華中師範大學
CENTRAL CHINA NORMAL UNIVERSITY

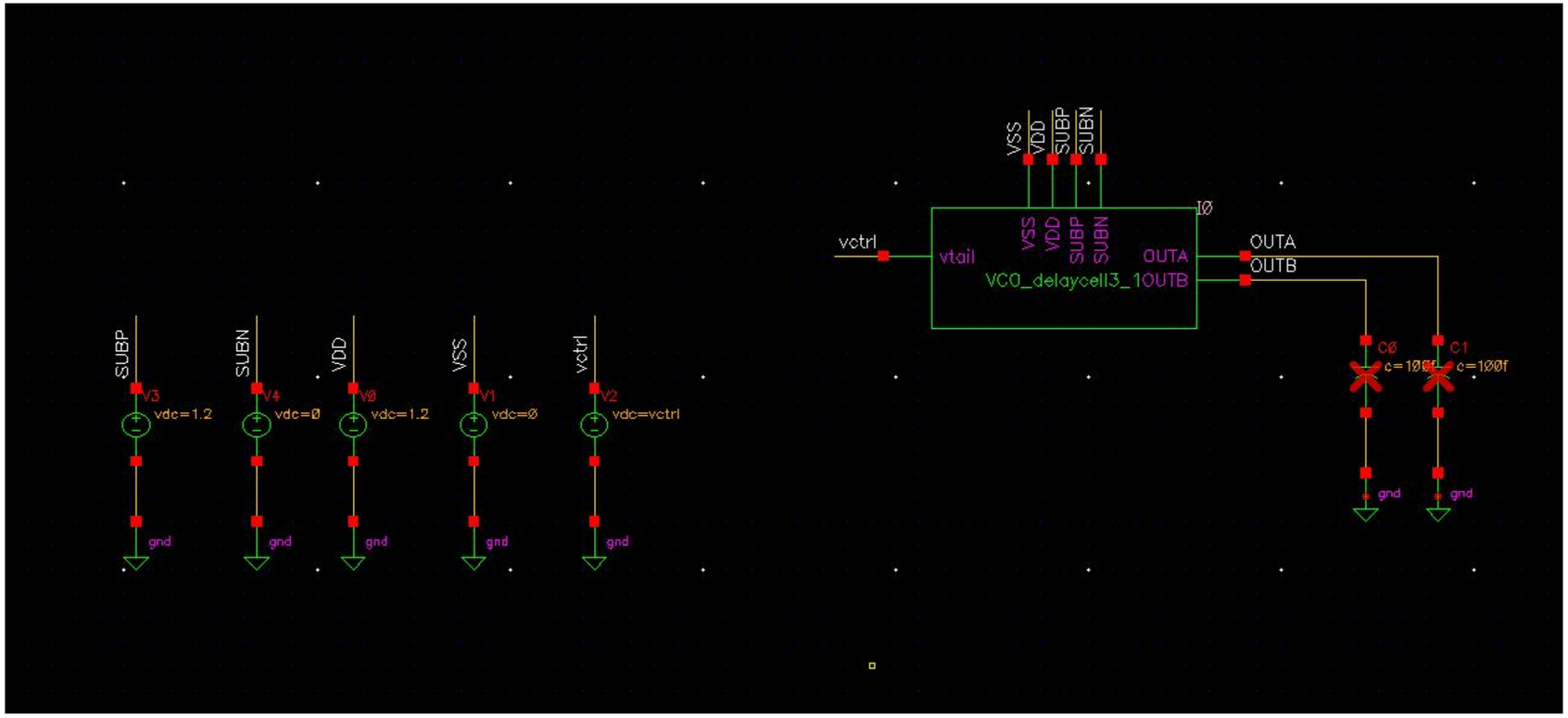
组会汇报

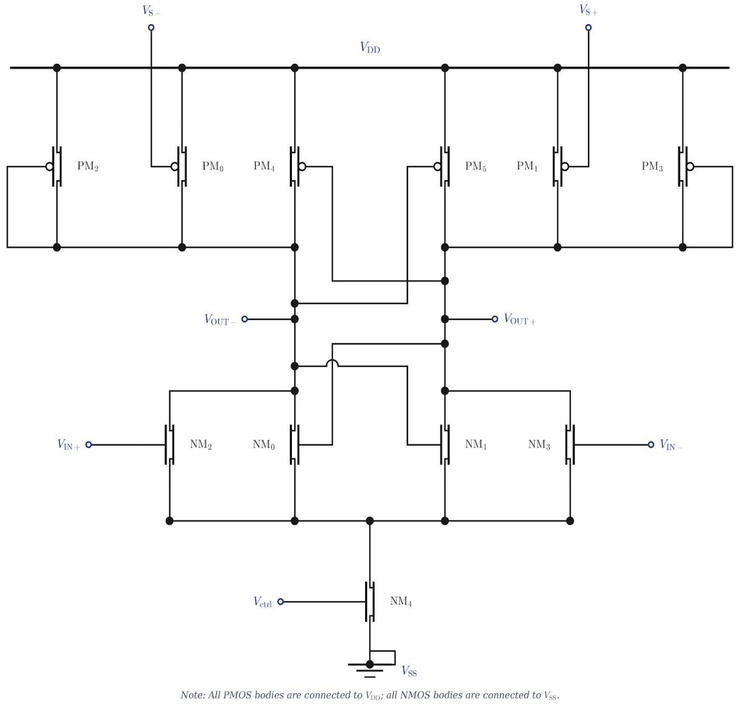
汇报人：胡权威

日期：2026.10.15

VCO仿真与优化

- 将四级delaycell缩减为三级以实现在更小的功耗下达到目标频率（代价：输出范围-相噪）
- 增加V-I转换器以改善KVCO
- 测试功耗、相噪、调谐范围等性能指标

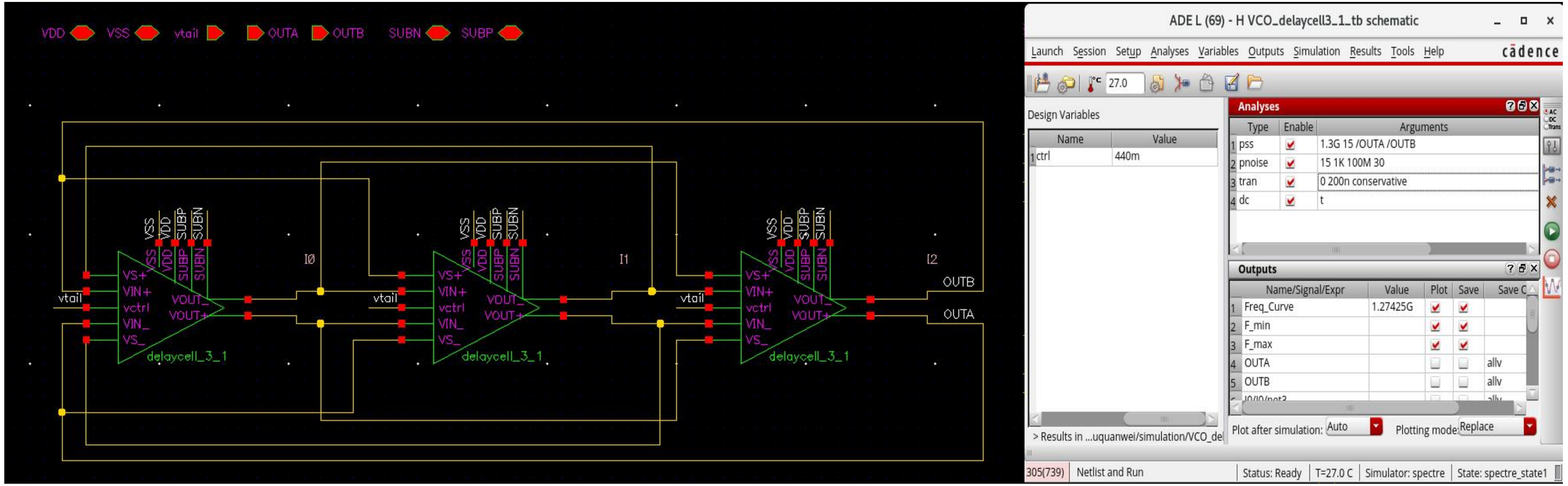




Note: All PMOS bodies are connected to V_{DD}; all NMOS bodies are connected to V_{SS}.

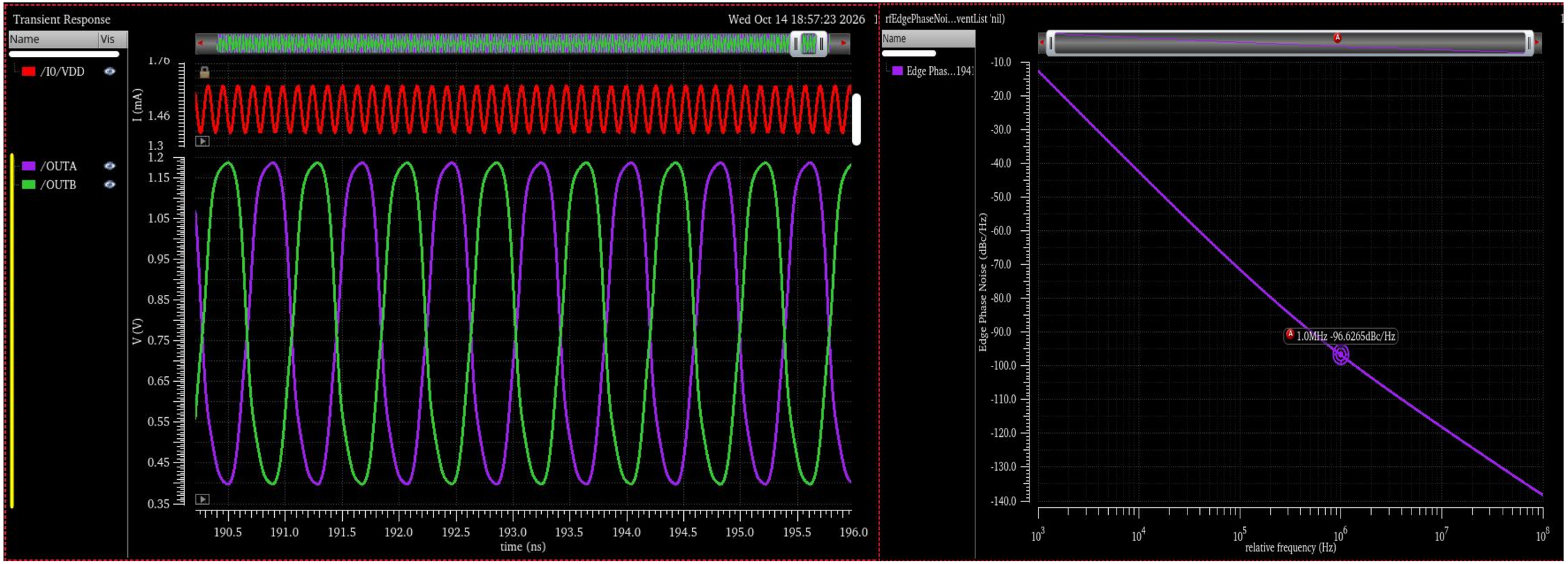
VCO性能仿真

- 将四级delaycell缩减为三级
- 调节电路，测试振荡频率和功耗
- 测试1M处相噪



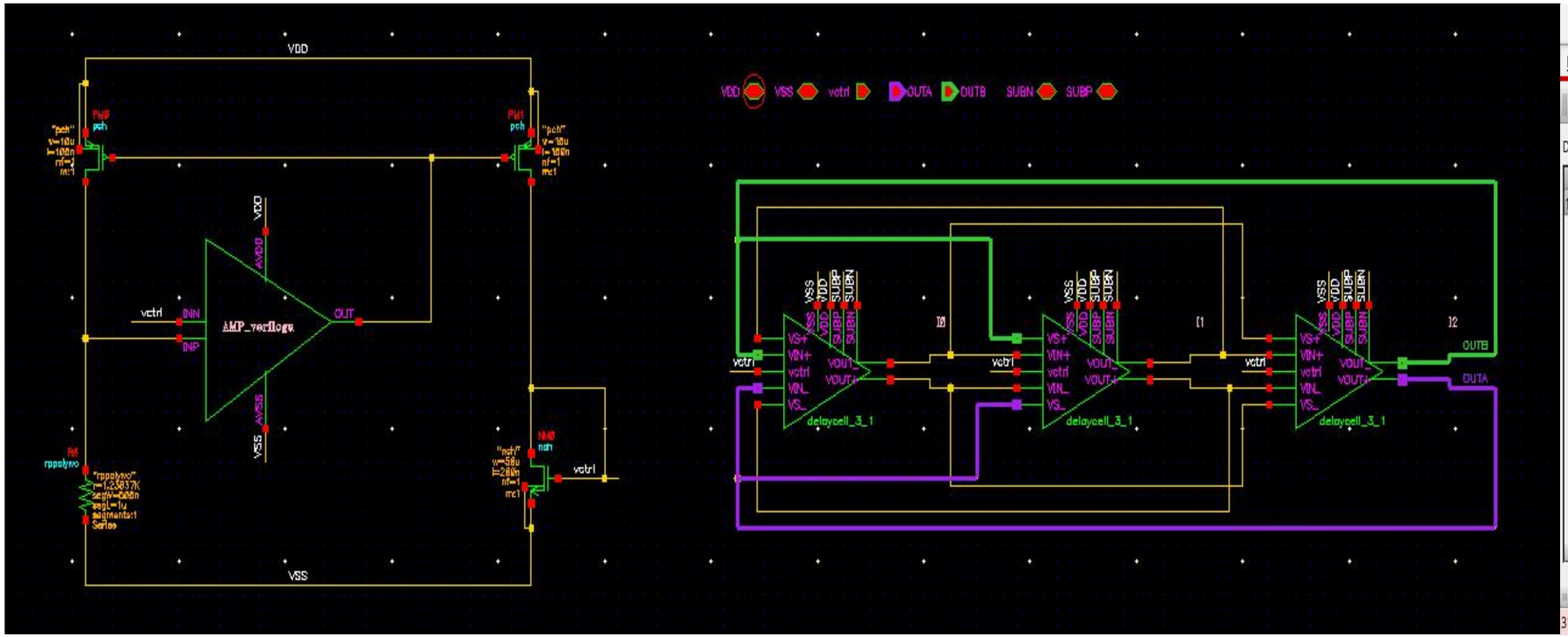
VCO性能仿真

- 输出频率1.274G，输出摆幅单端约400m-1.2v
- 平均电流1.5m
- 1M标称相噪96dBc/Hz



VCO性能仿真

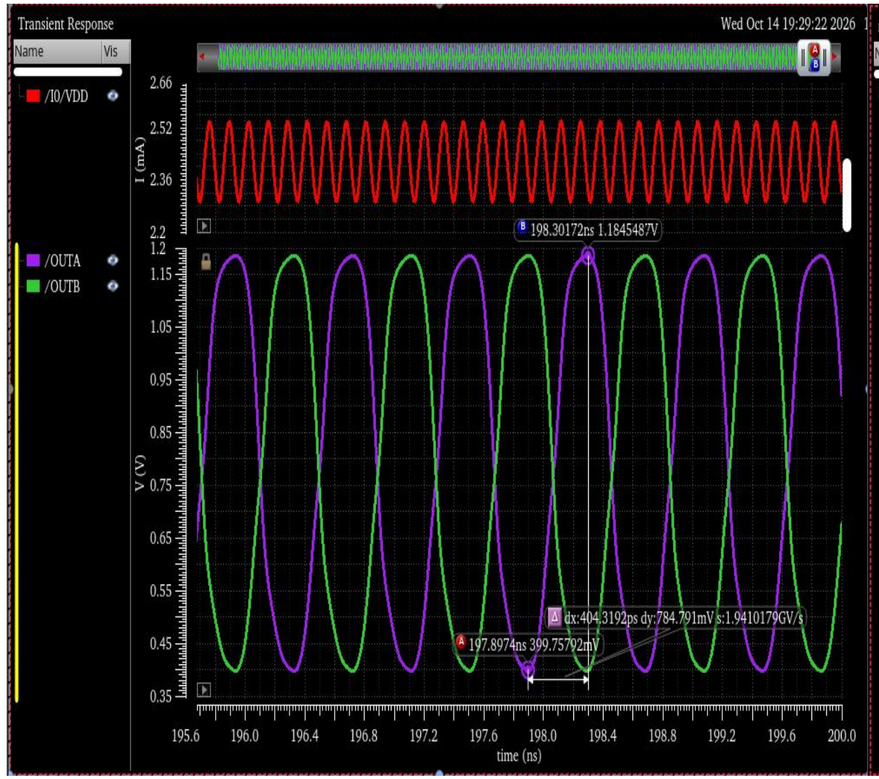
- 加入V-I转换器模块改善线性度
- 运放钳位（V-I转换）：运放深度负反馈使电阻端电压紧跟 Vctrl，生成线性电流 I = Vctrl / R0。
- 电流镜像：PM0 与 PM1 构成电流镜，将该电流等比例复制到右侧支路。
- 偏置输出：镜像电流注入二极管接法的 NM0，转换为驱动后续 VCO 延迟单元的偏置电压。

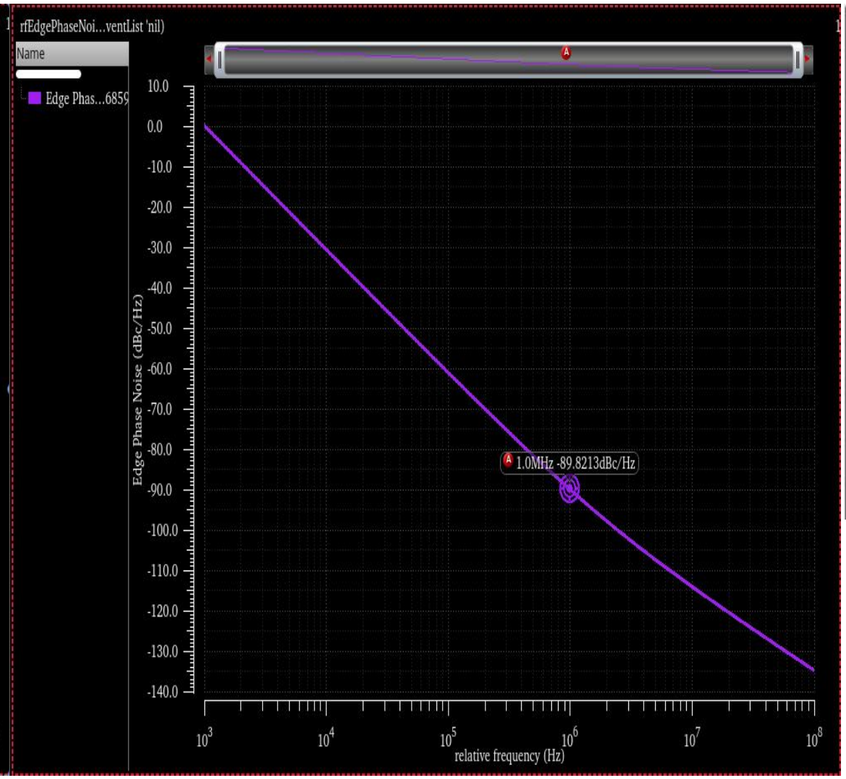




VCO性能仿真

- 输出频率1.274G，输出摆幅约400m-1.2v
- 平均电流2.42m
- 1M处相噪90dBc/Hz
- 由噪声总结可知V-I转换器的管子贡献了绝大部分的噪声

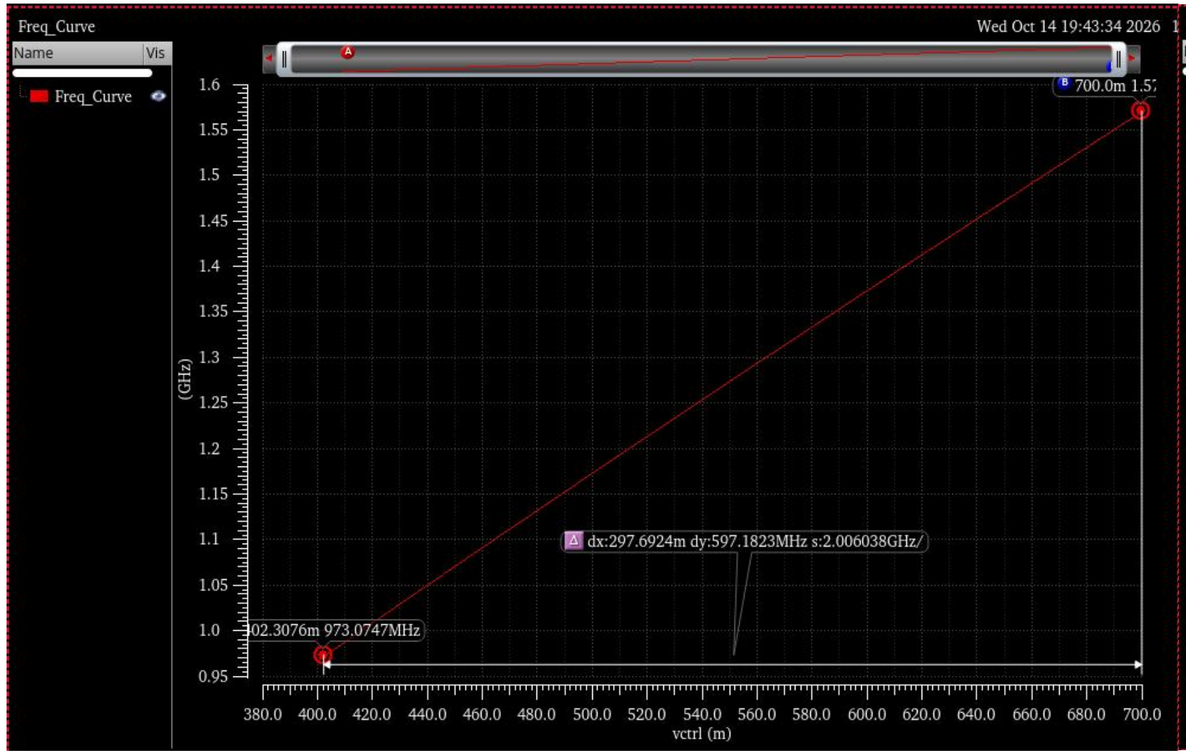


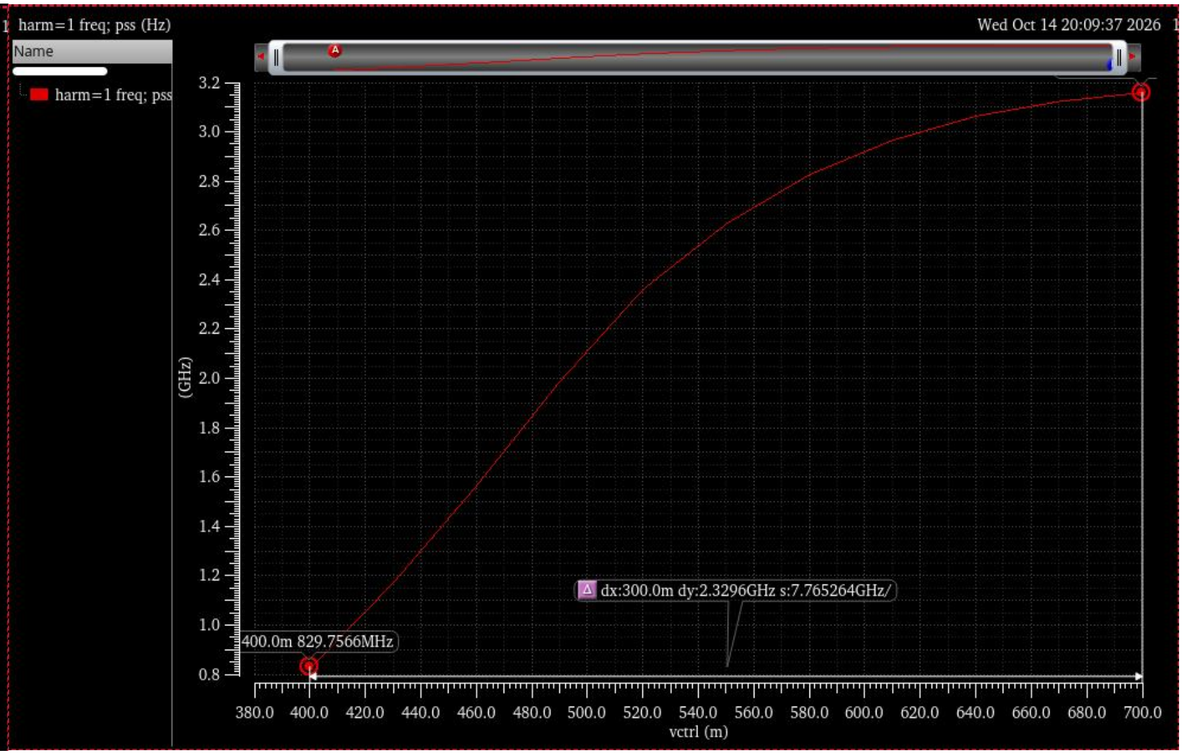


/I0/PM1	fn	6.03553e-10	25.88
/I0/PM0	fn	5.97143e-10	25.61
/I0/NM0	id	2.31755e-10	9.94
/I0/NM0	fn	2.07841e-10	8.91
/I0/PM0	id	7.78802e-11	3.34
/I0/PM1	id	7.33167e-11	3.14
/I0/R0/R0	thermal_noise	5.34526e-11	2.29
/I0/I2/NM4	id	3.78716e-11	1.62
/I0/I0/NM4	id	3.78705e-11	1.62
/I0/I1/NM4	id	3.78691e-11	1.62

VCO性能仿真

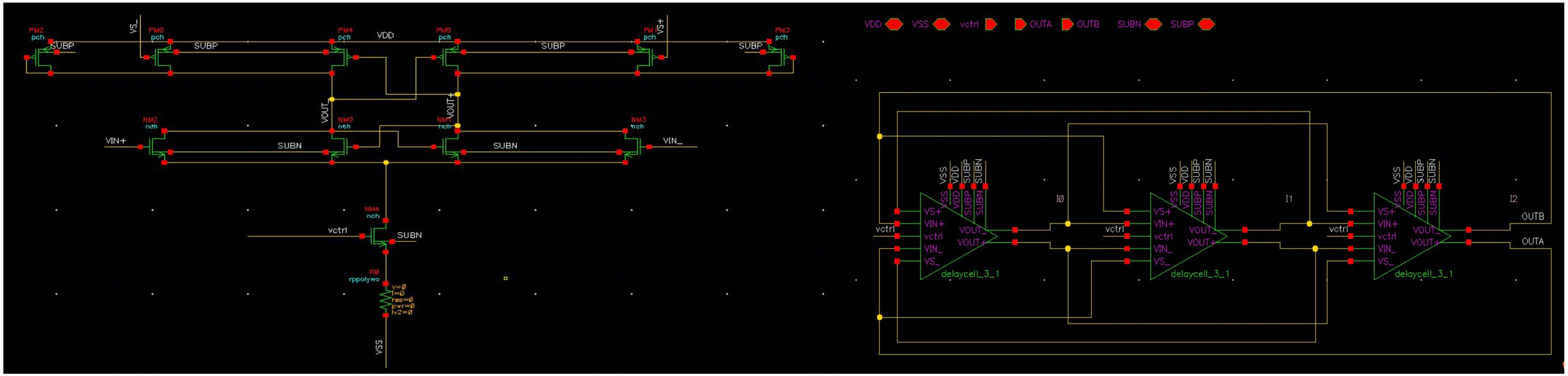
- V-I转换器对KVCO线性度由很大提升
- 相噪降低6dBc/Hz，且还未计入运放相噪
- 且增加了2条支路的电流，约0.9m
- 最终决定放弃该结构





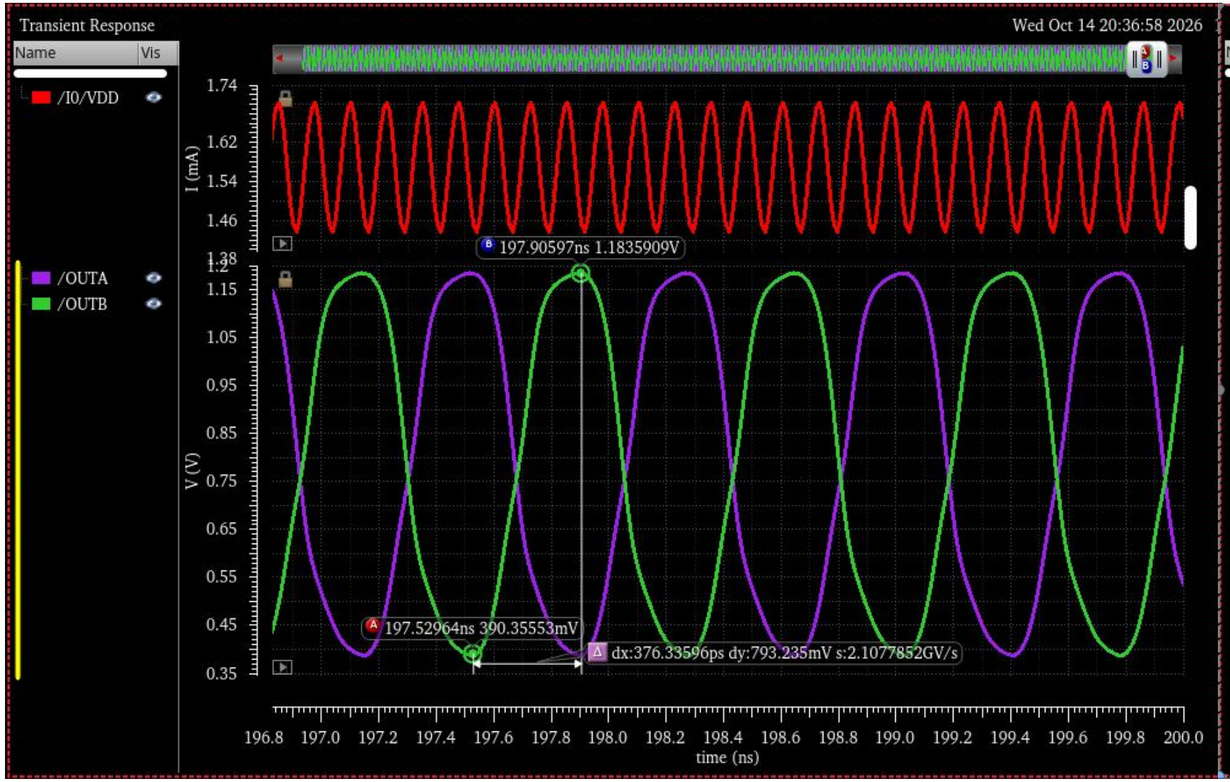
VCO性能仿真

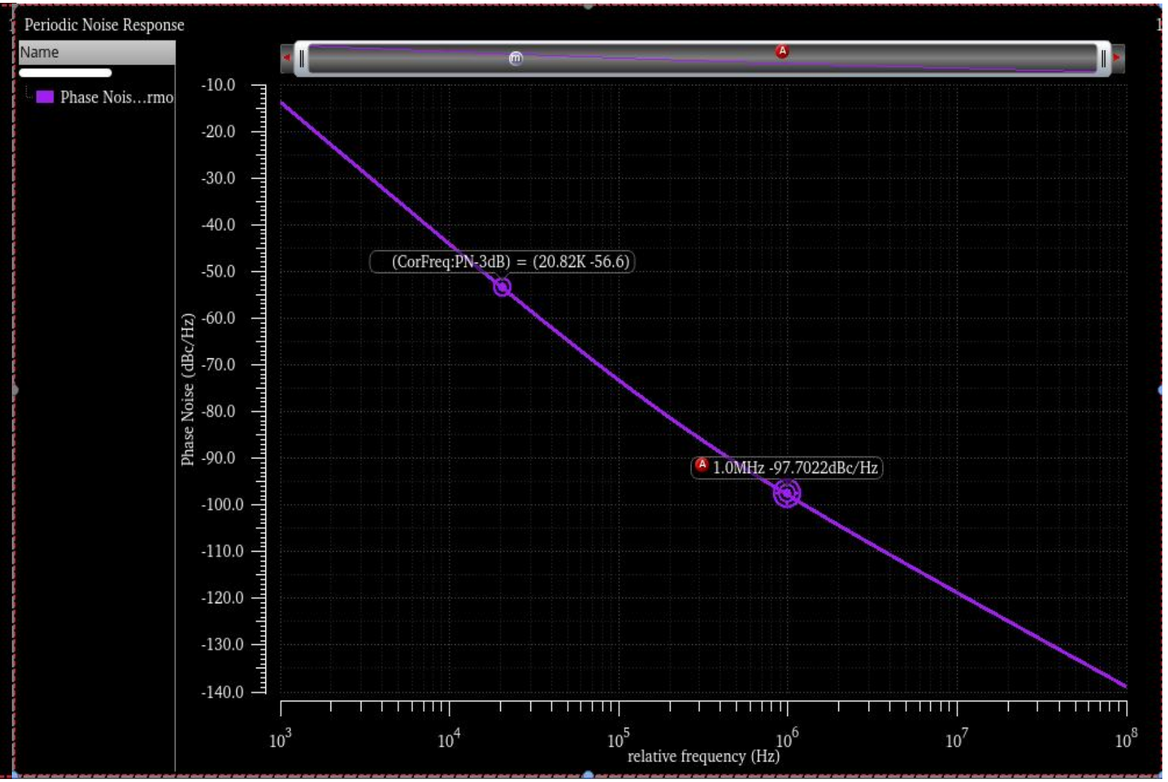
- 核心映射：f_osc ∝ I_tail ⟹KVCO = ∂f_osc / ∂Vctrl ∝ ∂I_tail / ∂Vctrl = Gm，即调谐增益 KVCO 的线性度完全由跨导 Gm 的恒定程度决定。
- 未加电阻（R0 = 0）：I_tail = 0.5 * μn * Cox * (W/L) * (Vctrl - Vth)^2 ⟹Gm = gm = μn * Cox * (W/L) * (Vctrl - Vth) ⟹KVCO ∝ (Vctrl - Vth)，跨导随电压线性剧烈变化，线性度极差。
- 引入电阻（R0 > 0）：Vctrl = Vgs + I_tail * R0 ⟹求导得 1 = (1/gm + R0) * (∂I_tail / ∂Vctrl) ⟹Gm_eff = gm / (1 + gm * R0) = 1 / (1/gm + R0)。
- 线性化机理：当深度负反馈 gm * R0 >> 1 时 ⟹Gm_eff ≈ 1 / R0 ⟹KVCO ∝ 1 / R0 ≈ 常数，非线性被反馈因子 (1 + gm * R0)^2 深度压制，主导权转交由线性电阻 R0 决定。



VCO性能仿真

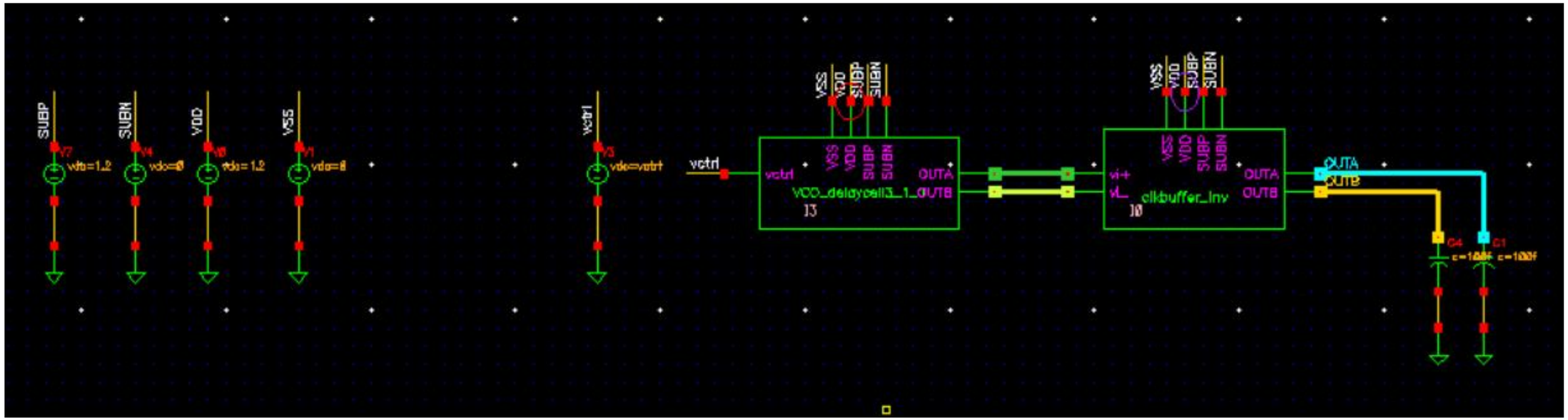
- 输出频率1.33G，输出摆幅单端约400m-1.2v
- 平均电流1.58m
- 1M标称相噪97.7dBc/Hz





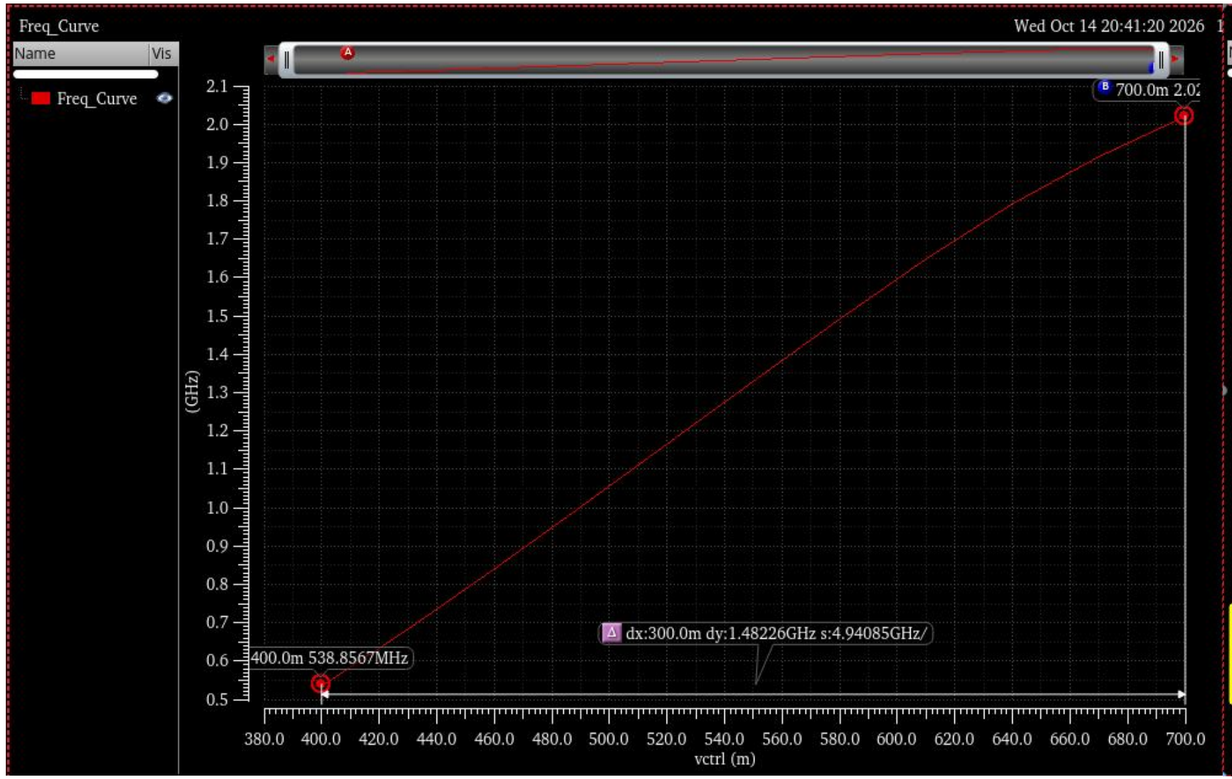
VCO性能仿真

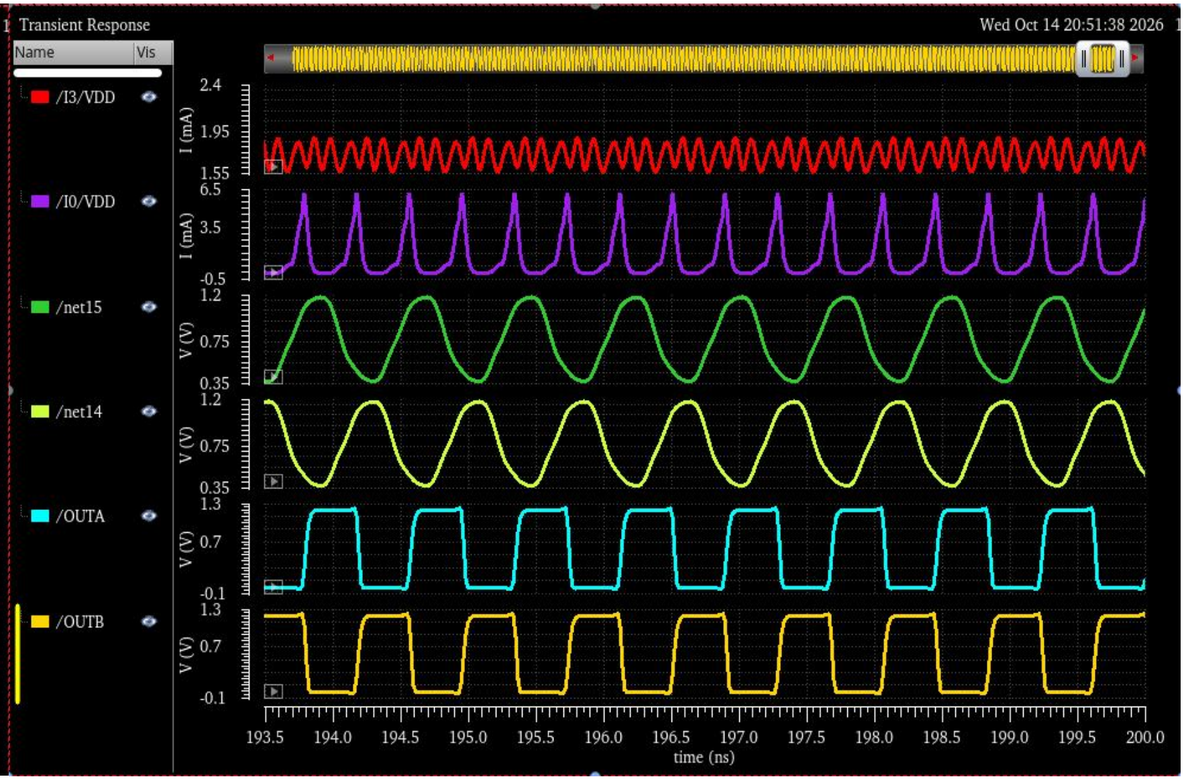
- 后级接整形电路测试
- 输出频率1.287G，输出摆幅单端约400m-1.2v
- VCO平均电流1.74m，后级整形电路1.36m



VCO

- 整形电路简单搭建，还未细致优化，后续继续优化，仅做简单负载参考
- 调谐范围540M-2G
- 上升时间74ps，下降时间74ps



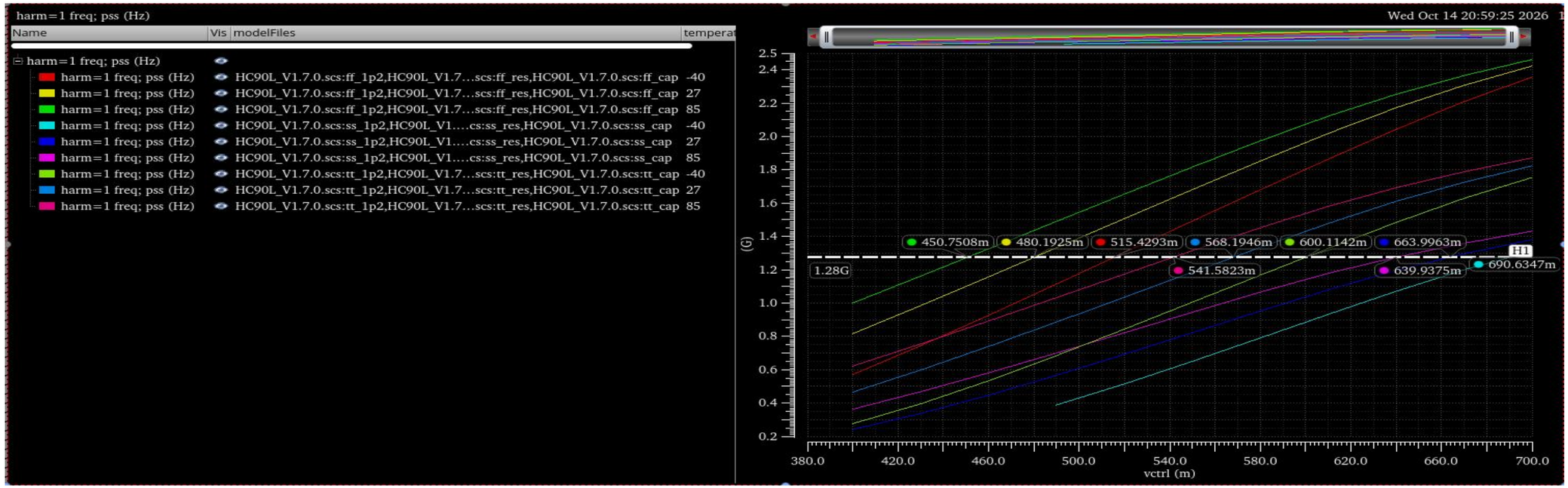


VCO性能测试

- 工艺角仿真，验证在九种工艺角调谐范围均可满足目标频率

Parameter							tt_0	tt_1	tt_2	ss_0	ss_1	ss_2	ff_0	ff_1	ff_2
HC90L_V1.7.0....							tt_cap	tt_cap	tt_cap	ss_cap	ss_cap	ss_cap	ff_cap	ff_cap	ff_cap
HC90L_V1.7.0....							tt_res	tt_res	tt_res	ss_res	ss_res	ss_res	ff_res	ff_res	ff_res
HC90L_V1.7.0....							tt_1p2	tt_1p2	tt_1p2	ss_1p2	ss_1p2	ss_1p2	ff_1p2	ff_1p2	ff_1p2
temperature							-40	27	85	-40	27	85	-40	27	85

Test	Output	Spec	Weight	Pass/Fail	Min	Max	tt_0	tt_1	tt_2	ss_0	ss_1	ss_2	ff_0	ff_1	ff_2
H:Clkbuffer_1_tb:1	harm=1 freq; p...														
H:Clkbuffer_1_tb:1	ymax(harmoni...				1.313G	2.463G	1.756G	1.825G	1.873G	1.313G	1.384G	1.434G	2.358G	2.424G	2.463G
H:Clkbuffer_1_tb:1	ymin(harmoni...				246.5M	1.004G	281.4M	470.5M	626.5M	393.5M	246.5M	367.6M	575.9M	820.8M	1.004G



谢谢