

数字鉴相稳频的 8 mm 固态源

叶 华 骆永健 林镇材 罗桂祥

(中山大学电子系, 广东, 广州, 510275)

摘要 在对毫米波数字锁相环路进行分析的基础上给出了三阶环的工作参数, 并设计了一个 8 mm Gunn 振荡器数字锁相环路. 实验结果表明, 该环路锁定容易, 而且频谱较纯.

关键词 数字锁相环, 毫米波, 环路参数.

引言

毫米波数字锁相技术是随着高速数字集成电路的出现而发展起来的一种先进的毫米波锁相稳频技术. 由于毫米波压控振荡器的推频系数和相位噪声均较大, 而传统的模拟鉴相器的鉴相特性线性范围小, 因此以它为核心构成的模拟锁相环路较难锁定. 如果采用数字鉴相鉴频器及泵电路 (简称 D.P.F.D) 取代模拟鉴相器, 就可以获得较理想的环路锁定性能^[1], 其优点是: D.P.F.D 的线性鉴相范围大, 环路的同步带相当宽, 锁定可靠性好; 由于 D.P.F.D 兼有鉴频性能, 环路的捕捉带较宽, 从而可省去扩捕电路; 也可省去中频放大器中的 AGC 电路. 毫米波数字锁相环路的一般理论是 F. M. Gardner^[2]于 1980 年首次提出的, 近 10 多年来得到各国学者的重视, 其研究工作进展较快.

1 D.P.F.D 工作原理与环路参数

我们研制的 D.P.F.D 如图 1 所示. 其中 IC₁ 和 IC₂ 兼作模数转换及 4 分频用. IC₃ 和 IC₄ 是起数字鉴频鉴相作用的. 其工作方式为: 当环路进行频率捕捉时, 以鉴频器方式工作, 输出恒定的大直流电压控制振荡器, 使其振荡频率接近基准源频率; 当环路进入相位锁定区域后, 它就转变成鉴相器方式工作, 输出误差相位电压, 使环路进入相位锁定状态.

由于环路带宽、捕捉范围、同步范围以及瞬态响应等环路基本特性都与环路滤波器密切相关, 为此我们特别讨论了环路滤波器的设计问题. 二阶的模拟环通常是采用简单的积分滤波器 (见图 2(a)), 我们发现, 由于 D.P.F.D 的输出是脉宽与输入相位误差成正比的脉冲序列, 经这种积分滤波器后的输出为锯齿波, 不够平滑, 这将导致被锁压控振荡器输出的相位噪声较强. 为此, 我们引入了 C₂, 构成如图 2(b) 所示的环路滤波器. 理论分析

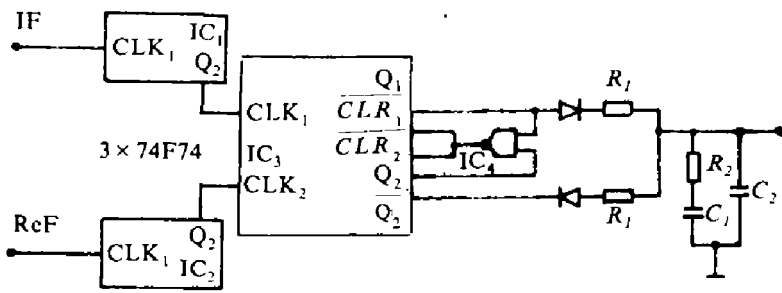


图 1 数字鉴相鉴频电路
Fig. 1 Digital phase/frequency detector

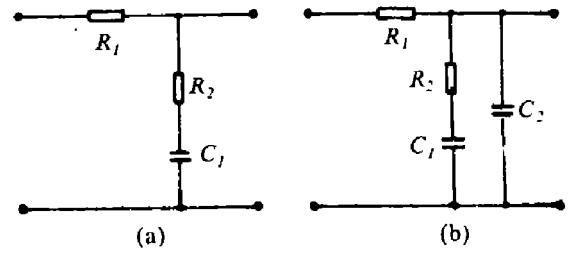


图 2 环路滤波器
Fig. 2 Loop filters

表明，只要选取 $C_2 \ll C_1$ ，则 C_2 的引入对环路的平均性能和过渡特性影响很小^[3]，而对频率脉动有十分明显的抑制作用^[2]，这一点对推频系数较大的毫米波固态源尤其重要。然而由于 C_2 的引入，环路将变成三阶环，必须求出三阶环的稳定条件。通过以上的分析和计算，我们得到环路参数选择的主要原则。设 A 为直流放大器的增益， K_0 为 8 mm Gunn 振荡器的压控灵敏度， T 为中频信号的周期， V 为 D.P.F.D 的单边输出电压， M 为分频系数；令 $\tau_1 = R_1 C_1$ ， $\tau_2 = R_2 C_2$ ， $K = AK_0 V \tau_2 / (2\pi M \tau_1)$ ， $b = 1 + C_1 / C_2$ ，则环路参数应满足：(1) $K \tau_2 = 2$ ；(2) $2\pi \tau_2 / T > 9$ ；(3) $b \geq 10$ 。我们研制的 8 mm Gunn 振荡器数字锁相环路的参数见表 1。

表 1 8 mm Gunn VCO. 数字锁相环路参数
Table 1 Parameters of 8 mm Gunn VCO. digital phase locked loop

| K_0 (rad/sec·V) | Δf_h (MHz) | A | ω_n (rad/sec) | τ_1 (μs) | τ_2 (μs) | $\omega_1 \tau_2$ | b |
|-----------------------------|-----------------------|-----|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|-----|
| $2\pi \times 8 \times 10^6$ | 100 | 8 | $2\pi \times 10^5$ | 5.1 | 0.47 | 45 | 11 |

2 环路的构成和测试结果

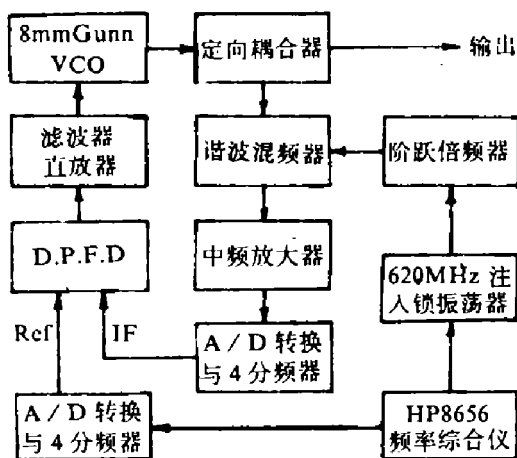


图 3 8 mm Gunn VCO. 数字锁相环路框图
Fig. 3 Block diagram of 8 mm Gunn VCO digital phase locked loop

我们采用超外差环的方案设计并实现了一个 8 mm Gunn 振荡器数字锁相环路，其原理框图如图 3 所示。HP8656 型频率综合仪提供频率为 620 MHz、功率为 15 mW 的基准信号，注入锁定一个 620 MHz 的螺旋腔式振荡器，其输出经阶跃二极管倍频器作 19 次倍频而得到功率约 3 mW、频率为 11.78 GHz 的信号，将此信号作为参考信号与从定向耦合器耦合来的 8 mm 信号作 3 次谐波混频，从而得到频率约 50 MHz 的中频信号，此信号经宽带高增益中放放大后与从 HP8656 的另一端口取出的 50 MHz 基准中频信号一起送到 D.P.F.D 进行鉴相鉴频，最后压控 8 mm Gunn 振荡器入锁。

由于该环路设计合理, 调试工作比较顺利, 环路很容易入锁, 并且能长时间稳定可靠地工作. 经测试得到该环路的主要性能指标为:

(1) 捕捉带 $\Delta f_s \geq 60$ MHz, 同步带 $\Delta f \geq 100$ MHz; 开机几分钟后环路可自动入锁, 不受强干扰影响.

(2) 8 mm Gunn 振荡器在锁定状态下的中心频率为 $f_0 = 35.390000$ GHz, 并且能在约 50 MHz 的范围内断续可调步长为 5.7 kHz, 其长期频稳度与频率基准源相同为 10^{-8} .

(3) 8 mm Gunn 振荡器的相位噪声在环路锁定状态下有明显的改善. 图 4 是我们使用 HP8590B 观测中频频谱得到的曲线, 图 4(a)、(b) 分别是环路失锁与锁定时的中放输出 50 MHz 的中频频谱; 图 5(a)、(b) 分别是环路锁定状态下中放输出 50 MHz 中频与 HP8656 型频率综合仪输出的 50 MHz 基准中频的频谱.

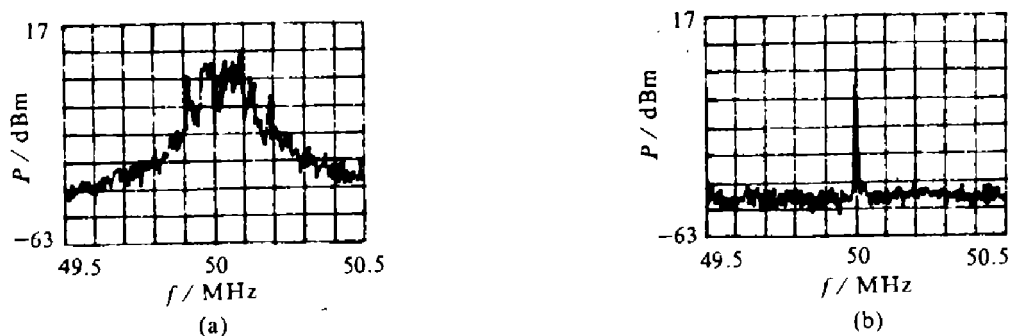


图 4 锁相环的中频频谱
(a) 失锁时; (b) 锁定时

Fig. 4 Intermediate frequency spectrum of phase locked loop
(a) unlocked state; (b) locked state

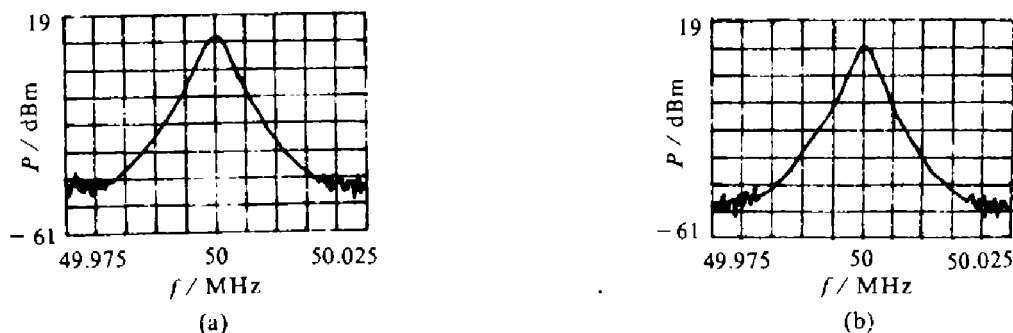


图 5 环路锁定时的中频频谱与参考中频频谱
(a) 中频频谱; (b) 参考中频频谱

Fig. 5 The IF and reference IF spectra when the loop is locked
(a) IF spectrum; (b) ref. IF spectrum

参考文献

- 1 Guillory DM et al. *Frequency Stabilization of Millimeter Wave Sources*, 10th Int. Conf. Infrared Millim. Waves Digest, 1985,48~49
- 2 Gardner FM. *IEEE Trans. Commun.*, 1980,28(11):1849~1855
- 3 杜正弥, 骆永健, 等. *微波学报*, 1992,(2):25~30

A DIGITAL PHASE LOCKED 8 mm SOLID STATE SOURCE

Ye Hua Luo Yongjian Lin Zhencai Luo Guixiang

(Department of Electronics, Zhongshan University, Guangzhou, Guangdong 510275, China)

Abstract The working parameters of a third-order loop are deduced based on the analysis of a millimeter band digital phase-locked loop. A digital phase-locked 8 mm Gunn oscillator with a heterodyne-loop structure is designed. It is shown by the measurements that the performance of this loop is quite satisfactory. It has the characteristics of being easily locked and having a pure spectrum.

Key words digital phase-locked loop, millimeter wave, loop parameters.