

Ku 波段宽带机调耿氏振荡器

谢家德 徐崇莲 荣志一

(亚光电工厂, 成都)

摘要 本文介绍了 Ku 波段宽带机械调谐耿氏振荡器的实用电路结构、设计原则以及运用双金属补偿技术得到的实验结果。振荡器输出功率为 50—120 mW; 机调范围一般为 1000—1500 MHz, 最宽优于 2500 MHz; 频率温度系数一般小于 0.07 MHz/°C, 最低优于 0.01 MHz/°C; 功率温度系数一般小于 0.015 dB/°C, 最低优于 0.007 dB/°C。

关键词 耿氏振荡器; 宽频带; 机械调谐; 双金属补偿; 频率温度系数

一、引言

随着科学技术的进步, 固态微波振荡器的开发和应用发展很快, 在军事和民用领域获得了极为广泛的应用。70 年代, 国外 IMPATT 振荡器倍受重视, 应用较普遍^[1,2]。国内厘米波段 IMPATT 振荡器曾兴盛一时; 然而, 由于自身的弱点使应用受到限制, 近年几乎消声匿迹。但是, 在毫米波和大功率方面的研究, 目前仍在继续进行^[3]。近十多年来, 随着 GaAs 材料、电路工艺和技术的不断发展, GaAs · FET 振荡器掘起, 在 S 至 X 波段报道了许多优秀成果, 其性能可与耿氏振荡器媲美^[4,5]; 而且应用范围正在扩大, 逐步能与耿氏振荡器并驾齐驱。但是, 自耿氏振荡器面世至今 20 多年来, 研究和应用持续发展, 特别在毫米波频段, 最近几年发展迅速, 涌现出许多种类、结构各异的耿氏振荡器, 并逐步进入实用阶段^[6]。

随着 Ku 波段微波系统、整机的不断发展, 对 Ku 波段耿氏振荡器的需求逐年增加, 作者根据工程需要成功地研制和小批量生产了 Ku 波段宽带机调耿氏振荡器。

二、振荡器结构

在 Ku 波段耿氏振荡器设计中, 选用具有中等 Q 值的圆柱腔结构, 取 E_{010} 工作模式, 2T6 型同轴封装耿氏管作有源器件, 采用 BJ-140 标准波导或 L16 型同轴输出。为实现电气性能指标最佳, 采用分频段进行电路结构优化设计。振荡器实用电路结构示于图 1。图中左边表示谐振腔、调谐机构和输出结构示意图, 右边表示耿氏管在谐振腔端盖上的安装位置和安装方式。

由图 1 可见,一根不接触式金属杆伸入谐振腔内实现振荡器工作频率的宽带机调,并且形成了电容压缩效应,构成压缩形圆柱腔。

在振荡器输出端口附近,设计了功率耦合调节装置,根据不同需要随意调节输出的大小(即调节 Q_L),以便实现电路与负载的最佳耦合和最佳匹配。

为实现器件与电路的紧耦合,将耿氏管安放于电场(或磁场)最强的地方。根据器件封装和耦合方式的不同,耿氏管采用半埋入或不埋入结构。穿心电容心线既是耿氏管的偏置线,又作器件同电路的耦合线。通过调整器件安装参量和耦合线位置及形状,便可实现器件与电路之间的最佳耦合。

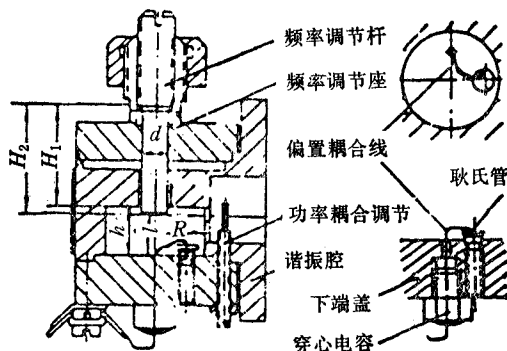


图1 振荡器电路结构

三、振荡器设计

一个完整的振荡器设计包括谐振腔、调谐装置、偏置电路和输出结构等部分。本文仅着重介绍谐振腔和双金属补偿结构的设计思想和设计原则。

1. 谐振腔结构尺寸设计

确定压缩形圆柱腔结构尺寸的基本原则是依据一般圆柱腔设计公式,考虑到压缩形圆柱腔的特点和耿氏管大信号条件下的低阻抗特性和引入电路中的寄生参量进行修正,得到计算压缩形圆柱腔结构尺寸的经验公式为

$$D = 2 \times 10^5 / f \text{ (mm)} \quad (1)$$

$$h \approx 0.6 D \text{ (mm)} \quad (2)$$

$$d \approx 0.25 D \text{ (mm)} \quad (3)$$

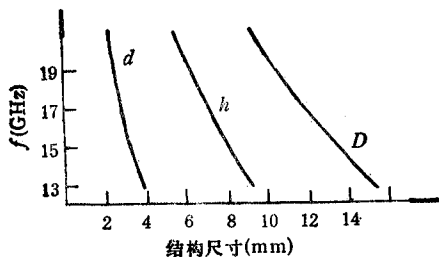


图2 振荡器工作频率与结构尺寸的关系

D ——谐振腔直径, h ——谐振腔高度, d ——调谐杆直径

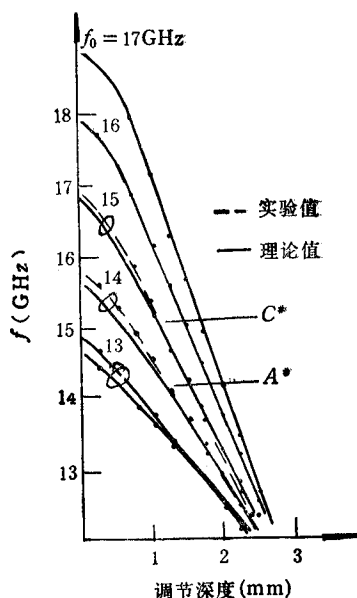


图3 振荡器的机械调谐率

式中, D 为压缩形圆柱腔直径, h 为压缩形圆柱腔高度, d 为频调谐杆直径, f 为振荡器工

作频率 (MHz)。由 (1)、(2)、(3) 式可得到压缩形圆柱腔工作频率与结构尺寸的关系如图 2 所示。由图可见, 给定 f 后, 即可得到压缩形圆柱腔的结构尺寸。

E_{010} 模式压缩形圆柱腔工作频率 f 由下式计算^[7]

$$f = \frac{c}{2\pi} \left[\frac{dh}{2} \left(\frac{d}{4l} + \frac{2}{\pi} \ln \frac{eL_M}{l} \right) \ln \frac{D}{d} \right]^{-1/2} \quad (4)$$

式中, c 为光速, $e = 2.718$, $L_M = [(D/2 - d/2)^2 + h^2]^{1/2}/2$, l 为调谐杆端部至腔底的

距离。(4) 式两端对 l 求导, 并利用计算机辅助计算, 得到振荡器的机械调谐率, 如图 3 所示。图中实线为理论值, 虚线为实验值, A^* 和 C^* 为振荡器代号。

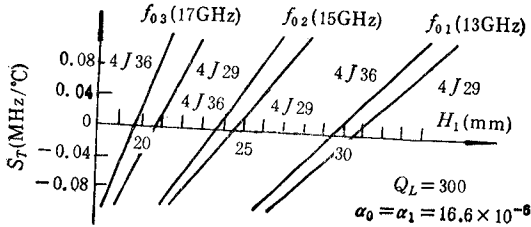


图 4 振荡器的频率温度系数 S_T 与调谐座高 H_1 的关系

端部位置 l 是振荡器工作频率的敏感函数。如果调谐座和调谐杆膨胀系数不同, 当环境温度变化时, 调谐装置所引起的频率变化可以补偿(抵消)耿氏管和电路(谐振腔)等所产生的频率漂移, 这就是通常所说的双金属补偿。

对于压缩形圆柱腔结构, 振荡器频率温度系数为

$$(\partial f / \partial T) / f_0 = (\partial f_0 / \partial T) / f_0 + (\partial \phi_D(T) / \partial T) / (2Q_L)$$

记作

$$S_T = S_0 + S_D \quad (5)$$

式中, $S_T = (\partial f / \partial T) / f_0$, 振荡器频率温度系数; $S_0 = (\partial f_0 / \partial T) / f_0 = -\alpha_0 + (H_1\alpha_1 - H_2\alpha_2) \cdot (\partial f / \partial l) / f_0$, 表示谐振腔和调谐装置频率温度系数的总和; $S_D = (\partial \phi_D(T) / \partial T) / (2Q_L)$, 表示耿氏器件在 Q_L 电路条件下的频率温度系数, 其中 $\partial \phi_D(T)$ 是耿氏器件自身温度性能的函数; 对于理想渡越模式, $S_D = \pi \times 10^{-3} / Q_L$, 因此, 可将 (5) 式改写为

$$S_T = -\alpha_0 + (H_1\alpha_1 - H_2\alpha_2) \cdot (\partial f / \partial l) / f_0 - \pi \times 10^{-3} / Q_L \quad (6)$$

式中, α_0 , α_1 和 α_2 分别为谐振腔、调谐座和调谐杆的膨胀系数; H_1 为调谐座高度 (mm), H_2 为频率调谐杆长度, 通常 $H_2 = H_1 + h/2 + \lambda_g/4$ (mm); $\partial f / \partial l$ 为 f_0 附近的机械调谐率; Q_L 为振荡电路的有载 Q 值, 与谐振腔 Q_0 和负载特性有关。

当 Q_L 取值为 300, $\alpha_0 = \alpha_1 = 16.6 \times 10^{-6}$ (黄铜), 对不同的 f_0 , $\partial f / \partial l$, α_2 , 由 (6) 式算得的振荡器的频率温度系数 S_T 与调谐座高 H_1 的关系如图 4 所示。利用图 4 可查得不同频率温度系数 S_T 和不同补偿材料 (α_2 不同) 对应的频率调谐座高度 H_1 。对完全理想补偿的调谐座高 H_1 与 S_T 为零相对应。因此, 图 4 可作为振荡器的双金属补偿结构设计依据。

四、实验结果

1. 关键实验技术

(1) 改变振荡器电路安装参量,使器件与电路实现紧耦合;同时使器件与电路达到最佳匹配。

(2) 调整功率耦合调节,使电路与负载实现紧耦合并达到最佳匹配。

(3) 针对耿氏器件温度性能离散的特点,进行灵活的双金属补偿(即变换 α_2 不同的频率调谐杆)。

(4) 根据电压频率特性和电压功率特性恰当选取偏置工作点。

2. 实验结果

(1) 振荡器机械调谐率测试结果示于图 3。由图可见,振荡器的机械调谐率高达 1.2—2.5 GHz/mm。因此有利于宽带机调和有效的双金属补偿;而且 df/dl 随 f_0 的提高而增大。由于 df/dl 局部呈现非线性,因而要求振荡器工作于线性区方能实现宽带机调和有效的双金属补偿。

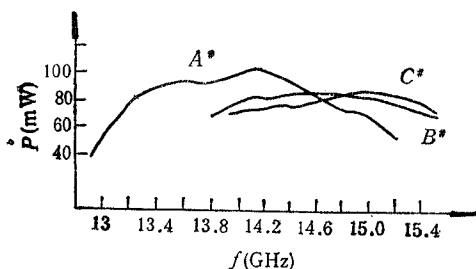


图 5 振荡器机械调谐带宽特性
A*, B*, C*——振荡器代号

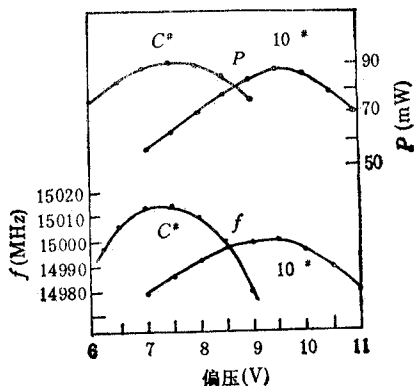


图 6 振荡器频率、功率与偏压的关系
(C*, 10*——振荡器代号)

(2) 振荡器机调带宽特性示于图 5。由图可见,当固定功率耦合调节,输出功率大于 80 mW 的机调范围超过 1 GHz; 大于 50 mW 的机调范围超过 2.2 GHz; 而且带内功率变化平缓。如果跟踪调整功率耦合调节,可实现 4—5 GHz 的机调带宽。实验表明,机调范围及其间功率起伏与耿氏器件、偏置工作点、功率耦合调节、频率调谐杆的同轴度等因素相关。

(3) 振荡器频率、功率与偏压的关系示于图 6。图 6 表明,振荡器频率、功率都存在极大值。而且不同振荡器的极大值所对应的偏置工作点也不同。可见,每个振荡器都存在不同的最佳偏置工作点。在实际应用中,通常都根据振荡器推频特性选取最佳偏置工作点;而对于功率稳定性要求很高的场合,则须根据功率电压特性选取偏置工作点。

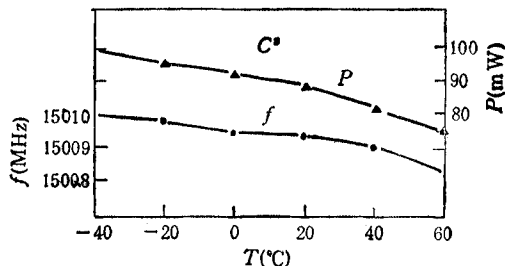


图 7 振荡器的温度特性

(4) 振荡器温度特性示于图 7。在 -40—+60°C 范围内,振荡器频率的温度系数为

0.028 MHz/°C, 功率的温度系数小于 0.01 dB/°C。理论和实践都表明, 振荡器的温度特性主要依赖于耿氏管和电路特性。大量的测试结果表明, 当电路采用双金属补偿之后, 通常可使振荡器的频率温度系数降低 1—2 个数量级。由此可见, 振荡器设计中引入双金属补偿, 对于改善振荡器的频率温度特性效果非常显著。

五、结 论

研究表明, 振荡器的频率温度性能与其外部特性——推频特性密切相关; 而振荡器的推频特性强烈依赖于耿氏器件、电路特性、负载特性和安装参量等因素。通常, 推频系数的大小亦表明振荡器频率温度特性的优劣。因此, 在耿氏振荡器的研制过程中, 必须充分重视推频特性的详尽观测, 并进行认真分析研究。确定最佳偏置工作点。

实践表明, 针对耿氏器件温度性能差而且离散性大的特点, 采用灵活而有效的双金属补偿, 可使振荡器的温度特性得到显著改善。同时, 根据振荡器推频特性恰当选取偏置工作点以及适当调整电路的安装参量和电路的有载 Q 值, 也是改善振荡器频率温度特性的重要环节。

实验结果表明, 本文介绍的 Ku 波段耿氏振荡器, 机调范围一般为 500—1500 MHz, 最宽宽于 2500 MHz; 输出功率为 50—120 mW; 而且机调带内功率起伏小; 频率温度系数一般小于 0.07 MHz/°C, 最低低于 0.01 MHz/°C; 功率温度系数一般小于 0.015 dB/°C, 最低低于 0.007 dB/°C; 而且具有结构紧凑、体积小、重量轻、电源简单、使用方便等优点。

在研制和小批量生产过程中, 得到九七〇厂制管工段的有力支持, 曾明哲工程师在电路结构工艺上给予帮助, 此外还得到有关单位的支持和配合, 在此一并感谢。

参 考 文 献

- [1] G. Pfund, et al., *IEEE Trans., on MTT*, MTT-22 (1974) 12, 1134—1140.
- [2] C. T. Rucker, et al., *IEEE Trans. on MTT*, MTT-27 (1979) 12, 951—957.
- [3] 杨玉芬, 固体电子学研究进展, 1989 年, 第 3 期, 第 326—330 页.
- [4] 李英, 电磁介质谐振器与应用, 电子工业出版社, 1989 年, 北京, 第 458—505, 548—550 页.
- [5] 王林田, 刘鹏, 介质谐振器在振荡器方面的应用, 推广与应用微波介质谐振器学术交流会论文集, 陕西华阳, 1986 年 12 月, 中国通信学会等, 第 29—50 页.
- [6] 吴正德等, 3 mm 频段关键部件的研究, 全国毫米波计量测试技术发展研讨会论文集, 北京, 1988 年, 中国计量测试学会, 第 211—225 页.
- [7] 谢家德, 电子学报, 1988 年, 第 4 期, 第 118—119 页.
- [8] 谢家德, 微波通信, 1986 年, 第 2 期, 第 32—41 页.

A Ku-BAND BROADBAND MECHANICAL TUNING GUNN OSCILLATOR

Xie Jiade Xu Chonglian Rong Zhiyi

(Yaguang Electronic Engineering Factory, Changdu)

Abstract The design principles and a practical circuit of a Ku-band broadband mechanical tuning Gunn Oscillator is described. The oscillator is stabilized by bimetal compensation. Its power output is 50 to 120mW; the mechanical tuning bandwidth is 1000 to 1500 MHz, its maximum value is 2500MHz; the typical frequency temperature coefficient is less than 0.07MHz/°C, its minimum value is 0.01MHz/°C; and the typical power temperature coefficient is less than 0.015dB/°C, its minimum value is 0.007dB/°C.

Key words Broad-band Gunn oscillator; Broadband; Mechanical tuning; Bimetal compensation; Frequency temperature coefficient