)，置轉換開關 Π_1 (石英) 於位置1上(接通)。

當調諧收報機或窄帶石英濾波器時，將調制斷開，則標準訊號發生器將產生等幅振盪。當接入調制時不能調諧石英濾波器，因為此時在諧振曲線兩側出現了相當於調諧到邊頻的假尖峯。

最後指出，當自己製造上述儀器時要特別注意到零件的機械強度及游標機械的質量。分度曲線上或分度對照表中讀數的準確度及支點線條的數目是決定於游標的減速及其間隙的大小(其間隙必須作到最小)。建議游標的減速大致為1:300。

標本振盪器及頻率標準

為了精密(特別精確)地測量頻率，應用了特別的標本度量或標準。現代的標本振盪器其頻率具有非常高度的穩定性。此種振盪器其頻率在每分鐘的變化不超過額定值的 $1 - 5 \times 10^{-8} \%$ ，一天的變化不超過 $1 - 5 \times 10^{-7} \%$ ，而經過一個月其變化不超過 $1 - 5 \times 10^{-6} \%$ 。頻率標準是依照精確的時間信號或直接用天文觀察來進行檢查和校準的。把地球作為絕對標準，而地球的回轉週期(一晝夜)是等於86400秒。

由於利用了高穩定度的石英振盪器線路，具有很大的品質因數的石英和特殊的恆溫器，標準頻率的高度穩定性達到了。但此特殊恆溫器應保持諧振器（但有時是使整個振盪器）的溫度恆定性達千分之幾的準確度。

現代的頻率標準是一種複雜而笨重的裝置，但是把它簡化後的方式是熟練的無線電愛好者們所能製造及調諧的。

圖 43 所示為頻率標準的簡圖。此標準裝置是由高穩定度石英振盪器、分頻器、再生式接收機音頻振盪器、外差式波長表、和所謂同步錶組成的。

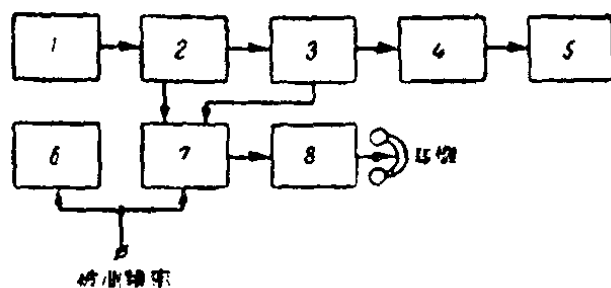


圖 43. 標準頻率的概要線路

1—標準石英振盪器；2—50 千週的多諧振盪器；3—10 千週的多諧振盪器；4—1 千週的多諧振盪器；5—同步錶；6—外差式波長表；7—再生式接收機；8—音頻振盪器。

高穩定度振盪器產生 50 或 100 千週的頻率，以後藉助於多諧振盪器將其分頻成 50 千週、10 千週和 1 千週。這些頻率的諧波造成了稠密的支點線條網。如 10 千週的多諧振盪器形成了每一頻率與相鄰頻率相距 10 千週的頻譜。

假定我們要確定某些頻率的精確數值。我們要預先確定它們的近似值。因此我們將未知的振盪頻率加到外差式波長表的輸入端。知道了大致頻率就不難依照其零差拍來確定其近似值（外差式波長表的工作原理我們在以前已分析過）。

我們把再生式接收機調諧到利用波長表所得出的頻率（如此把

接收機的指示器調到度盤的相應分度上)。然後將被测頻率的振盪波加到接收機的輸入端,並採用反饋。因此在接收機的輸出端上可聽到音頻的差拍。調整接收機使拍音的音調達到很低(約50——200週),然後減少反饋直到使再生迴路裏停止振盪及在接收機的輸出端聲音消失為止。

我們將多諧振盪器輸出端得到的10千週振盪波加到接收機的輸入端。在此種情況下接收機輸入管執行混頻器的作用(將被测頻率同多諧振盪器相應諧波混頻)。由於多諧振盪器相鄰諧波間間隔等於10千週,所以其差頻將小於5千週,也就是說可以在接收機的輸出端聽出聲音。

被测頻率與多諧振盪器的10千週倍數諧波混頻結果所得到的音頻,再與穩定的音頻振盪器的頻率進行混頻(以前講過的二次差拍

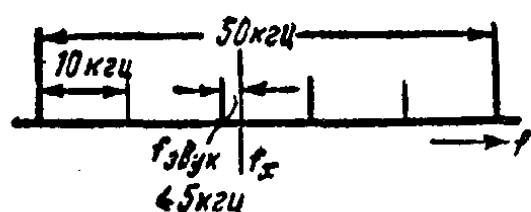


圖 44. 支點線條網

$f_{B y k}$ —音頻 Kz —千週

法)。然後我們再調諧音頻振盪器使到零差拍。音頻振盪器度盤刻度給出差頻以直接的讀數,也就是說給出被测頻率與多諧振盪器諧波間差頻的直接讀數。留下來的

是確定差值的符號。藉助於石英振盪器(如其頻率等於50千週)的諧波頻帶或50千週的多諧振盪器,可以確定出相差音頻的符號。當聽到了被测頻率與10和50千週的多諧振盪器的差拍後,把確定出未知頻率對支點線條網的位置(圖44)就比較容易了。

也可以用昇高和減低被测頻率的方法來檢查相差音頻的符號。如果當改變被测頻率時,音頻向同一方向改變,則相差頻率的符號是正的,那末應將此數值加到相應諧波頻率的數值上。如果當改變被测頻率時,音頻向反方向改變,則其符號是負的,音頻振盪器的

讀數應該從多諧振盪器的諧波頻率數值中減去。

依照接收機的刻度來決定多諧振盪器的諧波頻率。如根據接收機刻度所找到的被测頻率的大約數值是7063千週。顯然未知頻率是在10千週多諧振盪器諧波7060和7070千週之間。其次假定相差的音頻值等於3065週，並且其符號是正的。顯然其被测頻率的精確數值等於7,060,000週 + 3,065週，也就是等於7,063,065週。

如果接收機度盤的準確度不夠，可以按50千週多諧振盪器來校驗10千週的多諧振盪器的諧波。接近於被测頻率的50千週多諧振盪器諧波其頻率為7050和7060千週。在50千週多諧振盪器的兩個支點線條間設由10千週多諧振盪器所產生的四個支點線條。它的頻率各為7060, 7070, 7080, 7090千週。知道了50千週多諧振盪器的諧波頻率（決定此頻率時接收機度盤分度精確度並不需要很高），就很容易決定10千週多諧振盪器的每一諧波的頻率。

我們要更詳細地研究在頻率標準組合中各部分的工作情況。

標本石英振盪器。頻率標準石英振盪器在穩定性方面應能滿足特別高的要求。在標本石英振盪器的結構中，通常都採取了一切可能的措施來消除反穩定因素對振盪頻率的影響，例如恆溫器和恆壓器（為保持溫度和壓力恆定的機構）的採用，電源電壓的穩定及其他等等。特別要注意的是石英諧振器，它必須具有很小的頻率溫度係數、大的品質因數和高的機械強度。

在現代頻率標準中常常使用高度穩定的橋式石英振盪器。當決定振盪器工作方式的參數（如電源電壓的偏差，迴路的失諧，更換電子管及其他等等）發生變化時，這種振盪器能自動調節輸出振盪電壓，這是此種振盪器的優點之一。

圖45所示為石英穩定式振盪器的典型橋式線路圖。由於利用均

衡電橋所實現的自動調節，在其工作時間內電路輸出端電壓是保持恆定的，當頻率一有偏移時，在激勵迴路中就會發生顯著的相位移變化，這一變化將使頻率仍返回到原來值。

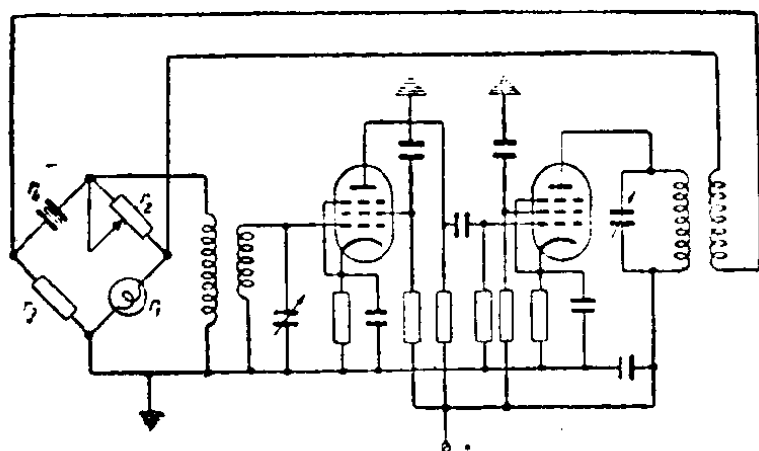


圖 45. 橋式振盪器線路圖

在橋式振盪器裏，電橋的一個對角線與振盪器的輸入端耦合，另一對角線則是與輸出端耦合。電橋臂是由有效電阻 r_2 和 r_3 和由很細鎢絲製成的小燈泡 r_1 （此燈泡具有很大的正電阻係數，因此當燈絲加熱時其電阻急劇增大）及石英諧振器 r_4 組成的。

大家知道，當符合下式條件時，電橋即達到平衡：

$$r_1 \times r_4 = r_2 \times r_3。$$

與大部分以前所分析的線路不同，橋式振盪器是在接近於石英的串聯諧振頻率上工作的。在諧振頻率上，石英片是一個純電阻，因為在串聯諧振情況下，石英諧振器阻抗中的電抗部分就變為零了。

在電橋平衡時，其衰減為無限大，輸出端對角線的電壓等於零，此時即沒有振盪發生。為了保證有穩定的振盪波，必須使放大器（在圖45內為二級電子管的放大器）的放大係數稍超過電橋的衰減。此條件僅在電橋有些失去平衡時才能滿足。

電阻 r_2 和 r_3 應該這樣來選擇，就是在線路接通的一瞬間當小燈泡 r_1 的燈絲還來不及灼熱的時候，電橋應遠未達到平衡而只具有很小的衰減；當燈絲被振盪電流逐漸灼熱起來時，大家知道，燈絲的電阻就逐漸是增大起來，因此電橋就逐漸接近平衡，而衰減也就增大了。電橋的工作點利用可變電阻 r_2 來調整。

振幅的自動調整是按如下所說的方式進行的。假設由於某些原因放大器的放大及輸出電壓的振幅增大了。結果，電橋輸入端的電壓和各臂的電流就不可避免地會增大起來。通過小燈泡熾熱電絲的電流增大就會使燈絲額外發熱，也就是增加了其電阻，正如我們以前所指出過的，這樣就可以使電橋的工作點向平衡方向移動。這時電橋的衰減增大，其輸出端的電壓（以及振盪器的輸出端電壓）減小。

當振盪器輸出電壓一有減低時，電橋內各臂的電流也減少了，這樣衰減就會減低，而振盪電壓的振幅就會返回到原來值。

這樣，電橋對於振盪器工作狀態的任何變化都是有反應的，電路的放大率越高，自動調整的靈敏度就越大。放大係數增加可以使振盪頻率的穩定度提高，除此而外，並可以將石英諧振器上的電壓降低到十分之幾伏特，也就是說給石英片的工作創造了最有利的條件。

電橋式線路對低於300千週的頻率最為適宜。在較高的頻率下，由於石英電容量性導納增大，振盪器的工作穩定度就會下降。

實驗證明，橋式振盪器的頻率穩定度是很大的。當裝置結構合適時，振盪頻率每小時的偏差不超過 $1 \times 10^{-7} \%$ 。但是，應當指出橋式振盪器的調整和電橋最佳工作點的選擇都是相當複雜的。因此在業餘的頻率標準結構中，橋式線路可以用另一種調節比較簡單的

電路來代替。圖15的振盪電路能得出相當好的結果。

可以應用陰極伏特表來校驗橋式線路工作的準確性，此陰極伏特表並聯到第二級放大管的輸入端。當電橋正確時，在連接上振盪器以後，伏特表的指針就會產生數次均勻擺動，擺動的振幅則逐漸減小，這即證明了自動調節系統是在工作着的。

多諧振盪器 爲了對高穩定性石英振盪器進行分頻和建立支點線條網，利用了多諧振盪器一種特殊的振盪線路，由於其振盪波與正弦波不同，因此具有大量顯明的諧波。多諧振盪器的特點是其振盪波容易捕捉。如果有一頻率接近於多諧振盪器的頻率或其倍頻的外來振盪電壓作用到多諧振盪器上，則後者的頻率將變動，且絲毫不差等於外來電壓的頻率或等於其倍頻。此種現象稱爲同步。

多諧振盪器本身的頻率是很不穩定的，但當具有同步時，多諧振盪器振盪頻率的穩定度就等於同步電源（在我們現在講的這種情況下爲高穩定度的石英振盪器）的穩定度。因此藉助於被同步的多諧振盪器可以得到稠密支點線條網，而每一支點線條都具有與標準振盪器相同的穩定度。

用多諧振盪器來分頻時一般是分級的。例如 100 千週的振盪器頻率用來使 50 千週的多諧振盪器同步，而後者又用來使 10 千週的多諧振盪器同步，如此等等。

我們現在來更詳細地研究一下圖46上所示多諧振盪器典型線路的工作過程，此線路是兩級電阻耦合放大器，而用電容器 C ，實現反饋。由於電容器的反饋，放大器的輸出電壓重新返回到其輸入端，結果在線路中激勵起了振盪。

多諧振盪器的工作方式解說如下。

在多諧振盪器接入電源的瞬間，振盪器尙沒有振盪。如果線路

裏的屏壓和電流是極恆定的，則多諧振盪器和一般電子管振盪器一樣不能產生自激，但由於多諧振盪器電路內有自發起伏的電流，所以不可避免地一定要產生振盪。

若多諧振盪器接入電源後不久，有一個電子管，譬如說 J_1 管的屏流因自發性的起伏而發生了瞬間的增加，那末，由於 J_1 管屏流增加，屏極負載 R_1 上的電壓降就要增加，而 J_1 管上的屏壓就下降。同樣在電容器 C_1 上的電壓也就逐漸減低了，它開始通過 J_1 管和電阻 R_4 而放電。放電電流通到電阻 R_4 ，在其上產生了電壓降，此電壓即是 J_2 管的負柵偏電壓。 J_2 管的負偏壓使 J_2 管的屏流減少，使屏壓增大。同時使電容器 C_2 上的電壓增大，電容器 C_2 通過電阻 R_2 和 R_3 開始補充充電。充電電流從屏極電池正極流到負極，在電阻 R_3 上產生了電壓降。此電壓降對 J_1 管來說為正偏壓。由於在 J_1 管柵極上正偏壓使屏流更加增大。

J_1 管的屏流增大和 J_2 管的屏流減少將繼續到當第一管的屏流達到飽和或第二管已被閉鎖為止。在這二種情況下 J_1 管的屏流停止增加，而 J_2 管的屏流則停止減少。結果電子管屏極上的電壓也停止變化，兩個電容器停止了充電與放電，而二管子的柵極就力求趨近於零電位。 J_1 管柵極的正偏壓和在 J_2 管柵極上的負偏壓開始減少，而引起第一管的屏流下降和第二管的屏流增大。

上述過程以相反順序開始重複。當 J_2 管的屏流達到飽和或當 J_1 管被閉鎖時情況又重新變化。顯然，我們所研究的過程是一個週期性過程，當電源的電能供給始終不停地補充線路內的能量損失時，多諧振盪器電子管屏流的振盪將會繼續進行。

多諧振盪器與前後各級的耦合可以用電容也可以用電感。在電感耦合時，把耦合線圈連接到多諧振盪器電子管的屏極電路或柵極

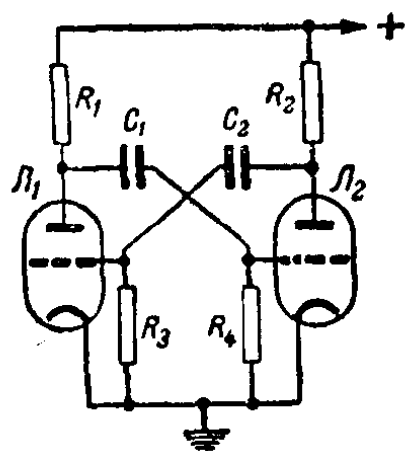


圖 46. 多諧振盪器的典型
線路

電路中。柵流中的諧波最多，因此一般將輸出線圈與多諧振盪器的一個管子的柵漏電阻相串聯。

選擇多諧振盪器電路中的電阻和電容值，就可把它調諧到所希望的頻率上。

再生式接收機、音頻振盪器和外差式波長表 頻率標準組合中上述各種元件都是按一般線路構成的。依照1000週多諧振

盪器所產生的支點線條網來檢查和校正音頻振盪器的刻度。

同步錶 同步錶是現今任一頻率標準中所必須的附屬品。利用同步錶可以使標準振盪器的頻率同絕對標準頻率一樣準。在過去已經提到過，我們是把地球自轉的週期當作絕對標準頻率的。

同步錶的主要零件即用多諧振盪器供電的同步電動機。在工業出品的頻率標準結構中，同步錶的電源是用頻率為1000週的電壓。在業餘的同步錶結構中可以利用特殊的同步電機，此電機設計得用50週電源供電，其轉數為每分鐘2轉。為了供給此電機需要50週的多諧振盪器。從多諧振盪器所得到的電壓用特殊放大器加以放大，再加入到同步電機上。

同步電機的轉子軸與一般時鐘機構的減速裝置連接在一起。同步錶可以有各種不同的結構。

可以按無線電廣播電台所發出的準確時間訊號來校驗頻率標準的穩定度。如果標準石英振盪器的頻率超過了額定值，則同步錶是《快了》，如果標準頻率低於額定值則同步錶是《慢了》。要升高或降低石英振盪器的頻率，可以照第二章所說的方法，即調動與石英諧振器並聯的可變電容器或調諧迴路的方法來進行。

工業上石英校準器的型式

爲了在運用情況下能校準發射設備和接收設備的分度，應用最簡單的石英穩定式振盪器（稱爲石英校準器）。

石英校準器的特點是具有能構成稠密的支點線條網的大量諧波。

A—1 型石英校準器 A—1 型石英振盪器的原理圖如圖 47 所示。校準器由 6Φ5 管組成，配備有 550，1,000 和 4,700 千週的石英，並產生 500 到 43,000 千週範圍內的支點線條頻率。

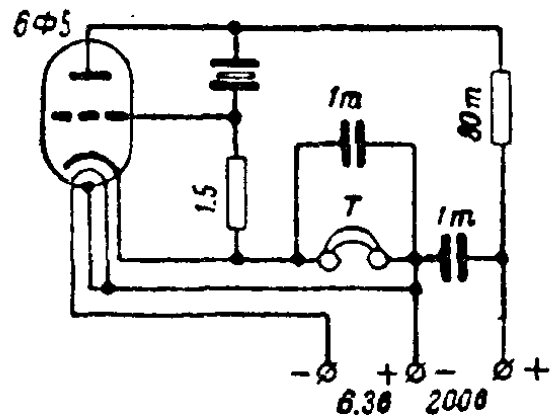


圖 47. A—1 型石英校準器原理圖
 m —千歐姆， B —伏特

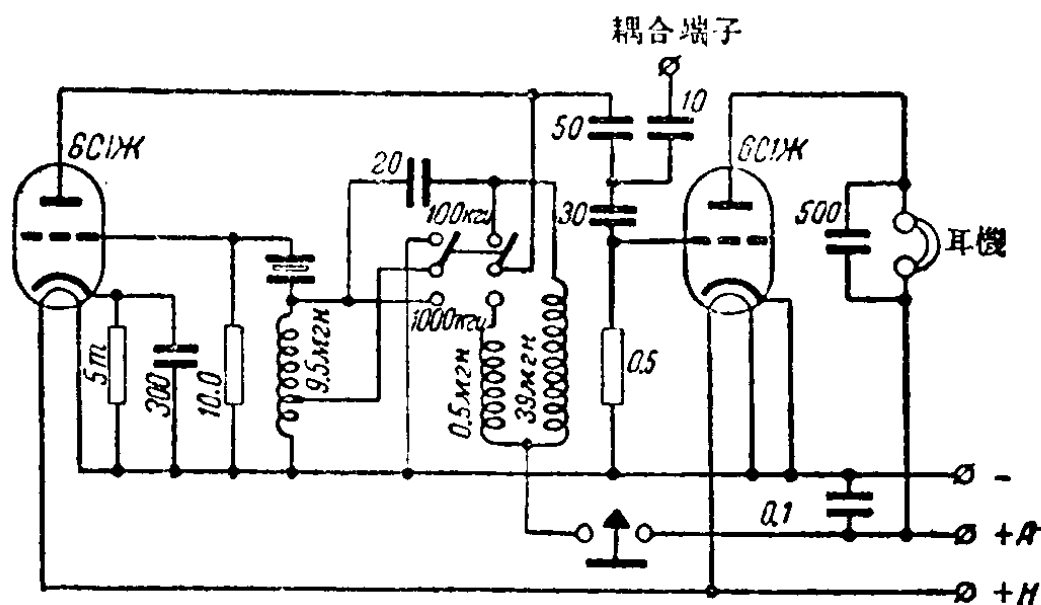
當校驗發射機時，使石英校準器與發射機輸出迴路耦合。發射機和校準器的拍頻可以在接於 A—1 儀器的 T 插口內的電話聽筒上聽到。這時校準器既作爲本機振盪器，又作爲檢波器來工作。

當校驗接收機時，將石英校準器與接收機輸入迴路耦合。使接收機以收報方式工作，將電話聽筒接到它的輸出端上。在此種情況下校準器只作本機振盪器進行工作。

上述二種情況分度的校驗都是按照零拍法來進行的。

A—1 型石英校準器其支點線條密度不稠此乃其缺點。

KK—1 型石英校準器 KK—1 型石英校準器的原理圖如圖 48 上所示。校準器是由兩個 6C1 管裝成的。石英振盪器（第一個電子管）是按電感反饋牽引電路裝成的。根據迴路調諧，同一晶體能產生 100 千週振盪波（長度方向振動）或 1 兆週振盪波（厚度方向振動），其準確度爲 0.05%。藉助於轉換開關可以把一種頻率變

圖 43. $KK-1$ 型石英校準器原理圖

m —千歐姆, $K\Omega$ —千週, $M\Omega$ —毫亨。

到另一種頻率。

第二個電子管是作檢波器用，在其屏極電路上連接電話聽筒。

$KK-1$ 型石英校準器的優點是在於其支點線條很稠密。當頻率在100千週上工作時，儀器所產生的明顯諧波不小於100，當工作的頻率為1兆週時，其諧波不少於20。

$KK-3$ 型石英校準器 $KK-3$ 型石英校準器按其原理圖和結構是與 $KK-1$ 型儀器相類似的。

$KK-4$ 和 $KK-5$ 型石英校準器 $KK-4$ 型石英校準器的原理圖如圖49所示。本機振盪器的基頻為125和1,250千週。此儀器在頻率為125千週時其諧波不少於80，當頻率為1,250千週時其諧波不少於16。

$KK-5$ 型石英校準器不同於以上類型（ $KK-4$ 型）的地方僅僅是電子管不同（用6C5代替6C1—243）。

$KKM-1$ 型短波石英校準器 此種儀器就是一種石英穩定式振盪器，按負阻特性裝成。此線路的特點是在線路中沒有反饋電路，

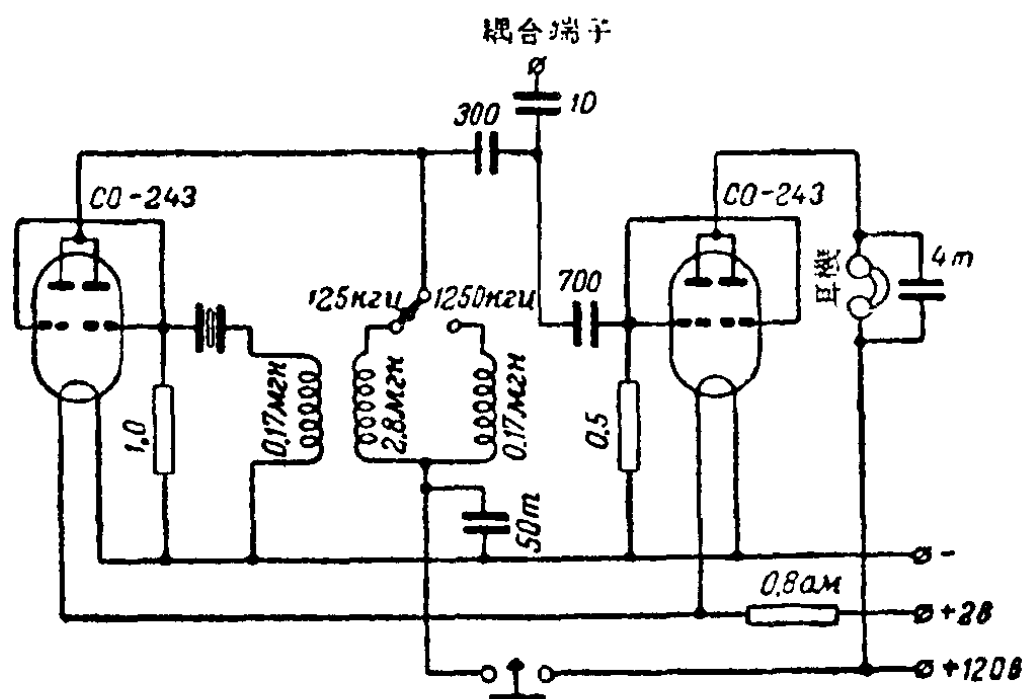


圖 49. KK—4 型石英校準器原理圖

m —千歐姆, $M\text{H}$ —毫亨, B —伏特, $K\text{Hz}$ —千週。

並且是用電子管的負阻效應來產生振盪的。當具有負阻效應時，電子管具有《負》電阻，這負電阻補償了振盪器振盪系統中的損失。

大家知道，當簾柵管屏極上的電壓大大地小於簾柵極上的電壓時，則在簾柵管中會產生負阻效應。因此屏流與屏壓的關係曲線產生了下降部分，這就稱為存在《負》阻（當提高電壓時，與普通情況不一樣，電流不增加，反而是減少了）。

KKM—1 型短波多諧振盪器的原理圖如圖 50 所示。在整套的儀器裏有三個晶體，其頻率各為 500, 550 和 600 千週，而晶體是藉助於轉換開關來轉換的。

KKM—1 型儀器能產生形成稠密支點線條網的大量諧波，並且一個晶體所形成的支點線條則分佈在兩個其他諧振器支點線條之間。

爲了提高振盪頻率的穩定度，將諧振器置於恆溫器裏，其工作

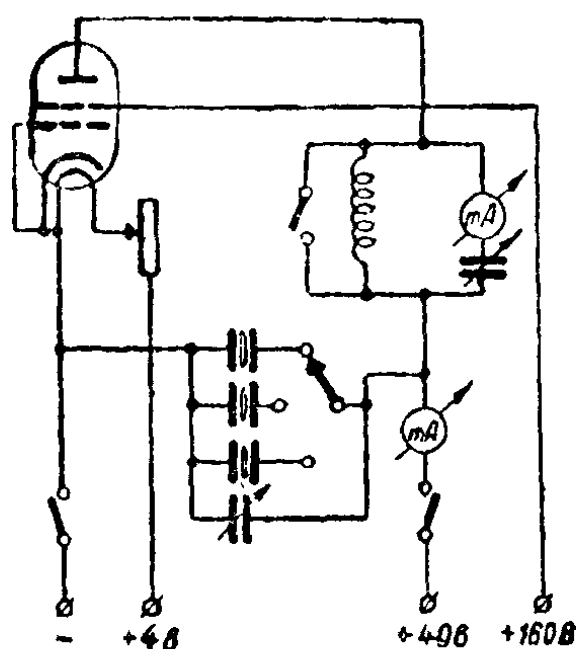


圖 50. $KKM-1$ 型短波石英校準器原理圖

MA —毫安表， B —伏特。

溫度維持準確度為攝氏 $\pm 1^\circ$ 的恆定值。恆溫器從接入電源時開始到工作溫度的加熱時間達兩小時。

$KKM-1$ 型短波石英多諧振盪器可作為校準收報機和波長表用。要校準發射機則需要補助的接收機，這是因為在 $KKM-1$ 型儀器本身內沒有檢波器。

以上所述的工業上石英校準器結構一般都很簡單，並且在業餘條件下都很容易製成。它們的一般缺點就是沒有音頻振盪的調制，用脈動直流或純交流供給管子的屏極就可以消除這種情況，這就可以利用這些儀器來調諧不是接收等幅振盪用的廣播接收機。