

40MHz 模拟锁相跟踪（PLL）滤波器模块

- 一、总体要求：输出的 40MHz 拍频中频信号，通过锁相环实现中心频率动态跟随的窄带滤波
- 二、模块支持 4 种工作模式，通过外部 2 位电平信号切换，各模式适配不同测量场景

模式编号	模式名称	核心特性
00	Off（旁路模式）	PLL 环路硬件旁路，信号直通并幅度归一化
01	Slow（低速档）	窄环路带宽，高信噪比，高频率分辨率
10	Medium（中速档）	中等环路带宽，平衡跟踪速度与信噪比
11	Fast（高速档）	宽环路带宽，快速频率跟踪

三、详细技术指标

1. 输入信号：

参数项	指标要求	备注
标称载波频率	40MHz	中频中心频率
输入频率范围	30MHz ~ 50MHz	覆盖最大多普勒频偏范围
输入信号幅度	0.2V _{pp} ~ 4V _{pp} (±0.1V ~ ±2V)	50 Ω 阻抗，正弦波输入
输入阻抗	50 Ω ±10%	
输入驻波比	≤1.5	@40MHz 标称频点
耦合方式	交流耦合	隔直电容≥100nF

2. 输出信号：

参数项	指标要求	备注
输出频率	与输入信号同频同相跟踪	环路锁定状态下
输出信号幅度	1.0Vpp $\pm 10\%$ ($\pm 0.5V \pm 10\%$)	50 Ω 负载条件下
幅度稳定性	$\leq \pm 5\%$	输入幅度 0.2~4Vpp 全范围变化时
输出阻抗	50 $\Omega \pm 10\%$	
输出驻波比	≤ 1.5	@40MHz
二次谐波抑制	$\geq 30\text{dBc}$	相对于基波功率
三次及以上谐波抑制	$\geq 35\text{dBc}$	
带外杂散抑制	$\geq 40\text{dBc}$	偏离载波 100kHz 以外
耦合方式	交流耦合	

3. 锁相环核心性能

工作模式	环路带宽 (-3dB)	锁定跟踪范围	冷启动捕获范围
Slow	1kHz $\pm 10\%$	$\geq \pm 200\text{kHz}$	$\geq \pm 160\text{kHz}$
Medium	10kHz $\pm 10\%$	$\geq \pm 2\text{MHz}$	$\geq \pm 1.6\text{MHz}$
Fast	100kHz $\pm 10\%$	$\geq \pm 10\text{MHz}$	$\geq \pm 8\text{MHz}$

说明：锁定跟踪范围对应连续跟踪的最大频率偏移范围；捕获范围对应环路从失锁状态可自行锁定的频率范围。

4. 动态与精度参数

参数项	指标要求	备注
捕获时间	Slow 档: $\leq 2\text{ms}$ Medium 档: $\leq 200\ \mu\text{s}$ Fast 档: $\leq 20\ \mu\text{s}$	输入 40MHz 满幅信号, 从失锁到稳定锁定
稳态相位误差	$\leq 5^\circ$	40MHz 满幅输入、锁定状态下
相位噪声 (锁定后)	1kHz 频偏: $\leq -90\text{dBc/Hz}$ 10kHz 频偏: $\leq -100\text{dBc/Hz}$ 100kHz 频偏: $\leq -105\text{dBc/Hz}$	载波 40MHz 条件下
通带幅频平坦度	$\leq \pm 1\text{dB}$	各模式通带范围内
通带群时延波动	$\leq \pm 50\text{ns}$	各模式通带范围内

5. 控制与状态接口

2 位并行 CMOS 电平控制, 兼容 3.3V/5V 输入, 输入阻抗 $\geq 10\text{k}\Omega$

- 00: Off 旁路模式
- 01: Slow 低速档
- 10: Medium 中速档
- 11: Fast 高速档

6. 供电电源: +5V DC $\pm 5\%$, 单电源供电

7. 幅度稳定设计: 输入级配置 AGC 电路, 保证输入幅度 0.2~4V_{pp} 动态范围内, 鉴相器输入电平稳定, 输出幅度始终满足 1V_{pp} 要求。

四、尺寸规格

- 结构形式: PCB 裸板模块, 带固定安装孔
- 尺寸要求: $\leq 50\text{mm} \times 35\text{mm} \times 10\text{mm}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 高), 可根据设计优化
- 安装方式: 4 个 M3 定位安装孔
- 接口形式: 2.54mm 间距直插排针

