

高頻迴路不穩定性的 溫度补偿

[捷] J. 普罗瓦兹著

陈良生译

李进良校



國際科學出版社

內 容 簡 介

原书系捷克文，由苏联外文出版社于1960年譯成俄文出版。本书系由俄譯本“Температурная компенсация неустойчивости высокочастотных контуров”轉譯出版。

书中叙述了設計、計算稳定的高频迴路的基本問題。在讲述溫度对迴路元件参数的影响时，着重于物理概念方面。书中列有許多可供实际应用的計算公式，还列举了一些典型的溫度补偿綫路的計算实例。

本书可供工程技术人員和科学研究人員閱讀、参考。

TEPLOTNÍ KOMPENSACE KMITOČTU VYSOKOFREKVENČNÍCH OBVODŮ

[捷] Josef Provaz

PRAHA 1958

STÁTNÍ NAKLADATELSTVÍ
TECHNICKÉ LITERATURY

*

高频迴路不稳定性的溫度补偿

陈良生譯

李进良校

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可証出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850 × 1168 $\frac{1}{32}$ 印張 5 $\frac{7}{8}$ 146 千字

1965年8月第一版 1965年8月第一次印刷 印数：0,001—3,000册

統一书号：15034·941 定价：(科七) 1.00元

作者原序

对无线电通信系统、专用和业务通信用设备、无线电信标和急救电台工作可靠性的日益增长的要求，以及为了最大限度地提高无线电广播质量的迫切愿望，促使着无线电接收机和发射机的参数不断地改进。无线电广播、通信和电视向更高的频段上的过渡，提出了一系列问题，这些问题的解决不仅关系着工作的质量，而且决定着一定系统在此波段运用的可能性。

无线电通信系统可靠工作的最重要的条件之一，就是通信线路发送端和接收端的频率的高度稳定性。稳定性问题受到世界各国的重视，这一事实证明了它的重要性。国际无线电諮詢委员会(CCIR)1956年华沙会议通过对发送电台频率稳定度的新建议，是这一问题重要性的最明显有力的证明。这里所规定的新的频率稳定度条件比上次在大西洋城（美国）会议上所通过的大约要严格一倍多。

新的通信方法（其中有单边带、多路电报）的运用对通信线路接收端频率稳定度的要求显著地提高了。

无线电设备频率的稳定是一个复杂的问题。导致频率不稳定的最重要的因素之一，是温度变化对发射机的主控振荡器或超外差接收机的本机振荡器的回路元件参数的影响。在计算高质量振荡器时，通常最大注意力集中在频率的温度稳定性问题上。

作者写这本书的动机是希望描绘出有关达到给定频率稳定度的方法，正确的设计与制造回路元件的方法，以及有关旨在消除回路及元件中温度变化影响的补偿计算方法等的大致轮廓。温度补偿问题的完全解决，不仅要求叙述消除温度变化的不良影响的方法，而且要让读者认识这一问题的本质，分析由于温度变化而

造成的元件的电气和结构参数的改变，以及研究无线电设备线路中这个或者那个部分容許的溫度不穩定度的数值。

本书前两章研究溫度关系，这是以后繼續深入分析和解决补偿問題的基础。在其余的章节中，是討論元件溫度系数的計算、实现自身（自动）补偿和确定有溫度补偿的迴路总的頻率溫度系数的方法等問題。

从书名可以看出，本书不打算解决頻率稳定的所有問題，也不打算討論某些利用自动頻率微調或用迴路元件恒溫等特殊方法来稳頻的問題。上面提到的这些特殊方法并不排斥利用合理选择元件参数及其相互补偿的方法来稳頻的必要性。这些方法的理論和实际应用問題都是值得特別注意的，但是它們的討論已經超出了本书的范围。

书末列举了若干討論溫度补偿問題的书目。其中大部分都只是部分地涉及這個問題。作者认为，出版一本从解决线路不同組成部分容許的不穩定度开始，到計算补偿元件制造公差的极限值为止的、討論这一問題所有方面的书籍，将会填补現有无綫电工程书籍中这方面的空白。

J. 普罗瓦茲

1956 年于布拉格

俄譯本校閱者序

現代無線電技術的發展，要求在現有波段內容納最大限度數目的無線電台，要求建立抗干擾性很高的、無需尋找即可溝通聯絡的無線電信道。所有這些，必然導致對發射機中的主控振盪器和接收機中的本机振盪器的頻率穩定度提出越來越高的要求。

目前解決無線電設備頻率穩定度問題的基本方向有三：

- 1) 採用晶体穩頻的自激振盪器；
- 2) 採用自動頻率微調系統；
- 3) 採用普通類型的自激振盪器，其迴路中決定振盪頻率的元件具有很高的穩定度。

前兩種方法可以獲得極高的頻率穩定度，但它們也具有一系列的缺點。無論是第一種方法還是第二種方法，都只能在波段的一個頻率或若干個不連續的頻率上實現穩頻。並且，採用上述方法必將導致無線電設備的線路和結構顯著的複雜化，工作可靠性勢必下降。

應用第三種方法的優點是，實際上不需要複雜的自激振盪器線路即可在一個連續的頻率範圍內實現穩頻，但它要求製造高質量的、通常是特殊結構的元件和採用高質量的材料。

應當指出，在大多數場合下，這種或者那種穩頻方法之間並不是彼此排斥的，在採用了某一種穩頻方法的同時，還可以採用另一種穩頻方法。例如，採用自動頻率微調並不排斥穩定自激振盪器迴路參數的必要性，因為剩餘頻率誤差與起始失諧成正比，而與自動微調系統的調整系數成反比，後者隨着起始失諧可能範圍的減小而增大。

近年來窄頻帶通信系統得到了廣泛的應用，這樣，對發射機和接收機其餘各級中迴路的頻率穩定度就提出了越來越高的要

求。要使这种窄頻带类型的通信（例如电报，单边带通信，发送频率的頻譜在动态压缩下的通信等）以及其他类型的通信设备能够正常地工作，充分发挥它们的优点，不仅要求自激振荡器，而且也要求发射机的中间级回路、接收机的高频放大器与中频放大器回路具有很高的频率稳定度。这些任务，实际上只有用第三种方法才能得到有成效地解决。

在造成振荡回路频率偏移的原因中，占首要位置的是振荡回路中的元件参数由于温度改变而引起的变化。我们不能同意作者的这样一种意见：与接收机的本机振荡器相比，由于发射机的主控振荡器工作于较窄的波段，因此，频率温度不稳定性只有在接收机中才有决定性的意义。其实，这样获得的温度稳定性的好处则全部为发射机的不稳定性所抵消，因为发射机主控振荡器的功率电平要比接收机本机振荡器高1~2个数量级，并且它与后面各级电路有着相当强的耦合。

目前，自激振荡器总的不稳定度的70~90%决定于温度条件的改变。因此，无论对无线电发送设备还是对接收设备的技术来说，和温度变化的影响作斗争是一项十分重要的任务。

由于在生产中运用新的高质量的材料和元件方面的巨大成就，目前已有可能在很多情况下利用参数稳定法将自激振荡器的频率稳定度提高到接近晶体振荡器的水平。这一事实使得发展参数稳定法的这一方向更具有重大的意义。

对温度稳定性问题最全面最系统的阐明发表于C. C. 阿尔申诺夫的专著“电子管振荡器频率的温度稳定性”（苏联国家动力出版社，1952年出版）。目前这本书已成为文献中的珍品。尽管在这方面存在着迫切的需要，在上述著作发表后，八年以来，苏联文献中却未出现过具有同等价值的书籍。捷克斯洛伐克工程师J. 普罗瓦兹论述振荡回路频率温度补偿问题的著作，在一定程度上可以弥补这个空白。该书在讨论问题的深度和广度方面不及C. C. 阿尔申诺夫的著作，书中很多地方引用了后者的材料。但是由于

該書在取材上選擇了最重要的課題，加之敘述簡明清晰，因而具有一定的價值，且便於廣大讀者應用。

按照推理順序，該書首先討論了振蕩迴路頻率的溫度穩定性的一般理論問題和振蕩迴路元件溫度系數的計算方法。然後在所得結論的基礎上闡述溫度補償的理論，說明獲得元件自身補償的一些方法。為了說明溫度補償的計算方法，書中若干章節的末尾列舉了很多計算實例。

雖然作者集中注意於解決無線電接收設備各級的溫度補償這一任務上，但是所得結論在研究無線電發送設備時也可以利用。

書中有許多有趣的新材料，利用這些材料可以使實際計算更為方便和準確。例如，採用單層電感綫圈形狀系數的簡單近似表示法，可以計算當計及形狀系數改變時的溫度系數。

此外，有必要談談對書中個別論點的一些意見。

為了減小可變電容器電容溫度系數的變化，作者建議尽可能減小動片的轉角。採用這一建議時應十分小心，因為頻率復蓋系數為給定時，動片轉角的減小會導致頻率準確度的降低。這樣造成的誤差在數值上可能超過由於減小電容溫度系數的變化而獲得的好處。

作者在書中好幾個地方斷言，空氣介質不會給電容器引入損耗。這一論斷不能認為永遠是正確的。在實際使用條件下經常會遇到這樣的情況，即當溫度、濕度急劇變化時，電容器的極片上將形成水膜或薄冰。這時電容器中的損耗將增加好幾倍。電容器結構零件上出現輝光放電時，損耗也會急劇增加。這是在很多情況下機器不得不採取密封、恆溫或利用吸濕器的原因之一。上述現象在工作條件比較惡劣（溫度差、濕度差和壓力差大）的航空設備中特別容易遇到。飛行高度增加時，击穿電壓下降達數倍之多，宇宙輻射的電離作用也加強了。

作者認為，當用一個電容器在波段的一點上實現溫度補償時，由於可變電容器溫度系數的變化，迴路頻率溫度系數的正負號在

波段的两端会改变，这个論断是不能令人信服的。虽然这种效应是存在的，但主要的、起决定作用的原因不在于此，而在于温度补偿电容器的电容量和迴路总电容量之間比例关系的改变。事实上，根据公式(120)，并联温度补偿线路的总的温度系数

$$\beta = \frac{\beta_1 C_1 + \beta_2 C_2}{C_1 + C_2},$$

式中 β_1 ——可变电容器 C_1 的温度系数；

β_2 ——温度补偿电容器 C_2 的温度系数。

如果令迴路总电容量

$$C_1 + C_2 = C,$$

則不难得出：

$$\beta = \beta_1 + (\beta_2 - \beta_1) \left(\frac{C_2}{C} \right).$$

令电感线圈的温度系数为 α ，得迴路频率温度系数的表示式

$$\gamma = -\frac{1}{2} \left[\alpha + \beta_1 + (\beta_2 - \beta_1) \frac{C_2}{C} \right].$$

温度补偿电容器的温度系数是負的，其数值較可变电容器的温度系数大 1~2 个数量級。遵守后一条件是必要的，因为只有这样才能使得补偿电容器的电容量远小于可变电容器的电容量，而不致明显地增加迴路的起始电容量。因此，虽然系数 β_1 在波段內是变化的，但差数 $\beta_2 - \beta_1$ 的符号是不变的，在迴路調諧过程中，迴路频率温度系数的最終符号将因第三項数值的改变而改变，第三項数值的改变是由于温度补偿电容器的电容量与迴路总电容量之間比例关系的改变而造成的。

由于本书篇幅有限，不允許作者进行推导和說明許多原始公式和半經驗关系式的来源。讀者如果对这些問題深感兴趣，可参考 C. C. 阿尔申諾夫的专著。

Д. 林捷 (Линде)

目 录

作者原序	3
俄譯本校閱者序	5
第一章 高頻迴路的頻率穩定度	11
§ 1 頻率穩定度與溫度變化的關係	11
§ 2 對高頻迴路穩定度要求的分析	12
第二章 固體參數溫度關係的物理基礎	25
§ 1 固體受熱時尺寸的增大	25
§ 2 高頻迴路溫度係數的一般定義	27
§ 3 零件尺寸的溫度關係	34
§ 4 介電常數的溫度關係	42
§ 5 磁導率的溫度關係	42
§ 6 金屬有效電阻的溫度關係	43
第三章 迴路元件溫度係數的計算	45
§ 1 電感溫度係數的計算	45
§ 2 電容器電容溫度係數的計算	73
第四章 迴路元件溫度係數的補償	101
§ 1 電感溫度係數最小的繞圈的製造工藝	101
§ 2 繞圈溫度係數的自身補償	106
§ 3 隨著頻率的變化電感溫度係數的改變	108
§ 4 溫度係數最小的電容器的製造工藝	109
§ 5 電容器溫度係數的自身補償	110

第五章 迴路的頻率溫度系数	114
§1 迴路頻率溫度系数的定义	114
§2 电容器混联时总的溫度系数	114
§3 电感綫圈混联时的溫度系数	117
§4 不同类型迴路的总的頻率溫度系数	118
§5 复杂綫路溫度系数的計算举例	120
第六章 頻率溫度补偿的理論和計算	122
§1 頻率溫度补偿的基本方程式	122
§2 具有固定調諧頻率的高頻迴路	123
§3 迴路在連續波段內的溫度补偿	125
§4 当电感溫度系数取决于頻率时的溫度补偿	149
§5 用可变电感調諧的迴路的頻率溫度补偿	156
§6 波段两端具有相同頻率偏移的溫度补偿	157
§7 对溫度补偿理論的簡評	158
第七章 溫度补偿时迴路頻率溫度系数沿整个波段的变化	160
§1 頻率溫度系数变化特性曲綫的确定	160
§2 迴路元件的制造公差对頻率溫度系数变化特性的影响	166
§3 寄生电容及其溫度系数对溫度补偿质量的影响	168
§4 用可变溫度补偿元件来保証必需的頻率溫度系数	169
第八章 溫度系数的測量	170
§1 零件溫度系数的測量	170
§2 頻率溫度系数的測量	175
§3 溫度系数的循环性和直綫性的測量	177
第九章 其他一些保証高頻迴路頻率溫度穩定度方法的探討	178
附录:	
书中公式 (98) 及相应結論的論証	179
参考文献	181
补充参考文献	182

高頻迴路不穩定性的 溫度补偿

〔捷〕J. 普罗瓦兹著

陈良生译

李进良校



國際科學出版社

內 容 簡 介

原书系捷克文，由苏联外文出版社于1960年譯成俄文出版。本书系由俄譯本“Температурная компенсация неустойчивости высокочастотных контуров”轉譯出版。

书中敘述了設計、計算稳定的高頻迴路的基本問題。在讲述溫度对迴路元件参数的影响时，着重于物理概念方面。书中列有許多可供实际应用的計算公式，还列举了一些典型的溫度补偿綫路的計算实例。

本书可供工程技术人員和科学研究人員閱讀、参考。

TEPLOTNÍ KOMPENSACE KMITOČTU VYSOKOFREKVENČNÍCH OBVODŮ

[捷] Josef Provaz

PRAHA 1958

STÁTNÍ NAKLADATELSTVÍ
TECHNICKÉ LITERATURY

*

高頻迴路不穩定性的溫度补偿

陈良生 譯

李进良 校

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可証出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850 × 1168 $\frac{1}{32}$ 印張 5 $\frac{7}{8}$ 146 千字

1965年8月第一版 1965年8月第一次印刷 印数：0,001—3,000册

統一书号：15034·941 定价：(科七) 1.00元

作者原序

对无线电通信系统、专用和业务通信用设备、无线电信标和急救电台工作可靠性的日益增长的要求，以及为了最大限度地提高无线电广播质量的迫切愿望，促使着无线电接收机和发射机的参数不断地改进。无线电广播、通信和电视向更高的频段上的过渡，提出了一系列问题，这些问题的解决不仅关系着工作的质量，而且决定着一定系统在此波段运用的可能性。

无线电通信系统可靠工作的最重要的条件之一，就是通信线路发送端和接收端的频率的高度稳定性。稳定性问题受到世界各国的重视，这一事实证明了它的重要性。国际无线电諮詢委员会(CCIR)1956年华沙会议通过对发送电台频率稳定度的新建议，是这一问题重要性的最明显有力的证明。这里所规定的新的频率稳定度条件比上次在大西洋城（美国）会议上所通过的大约要严格一倍多。

新的通信方法（其中有单边带、多路电报）的运用对通信线路接收端频率稳定度的要求显著地提高了。

无线电设备频率的稳定是一个复杂的问题。导致频率不稳定的最重要的因素之一，是温度变化对发射机的主控振荡器或超外差接收机的本机振荡器的回路元件参数的影响。在计算高质量振荡器时，通常最大注意力集中在频率的温度稳定性问题上。

作者写这本书的动机是希望描绘出有关达到给定频率稳定度的方法，正确的设计与制造回路元件的方法，以及有关旨在消除回路及元件中温度变化影响的补偿计算方法等的大致轮廓。温度补偿问题的完全解决，不仅要求叙述消除温度变化的不良影响的方法，而且要让读者认识这一问题的本质，分析由于温度变化而

造成的元件的电气和结构参数的改变，以及研究无线电设备线路中这个或者那个部分容許的溫度不穩定度的数值。

本书前两章研究溫度关系，这是以后繼續深入分析和解决补偿問題的基础。在其余的章节中，是討論元件溫度系数的計算、实现自身（自动）补偿和确定有溫度补偿的迴路总的頻率溫度系数的方法等問題。

从书名可以看出，本书不打算解决頻率稳定的所有問題，也不打算討論某些利用自动頻率微調或用迴路元件恒溫等特殊方法来稳頻的問題。上面提到的这些特殊方法并不排斥利用合理选择元件参数及其相互补偿的方法来稳頻的必要性。这些方法的理論和实际应用問題都是值得特別注意的，但是它們的討論已經超出了本书的范围。

书末列举了若干討論溫度补偿問題的书目。其中大部分都只是部分地涉及這個問題。作者认为，出版一本从解决线路不同組成部分容許的不穩定度开始，到計算补偿元件制造公差的极限值为止的、討論这一問題所有方面的书籍，将会填补現有无綫电工程书籍中这方面的空白。

J. 普罗瓦茲

1956 年于布拉格

俄譯本校閱者序

現代無線電技術的發展，要求在現有波段內容納最大限度數目的無線電台，要求建立抗干擾性很高的、無需尋找即可溝通聯絡的無線電信道。所有這些，必然導致對發射機中的主控振盪器和接收機中的本机振盪器的頻率穩定度提出越來越高的要求。

目前解決無線電設備頻率穩定度問題的基本方向有三：

- 1) 採用晶体穩頻的自激振盪器；
- 2) 採用自動頻率微調系統；
- 3) 採用普通類型的自激振盪器，其迴路中決定振盪頻率的元件具有很高的穩定度。

前兩種方法可以獲得極高的頻率穩定度，但它們也具有一系列的缺點。無論是第一種方法還是第二種方法，都只能在波段的一個頻率或若干個不連續的頻率上實現穩頻。並且，採用上述方法必將導致無線電設備的線路和結構顯著的複雜化，工作可靠性勢必下降。

應用第三種方法的優點是，實際上不需要複雜的自激振盪器線路即可在一個連續的頻率範圍內實現穩頻，但它要求製造高質量的、通常是特殊結構的元件和採用高質量的材料。

應當指出，在大多數場合下，這種或者那種穩頻方法之間並不是彼此排斥的，在採用了某一種穩頻方法的同時，還可以採用另一種穩頻方法。例如，採用自動頻率微調並不排斥穩定自激振盪器迴路参数的必要性，因為剩餘頻率誤差與起始失諧成正比，而與自動微調系統的調整系數成反比，後者隨着起始失諧可能範圍的減小而增大。

近年來窄頻帶通信系統得到了廣泛的應用，這樣，對發射機和接收機其餘各級中迴路的頻率穩定度就提出了越來越高的要

求。要使这种窄頻带类型的通信（例如电报，单边带通信，发送频率的頻譜在动态压缩下的通信等）以及其他类型的通信设备能够正常地工作，充分发挥它们的优点，不仅要求自激振荡器，而且也要求发射机的中间级回路、接收机的高频放大器与中频放大器回路具有很高的频率稳定度。这些任务，实际上只有用第三种方法才能得到有成效地解决。

在造成振荡回路频率偏移的原因中，占首要位置的是振荡回路中的元件参数由于温度改变而引起的变化。我们不能同意作者的这样一种意见：与接收机的本机振荡器相比，由于发射机的主控振荡器工作于较窄的波段，因此，频率温度不稳定性只有在接收机中才有决定性的意义。其实，这样获得的温度稳定性的好处则全部为发射机的不稳定性所抵消，因为发射机主控振荡器的功率电平要比接收机本机振荡器高1~2个数量级，并且它与后面各级电路有着相当强的耦合。

目前，自激振荡器总的不稳定度的70~90%决定于温度条件的改变。因此，无论对无线电发送设备还是对接收设备的技术来说，和温度变化的影响作斗争是一项十分重要的任务。

由于在生产中运用新的高质量的材料和元件方面的巨大成就，目前已有可能在很多情况下利用参数稳定法将自激振荡器的频率稳定度提高到接近晶体振荡器的水平。这一事实使得发展参数稳定法的这一方向更具有重大的意义。

对温度稳定性问题最全面最系统的阐明发表于C. C. 阿尔申诺夫的专著“电子管振荡器频率的温度稳定性”（苏联国家动力出版社，1952年出版）。目前这本书已成为文献中的珍品。尽管在这方面存在着迫切的需要，在上述著作发表后，八年以来，苏联文献中却未出现过具有同等价值的书籍。捷克斯洛伐克工程师J. 普罗瓦兹论述振荡回路频率温度补偿问题的著作，在一定程度上可以弥补这个空白。该书在讨论问题的深度和广度方面不及C. C. 阿尔申诺夫的著作，书中很多地方引用了后者的材料。但是由于

該書在取材上選擇了最重要的課題，加之敘述簡明清晰，因而具有一定的價值，且便於廣大讀者應用。

按照推理順序，該書首先討論了振盪迴路頻率的溫度穩定性的一般理論問題和振盪迴路元件溫度系數的計算方法。然後在所得結論的基礎上闡述溫度補償的理論，說明獲得元件自身補償的一些方法。為了說明溫度補償的計算方法，書中若干章節的末尾列舉了很多計算實例。

雖然作者集中注意於解決無線電接收設備各級的溫度補償這一任務上，但是所得結論在研究無線電發送設備時也可以利用。

書中有許多有趣的新材料，利用這些材料可以使實際計算更為方便和準確。例如，採用單層電感綫圈形狀系數的簡單近似表示法，可以計算當計及形狀系數改變時的溫度系數。

此外，有必要談談對書中個別論點的一些意見。

為了減小可變電容器電容溫度系數的變化，作者建議尽可能減小動片的轉角。採用這一建議時應十分小心，因為頻率復蓋系數為給定時，動片轉角的減小會導致頻率準確度的降低。這樣造成的誤差在數值上可能超過由於減小電容溫度系數的變化而獲得的好處。

作者在書中好幾個地方斷言，空氣介質不會給電容器引入損耗。這一論斷不能認為永遠是正確的。在實際使用條件下經常會遇到這樣的情況，即當溫度、濕度急劇變化時，電容器的極片上將形成水膜或薄冰。這時電容器中的損耗將增加好幾倍。電容器結構零件上出現輝光放電時，損耗也會急劇增加。這是在很多情況下機器不得不採取密封、恆溫或利用吸濕器的原因之一。上述現象在工作條件比較惡劣（溫度差、濕度差和壓力差大）的航空設備中特別容易遇到。飛行高度增加時，击穿電壓下降達數倍之多，宇宙輻射的電離作用也加強了。

作者認為，當用一個電容器在波段的一點上實現溫度補償時，由於可變電容器溫度系數的變化，迴路頻率溫度系數的正負號在