

X 波段低噪声高阶模式介质稳频振荡器¹

刘小利 孙忠良

(东南大学毫米波国家重点实验室 南京 210096)

摘要 本文采用介质谐振器 (DR) 的高阶模式 (TE₀₂₁ 模式), 研制出振荡频率为 10.7GHz 的并联反馈型介质稳频振荡器 (DRO)。由于可以获得很高的有载 Q 值, 振荡器具有良好的相位噪声性能 (偏离载频 20kHz 处 -88dBc/Hz)。

关键词 微波振荡器, 低相位噪声, 介质稳频振荡器

中图分类号 TN752

1 引言

目前介质稳频振荡器 (DRO) 根据介质在电路中的作用、安放位置、机理的不同, 可分成多种类型。反馈型振荡器是利用介质谐振器 (DR) 作选频反馈网络, 以达到产生振荡和稳频的双重目的。由于其电路简单、噪声低、偏离工作点较远时产生停振而不跳模等优点而被广泛采用。在已研制的低相噪 DRO 中^[1,2], 大多数是采用 DR 的 TE₀₁₆ 模式。TE₀₁₆ 模具有较高的 Q 值, 但是随着工作频率的提高, DR 的尺寸变小, 不能很好地与微带线耦合, 介质损耗、导体损耗和辐射损耗将成为主要影响, 传统的 TE₀₁₆ 模的 Q 值将明显下降。超导材料具有极高 Q 值, 正在发展之中, 但与标准材料相比, 它需要在低温条件下使用, 成本昂贵。一种经济的方法是利用标准 DR 的高阶模式, 高阶模式比传统的 TE₀₁₆ 模式具有更高的 Q 值, 同时有较大的尺寸, 便于安装和处理。但是, 高阶模式的激励往往对 DR 的尺寸及其在电路中的位置有一定的要求, 在常用的电路形式中, 由于拓扑结构的限制, 即使激励起高阶模式, 也不易满足振荡条件和选取适当有载 Q 值的要求。因此, DR 的谐振模式虽然已被全面地研究过^[3], 但是, 除了回音壁模式近来应用于毫米波外^[4], 高阶模式很少在实际中使用。本文采用平行线耦合结构的电路形式, 解决了这一问题, 同时, 采用 DR 的高阶模式 TE₀₂₁ 模, 以获得更高的有载 Q 值。

2 理论基础

反馈型 DRO 的电路形式如图 1, 虚线框内为放大器, 其余部分为反馈网络。为了满足起振条件, 放大器的增益必须大于反馈网络的衰减。

因振荡器的输出刚好是一被放大的带宽非常窄的噪声, 假设放大器是理想放大器^[5], 则有

$$Q' = Q(2/\pi)[P/(FkTB)], \quad B' = B(\pi/2)(FkTB/P), \quad (1)$$

其中 P 为振荡器产生的总功率, F 为在功率电平 P 下的噪声系数, Q' 为有效品质因数, Q 为电路品质因数, B' 为有效带宽, B 为电路 3dB 带宽。因为 1Hz 带宽产生的噪声总功率为

$$N_0 = (2/\pi)(P/B')(1/|1 + 2jQ'(\delta f/f_0)|^2). \quad (2)$$

¹ 1995-07-04 收到, 1996-06-13 定稿
国家八五攻关项目

噪声密度与载波比为

$$(N_0/P) = (2/\pi)(1/B')[1/(1 + 4Q'^2(\delta f/f_0)^2)], \quad (3)$$

δf 是偏离谐振点的频率, 令 $\delta f = f_m$, 由 (1) 式和 (3) 式近似得

$$(N_0/P) = (FkT/P)(1/4Q^2)(f_0/f_m)^2,$$

式中所示输出噪声功率密度将具有经过高 Q 值谐振电路滤波后的热噪声的全部特性。因此, 相位噪声功率密度为噪声功率密度的一半。相位噪声密度与载波之比为

$$(N_0/P) = (FkT/P)[1/(8Q^2)](f_0/f_m)^2.$$

由此可知, DR 的有载 Q 值是影响相位噪声的主要因素之一。相位噪声与品质因数的平方成反比, Q 值越高, 相位噪声越低。又由文献 [3] 可知, Q 值的大小由耦合系数 k 决定, 而耦合系数 k 由 DR 与微带线的耦合距离确定。

在实际电路中, 工作于一定模式的 DR 的有载 Q 值不能无限制地提高, 设计低相噪 DRO 时, 必须兼顾振荡器的振幅条件, 适当的有载 Q 值和振荡器的相位条件。由于 DR 与微带线的相对位置不仅决定 Q 值大小, 而且决定 β 值 (β 值为反馈网络的传输系数, 与振荡器的振幅条件有关), 还与振荡器的相位条件有关, 调整 DR 的位置具有调整相位关系和 β 值 (或有载 Q 值) 的作用, 所以, 选择电路形式, 以便于设计和调整 DR 在电路中的位置, 成为振荡器设计和调试的重要一环。

3 工作于高阶模式的反馈型 DRO

3.1 反馈电路的结构分析 图 1 所示为原理性的电路, 相位通过微带开路分支线的调配来调整, 调配开路分支线会改变 FET 的匹配状态, 影响 FET 的增益, 而且在频率高端, 这一方法较难实现。

图 2(a) 所示为通常采用的电路形式, 调整 DR 的位置具有调整 β 值和相位的作用。DR 的调整范围存在盲区, 如图 2(b) 所示, 只有在阴影区内的点可以作为调整点, 而且可调整点呈不均匀分布, 距离 FET 管近的区域, 调整点分布密集, 对相位的调整作用不大; 距离 FET 管远的区域, 衰减太大, 不易满足起振条件。因此, 真正可用于调整的区域并不大。另外, 在调整过程中, β 值与相位的调整相互关联, 移动的位置同时改变 β 值和相位条件, 往往因为需要满足相位条件, 改变了设计好的 β 值, 不能获得最佳有载 Q 值, 当 β 值过大时, 甚至不能起振。随着振荡频率的提高, 这一困难愈加严重。为了改善这一情况, 可以减小微带间的夹角, 但是不能从根本上解决问题。

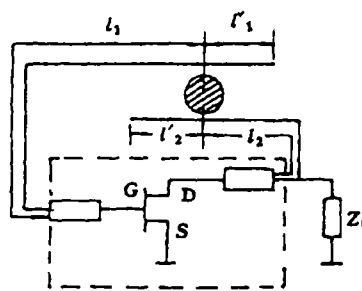


图 1 DRO 的电路形式

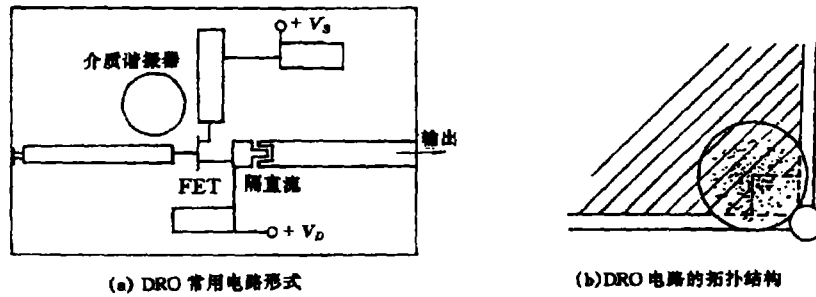


图 2

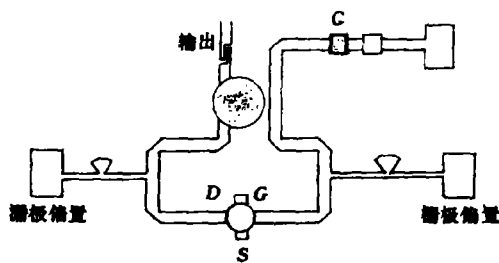


图 3 改进的 DRO 电路形式

本文采用了平行耦合结构,如图 3 所示,使调整相位关系和调整 Q 值完全分开,相互独立,相位关系可以通过沿着带线方向移动 DR 来调整, Q 值可以通过垂直于带线移动 DR 或衬垫不同厚度的石英片来调整。只要选取平行带线的长度 $L > \lambda/4$, 则总可以满足振荡条件。因此,不存在调整盲区,降低了设计的难度,而且由于可以较容易地找到最佳 Q 值,降低了因增益压缩带来的相噪恶化,可以得到很低的相位噪声。

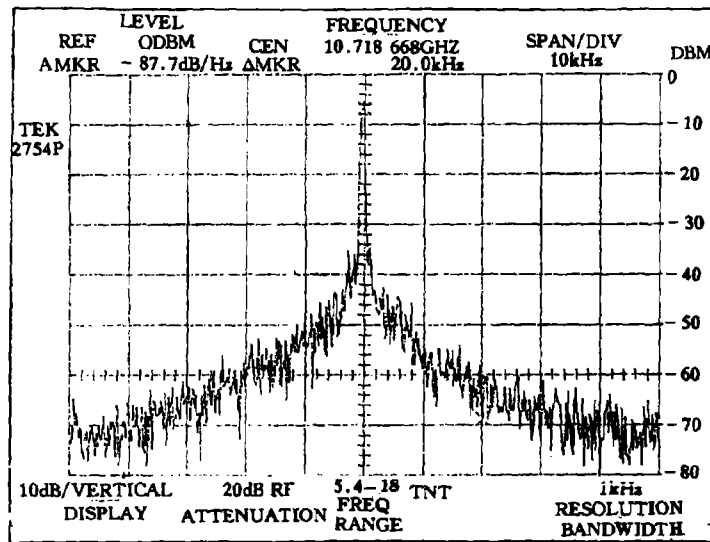


图 4 10.7GHz 的输出信号频谱

3.2 实验结果和讨论 采用 HP 公司的 MESFET 管 ATF-13786 作为放大器的有源器件,采用 DR 的高阶模式 TE_{021} 模式,其在 8.6GHz 谐振于 TE_{016} 模式。DR 在电路的位置不同,可以激励不同的 TE 模式和 TM 模式,为了激励起 TE_{021} 模式, DR 的一半放置于微带线上。设计制作的 DRO, 输出频率为 10.7GHz, DR 在未衬垫石英片的情况下,其 TE_{021} 模式仍

具有很高的有载 Q 值, DRO 的相位噪声指标为: 偏离载频 10kHz 处, 相位噪声为 -78dBc/Hz , 偏离载频 20kHz 处, 相位噪声为 -87.7dBc/Hz 。测试结果如图 4 所示。

在采用常规 DR 的振荡器中, 必须在 DR 下面衬垫石英片, 否则, DR 的 Q 值下降, 影响相位噪声指标。本文采用 DR 的 TE_{021} 模, 在未衬垫石英片的情况下, 振荡器仍获得了很好的性能。利用常规 DR 的高阶模对于简化研制手段, 方便调试十分有意义。

4 结 论

综上所述, 可以看出: (1) 平行耦合结构, 将相位调整和耦合大小的调整完全分开, 克服了一般电路所固有的缺陷, 易于实现和调整, 基本解决了工程上 β 值选取和实现的问题, 具有广泛的应用价值。(2) DR 的高阶模式具有更高的 Q 值, 可以在不增加工艺和调试难度的情况下, 获得良好的性能指标, 而且适合于更高频率的应用。

参 考 文 献

- [1] 潘庆为. 双介质谐振腔 FET 振荡器. 推广与应用微波介质谐振器学术交流会论文集. 西安: 1987, 95-99.
- [2] 费元春, 陈世伟, 杨士仕, 等. 微波固态频率源. 北京: 国防工业出版社, 1994, 52-55.
- [3] Kajfez D, Guillon P. Dielectric Resonators US: Artech House, Inc. 1986, 65-110.
- [4] Gross W, Glandorf F J. Design of series feedback millimeter wave oscillators employing whispering gallery mode dielectric resonators, Proc. EUMC. (Helsinki): 1992, 491-496.
- [5] Hafner E. The effects of noise in oscillators, Proc. IEEE, 1966, 54(2): 233-237.

X-BAND DRO WITH LOW PHASE NOISE OPERATING IN HIGH-ORDER MODE

Liu Xiaoli Sun Zhongliang

(State Key Laboratory of Millimeter Waves, Southeast University, Nanjing 210096)

Abstract With higher-order mode (TE_{021} mode) of the Dielectric Resonator(DR), a parallel feedback-type Dielectric Resonator Oscillator(DRO) operating at 10.7GHz is reported. Because of the high loaded quality factor of DR, the oscillator shows excellent phase noise performance (about -88dBc/Hz at 20kHz offset).

Key words Microwave oscillator, Low phase noise, Dielectric resonator oscillator

刘小利: 男, 1971 年生, 博士生, 从事微波有源电路的研究工作.

孙忠良: 男, 1936 年生, 教授, 博士生导师, 从事微波, 毫米波集成电路及其子系统的研究工作.