

L. C. 振 蕩 器 的 頻 率 穩 定

龔 漢 澄 編 著

國防工業出版社

龔漢澄編著

國防工業出版社

北京市書刊出版業營業許可証出字第 074 号
機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

*

787×1092 $1/32$ $6/16$ 印張, 7 千字

1959 年 3 月第一版

1959 年 3 月第一次印刷

印數: 0,001—4,100 冊 定價: (11) 0.09 元

№ 2859 統一書號 15034·314

L. C. 振蕩器 頻率穩定

1 概述

虽然有高質量的晶体振蕩器問世，但L.C.振蕩器至今还是广泛地被采用着，因为后者在某些方面显然比晶体振蕩器优越，其中如晶体振蕩器只能工作在固定頻率（可以調节的范围極小），但有些机器上振蕩頻率的可变将是一个主要的要求，如發射机主振器、接收机本地振蕩器、信号产生器与外差頻率計等，晶体振蕩器基頻通常只能在10千赫至20兆赫范围内变动，而L.C.振蕩器振蕩頻率可以做到1000兆赫，甚至还可高，在可利用的振蕩功率方面晶体振蕩器亦比較小，L.C.振蕩器虽有上述这些优点，但在振蕩器最主要的質量指标——頻率穩定度这一方面比晶体振蕩器差得多，在目前，电訊工业日新月异的年代，对振蕩器頻率穩定度要求愈来愈严格，一些无綫电工业先进的国家，在这一方面已做了很多工作，無論在零部件的質量改进、探求先进的L.C.振蕩电路和采用先进的結構設計等方面。我国无綫电工业基础薄弱，目前生产的无綫电設備上L.C.振蕩器的頻率穩定度質量指标有一部分是不能滿足先进水平的，所以我們应努力赶上去，这几年来因工作关系碰到了一些頻率穩定度方面的問題，現将个人对这問題的一些体会提出来請大家討論，有不正确处請指正。

2 产生頻率不穩定的主要原因

(1) 溫度对振蕩頻率的影響。

溫度影響振蕩頻率是一十分主要的因素，通常是以頻率溫度係數 (TKЧ) 來表示影響的大小，所謂頻率溫度係數即溫度每變化 1°C 振蕩頻率的相應變化值，一般 L.C. 振蕩器的頻率溫度係數約在 10×10^{-6} 到 10×10^{-5} 之間，頻率溫度係數的測定應按被測定機器的技術條件所規定的工作溫度範圍在冷凍箱與恆溫箱中測得。按下面公式計算頻率溫度係數

$$\text{頻率溫度係數 (TKЧ)} = \frac{\Delta f}{f \Delta T} \quad (1)$$

式中 ΔT ——試驗箱溫度與室溫之差。

f ——測試的額定頻率。

Δf ——測試機器放入試驗箱前所測得的頻率數與在試驗箱中最後測得的頻率數之差。

溫度對頻率的影響可分為自熱溫升頻移與環境溫度的影響二個方面。當無線電設備剛接通電源時，振蕩管內溫度急劇上升，極間電容的變化促使振蕩頻率隨之變動，電子管的自熱溫升頻移一般一刻鐘左右即可趨向穩定，因電子管極間電容溫度係數 (TKE) 是正的，所以振蕩頻率是向低的方向移動，變動的幅度要看振蕩電路的程式與所採用的電子管等因素，通常大約在 $0.01\% \sim 0.10\%$ 左右。當無線電機連續工作時，機內溫度不斷上升，溫升有時要高至 $20^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ ，溫度的飽和有時要一或二小時，有時甚至更長。環境溫度的變化在一些特種的與野外使用的無線電機上是十分顯著的，例如從 $-40^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$ 要上下變化 90°C ，是一個十分大的變化，假如頻率溫度係數大時簡直不能工作，尤其在一些固定波道的通信設備上。

溫度要改變線圈的電阻，要改變電容器介質的介電常數，要產生元件的機械變形，凡此種種均要促使振蕩頻率的不穩。

表1 几种常用絕緣材料的介电常数温度系数

材 料 名 称	介 电 常 数	介电常数温度系数
云母	7.0	$+20 \sim +100 \times 10^{-6}$
天然石英	4.5~4.7	$+20 \sim +40 \times 10^{-6}$
电容器陶瓷(T80)	75~80	$-(700 \pm 100) \times 10^{-6}$
电容器陶瓷(TK-M)	20~25	$-(50 \pm 20) \times 10^{-6}$
电容器陶瓷(TK-P)	15~20	$+(30 \pm 20) \times 10^{-6}$
黑色硬橡胶	3.0	$+500 \times 10^{-6}$
鉛玻璃	6.5~6.7	$+2000 \times 10^{-6}$

(2) 电源电压变动对振荡频率的影响。

在分析調板振荡器中，我們得到这样一个式子

$$\text{即 } \omega = \omega_0 \sqrt{1 + R_o / YP} \quad (2)$$

从这式子中可以看出，当电子管板極电阻YP变动时将影响振荡频率，在我們討論三極管参数时确定板極电流的变动会影响板極电阻。电子管各極供电电压对电子管的極間电容亦会产生影响，而振荡管的極間电容是振荡电路电容的組成部分，电子管内任何二电极間的电容量不仅仅决定于其相互間之几何形状与位置，有效电容量根据其介質是真空，但在其中有电子流动与介質中沒有自由电子流动而有很大的差别，由于电子的数目与速度决定于电极上的电压与阴極周圍的空間电荷状态，所以有效电容将随着供电电压与振荡条件而变化。

圖1为在固定板压下，板極电流变化时，極間电容相应的变化曲綫，板流的变化是由改变栅偏压得到的。从这曲綫上我們可看出板栅电容 C_{ag} 的变化是很小的，同时变化的方向与栅阴电容 C_{gk} 相反。

圖2为板極电压变化时相应的極間电容变化曲綫，在某些

电子管，这种变化是不大的，在频率低的时候可以略去。

(3) 负载电阻
对振荡频率的影响。

我们从公式 (1) 中，同时可看到当负载电阻 R_L 变化时振荡频率亦要改变，负载与振荡回路耦合的电抗会促使振荡频率变化，负载与振荡电路耦合的电阻，会改变振荡器板极与栅极电位的相位关系，这样亦会使振荡频率变化。在一些结构简单的无线电设备上（如单管发射机等），负载对振荡频率的影响是一突出的问题。

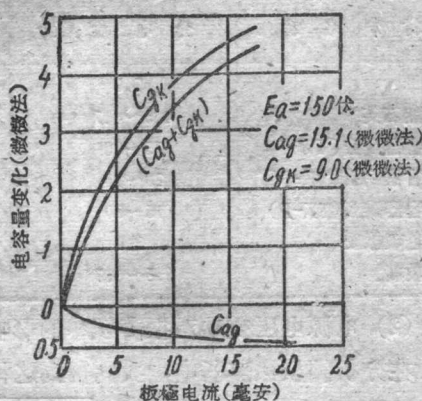


圖 1 板极电流变化时极间电容的相应变化。

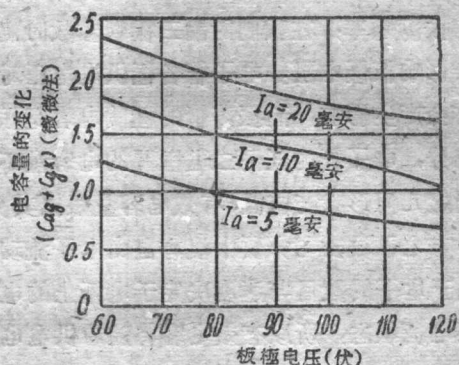


圖 2 板极电压变化时极间电容的相应变化。

(4) 湿度对振荡频率的影响。

空气的介电常数随着空气中湿度的改变而不同，当空气介电常数改变时，空气电容器电容量就要变。同时湿度改变时，电绝缘物质表面电阻要变化，这样就会引起回路品质因

数的改变，亦会使振荡频率变化。在高湿度地区（如我国南方沿海各省）使用的无线电设备，湿度的影响甚为显著，在某些情况下湿度的影响比温度的影响还要大。

(5) 零部件的机械变形影响频率稳定。

振荡电路的元件结构不够坚固时，在机械冲击、振动、跌落的条件下，将会产生显著的机械变形，影响振荡频率。若零件材料具有内部引力时，将使零件产生陈老现象，当无线电机电經較長時間使用后其频率刻度就会产生误差。

3 提高频率稳定度的方法

(1) 采用优质零件。

振荡电路应采用温度系数低、机械强度高、高频损耗小、不易吸收潮湿的零件，同时应尽可能采用全密封，下面将分别讨论几种主要的元件。

(A) 振荡电路线圈。线圈最理想是采用烧银线圈，即在高频率瓷线圈骨架上烧上一层螺旋形的银质导电层作为线圈，烧上银层后要电镀将导电层加厚；有时涂银，有时涂铜。这类线圈电感温度系数很小，约为 10×10^{-6} （装入隔离罩内后电感温度系数要增加），品质因数亦很高，可超过200。用金属罩全密封后是最理想的振荡线圈。但缺点是，当要求电感量大时，制造上有困难，体积要很大，故在超短波波段使用最为合适。如无法采用烧银线圈时，可采用瓷骨架的导线平绕线圈。这时，瓷骨架上最好有槽子，绕制时应热绕，就是当绕制时在导线中通以大电流使导线发热，这样绕好后当导线冷却时，可很牢固的固定在骨架上。蜂房线圈与有铁心的线圈在要求频率稳定度高的无线电机上不常采用，除非在振荡频率很低的时候。

(B) 振蕩电路电容器。振蕩电路电容器通常只采用空气电容、瓷介电容、云母电容三种。空气电容一般是可变或半可变，用来調節振蕩頻率，是振蕩电路总电容的主要組成部分。空气电容溫度系数可以做得很小，質量优良的空气电容溫度系数約为 30×10^{-6} 左右。空气电容器的絕緣介質以高频瓷为最佳，有些空气电容采用瓷軸作为动片軸，有些空气电容采用因瓦鋼作为动片軸；动定片亦采用因瓦鋼板，外差頻率計的緩动主調可变电容器就是采用因瓦鋼制成的。振蕩电路采用瓷介电容一般是負溫度系数的，用来补偿振蕩电路其它元件的正溫度系数。云母电容器以銀云母較佳，云母电容器通常在中短波以下采用，超短波波段很少采用云母电容作为振蕩电路电容。

(C) 采用金屬压鑄零件可提高振蕩电路的机械稳定性，压鑄金屬以采用鋁合金最好（如AJI-8AJI-2等），因为鋁合金机械强度高重量亦輕。

(D) 除了上面这些主要的元件外，一些輔助的元件如管座、波段开关等亦应选用优質的。以瓷介質为最佳。有时，这些輔助元件亦会产生很大的頻率偏移。1956年我們在外差頻率計的試制中把紙胶板波段开关换为瓷質开关后使頻率穩定度有了較大的改进。

(2) 采用高穩定度的振蕩电路。

振蕩电路种类很多，其中有一些电路頻率穩定度較高，頻率穩定度是振蕩器之主要質量指标，所以振蕩器的好坏一般是以頻率穩定度来衡量的，高穩定度的振蕩电路对电源电压、負載电阻、电子管極間电容等的影响可大为减少，但任何振蕩电路几乎对頻率溫度系数沒有关系，湿度对振蕩頻率的

影响任何振荡电路亦将无能为力。温度、湿度、机械冲击等使振荡频率变动的因素主要应从正确的选择振荡电路元件与采用先进的结构设计来解决。下面介绍几种高稳定度的振荡器，并讨论一下与有关振荡器在频率稳定度方面的比较。

(A) 哈脱来 (Hartley) 振荡器与振荡管只跨接在振荡电路一小部分的哈脱来振荡器。

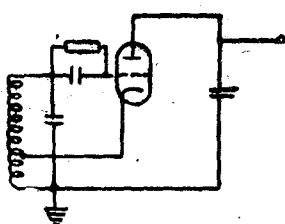


圖 3 哈脱来振荡器。

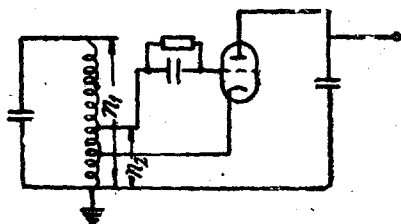


圖 4 振荡管只跨接在振荡电路一小部分的哈脱来振荡器。

圖 (3) 为哈脱来振荡器，是一簡單而調整方便的振荡器，如果我們用四極或五極管作振荡管，即成为电子耦合式振荡器。1939年藍濱金 (Lampkin) 提出一改进的哈脱来振荡电路 (如圖 4)，这种电路的频率稳定度可比原来的哈脱来振荡电路高。我們假定：

δ 为由于振荡管極間电容造成的频率温度系数。

C 为跨接在 n_2 綫圈間的电子管电容。

C_0 为迴路电容。

α 为單位温度变化时相应的电子管电容的变化。

n_2/n_1 为总圈数对电子管接头处圈数之比。

則我們可得到这样的式子

$$\delta = (n_2/n_1)^2 \frac{\alpha C}{2(C_0 + (n_2/n_1)^2 C)} \quad (3)$$

$$\text{因 } (n_2/n_1)^2 \cdot C \ll C_0$$

所以我們可將 (3) 式近似地写成如下式

$$\delta \approx (n_2/n_1)^2 \frac{\alpha C}{2C_0} \quad (4)$$

若我們假設 $(n_2/n_1)^2 = 0.05$ (这比数是可以做到的), 則这种改进的哈脫来振荡电路比原来的哈脫来振荡电路对由电子管电容造成的頻率溫度系数可降低到二十分之一。这种振荡器的缺点是由于抽头电感与电子管电容組成一振荡迴路, 以致容易产生寄生振荡, 且更換波段时亦比較麻煩。晶体校正外差頻率計上就采用这种改进的振荡电路, 低波段的 $(n_2/n_1)^2$ 为 0.12, 高波段的 $(n_2/n_1)^2$ 为 0.18。

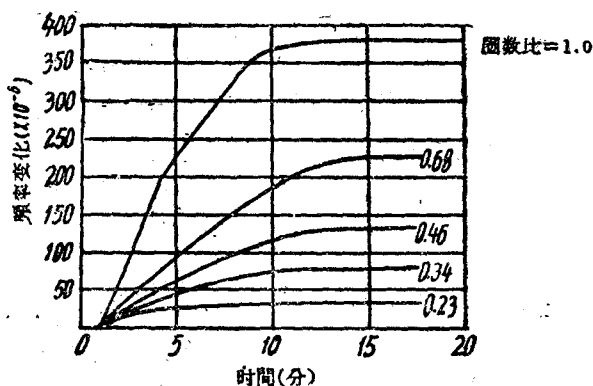


圖 5 改进的哈特来振荡器在不同圈数比条件下相应的頻率变化值。

圖 (5) 为上面討論的改进的哈脫来振荡器当接通电源后在不同圈数比条件下相应的頻率变化值。

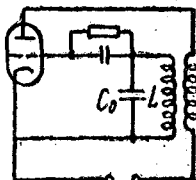
(B) 柯耳匹茲 (Colpitts) 振荡器与克拉潑 (clapp) 振荡器。

圖(6)為一簡單的調棚振蕩器，當調諧電容 C_0 。因振蕩管輸入電容改變而變動時，振蕩頻率將有一相應的變動，我們可以寫出其相互間的關係式如下：

$$\frac{df}{f} = -\frac{1}{2} \times \frac{dC_0}{C_0} \quad (5)$$

為了更明確起見，我們假定振蕩頻率為 1 兆赫，振蕩迴路電容 C_0 為 100 微微法

$$\text{則 } \frac{df}{f} = -\frac{dC_0}{200}$$



(6) 圖 6 調棚振蕩器。

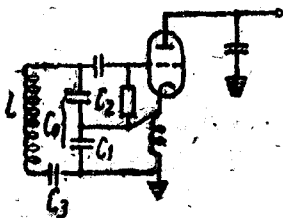


圖 7 克拉濱振蕩器。

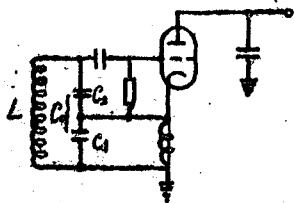


圖 8 柯耳匹茲振蕩器。

圖(8)為柯耳匹茲振蕩器，我們假定振蕩管輸入電容與上述調棚振蕩器有相同的變化。在這種情況下電容 C_2 的微變與振蕩頻率微變間的關係式為

$$\frac{df}{f} = -\frac{1}{2} \times \frac{C_1}{C_1 + C_2} \times \frac{dC_2}{C_2} = -\frac{1}{2} \times \frac{C_0}{C_2} \times \frac{dC_2}{C_2} \quad (7)$$

因 $C_1 = C_2 = 200$ 微微法 $C_0 = 100$ 微微法

$$\text{所以 } \frac{df}{f} = -\frac{dC_2}{800} \quad (8)$$

圖(7)為一由柯耳匹茲振蕩器演變而來的克拉濱振蕩器 0 電路中

$$C_1 = C_2 = 40C_0 \quad C_3 = 20C_0/19$$

我們又假定振蕩管輸入電容與上述二種電路有相同的變動，則電容 C_2 的微變與振蕩頻率微變間的關係式為

$$\frac{df}{f} = -\frac{dC_3}{320,000} \quad (9)$$

这样，假如我們假定柯耳匹茲振荡器的頻率变动为1，則克拉潑振荡器只改变 $\frac{1}{400}$ 。所以后者比前者在頻率稳定度方面要提高很多。其主要原因为 C_1 、 C_2 比 C_3 要大很多，在振荡管輸入与輸出电路中跨接了一很低的阻抗，以致振荡管極間电容的变化、負載的变化、电源电压的变化对振荡頻率的影响大为减弱。这种振荡电路很有实用价值。缺点是在整个波段內振荡电压不平均，在高频端容易停止振荡，所以波段范围不能做得太寬。

(3) 采用稳压电源。

为了减少电源电压变化对振荡頻率的影响，振荡管板源电压与絲極电压均应采用稳压电源供給。稳压电源一般有二种方式，一种是采用鉄諧振稳压变压器来稳定交流輸入电压，另一种方式是在板源直流电压中采用充气恒压管来稳压（如CT-3C CT-4C等），絲極电路采用鎮流器来稳定絲極电流。板源电压与絲極电压一定要同时稳定，不然不会有很好的效果。上面二种稳压方式，比較起来第一种較簡單，效果亦不坏，采用了稳压电源后，一般当电源电压在 $\pm 10\%$ 范围內变化时，振荡頻率可基本上稳定。

(4) 采用負溫度系数瓷介补偿电容。

采用負溫度系数瓷介电容补偿是改善自热溫升頻移与环境溫度頻移的有效方法。振荡电路的电感、接綫电容、綫圈分布电容、电子管極間电容与电子管管座电容等的溫度系数一般均是正的，就是說当溫度升高时，振荡頻率将下降，通常振荡电路調諧电容溫度系数亦是正的，在这种情况下頻率下降将很显著。假如我們在振荡电路中适当的采用些負溫度

系数瓷介电容来补偿后，可很有效地缓和频率下降的趋势，使频率温度系数值降低，过多的负温度系数电容补偿，对频率稳定反而不利，因为那时振荡频率将向高的方向有较大的变动。在可变频率振荡器中，是没有办法在整个波段中各点均补偿得恰当，平常总是补偿高频端或偏高的一端，低频端一般是靠高质量的调谐可变电容器来缓和频率的下降。作为补偿用的瓷介电容器一般是采用KTK与KDK二种型式，这种电容器的温度系数共有四个组别，有二组是负温度系数即П组与M组，П组的电容温度系数是 $-(700 \pm 100) \times 10^{-6}$ 标志颜色是红色，M组的温度系数为 $-(50 \pm 30) \times 10^{-6}$ 标志颜色为浅蓝色。

(5) 先进的结构设计。

进行结构设计时应尽量使振荡电路元件远离热源，振荡电路分布电容等应减至最小，因为这些分布电容温度系数很大，振荡电路接线应减至最短，同时应牢靠的固定，振荡电路元件结构应坚固，固定应可靠，受到机械冲击振动不能有任何位移。采用全密封亦是先进结构之一，全密封的振荡器可完全避免湿度对频率稳定的影响。进行振荡电路元件的冷热老化处理。老化可去除这些元件的内部机械引力，这样可大大减少这些元件的陈老现象，可保证频率刻度的长期准确；老化的温度与时间要看这些元件的使用条件与元件的材料，一般是 $-40^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$ 2~3次循环，每次1~2小时。

4 结束语

关于L.C.振荡器的频率稳定由于我工作的局限性，所以只能提出上述这几个方面，一定是很不全面的，所提出的大都是在实际工作中接触的问题，这一本小册子只能作为一

般无綫电技术人員工作中的参考，尙望国内无綫电工程技术人員对这一問題大家来进行討論，相互交流，相互提高。

参 考 文 献

- (1) H. A. Thomas, Theory and design of Value oscillators.
- (2) Lampkin, An improvement in constant-frequency oscillators, P. I. R. E. March 1939.
- (3) J. K. Clapp, An inductance-capacitance oscillator of unusual frequency stability, P. I. R. E. March 1948.
- (4) J. K. Clapp, Frequency Stable L. C. oscillator, P. I. R. E. August 1954.
- (5) С. А. 德罗波夫, 无綫电發送设备(上册)。
- (6) В. А. Волгов, Детали контуров радиоаппаратуры.