

电子管振荡器的频率温度稳定度

C. C. 阿尔申诺夫著

周 敏 刘庆义 刘吉祥译

冯芳标 张中清 刘庆五校

目 录

譯本前言

前 言

第一章 頻率溫度穩定技術概述 (1)

- 1—1. 溫度系數 (1)
- 1—2. 頻率溫度系數 (5)
- 1—3. 并聯和串聯時的 TKE 和 TKI (6)
- 1—4. 自補償和綫路補償 (10)
- 1—5. 電子管引起的頻率溫度不穩定度 (12)
- 1—6. 自激振蕩器綫路的选择 (14)
- 1—7. 設計穩定振蕩器的一般問題 (15)
- 1—8. 关于恒温器的知識 (18)
- 1—9. 溫度系數測量設備概述 (20)
- 1—10. 例題 (23)

第二章 电感綫圈 (26)

- 2—1. TKI 的几何分量 (28)
- 2—2. 圓形導綫中由內电感变化引起的 TKI 分量 (32)
- 2—3. 扁導綫中內电感变化引起的 TKI 分量 (40)
- 2—4. 屏蔽退磁作用变化引起的 TKI 分量 (46)
- 2—5. 導磁率变化引起的 TKI 分量 (49)
- 2—6. 綫圈固有电容变化引起的 TKI 分量 (52)
- 2—7. 有效电阻变化引起的 TKI 分量 (57)
- 2—8. 电感綫圈的自補償 (62)
- 2—9. 波段內 TKI 恒定性的保証 (66)
- 2—10. 对高溫穩定度电感綫圈結構的要求 (70)
- 2—11. 例題 (75)

第三章 可变电容器	(84)
3—1. 空气介电常数的温度系数	(86)
3—2. 在有防潮措施时的空气介电常数温度系数	(93)
3—3. 容片有效面积的温度系数	(98)
3—4. 片距的温度系数	(103)
3—5. 起始电容的温度系数	(109)
3—6. 可变电容器的自补偿	(115)
3—7. 对高温度稳定度可变电容器的结构要求	(120)
3—8. 硬介质可变电容器	(125)
3—9. 例题	(126)
第四章 自激振荡器的迴路零件	(131)
4—1. 迴路固定电容器	(131)
4—2. 云母固定电容器	(134)
4—3. 陶瓷固定电容器	(136)
4—4. 不可调温度补偿元件	(139)
4—5. 可调温度补偿元件	(141)
4—6. 高频扼流圈	(143)
4—7. 例题	(145)
第五章 迴路波段温度补偿理论	(149)
5—1. 解决问题的方法	(150)
5—2. 并联温度补偿电路	(151)
5—3. 串联温度补偿电路	(154)
5—4. 复杂温度补偿电路	(157)
5—5. 全温度补偿电路	(159)
5—6. 欠温度补偿复杂电路	(162)
5—7. 并联—串联温度补偿电路	(163)
5—8. 串联—并联温度补偿电路	(165)
5—9. 变电感调谐时的温度补偿	(168)
5—10. 几点小结	(169)

第六章 电感温度系数有变化时的温度补偿 (171)

- 6—1. 直线——双曲线近似法 (171)
- 6—2. 复杂温度补偿电路的计算 (178)
- 6—3. 并联温度补偿电路 (180)
- 6—4. q_L 为正时的并联电路 (183)
- 6—5. q_L 为负时的并联电路 (184)
- 6—6. 例题 (189)

第七章 波段温度补偿的设计问题 (193)

- 7—1. 电路元件温度系数的计算 (194)
- 7—2. 全温度补偿电路元件的计算 (199)
- 7—3. 并联—串联电路元件的计算 (204)
- 7—4. 串联—并联电路元件的计算 (205)
- 7—5. 波段末端上的温度补偿 (208)
- 7—6. 最小频移时的并联温度补偿电路 (211)
- 7—7. 例题 (212)

第八章 若干计算公式总述 (218)

- 8—1. 温度系数的计算 (218)
- 8—2. 单层螺旋管电感温度系数的计算 (219)
- 8—3. 空气可变电容器电容温度系数的计算 (221)
- 8—4. 波段温度补偿的计算 (223)

附 录 一

ГОСТ5458—50 高频陶瓷材料电气、物理和机械特性 (226)

附 录 二

中华人民共和国无线电专业标准 无线电陶瓷材料

参考文献 (227)

第一章

频率温度稳定技术概述

电子管振荡器——发射机主控振荡器或接收机本机振荡器——的频率是电子管、振荡回路零件和回授电路等的参数的复合函数。

这些参数也与温度有关。因此，在振荡器工作时，零件因环境温度发生变化或因本身功率耗散而有温度变化时，振荡器的频率必定跟随变化。

频率温度稳定的方法很多，它们可以分为三类：1. 研制与温度关系很小的零件和材料；2. 使零件参数的温度变化互相补偿，简称温度补偿；3. 用恒温器稳定主控振荡器和本机振荡器零件的温度。

振荡器频率稳定度的要求越高，防止温度影响的方法便越复杂。对频率稳定度的要求很严格时，一般采用温度参数稳定的元件，并对剩余不稳定性进行温度补偿；在最重要的场合，还要将整个主控振荡器或其最主要的零件放入恒温器中。

1-1. 温度系数

任何参数（电气参数或机械参数等）与温度的关系可能是线性也可能是非线性的。图1-1所示的是线性关系，它是T.A斯麦林斯基在文献(64)中引用的，它表示钛土瓷介电常数的相对变化与温度的关系。其中圆圈表示样品受热时的介电常数测量点，十字又表示冷却时的测量点。

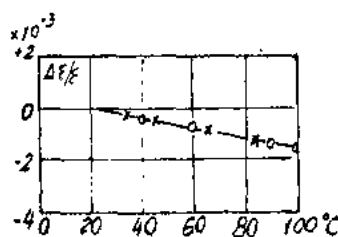


图 1-1. 钛土瓷的介电常数相对变化同温度的关系

大提高振荡器频率的温度稳定度。

在选择材料和零件以及设计稳定振荡器部件时，应考虑到参数非线性的可能性、不循环性和陈老。

图 1—2 的曲线表示相对湿度固定为 50% 时，潮湿空气介电常数相对变化同温度的关系。这曲线可以作为循环而不受陈老的最重要电参数之一的非直线性例子。

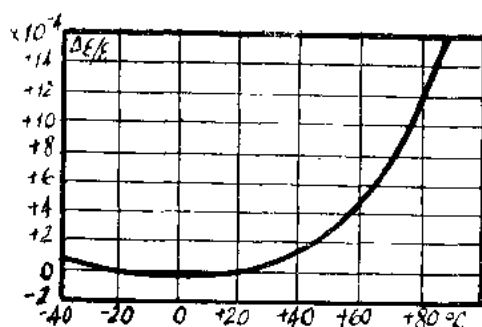


图 1—2 潮湿空气的介电常数相对变化同温度的关系

但是，非线性往往是同不循环性及陈老有联系的。图 1—3 的曲线是 M. A. 邦奇—勃鲁也维奇在文献(20)中所引用的，它表示云母电容器的电容相对增量同温度的关系。云母电容器的电容变化不仅不与温度变化成比例，而且还具有不循环性，即在温度循环结束后，不回到起始值。

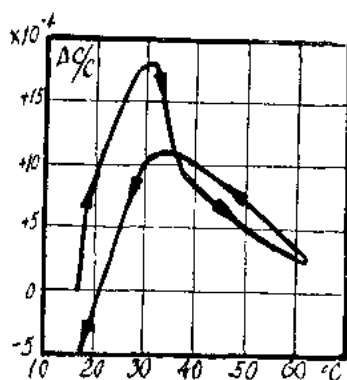


图 1—3 云母电容器容量的相对变化同温度的关系

最后，图 1—4 表示 Л. И 拉宾和



图 1—4 鉍矽鉄合金 B4—30 的陈老

И.И 肖列茨在文献(51)中所引证的铝矽铁合金的陈老,即导磁率随时间的变化。

优质陶瓷材料、熔融石英和纯金属的电气参数和机械参数同温度的关系,在无线电技术实际采用的温度范围(-60 至 $+70^{\circ}\text{C}$)内,一般是线性的(文献8)。许多有机绝缘材料和合金的参数在一定的温度范围内,同温度具有线性关系,有循环性,且陈老小;但是,超出一定的范围后,这些材料的参数就变为非线性,并且无循环性。

材料经人工陈老处理后,性能通常有很大提高。人工陈老的方法,是进行几次温度循环,循环范围超过使用过程中可能的温度变化范围,或将材料长时期地放置于高温中。

在直线性和循环性范围内,各种参数的温度关系决定于温度系数。参数的温度系数就是温度变化 1°C 引起的参数增量同起始值之比。我们用字母 α 加上表示参数的字母代号作下标⁽¹⁾,或者用大写字母TK(温度系数)加上参数俄文名称的第一个字母⁽²⁾来表示温度系数。在第一种情况中,有几点例外:频率温度系数用 α 表示而不加下标;在研究包含几个电容器的线路时,将字母C加入下标后表示各个单独电容器的电容温度系数。前一种代号主要用于公式中,有时也用于文章中,而后一种代号只在文章中使用。

这样,线膨胀温度系数符号就是TKЛП或 α_l ;体积膨胀温度系数的符号就是TKОП或 α_{oi} ;频率温度系数的符号就是TKЧ或 α ;电感温度系数的符号就是TKИ或 α_L ;电容温度系数的符号就是TKЕ或 α_C (在几个电容时为 α_1, α_2 或 α_H 一起始电容温度系数,但 α_C 为线路总电容的TKЕ);电阻温度系数的符号就是TKС或 α_R ;导磁率温度系数的符号就是TKМП或 α_μ ;介电常数的温度系数的符号就是TKДП或 α_ϵ 等。

参数 x 的温度系数根据情况而定,可以用最后增量比的形式或微分方式表示。在前一种情况下

(1)在文献中有时用字母 τ 来表示温度系数。

(2)在文献中有时将TK和参数字母代号混合使用,例如:TK ϵ —介电常数温度系数;TKC—电容温度系数等。

$$\alpha_x = \frac{\Delta x}{x \Delta T}, \quad (1-1)$$

式中 α_x —— x 参数的温度系数;

Δx ——温度变化 $\Delta T^\circ\text{C}$ 时, x 参量的增量。

为了简化公式, 后面经常用 dx 表示温度增加 1°C 时 x 的增量, 而不加特别说明。这样, 公式 (1-1) 就成为

$$\alpha_x = \frac{dx}{x} \quad (1-1')$$

如用微分形式表示, 则为

$$\alpha_x = \frac{1}{x} \cdot \frac{dx}{dT} \quad (1-2)$$

应该指出, 如果 x 参数是几个同温度有关的值的复合函数, 则在利用微分学的普通方法来寻求以微分形式表示的温度系数时, 二阶微量可以略去, 这不是没有根据而永远容许的。

下述定理是显而易见的, 不需要证明。

1. 若某一参数由与温度有关的各项总和组成, 则其温度系数等于这些项与它们的温度系数乘积之和除以参数值。这样, 如

$$x = p(T) + q(T) + \dots + Z(T),$$

则

$$\alpha_x = \frac{1}{x} (p \cdot \alpha_p + q \cdot \alpha_q + \dots + z \cdot \alpha_z), \quad (1-3)$$

或

$$\alpha_x = \frac{p \cdot \alpha_p + q \cdot \alpha_q + \dots + z \cdot \alpha_z}{p + q + \dots + z} \quad (1-3')$$

2. 若某一参数由与温度有关的各因子的乘积组成, 在精确至二阶微量时, 其温度系数等于这些因子的温度系数之和。这样, 如

$$x = p(T) \cdot q(T) \cdot \dots \cdot z(T),$$

则

$$\alpha_x = \alpha_p + \alpha_q + \dots + \alpha_z \quad (1-4)$$

利用这些定理，一般地不难把计算同温度有复杂关系的参数的温度系数问题，化为几个较简单的问题。

1-2. 频率温度系数

我们用下式来表示自激振荡器的振荡频率〔文献30〕：

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} + df \quad (1-5)$$

式中L和C—迴路的电感和电容，包括所有引入和寄生的电感、电容；df—考虑到迴路衰减影响、电子管特性曲线非线性等等以后的频率校正量。

第二章将讲到，由（1—5）式第二项被加数的温度变化而引起的TRV分量小到可以忽略。因此在计算电子管振荡器的TRV时，可以根据下面的频率近似式进行：

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1-5')$$

我们来计算TRV同迴路的电感和电容温度系数的关系。假设，在温度增加1℃时，电感量增加 ΔL ，电容量增加 ΔC ，频率增加 Δf 。

将（1—5'）平方，可得：

$$f^2 = \frac{1}{4\pi^2 LC}; \quad (f + \Delta f)^2 = \frac{1}{4\pi^2 (L + \Delta L)(C + \Delta C)}$$

略去二阶微量，可写成

$$\begin{aligned} (f + \Delta f)^2 &= f^2 \left(1 + \frac{2\Delta f}{f} \right); \quad \frac{1}{4\pi^2 (L + \Delta L)(C + \Delta C)} = \\ &= \frac{1}{4\pi^2 LC} \left(1 - \frac{\Delta L}{L} - \frac{\Delta C}{C} \right). \end{aligned}$$

将温度增加1℃后的频率平方式的左边及右边除以起始式，通过简化及代入

$$\frac{\Delta f}{f} = \alpha_f, \quad \frac{\Delta L}{L} = \alpha_L \text{ 和 } \frac{\Delta C}{C} = \alpha_C$$

后，可得

$$\alpha = -\frac{\alpha_L + \alpha_C}{2}, \quad (1-6)$$

公式(1-6)是用振荡回路电抗元件—电感和电容的温度系数来计算自激振荡频率温度系数的基本公式。从上一节的定理可知，温度系数 α_L 和 α_C 都可以由几个部分组成。

应该指出，在大多数情况中，简单结构的元件的TKM和TKE为正值，因此，频率温度系数一般为负值。这种情况不包括采用TKE为负值的陶瓷电容器和TKM为负值的导磁介质铁芯的线圈通路。关于这个问题，在下面几章中还要详细探讨。

1-3. 并联和串联时的TKE和TKM

我们来计算电容温度系数分别为 α_1 和 α_2 的并联电容器 C_1 和 C_2 的合成电容温度系数。

由于合成电容等于

$$C = C_1 + C_2,$$

因此，根据§1-1的定理1，合成电容的TKE等于：

$$\alpha_C = \frac{\alpha_1 C_1 + \alpha_2 C_2}{C_1 + C_2}. \quad (1-7)$$

公式(1-7)有时取下述形式比较方便：

$$\alpha_C C = \alpha_1 C_1 + \alpha_2 C_2. \quad (1-7')$$

如果有 n 个电容器并联，则公式(1-7')可写成：

$$\alpha_C C = \sum_{i=1}^n \alpha_i C_i. \quad (1-7'')$$

用这些公式可以解决一系列在计算温度补偿线路时遇到的辅助性问题。

这种辅助性问题之一，是确定两个并联电容器中每个电容器的电容值；如果已知它们的温度系数、总电容量和总电容的温度系数。

即已知： C ， α_C ， α_1 和 α_2 ；求 C_1 和 C_2 。

得出两个有两个未知数的方程式：(1-7')式和 $C=C_1+C_2$ 式。

解这个方程组，可得

$$C_1 = C \cdot \frac{\alpha_2 - \alpha_C}{\alpha_2 - \alpha_1} \text{ 和 } C_2 = C \cdot \frac{\alpha_C - \alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1} \quad (1-8)$$

简单地变换公式 (1-7')，就可以解决另一个经常遇到的问题：在已知总电容温度系数和其中一个电容器的电容温度系数以及所有电容值的情况下，计算另一个并联电容器的电容温度系数。即已知：

α_C ， α_1 ， C ， C_1 和 C_2 。

求 α_2 ：

$$\alpha_2 = \frac{\alpha_C C - \alpha_1 C_1}{C_2} \quad (1-9)$$

要计算温度补偿，就必须知道可变电容器电容可变部分的温度系数 α_1 。在第三章中将要讲到，正确设计的可变电容器时，其TKE可分为两个部分：起始电容的TKE和在整个波段内固定的电容可变部分的TKE。为此，必须在两个电容值上，例如最小和最大电容量时，测量电容器的TKE。用下标 m 和 M 表示对应于可变电容器最小和最大电容量的TKE和电容值。于是

$$\alpha_1 C_{1m} + \alpha_H C_H = \alpha_m C_m \text{ 和 } \alpha_1 C_{1M} + \alpha_H C_H = \alpha_M C_M,$$

其中 C_{1m} 和 C_{1M} ——可变部分的电容值；

C_H ——起始电容；

C_m 和 C_M ——电容器的总电容量。

解这些方程式，可得：

$$\alpha_1 = -\frac{\alpha_M C_M - \alpha_m C_m}{C_M - C_m} \quad (1-10)$$

如果 $C_{1m}=0$ ，则公式 (1-10) 中 $C_m=C_H$ ，而 $\alpha_m=\alpha_H$ 。

在这里，适当地指出，在解决波段的温度稳定度问题时，用直线

电容比例尺图表比用直线频率比例尺的方便。将直线频率比例尺化为直线电容时，按下式进行

$$\frac{C}{C_m} = K_f^2 \frac{f_m^2}{f^2}, \quad (1-11)$$

其中 K_f —— 波段复盖系数；

C 和 f —— 迴路电容量和频率值，而 C_m 和 f_m —— 迴路电容量和频率的最小值。

在电容温度系数为 α_1 和 α_2 的电容器 C_1 和 C_2 串联时，

$$C_1 = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}; \quad C + \Delta C = \frac{(C_1 + \Delta C_1) \cdot (C_2 + \Delta C_2)}{C_1 + C_2 + \Delta C_1 + \Delta C_2}.$$

以第一个等式除第二个等式，且代入

$$\alpha_C = \frac{\Delta C}{C}; \quad \alpha_1 = -\frac{\Delta C_1}{C_1} \text{ 和 } \alpha_2 = -\frac{\Delta C_2}{C_2},$$

再简化和变换，可得：

$$\alpha_C = -\frac{\alpha_1 C_2 + \alpha_2 C_1}{C_1 + C_2} \cdot \frac{1 + \frac{\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot (C_1 + C_2)}{\alpha_1 C_2 + \alpha_2 C_1}}{1 + \frac{\alpha_1 C_1 + \alpha_2 C_2}{C_1 + C_2}}.$$

引入符号：

$$\frac{\alpha_1 C_2 + \alpha_2 C_1}{C_1 + C_2} = \alpha_C' \text{ 和 } \frac{\alpha_1 C_1 + \alpha_2 C_2}{C_1 + C_2} = \alpha_C''.$$

第二个公式是并联时的TKE表达式。现在，考虑到 $\alpha_C'' \ll 1$ ，可写出：

$$\alpha_C = \alpha_C' \left(1 + \frac{\alpha_1 \alpha_2}{\alpha_C'} \right) (1 - \alpha_C'') = \alpha_C' \left(1 + \frac{\alpha_1 \alpha_2}{\alpha_C'} - \alpha_C'' - \frac{\alpha_1 \alpha_2 \alpha_C''}{\alpha_C'} \right).$$

略去二阶微量，最后写成：

$$\alpha_C = \alpha_C',$$

或

$$\alpha_C = - \frac{\alpha_1 C_2 + \alpha_2 C_1}{C_1 + C_2} \quad (1-12)$$

这个公式就是电容器串联时的计算公式。

我们来计算公式(1-12)的准确度。被略去的二阶微量的总和为

$$\alpha_1 \alpha_2 - \alpha_C' \alpha_C''.$$

如果 $\text{TKE} \alpha_1$ 和 α_2 相等, 且符号相同, 则这总数的两项互相消去。在 α_1 和 α_2 的数值相近且符号相同时, 微量总和具有较高的数量级。

在最不利, 但较经常的情况下, 如有 n 个 TKE 符号不同的电容器串联, 其中一个约为 10^{-3} , 另一个约为 10^{-4} , 则公式(1-12)的绝对误差不超过 10^{-7} , 而这在所有的实际情况下是完全容许的。

在电感为 $L_1, L_2, \dots$ 而 TKE 为 $\alpha_{L1}, \alpha_{L2}, \dots$ 的多个线圈串联时, 合成电感量等于

$$L = L_1 + L_2 + \dots$$

根据电容器并联时计算合成 TKE 的公式(1-7''), 可以写成

$$\alpha_L L = \sum_{i=1}^n \alpha_{Li} L_i \quad (1-13)$$

在电感量为 L_1 和 L_2 , TKE 为 α_{L1} 和 α_{L2} 的两个线圈并联时, 合成电感量等于

$$L = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2}.$$

根据计算串联电容器合成 TKE 的公式(1-12), 可以写出

$$\alpha_L = - \frac{\alpha_{L1} L_2 + \alpha_{L2} L_1}{L_1 + L_2} \quad (1-14)$$

计算并联和串联时的 TKE 和 TKE 合成值的公式十分简单, 因而, 在一般量不大的计算中, 运算十分方便。

1-4. 自补偿和线路补偿

自激振荡频率的温度不稳定性基本上取决于振荡迴路的电感温度系数和电容温度系数。这些温度系数由几个分量组成。

这里，除迴路本身的电感和电容的温度系数外，还包括电子管输入和输出电容、扼流圈、旁路电容器、安装电路等的温度系数。

在零件、部件参数的温度关系，具有直线性、循环性以及无陈老的条件下，确定迴路的温度系数后，再来解决温度补偿问题。

在研究温度补偿问题以前，我们指出，参数的直线性、循环性及无陈老不可能是绝对的，但这些特性必须保持一定的准确性，使得在具体课题的条件下，不遵守上述要求而不引起计算结果与实际结构的试验结果之间有很大差别。

我们规定两种主要温度补偿方法间的划分。我们把使一个或两个振荡迴路基本元件—电感线圈和电容器—具有特殊结构以取得温度补偿的方法称为自补偿；把在线路中加入专用补偿元件—温度补偿器—而取得温度补偿的方法称为线路补偿。

实现自补偿的电容器和电感线圈称为自补偿电容器和自补偿电感线圈，虽然这个名称不完全确切—它应符合于温度系数等于零的要求，而自补偿元件经常具有一定的温度系数，并且一般是负的。

自补偿电感线圈和可变电容器的设计原理，将在第二章和第三章的相应各节中介绍。

根据温度补偿技术，振荡器必须分为两种—固定频率振荡器（或几个固定频率，用转换开关从中选择工作频率）和均匀波段振荡器。

为了获得高度的温度稳定性，固定频率振荡器要求满足零件参数的温度关系为直线性、循环性、无陈老和细致温度补偿等基本条件。

在大多数现代实践的情况中，固定频率振荡器的迴路电容可以由一套具有较小的正TKE和负TKE的陶瓷电容器组成。在这种结构中，自补偿和线路补偿之间就没有什么区别了。

均匀波段振荡器是一种最普通的，具有振荡迴路的振荡器。它与固定频率振荡器的主要差别在于振荡频率改变时其参数的温度系数随

着改变。

我们来研究用改变电容量的方法来调谐迴路的情况。在初步探讨时，我们先假设电感温度系数在整个工作波段中不变，以后再来确定在什么条件及什么范围内，这个假设成立。

我们也假设可变电容器电容可变部分的TKE在整个波段内不变。寄生电容温度系数一般大大超过电容可变部分的TKE。因此用公式(1—7)确定的迴路TKE，由于分子中有一项和分母中有一项在波段范围内变化，迴路TKE也在波段内起变化。在上述假设下，这种变化的规律就是第三章图3—1上的曲线。

当线圈的TKL和线路的TKE绝对值相等，符号相反时，出现完全的自补偿。由于TKL在波段范围内不变化，而TKE根据(1—7)规律在波段内变化，所以，在采用TKL为负的线圈时，完全的自补偿只可能出现在于波段的一个点上。

采用可变部分的TKE为负值，且在波段范围内不变化的电容器来进行自补偿时，也会出现上述情况。波段范围内的完全自补偿只有在可变电容器电容可变部分的TKE为负值，且按一定的规律变化时，才有可能。但是，这种电容器的设计复杂，而且不能保证循环性和无陈老。它与无补偿结构的差别一般在于其靠边的动片是用双金属制造的。温度变化时，由于互相焊接或熔接在一起的金属的线膨胀温度系数不同，双金属动片发生弯曲。在双金属动片上，作有径向槽，它类似于双联或三联电容器边端动片上用来调整电容的槽口。利用槽口适当弯曲动片扇形部分，就可以在波段范围内调整TKE。

这种电容器从成本及大批生产的可能性方面来看，或许是可以采用的，但由于其急剧地陈老，且无循环性，使它不能被利用。在这种自补偿的情况下，只是线圈的TKL和电容可变部分的TKE得到补偿，而起始电容TKE的补偿，须用专用的温度补偿元件进行。

可以看出，在这种情况下，起始电容的TKE不应全部补偿，而是使它趋近于电容可变部分的TKE，因为只有在这种情况下，公式(1—7)才具有下述形式：

$$\alpha_c = \alpha_1,$$

这表示 α_c 值与迴路电容量无关，即TRK在工作波段内不变化。

这样，现代自补偿结构实际上是一种综合解决办法，因为其中采用了自补偿的迴路基本元件，又采用了专用的温度补偿元件。补偿程度决定于实现给定温度系数值的准确度，以及在波段内线圈TRK和电容可变部分TRK的恒定性。

线路补偿是用电容性温度补偿元件与可变电容器并联或串并联的方法实现。在第五章中将要讲到，如果并联一个温度补偿元件，可在波段的一个点上得到全补偿；如果采用并联和串联的两个温度补偿元件，就可在波段的两个点上得到全补偿，如果采用三个温度补偿元件——一个与可变电容器串联，两个分别与可变电容器和电感线圈并联，则可在整个波段内得到全补偿。

决定补偿程度的因素和自补偿的相同，而在简单线路和不完全的复杂线路中，还决定于波段复盖系数值。

线路温度补偿时，迴路主要零件的质量一般高于自补偿零件的质量，而价格低很多，且温度系数调整方便。在TRK在波段范围内有变化的情况下，也可以采用线路温度补偿。在目前，由于上述原因，均匀波段振荡器的自补偿在很大程度上受到线路补偿的排挤，可以期待，后者的使用将进一步获得成就。

1-5. 电子管引起的频率温度不稳定性

振荡器的电子管经过几种途径对振荡频率的温度不稳定性发生影响。首先，自激振荡器频率的校正量与电子管工作状态和参数，以及其线路接法有关，但是，在第二章中将要讲到，由于温度变化所引起的频率校正量的TRK分量比振荡迴路的TRK小。

电子管具有较大的极间电容，它在振荡器线路中或者直接与迴路的基本电容并联，或者通过自耦变压器或变压器与它耦合。

从电子管对迴路频率温度系数影响的观点来看，极间电容必须分成三个分量：动态电容，电极间电容和电子管引出线间的电容。

空间电荷引起的电容叫动态极间电容。当控制栅压接近于零时，这个电容达到最大值，而当负偏压增加时，降低到零。这些电容的值，

与自激振荡器的工作状态有关,且与迴路衰减的温度变化有联系,因而易受温度影响。相应的温度系数分量归入电感温度系数中,并在第二章讨论,因为迴路衰减的主要温度变化与电感线圈的有效电阻变化有关。

当介质损耗正切有变化所引起的迴路衰减的温度变化相当于线圈有效电阻的变化时,也出现相应的温度系数分量,这问题将在第四章中探讨。

在稳定状态下,由于电子管内部温度梯度极高,因此,电子管电极之间的电容,包括上述空间电荷组成的电容,实际上可以认为与外界温度无关。这样,这些电容的温度系数可看作等于零。

电子管引出线间的电容温度系数分量属于迴路起始电容的温度系数。

根据管脚的结构,主要看有无管座,这个分量的数值及其温度系数可以在很宽的范围内变化,带胶木管座的电子管不能用于稳定振荡器,最好采用浅脚电子管和各種超高频电子管。

应该指出,电子管在工作时的外表温度永远高于环境温度,因此,可以不考虑电子管本身及其引出线的防潮。在直接靠近电子管的地方,热空气的相对湿度较低,有助于湿气的蒸发。

除了在稳定振荡状态下,对频率温度系数有影响外,电子管也是确定自激振荡器的自热频移的主要元件。自热频移是指从自激振荡器接通瞬间起到温度状态稳定时这期间的频率变化,实际上,根据自激振荡器和整机结构的不同,自热频移可继续几分钟至几十分钟。

自热频移主要与自激振荡器电子管电极的加热及其几何尺寸的变化有关,因此,也与电子管的参数和极间电容有关。这时,电子管栅极渗透系数和跨导的变化值与其电容量的变化相比是较小的。

迴路零件由于有功损耗而产生自热,以及设备内部由于线路零件和电子管功率耗散而产生温升,都会引起自热频移。

减小自热频移的措施和减小TRQ的措施相同,即最大限度地减小温度不稳定度的各种分量,并补偿不能消除的剩余频移。

缩小电子管的电极,采用浅管脚和无管座结构,将迴路零件和电