

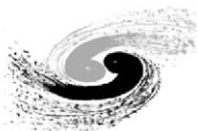
电子学组联合培养季度考核

Report of Joint Training Group meeting of Chinese Academy of Sciences and Nanjing University

导师：叶竞波

指导教师：李筱婷、严雄波

报告人：吴青康 2024.12.27 北京



中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics, CAS



南京大学
NANJING UNIVERSITY

概览

- 研究背景及进展
- 分频器方案
- 分频器后仿真
- RO-VCO方案
- RO-VCO前仿

◆ 研究背景简介

CEPC等大型物理实验总体数据量庞大，数据需通过前端汇总及高带宽数据接口传送至后端数据获取系统，而位于前端的系统和芯片需具备一定抗辐照能力，因而需要定制研发。锁相环（PLL）作为高速串行传输的核心单元，用来产生高质量的时钟，提供给各子模块。当前CEPC TDR所需的系统时钟为43.3MHz。

◆ 研究进展及需求

- 课题组自研锁相环可工作在**43.3MHz**，提供**5.546GHz**的时钟。
- 本人需进一步研发频率灵活可调PLL，以应对未来或其它应用可能出现的系统时钟变化，以及不同输出频率的需求，增强其通用性。

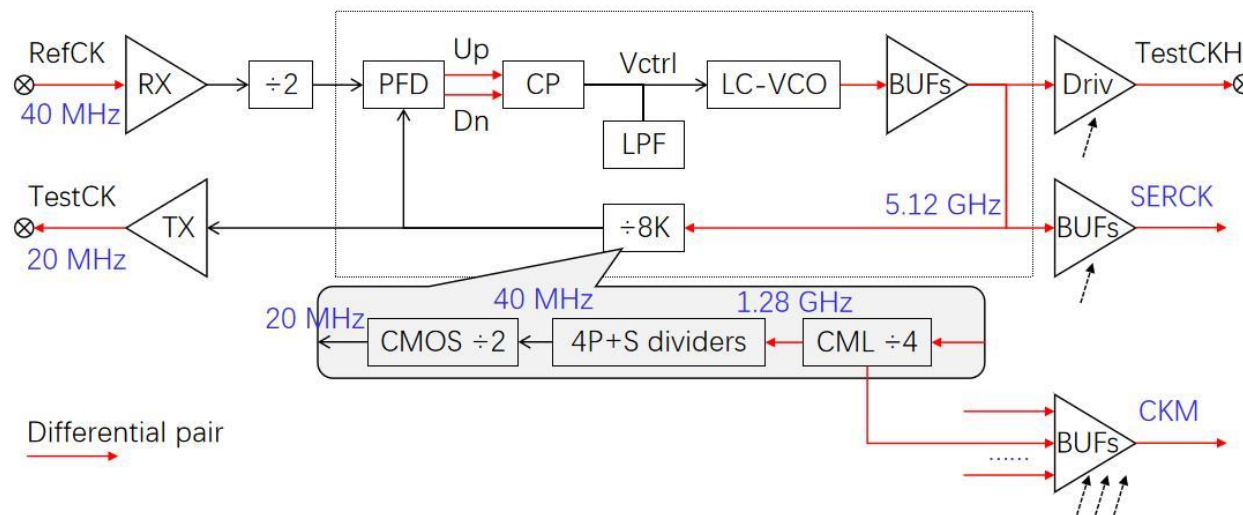


Fig 1. PLL结构示意图

◆ 设计指标

- 输出频率灵活可调
- 宽频率范围
- 低抖动，低功耗

预计**2025年**
7/10月流片

◆ 分频器方案

- 采用PS分频器的可编程设计。
- 12~63任意整数倍分频。
- 分频比= $N(P-S)+(N+1)S=NP+S$ 。
- 采用tspcD触发器实现高频工作频率。

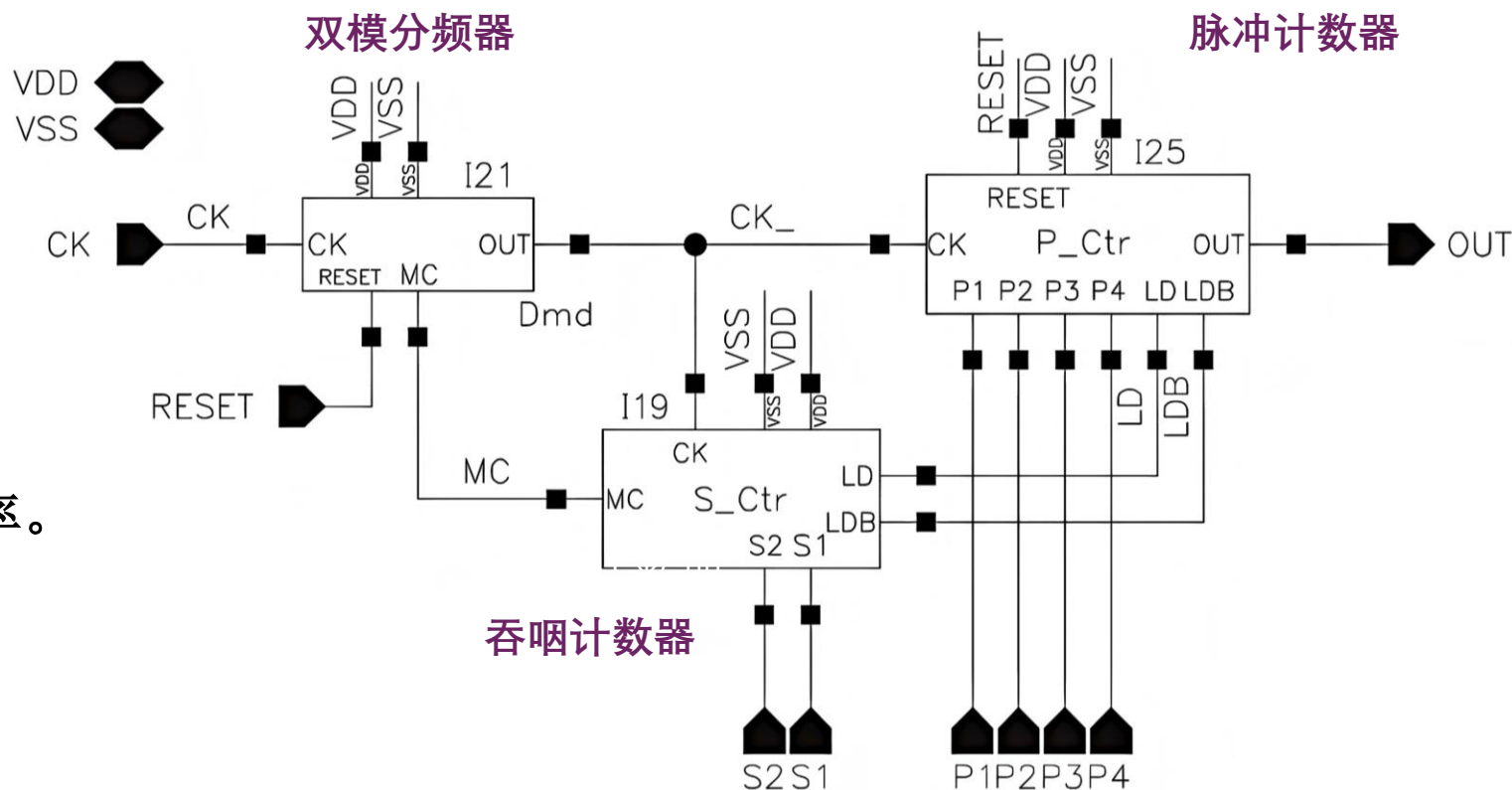


Fig 2. PS分频器原理图



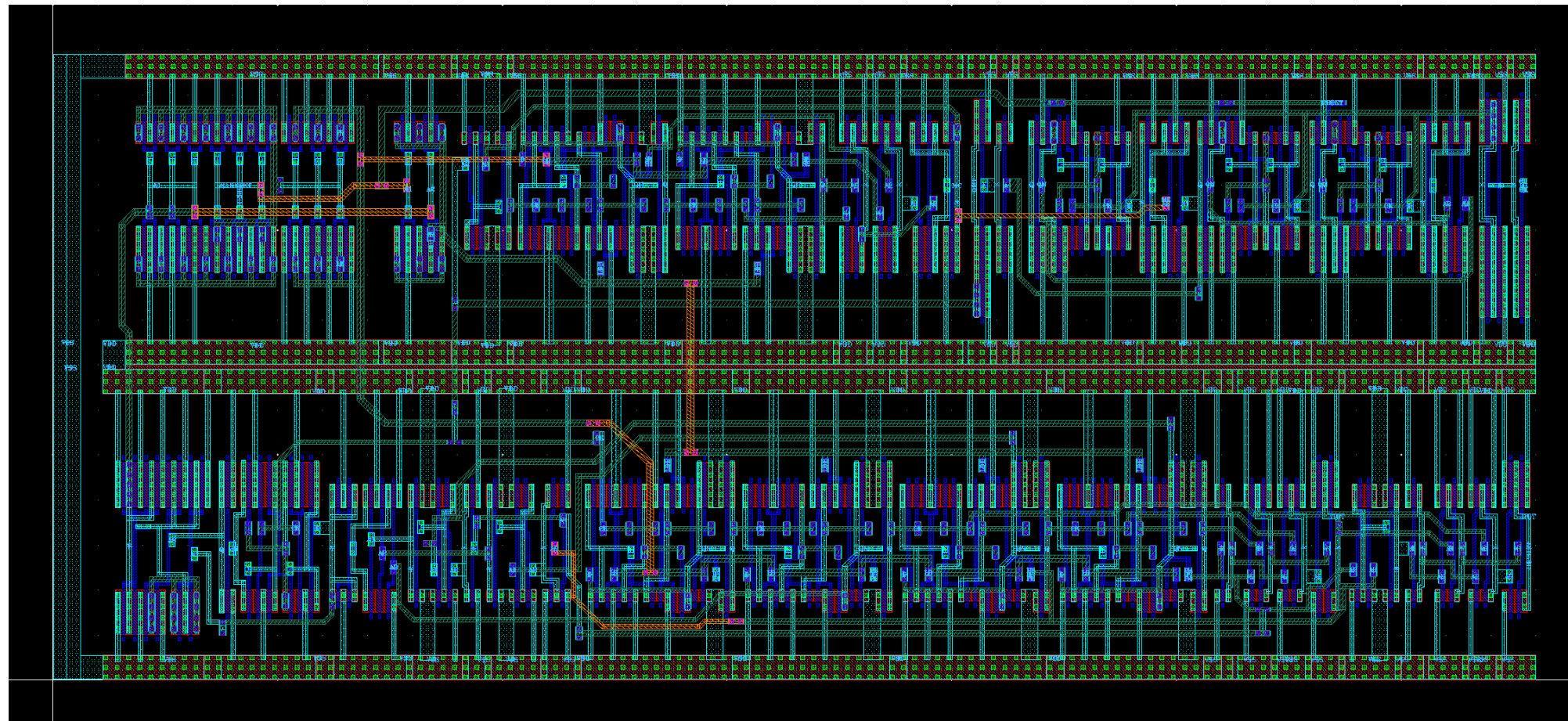


Fig 6. 分频器版图



(frequency(clip(VT("/IN") (1e-07 + (1 / VAR("Freq")))) (1e-07 + (150 / VAR("Freq"))))) / frequency(clip(VT("/OUT") (1e-07 + (1 / VAR("Freq")))) (1e-07 +

Thu Dec 26 13:11:40 2024

Name

frequency dividing ratio

◆ 后仿结果

- 设置分频器工作在29分频模式。

输入频率从3GHz到5GHz参数

仿真结果如图所示。

- 分频系数到4GHz开始偏离29，
可以判断分频器的上限工作频率在4GHz左右。

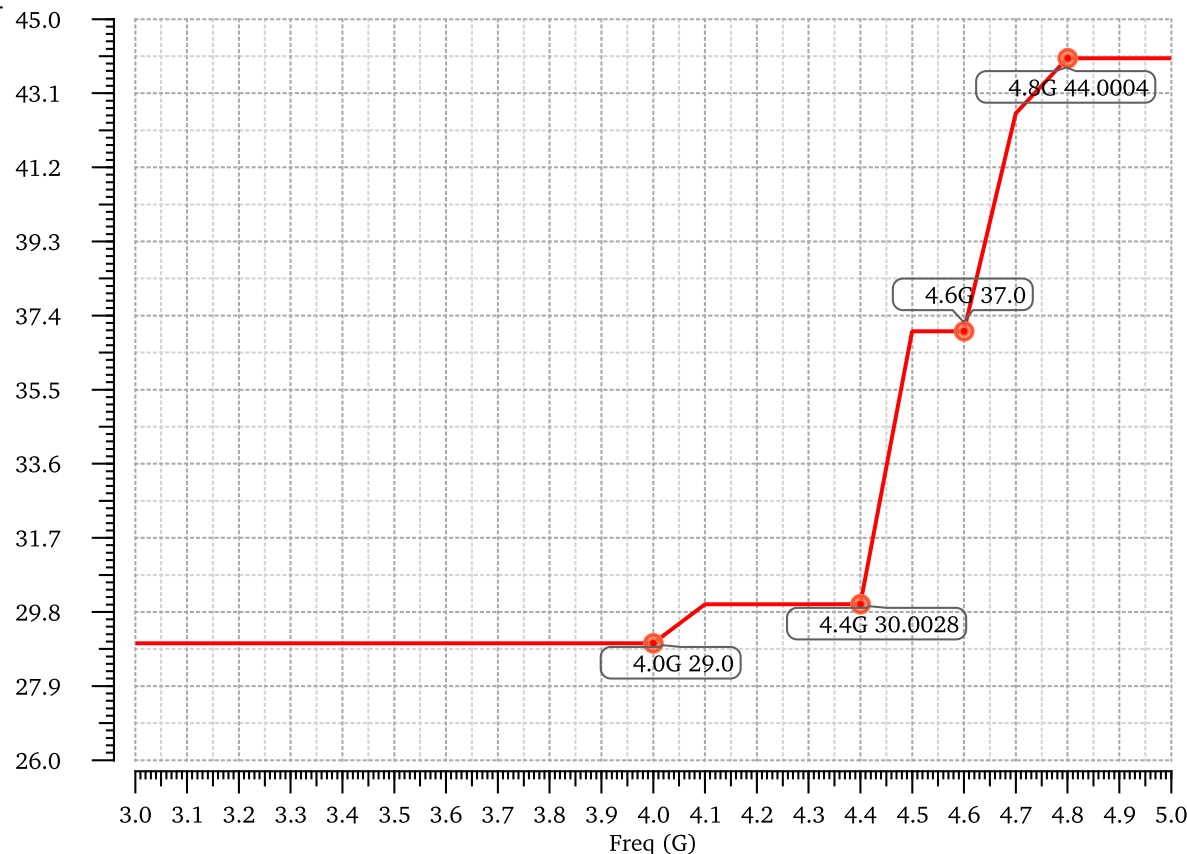
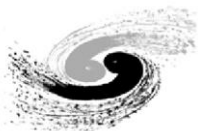


Fig 7. 输入0111/01（理论分频29），ss85，1.08V
下参数仿真结果。



Test	Output	Spec	Weight	Pass/Fail	Min	Max	tt27	tt0	tt85	ff27	ff0	ff85	ss27	ss0	ss85
29,3G,1.32V	(average(freq(di...				29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
29,3G,1.2V	(average(freq(di...				29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
29,3G,1.08V	(average(freq(di...				29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
29,1G,1.32V	(average(freq(di...				29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
29,1G,1.2V	(average(freq(di...				29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
29,1G,1.08V	(average(freq(di...				29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
29,500M,1.32V	(average(freq(di...				29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
29,500M,1.2V	(average(freq(di...				29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
29,500M,1.08V	(average(freq(di...				29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Test	Output	Spec	Weight	Pass/Fail	Min	Max	tt27	tt0	tt85	ff27	ff0	ff85	ss27	ss0	ss85
63,3G,1.32V	(average(freq(di...				63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
63,3G,1.2V	(average(freq(di...				63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
63,3G,1.08V	(average(freq(di...				63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
63,1G,1.32V	(average(freq(di...				63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
63,1G,1.2V	(average(freq(di...				63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
63,1G,1.08V	(average(freq(di...				63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
63,500M,1.32V	(average(freq(di...				63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
63,500M,1.2V	(average(freq(di...				63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
63,500M,1.08V	(average(freq(di...				63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63

Fig 8. ADE XL工具前仿真结果，输入分频模式为
0111, 01和1111, 11



◆ 分频器下一步计划

- 针对单粒子效应的抗辐照进行三模冗余设计。
- 将tspcD触发器替换为传统DFF，一起流片进行TID对照。

◆ RO-VCO方案

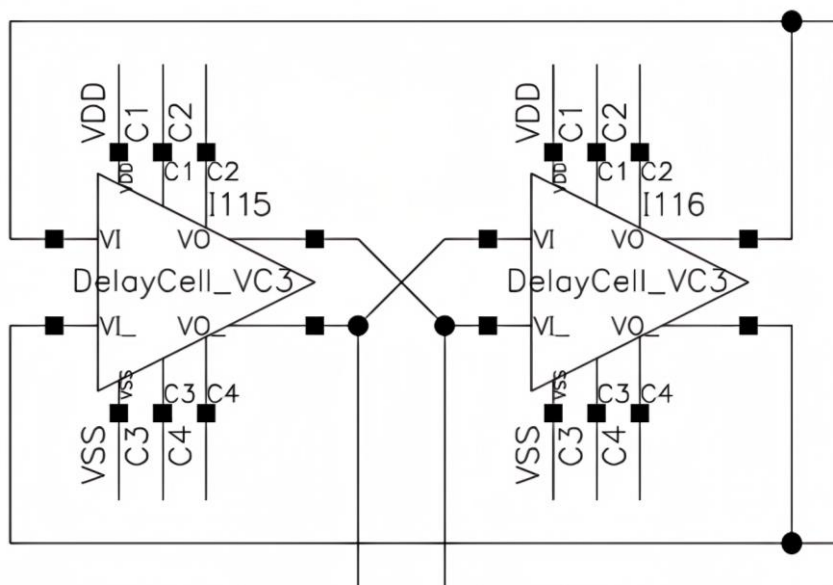


Fig 9. RO-VCO原理图

◆ 优势

- 面积小，布局灵活。可以针对小通道数量、或数据率要求没那么高的应用。

◆ 方案

- 利用RO-VCO替换原本的LC-VCO，并根据参数调整LPF设计。

预计2025年4
月流片

◆ RO-VCO方案

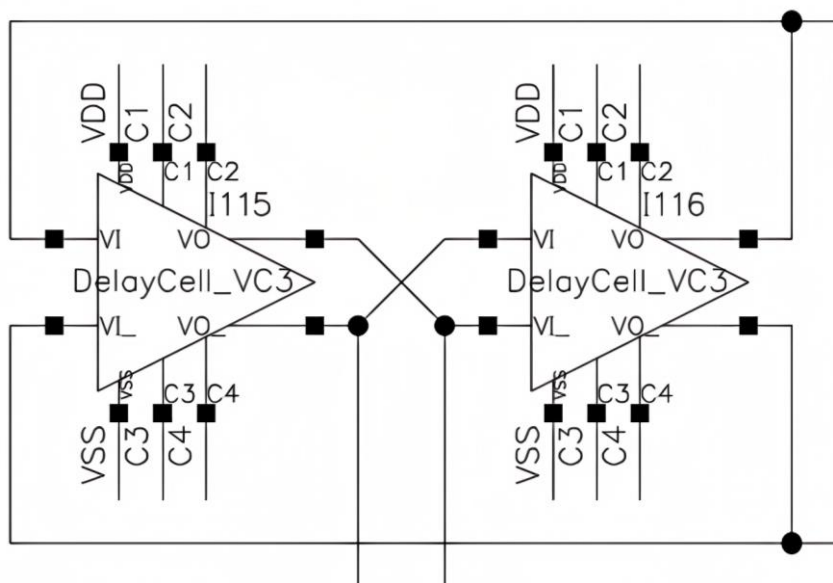


Fig 9. RO-VCO原理图

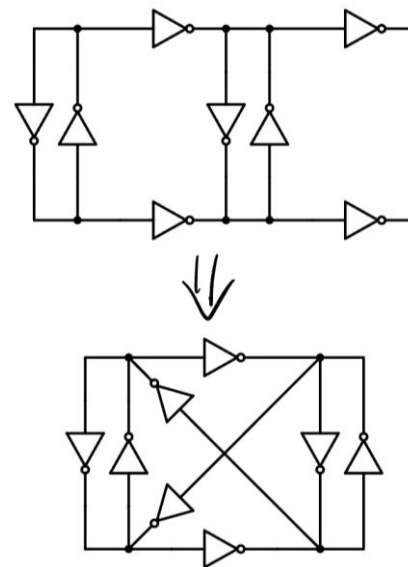


Fig 10. RO-VCO拓扑结构

- 为了实现高频输出/宽调频范围，采用二级伪差分延迟单元。可以提供四个相位（间隔 90° ）输出，四个负载保持对称。
- 采用电流饥饿方案实现压控。
- 将输出频率分为四个频段，防止 K_{VCO} 过大。

预计2025年4
月流片



仿真结果

Transient Analysis `tran': time = (0 s -> 100 ns)

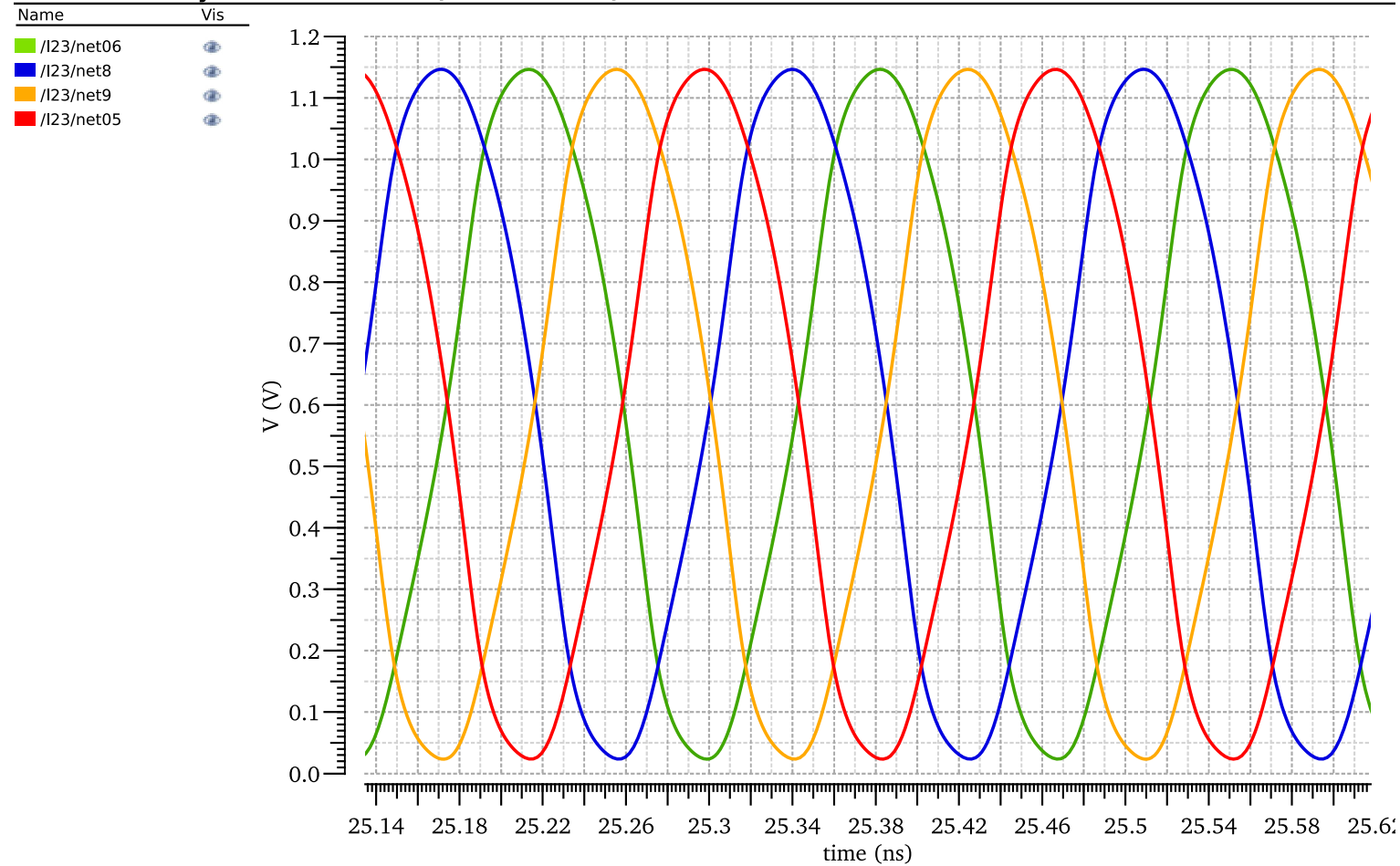


Fig 11. 仿真波形展示，可以输出四个不同相位



average(freq(clip(VT("/VO2") 3e-08 4.8e-08) "rising" ?xName "time" ?mode "user" ?threshold 0.6))

Name	Vis	V2
frequencyVO2	...	6642G
frequencyVO1	...	424.74M
frequencyVO3	...	7093G
frequencyVO4	...	2206G

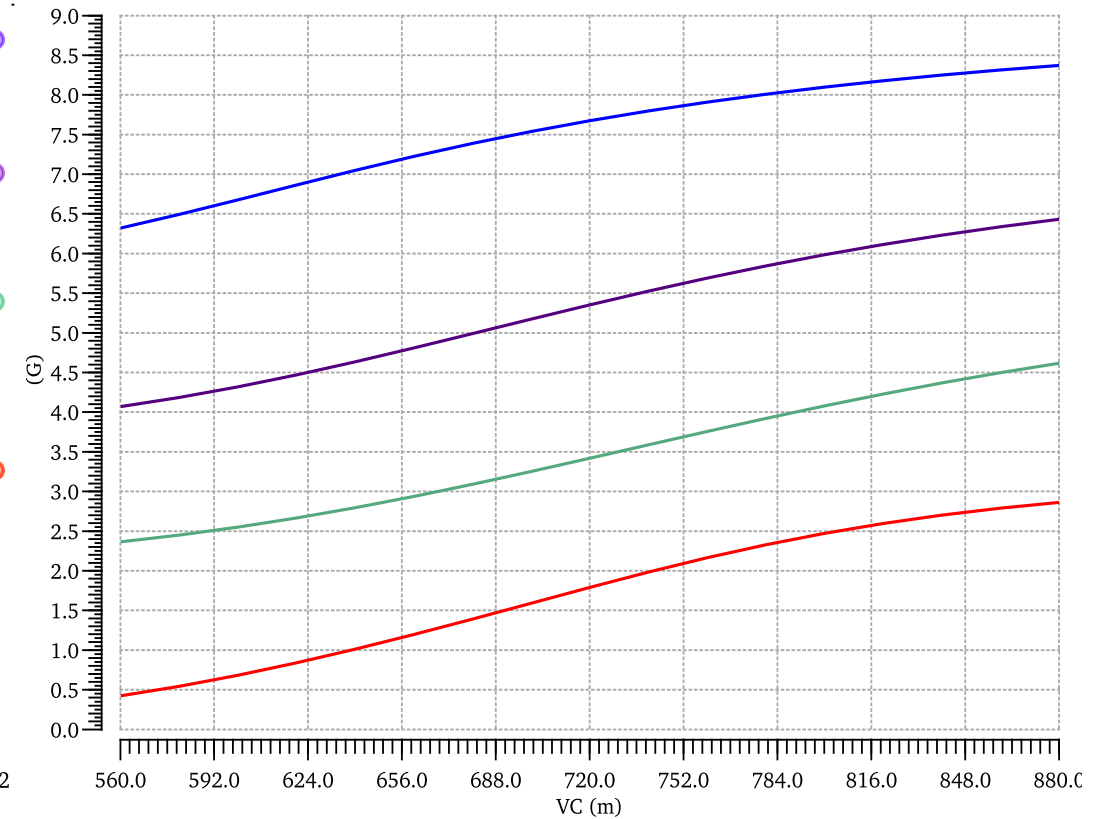
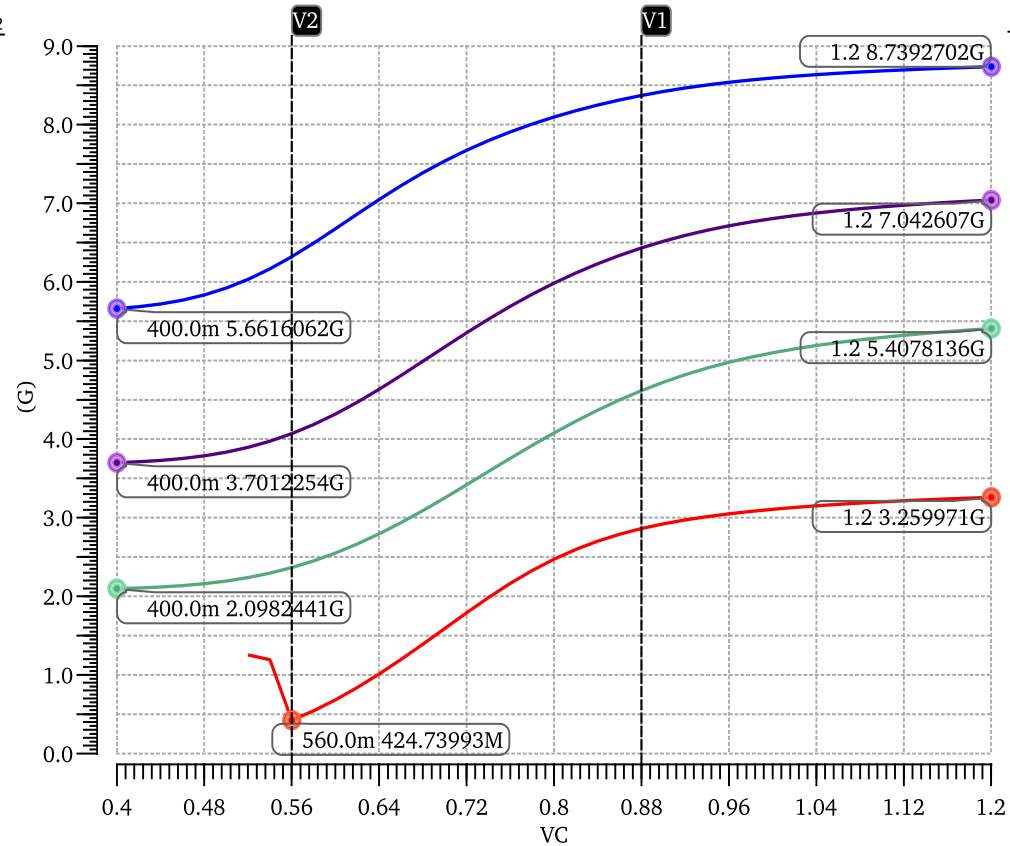
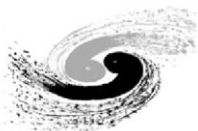


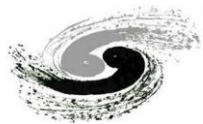
Fig 12. RO-VCO输出频率随控制电压VC变化趋势图



◆ RO-VCO下一步计划

- 相位噪声仿真
- 设计振荡器版图进行后仿真测试，确定考虑寄生参数后的输出频率范围。
- 为振荡器的控制电压进行选通电路设计，或者将其集成到电荷泵电路中。

ASIC — PLL



中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics
Chinese Academy of Sciences



谢谢指正

Thank you!