

1. 25cm 体效应振荡器研制*

陈国强 赫崇骏

(电子技术系)

摘要 文中讨论了一种 1.25cm 波段的波导型体效应振荡器。其主腔采用可调节的同轴减高波导座结构,使电路与二极管实现良好匹配。文中着重讨论了主腔各部尺寸对振荡器特性的影响。稳频腔采用高 Q 值的 H_{011} 模式圆柱腔,并采用线胀系数不同的金属材料进行温度补偿,提高了频率稳定度。利用 WT55 型体效应管,在 23—25GHz 频带内,功率输出大于 30mw,频率稳定度为 5×10^{-5} 。

关键词 微波,波导,振荡器,1.25cm 波段,体效应管

分类号 TN815

波导型谐振腔与同轴型、微带型谐振腔相比,具有较高的 Q 值,故波导型体效应振荡器能取得较大的振荡功率和较高的频率稳定度。基于此,我们研制了一种 1.25cm 波段的波导型体效应管振荡器,如图 1。

振荡器以反射型高 Q 稳频电路为基础,主要由调配体效应管端阻抗的同轴减高波导座和控制频率的高 Q 腔组成。体效应管安装在同轴线的一端,另一端作为调配电抗之用。直流功率通过中导体加给体效应管,经稳频腔点频反射后,获得功率输出。阻抗变换段的作用是减小因特性阻抗的跃变而引起的反射。输出端装有滑动螺钉调配器,使振荡器负载有较好的匹配,实现较大的功率输出。

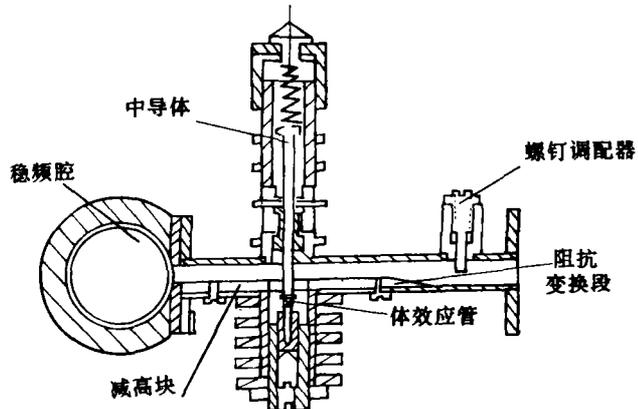


图1 振荡器结构示意图

输出端的作用是减小因特性阻抗的跃变而引起的反射。输出端装有滑动螺钉调配器,使振荡器负载有较好的匹配,实现较大的功率输出。

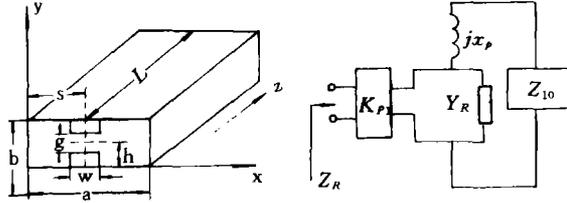
1 同轴减高波导座的设计

同轴减高波导座是体效应管的安装之处,是该振荡器的关键。通过对座的策动点阻抗 Z_r 进行优化,得到合适的座结构参数,使波导座与体效应管相匹配。

根据文献[1][2],对图2的脊波导,当在 $Z=L$ 处短路时,同阶 TE_{mn} , TM_{mn} 模的阻抗称为模对阻抗,其值为

* 1991年11月25日收稿

$$Z_{mn} = (1 + e^{-2\Gamma_{mn}L}) \frac{j\eta b}{ak(2 - \delta_0)} \cdot \frac{k^2 - k_y^2}{\Gamma_{mn}} \quad (1)$$



(a) 脊波导座结构 (b) 脊波导座等效电路

图 2

第 n 次谐波阻抗

$$Z_n = \sum_{m=1}^{\infty} Z_{mn} \left(\frac{k_{pm}}{k_{rn}} \right)^2 = \frac{j\eta b(k^2 - k_y^2)}{ak(2 - \delta_0)\cos^2 k_y h \left(\frac{\sin \varphi_n}{\varphi_n} \right)^2} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\sin^2(k_x s)}{\Gamma_{mn}} \left(\frac{\sin \theta_m}{\theta_m} \right)^2$$

$$n = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

式中, 令 $k_{pm} = \sin k_x s (\sin \theta_m / \theta_m)$ 为棒的耦合系数, $k_{gn} = \cos k_y h (\sin \varphi_n / \varphi_n)$ 为缝隙的耦合系数。

棒两端的阻抗称为策动点阻抗 Z_R , 它满足下式:

$$\frac{1}{Z_R} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{Z_n} = \frac{1}{1 + e^{-2\Gamma_{m0}L}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{\frac{j\eta b(k^2 - k_y^2)}{ak(2 - \delta_0)\cos^2 k_y h \left(\frac{\sin \varphi_n}{\varphi_n} \right)^2} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\sin^2 k_x s}{\Gamma_{mn}} \left(\frac{\sin \theta_m}{\theta_m} \right)^2} \quad (3)$$

式中, $k_x = \frac{m\pi}{a}$, $k_y = \frac{n\pi}{b}$, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, $\Gamma_{mn} = \sqrt{k_x^2 + k_y^2 - k^2}$,

$$\varphi_n = \frac{n\pi g}{2b}, \theta_m = \frac{m\pi w}{2a}, \delta_0 = \begin{cases} 1, & n=0 \\ 0, & n \neq 0 \end{cases}$$

a, b 分别是波导宽边和窄边, w 是金属圆棒等效宽度, 与直径关系为 $w = 1.8d$, g 是缝隙宽度, s 为金属棒位置, h 为缝隙位置, L 为棒到短路面的距离。

1.1 L, h 的优化确定

改写(3)式为:

$$\frac{1}{Z_R} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{Z_n} = \frac{1}{Z_0} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{Z_n} = \frac{1}{\sum_{m=2}^{\infty} Z_{m0} \left(\frac{k_{pm}}{k_{g0}} \right)^2 + Z_{10} \left(\frac{k_{p1}}{k_{g0}} \right)^2} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\sum_{m=1}^{\infty} Z_{mn} \left(\frac{k_{pm}}{k_{gn}} \right)^2} \quad (4)$$

令

$$Y_k = k_{p1}^2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\sum_{m=1}^{\infty} Z_{mn} (k_{pm}/k_{gn})^2} \quad (5)$$

$$jx_p = \sum_{m=2}^{\infty} Z_{m0} (k_{pm}/k_{p1})^2 \quad (6)$$

则有

$$\frac{k_{p1}^2}{Z_R} = \frac{1}{jx_p + Z_{10}} + Y_R \quad (7)$$

因此, 图 2(a) 的等效电路可表示成图 2(b) 的形式。图 2(b) 中, Z_{10} 是波导主模 H_{10} 模的阻抗, jx_p 是高频

模形成的电抗。

式(7)中, Z_R 是 L, h 的函数, 对式(7)的数学模拟结果为图(3)。从曲线可看出, 策动点阻抗 Z_R 实部, 在 $0 \sim 200\Omega$ 之间, 随长度 L 变化较大, 而随高度 h 变化小。因此, 总能选择一个 L, h 值, 使座结构与体效应管的阻抗相匹配。

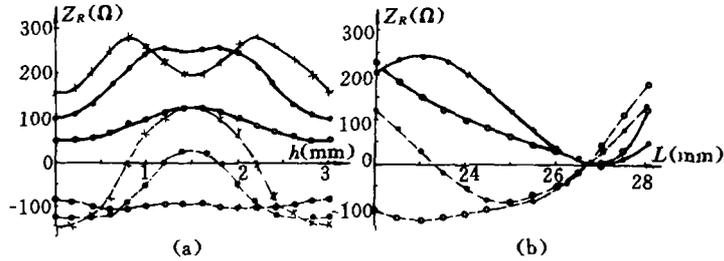


图3 脊波导座阻抗曲线

实线表示 Z_R 实部, 虚线表示 Z_R 虚部。图(a): + 为 $L=22\text{mm}$ • 为 $L=23\text{mm}$ ◦ 为 $L=25\text{mm}$
图(b): + 为 $L=0.5\text{mm}$ • 为 $L=1.5\text{mm}$ ◦ 为 $L=2.5\text{mm}$

1.2 L_1, L_2, L_3 的优化确定

为了保证器件与电路良好匹配, 并增加调整机构, 使调谐范围增大, 采用图4(a)所示的同轴减高波导座结构, 通过改变 L_1, L_2, L_3 的大小, 达到理想的频率和功率输出。图4(b)是其等效电路, 其中, L_1 表示与矩形波导上表面齐平以上的一段同轴线, L_2 是指下表面齐平到耿氏管上端的一段, L_3 指耿氏管下端的同轴线长度。 jx_p 表示中心杆的电感量, 由图2中在 $g=0$ 时求得。

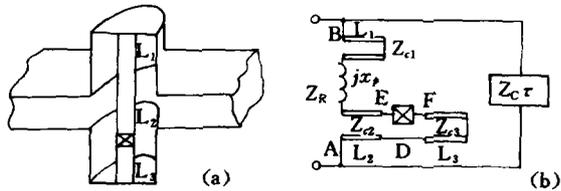


图4 同轴波导座结构及等效电路

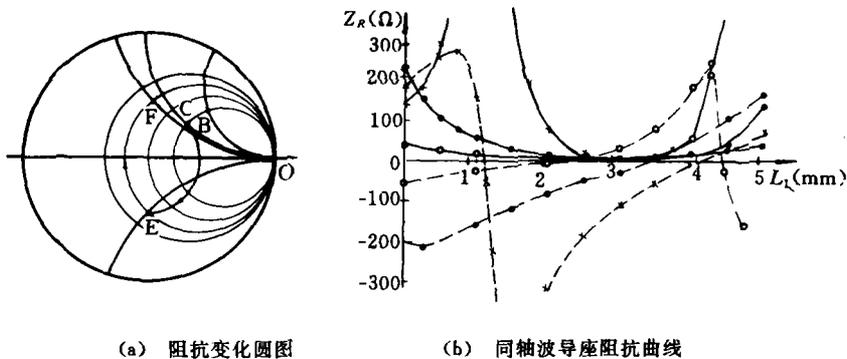


图5

实线: Z_R 实部, 虚线: Z_R 虚部; +: $L=22, L_2=1.5$; •: $L=22, L_2=2.5$; ◦: $L=22, L_2=4$ 。

图4的工作原理可以通过图5(a)的阻抗变化圆图加以解释。图5(a)中, 设 B 点表示从 AB 两点向电路看入时对 Z_{c2} 归一化的阻抗值, 则经过 L_1 的调节, 表现为 $B \rightarrow C$; 经过 L_2 后到达器件端 E , 器件对

Z_{c2} 的归一化阻抗的负值表示成 F 点; 经过 L_3 的调节可使 $F \rightarrow E$ 。在 E 点满足振荡器的振幅和相位条件, 即器件阻抗 Z_D 和电路阻抗 $Z(\omega)$ 满足 $Z_D + Z(\omega) = 0$ 。

图 5(b) 是图 4(b) 的分析结果。可知, 根据器件阻抗足能优化参数 L_1, L_2, L_3 。同时也可看出, 不论器件阻抗如何变化, 通过计算调整, 总能找到合适的工作位置。因此, 该电路结构调整范围大, 调节方便, 相当适用。

综上所述, 根据器件阻抗和座结构阻抗的关系, 恰当地选择参数 L, h, L_1, L_2, L_3 , 能使体效应管满足振荡条件, 实现最大功率输出。

2 对稳频腔进行温度补偿, 进一步提高频率稳定度

稳频腔是该振荡器的核心, 其功能为控制和稳定频率。在设计稳频腔时须立足以下两点: (1) 频率调整方便, 对电路的牵制力强; (2) Q 值高, 频率温度变化小, 保证足够的频率稳定度。

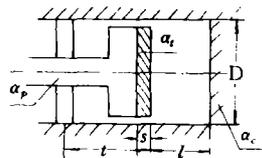


图 6 稳频腔结构示意图

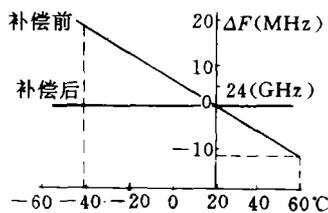


图 7 稳频腔频率补偿特性

设计中采用图 6 所示的谐振腔结构。为了保证足够高的 Q 值, 适当选择圆柱腔直径 D 和腔长 l , 使腔体工作于 TE_{011} 单模状态。由于 TM_{111} 模和 TE_{011} 模是简并模, 根据它们的电流分布 (TE_{011} 模其电流线沿圆周分布, 不通过底角拐弯处; 而 TM_{111} 模其电流线沿纵向分布, 电流通过底角拐弯处), 采用把腔体和活塞隔开, 从而截断电流线来抑制 TM_{111} 模, 实现单模工作。

要进一步提高频率稳定度遇到了腔体材料随环境温度的影响之困难。为此, 我们不使用价格昂贵的殷钢, 而采用线胀系数不同的几种材料进行温度补偿。当温度变化时, 腔体的长度和直径相互补偿, 达到了满意的稳频效果。

对于圆柱腔中的 TE_{mn} 模, 满足下式:

$$(f_0 D)^2 = \left(\frac{c \mu_{mn}}{\pi} \right)^2 + \left(\frac{c p}{2} \right)^2 \left(\frac{D}{l} \right)^2 \quad (c \text{ 为光速})$$

微分, 可得

$$f_0 \Delta f_0 = - \left(\frac{c \mu_{mn}}{\pi D} \right)^2 \cdot \frac{\Delta D}{D} - \left(\frac{c p}{2l} \right)^2 \cdot \frac{\Delta l}{l}$$

因此, 若满足条件式:

$$\left(\frac{c \mu_{mn}}{\pi D} \right)^2 \frac{\Delta D}{D} + \left(\frac{c p}{2l} \right)^2 \frac{\Delta l}{l} = 0 \quad (8)$$

则有 $\Delta f = 0$, 提高了频率稳定度。

在图 6 中, 采用钢, 铝, 铜三种材料, 选择合适的补偿长度 t , 完成温度补偿。钢、铝、铜的线胀系数分别为: 钢 $\alpha_c = 11 \times 10^{-6}$; 铝 $\alpha_p = 23.8 \times 10^{-6}$; 铜 $\alpha_f = 18 \times 10^{-6}$, t 为补偿长度, 则当温度变化 ΔT 时, 腔长变化量 Δl 和直径变化量 ΔD 分别为: (s 为铝的厚度)

$$\begin{aligned} \Delta l &= (l + t)\alpha_c \Delta T - (t - s)\alpha_p \Delta T - s\alpha_f \Delta T \\ &= (\alpha_c - \alpha_p)t \Delta T + \alpha_c l \Delta T + (\alpha_p - \alpha_f)s \Delta T \end{aligned}$$

$$\Delta D = \alpha_c D \Delta T$$

把它们代入(8)式, 得补偿长度 t 的公式:

$$t = \left\{ \alpha_c l \left[\left(\frac{2l\mu_{\text{min}}}{\pi\rho D} \right)^2 + 1 \right] + s(\alpha_p - \alpha_f) \right\} / (\alpha_p - \alpha_c) \quad (9)$$

对稳频腔温度补偿前后的频率特性的计算结果示于图 7。可见, 当温度为 -60°C 到 $+60^\circ\text{C}$ 变化时, 补偿前频率变化达 30MHz , 而补偿后则没有变化。

3 实验结果

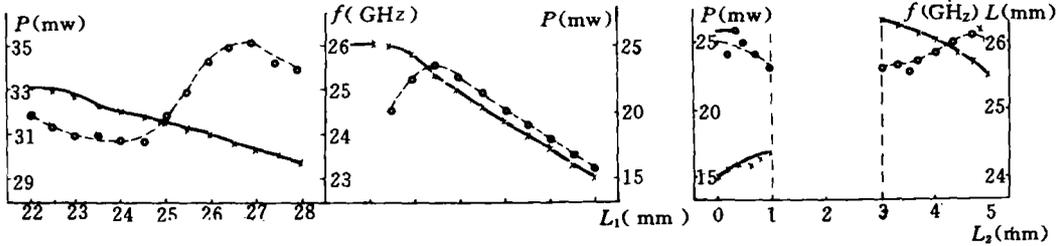


图 8 同轴减高波导座调谐曲线

实验中采用 WT55 型体效应管构成振荡器。分别对同轴减高波导座诸参数 L_1, L_2, L_3 等进行了研究, 得到一组调谐曲线, 如图 8。这些曲线是在仅改变一个参数, 其余参数固定时获得。

分析上述诸参量对输出功率、频率的影响, 可以确定波导座的诸参数。之后, 移动稳频腔活塞位置, 即改变腔长 L_0 , 获得如图 9 所示的频率牵引特性。可以看出, 稳频谐振腔很好地实现了对频率的牵引。同时, 电路输出功率也达到 30mw 以上。

对稳频腔进行温度实验。当温度从室温升至 $+60^\circ\text{C}$ 时, 输出频率没有改变。这体现了理论与实验的一致性, 说明了对稳频腔进行的温度补偿是成功的。

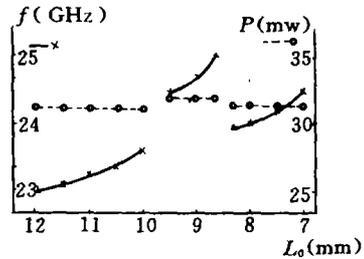


图 9 频率牵引特性

参 考 文 献

- 1 王惠功. 波导座的特性与应用. 北京邮电学院学报, 1985, (4)
- 2 过明益译. 脊波导管座的理论与分析. 固体微波. 1979, (4)
- 3 Roe J, Rosenbaum F J. Characterization of Packaged Microwave Diodes in Reduced Height Waveguide. IEEE Trans Microwave Theory Tech, 1970, 18: 638~642
- 4 朱明, 赫崇骏. 微波电子线路. 国防科技大学出版社.

(下转第 25 页)

值不变。而一个采样周期内动力学段一般将被循环执行很多次，因此有必要将其提到动力学段之外执行，以减少动力学段的执行时间，从而缩短了仿真求解时间。

参 考 文 献

- 1 杜铁塔. 同构型并行仿真机系统结构及其软件支撑环境的研究. 国防科技大学博士论文, 1990

Auto-sorter of Simulation Language

Du Tieta Hu Shouren
(Department of Computer Science)

Abstract

Continuous system simulation language is a non-procedural programming language. The written order of the statements bears no relation to the execution order. The statements must be sorted (or re-arranged) automatically by the compiler so as to generate the object codes with correct executing order. Based on analysing the characteristics of the dynamic section of simulation programs, the algorithms of auto-sorter implemented in the simulation language PARCSSL compiler of the software for parallel simulation PARSIM are given in this paper.

Key words simulatin language, compiler, auto-sorting

(上接第 21 页)

The Study of 1.25cm Gunn Effect Oscillator

Chen Guoqiang He Chongjun
(Department of Electronic Technology)

Abstract

In this paper, a kind of waveguide Gunn effect oscillator at 1.25cm is discussed. Its main cavity uses the structure of adjustable coaxial height reduced waveguide. This makes the circuit match the diode well. The paper puts stress on discussing the influence of the size of each part on the characteristic of the oscillator. High Q H_{011} mode cylindrical cavity is used as the steady-frequency cavity and metal materials with different line-expand coefficients for temperature compensation is also used. These improve the frequency stead degree. In 23GHz-25GHz band, using WT55 Gunn effect diode, the output power of the oscillator is larger than 30mw, the frequency stead degree is 5×10^{-5} .

Key words microwave, waveguide, oscillator, 1.25cm Gunn effect diode