

6 mm 介质稳频微带耿氏振荡器

赵大德 曹金荣 邓衍茂 秦洪桂 汤炳谦 张闻辉

(南京电子器件研究所, 江苏, 南京, 210016)

摘要 报道了一种使用介质谐振器稳频的高性能和高稳定的 6mm 全微带 GaAs 耿氏振荡器. 频率在 44.6 GHz 时, 输出功率为 102 mW; 频率温度系数为 4.8 ppm/°C.

关键词 毫米波, 微带振荡器, 介质谐振器, 稳频.

引言

介质稳频毫米波微带耿氏振荡器具有高稳定、体积小、重量轻、加工调试方便、重复性好和便于集成等优点. 因此, 毫米波全微带介质稳频 GaAs 耿氏振荡器对于全集成毫米波接收机有着广泛应用前景. 为了获得最佳阻抗匹配以实现大功率输出, 需对微带布局进行修正^[1,2], 本文介绍一种新颖且布局简单的高 Q 介质谐振器稳频的 6 mm 全微带 GaAs 耿氏振荡器. 采用 GaAs 耿氏器件的封装转换阻抗和耿氏器件阻抗组合法, 完成 6 mm 振荡器的最佳电路设计和最佳拓扑设计. 得到的实验结果与计算结果一致, 这表明本设计是可行的, 本方法通过简单修正并可推广应用于 W 波段振荡器、VCO 及微带功率组合器的设计. 这一振荡器不必对微带电路进行任何修正, 易得到最佳匹配, 并实现很高的输出功率, 表明了最佳阻抗匹配方法的优点, 并采用高 Q 介质谐振器稳频, 实现无源注入锁定, 获得了非常满意的结果: 频率温度系数为 4.8 PPM/°C; 输出功率高达 102 mW.

1 振荡器的原理

振荡器的等效电路如图 1 所示^[3], L 表示参考面和谐振器中心之间的距离. 从等效面 AA' 向左、右看去, 等效电路可简化为图 2 的形式. 由图 2 可知, 产生振荡的条件为:

$$Z_d + Z_L = 0. \quad (1)$$

写成振幅和相位平衡条件为:

$$-r_d(\omega V_{AC}) + r_L(\omega) = 0. \quad (2)$$

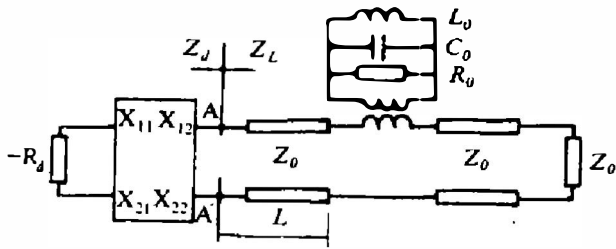


图 1 振荡器的等效电路
Fig. 1 Equivalent circuit of oscillators

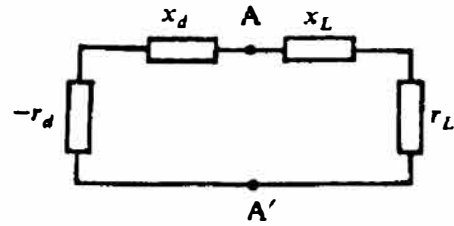


图 2 简化后的振荡器等效电路
Fig. 2 Simplified equivalent circuit of oscillators

$$X_d(\omega V_{AC}) + X_L(\omega) = 0, \quad (3)$$

式 (2) 和式 (3) 中 ω 为振荡角频率, V_{AC} 为振荡交流电压振幅. 由于耿氏管的阻抗在大信号下, Z_d 是 ω 和 V_{AC} 的非线性函数. 求解式 (2) 和式 (3) 的解析解是困难的, 但通过简化分析, 可得到实用的结论为^[3]:

设 $L = \lambda_g/4$ 时

电阻

$$r_L = 1 - \frac{(e-1)e}{e^2 + (2\theta_0\delta)^2}, \quad (4)$$

电抗

$$X_L = \frac{(e-1)2\theta_0\delta}{e^2 + (2\theta_0\delta)^2}, \quad (5)$$

$$e = 1 + \frac{k^2 R_0}{Z_0}, \quad (6)$$

$$\delta = \frac{f - f_0}{f_0}, \quad (7)$$

$$\theta_0 = \omega_0 C_0 R_0, \quad (8)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}}, \quad (9)$$

式 (4)~(9) 中 e 为微带线上的电压驻波比; λ_g 为微带线上波长; k 为微带线与介质谐振器之间的耦合系数; f_0 为谐振器的谐振频率; θ_0 为谐振器的空载 Q 值.

根据式 (4)~(9), 可画出随频率 f 变化的阻抗曲线 (见图 3). 由图 3(a) 可见, 归一化负载阻抗 $Z_L = r_L + jX_L$ 中的实数部分电阻与频率的关系曲线. 由图 3(b) 可见, 在 II 区内, 只有 $dX_L/df > 0$ 时, 才能满足振荡相位稳定条件. II 区的宽度为

$$\delta_{II} = \frac{e}{\theta_0}. \quad (10)$$

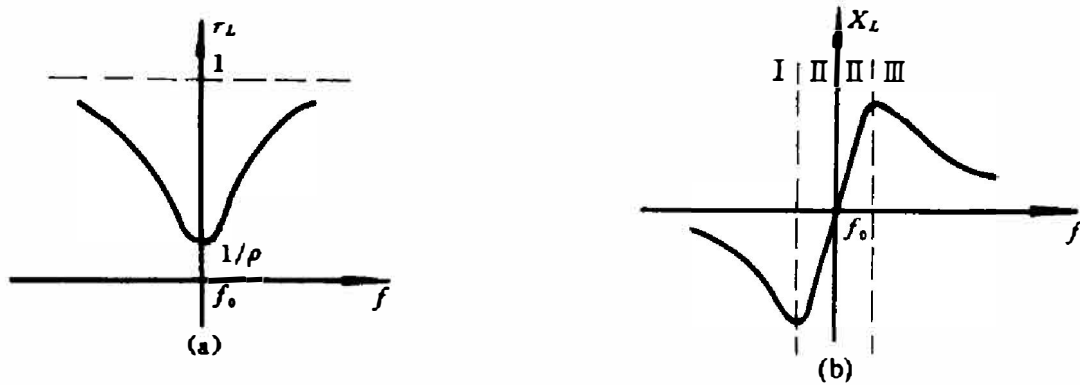


图 3 电阻、电抗与频率关系

(a) 负载电阻; (b) 负载电抗

Fig. 3 Resistance and reactance vs. frequency

(a) the load resistance; (b) the load reactance

2 频率稳定度

微带构成的微波振荡器的频率稳定性能较差, 其主要原因是, 回路的 Q 值不高, 又不易与高 Q 值的稳频腔配合使用. 近年来, 由于高 Q 值、高介电常数介质谐振器的出现, 使毫米波微带结构振荡器的频率稳定性能大大改善. 影响介质稳频微带振荡器频率稳定度的三个因素是: (1) 介质谐振器; (2) 耿氏管电抗 X_d ; (3) 谐振器和二极管间的微带线电长度 θ . 假设谐振频率偏差是在 f_{00} 到 $f_{00} + \Delta f_0$ 变化, 则振荡频率变化 Δf_T 与温度变化 ΔT 的关系式如下^[4]:

$$\frac{1}{f_{00}} \cdot \frac{\Delta f_T}{\Delta T} = \frac{1}{f_{00}} \cdot \frac{\Delta f_0}{\Delta T} - \frac{e_1^2}{2(e_1 - 1)Q_0} \cdot \frac{\Delta X_d}{\Delta T} - \frac{e_1 + 1}{2Q_0} \frac{\Delta \theta}{\Delta T} = S_1 - S_2 - S_3, \quad (11)$$

$$S_1 = \frac{1}{f_{00}} \cdot \frac{\Delta f_0}{\Delta T}, \quad (12)$$

$$S_2 = \frac{e_1^2}{2(e_1 - 1)Q_0} \cdot \frac{\Delta X_d}{\Delta T}, \quad (13)$$

$$S_3 = \frac{e_1 + 1}{2Q_0} \cdot \frac{\Delta \theta}{\Delta T}; \quad (14)$$

式中 e_1 为谐振器的 VSWR, Q_0 是谐振器的无载 Q 因子, $\theta = \frac{1}{2}(2n + 1)\pi$.

S_1 、 S_2 和 S_3 分别表示谐振频率、 X_d 和 θ 变化所引起的振荡频率的温度系数^[4]. 由于依靠电路工艺来减少 S_2 和 S_3 有困难, 因此, 只有选择具有较大温度系数 τ_{cf} 的介质谐振器, 才能使式 (11) 中的 S_1 与 S_2 、 S_3 之和相抵消. 值得注意的是毫米波介质谐振器的 Q 值会随 τ_{cf} 的增大而降低. 除了选取适当的 τ_{cf} 值的高 Q 值介质谐振器外, 还要选取适当的介质谐振器与微带线间距离, 以实现较好的频率稳定度.

3 振荡器设计

6 mm 介质稳频微带耿氏振荡器的电路布局及微带与波导转接器总体照片如图 4 所示.

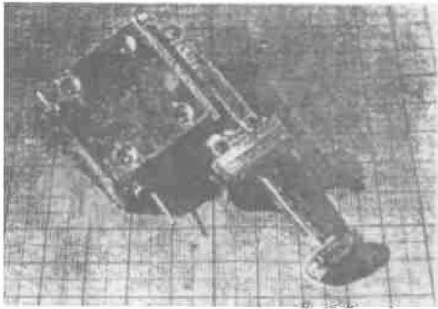


图 4 振荡器外形
Fig. 4 Photograph
of the oscillator

振荡器的电路布局, 由封装的耿氏二极管、介质谐振器和制作在 Duroid 介质上的微带电路所组成. Duroid 上覆盖的 Cu 和 Au 的厚度分别为 $14\mu\text{m}$ 和 $0.7\mu\text{m}$. 我们使用南京电子器件研究所研制的 GaAs 耿氏器件. 设计时考虑在毫米波频率下封装寄生参数的影响, 通过下式可计算出管壳转换阻抗 Z_T 为

$$R_s(Z_T) = R_L / (1 + W^2 C_P^2 R_L^2), \quad (15)$$

式 (15) 中, R_L 为转换负载阻抗; C_P 为耿氏二极管管壳封装电容.

我们采用 Z_T 与最佳阻抗的组合法, 完成了振荡器最佳电路设计, 制成了 6 mm 介质稳频微带振荡器, 高 Q 值介质谐振器的介电常数 $\epsilon_r = 37$; 温度系数 $\tau_{cf} = 2\text{ppm}/^\circ\text{C}$, 无载 Q 值约为 2000, 通过调节介质谐振器与微带线耦合强弱的程度能改善频率稳定性^[5].

4 振荡器性能

为了测试 6 mm 介质稳频微带振荡器, 必须使用 6 mm 微带与波导转接器. 我们采用自制探针式微带-波导瞬变来实现 6 mm 微带与波导转换, 显而易见, 当振荡器与其它集成电路元件集成时, 就不用上述微带与波导转换接头. 振荡器的频率与功率特性如图 5 所示. 频率在 44.6 GHz 时, 测得最大输出功率为 102 mW (耿氏二极管的标称功率是 108 mW),

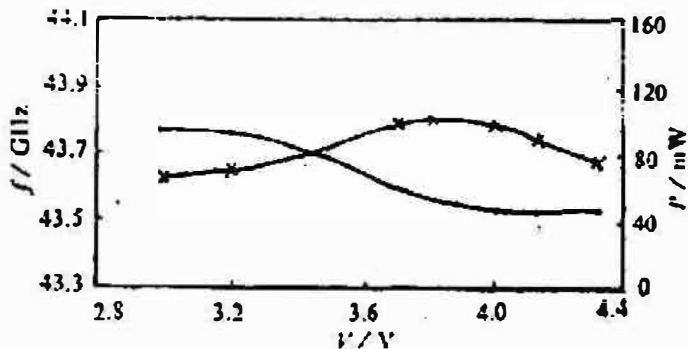


图 5 振荡器的频率与功率特性
Fig. 5 Characterization of power
and frequency of the oscillator

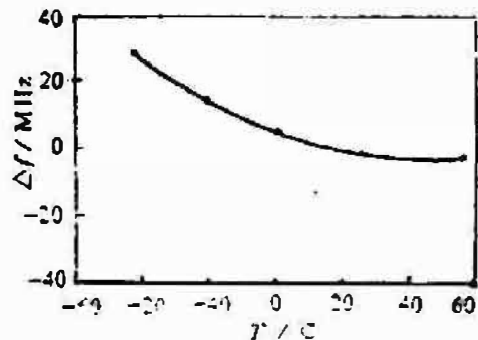


图 6 振荡器的频率温度性能
Fig. 6 Temperature dependence
of frequency of the oscillator

这表明微带电路所释放出的二极管有用功率达 94%。但是微带与波导的瞬变难以最佳化, 微带与波导转换器的最小插损 (包含微带电路在内) 设为 0.3 dB, 则微带振荡器的实际输出功率将高达 109 mW, 达到了所使用耿氏二极管的功率值, 这表明该微带振荡器的阻抗匹配电路的设计已最佳化。图 6 表明 6 mm 介质稳频微带振荡器的频率温度性能, 当温度从 -43°C 变化到 $+57^{\circ}\text{C}$ 时, 相应的频率变化为 33 MHz, 即频率温度系数 $\frac{\Delta f}{f_0} \cdot \frac{1}{\Delta T}$ 为 6.8 ppm/ $^{\circ}\text{C}$; 当温度从 -22°C 变化到 $+57^{\circ}\text{C}$ 时, 相应的频率变化为 1.8 MHz, 表明该振荡器的频率温度系数为 4.8 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ 。实验还表明, 使用介质谐振器的稳频, 可将频率稳定度提高 5 倍以上。

5 结语

研制成的 6 mm 介质稳频全微带 GaAs 耿氏振荡器, 在 44.6 GHz 下, 获得 102 mW 的输出功率; 频率温度系数为 4.8 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ (环境温度为 $-22 \sim +55^{\circ}\text{C}$)。该振荡器具有体积小、重量轻、高稳定、成本低廉、加工调式方便和易于集成等优点; 可在要求体积小、重量轻的全集成前端中作为本振系统; 它将以一种新型的毫米固态源出现, 广泛用于电子工程、通信及遥感技术等领域。振荡器结构经简单调整可成为 V_{CO} 和功率组合器。

致谢 对陶品才, 谭晶子和叶明等同志的支持表示感谢。

参考文献

- 1 David Rubin. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, 1976, MTT-24(11):866
- 2 Dasyoush A S. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, 1986, MMT-34(S):109
- 3 Toshihiko Mskino, et al. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, 1979, MTT-27(7):633
- 4 Nobuaki Imai. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, 1985, MTT-33(3):242
- 5 Liang Xiaopeng. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, 1990, MTT-38(S):395

6 mm MICROSTRIP GUNN OSCILLATOR USING A DIELECTRIC RESONATOR

Zhao Dade Cao Jinrong Deng Yanmao
Qin Honggui Tang Binqian Zhang Wenhui

(Nanjing Electronic Devices Institute, Nanjing, Jiangsu 210016, China)

Abstract A high-performance and stable 6 mm full microstrip GaAs Gunn oscillator with a dielectric resonator is reported. A cw output power of 102 mW at 44.6 GHz is obtained and the frequency stability of 4.8 ppm/°C is achieved.

Key words millimeter-wave, microstrip oscillator, dielectric resonator, frequency stabilization.