

中国科学院高能物理研究所

Institute of High Energy Physics, CAS

20Gbps PAM4数据传输ASIC设计

中国科学院高能物理研究所

报告人：张国锐

导师：严雄波

指导老师：李筱婷、叶竞波、李怀申

日期：2026-4-23

目录

CONTENTS

01

研究背景

02

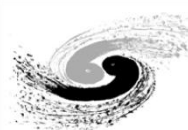
研究计划

03

研究进展

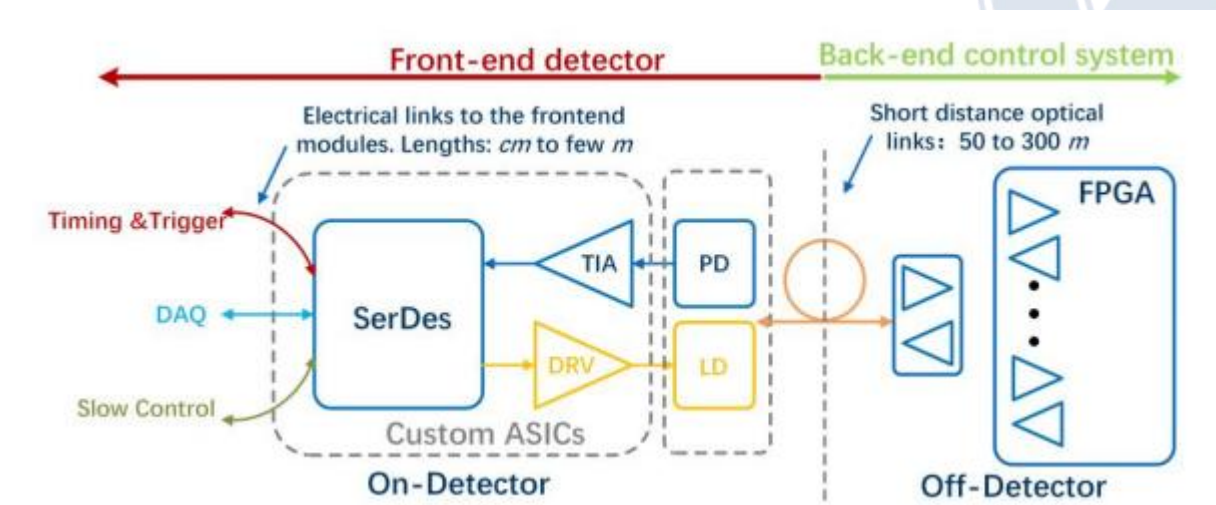
04

总结



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

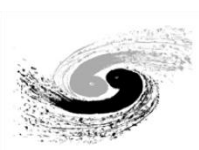
- 典型的高能物理实验光通信系统包括探测器前端和后端两部分。
- 前端的TX芯片包含SerDes电路和Driver电路两部分，前者负责将接收的并行信号转换为高速的串行信号，后者则负责将信号驱动至后端。
- 随着高能物理实验中探测器输出的数据量越来越大，拥有两倍比特速率的PAM4信号展现出其优势。同时均衡技术可以更加有效的为信号在信道中受到的高频损耗进行补偿，保证信号的完整性。



芯片	工艺	速率	信号类型
GBTX	130nm	5Gbps	NRZ
IpGBT	65nm	10.24Gbps	NRZ
GBS20	65nm	20.48Gbps	PAM4
高能所	55nm	11Gbps	NRZ

典型的高能物理实验中的光通信系统

高能物理实验数据传输芯片比较



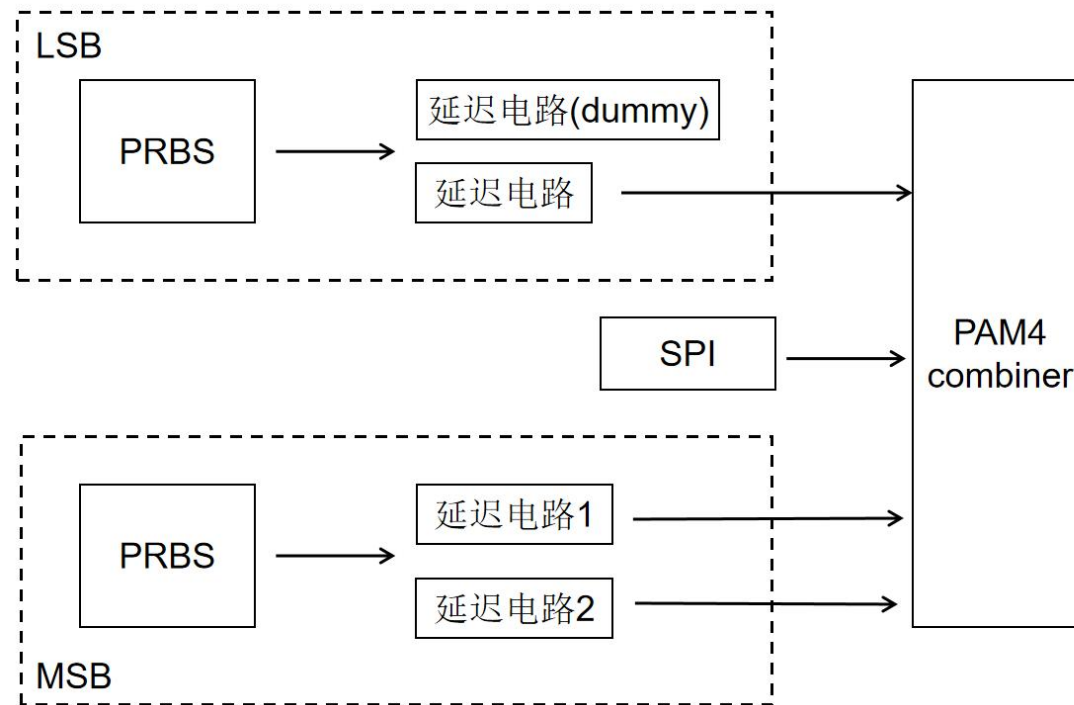
➤ 研发背景

- 28nm工艺研发成本高，但55nm工艺下10Gbps的NRZ码型数据输出已接近带宽上限。
- PAM4通过电平调制，在同一模拟带宽下，可以提升单通道数据率，降低探测器数据传输通道数。

➤ 芯片研发计划

- CML结构PAM4 TX芯片(P4TXc)。

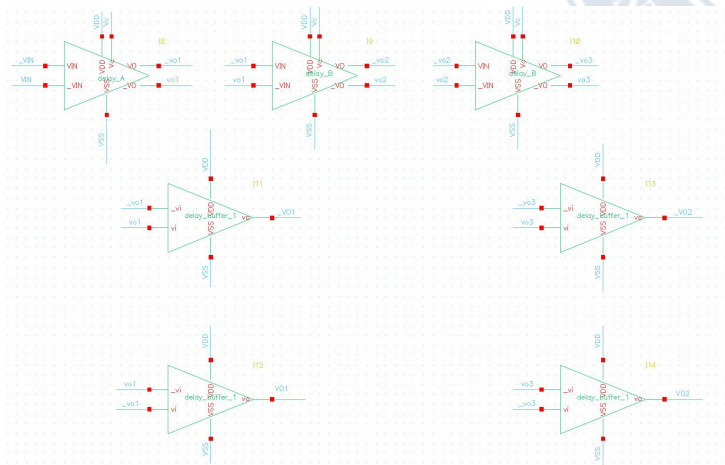
- 设计芯片测试板，完成芯片功能测试。



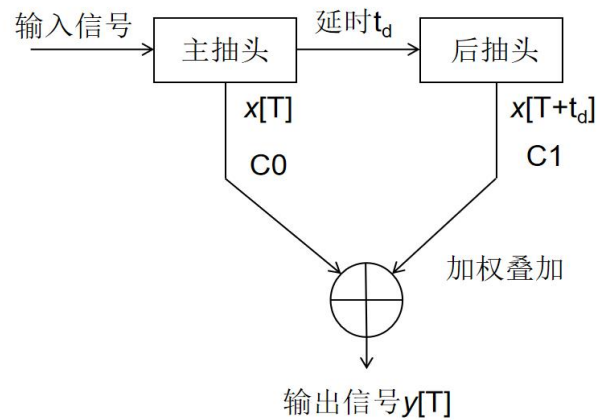
P4TXc芯片电路结构图

P4TXc电路设计

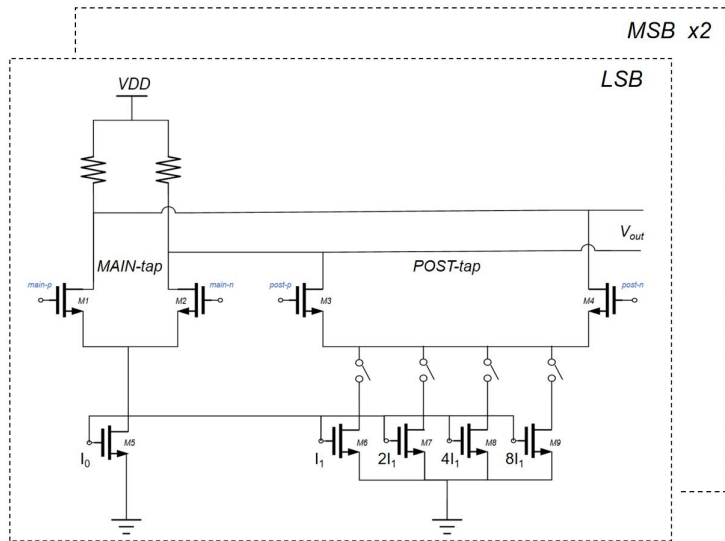
- PAM4 combiner电路作为芯片的输出级，负责驱动激光器将信号传输至后端，其将两路NRZ信号合并为一路PAM4信号。同时电路采用两抽头结构，主抽头电流源电流 $I_0=6\text{mA}$ ，未均衡时总电流 18mA 。后抽头电流源采用4位DAC电路，实现16档的调节，电流 $I_1=100\mu\text{A}$ ，最大档位下总电流为 22.5mA 。
- 延迟电路delay_A负责接收前一级输出的信号，两级delay_B电路则是为输入的信号进行延迟，延迟时间 t_d 则是由控制电压 V_c 决定。由delay_A和第二级delay_B输出的信号通过buffer后输入combiner电路，延迟电路电流 6.8mA 。
- PAM4 combiner电路通过与延迟电路组成前馈均衡(FFE)结构可以为信号补偿信道造成的高频损耗。



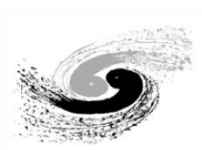
延迟电路结构图



前馈均衡(FFE)示意图



P4TXc combiner电路图



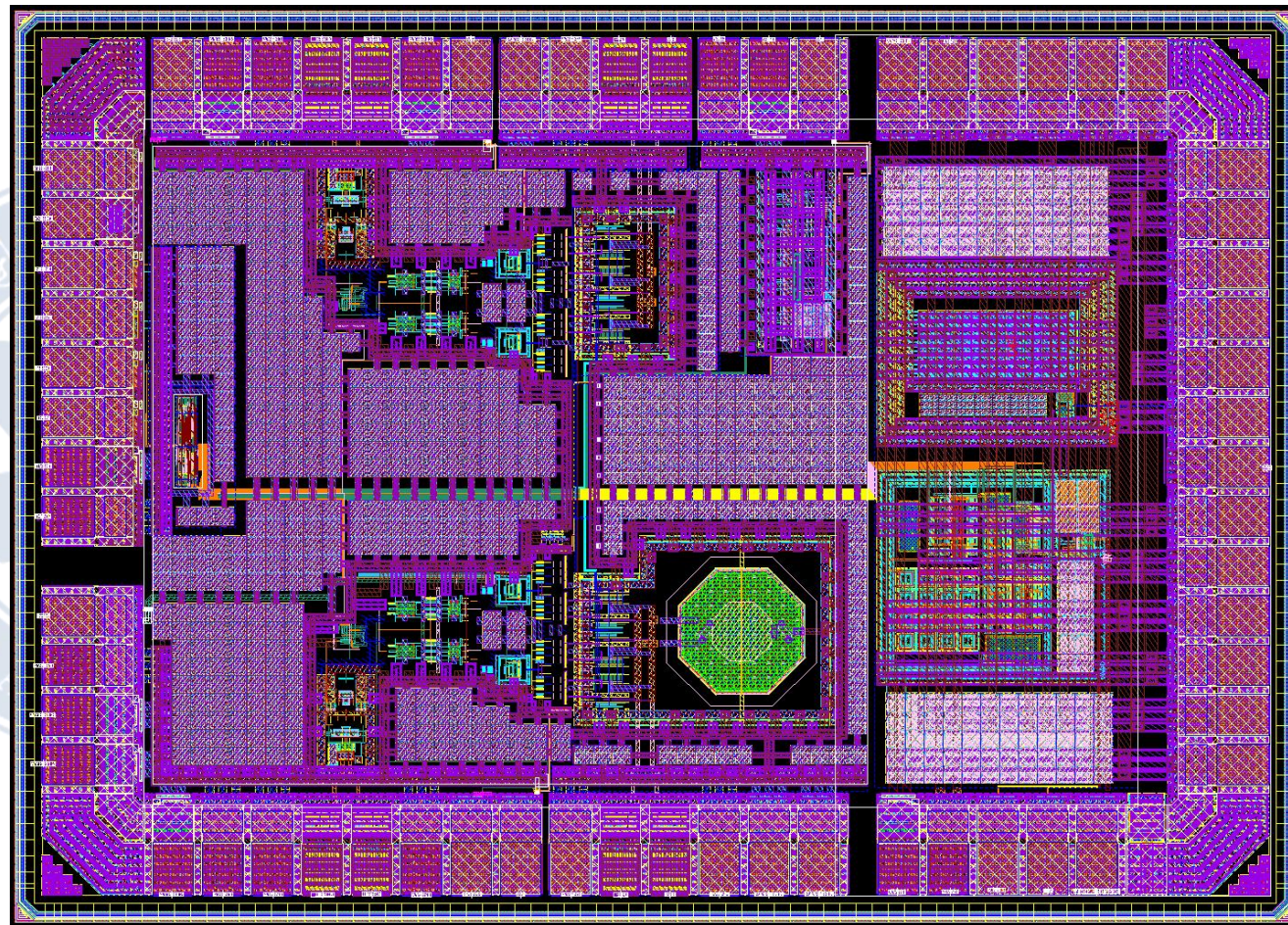
研发进展

➤ 芯片设计

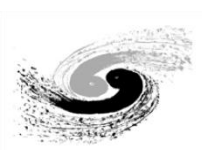
- 已完成P4TXc 芯片,并提交流片
- 芯片测试板

➤ 芯片结构

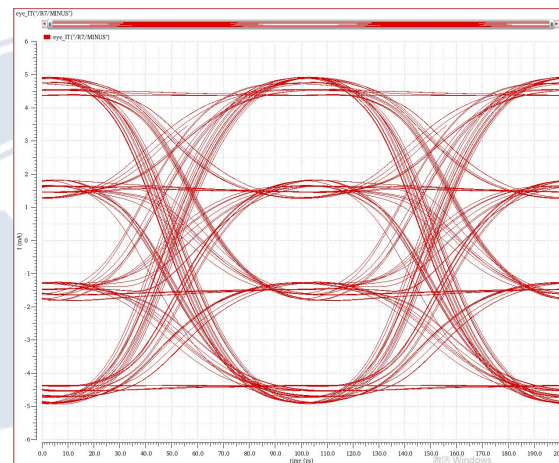
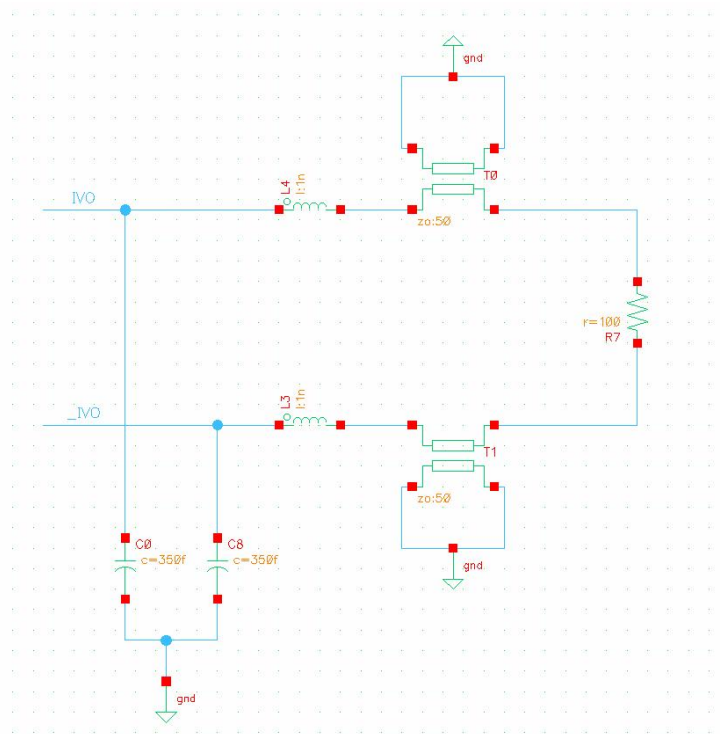
- 芯片内部集成有含有电感和不含电感的两路通道,用于比较电感对于提高带宽的影响
- 芯片压控延迟单元的控制电压由内置的10位DAC电路提供,可实现从0V到1.2V的电压调节
- 芯片内部所有的控制位均有数字电路SPI提供,减少了芯片IO的数量



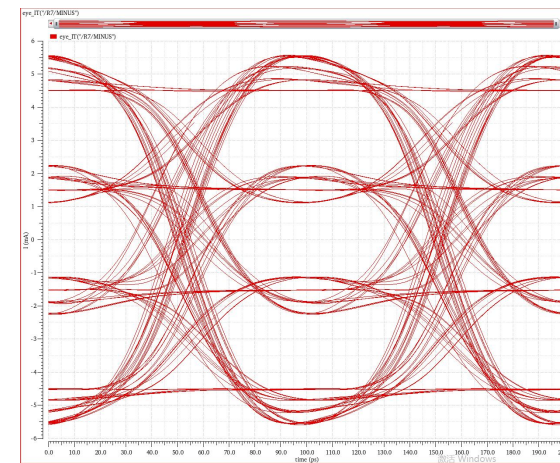
P4TXc 芯片版图



后仿真验证



无电感通道下的输出



有电感通道下的输出

➤ 信道模型

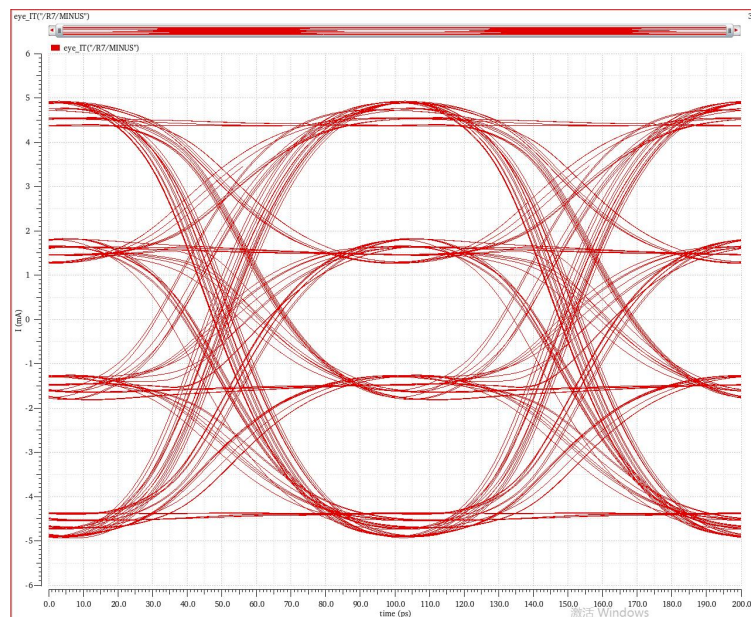
- 负载电阻差分100欧姆
- 芯片输出寄生电容350fF
- 芯片输出寄生电感1nH

➤ 眼图分析

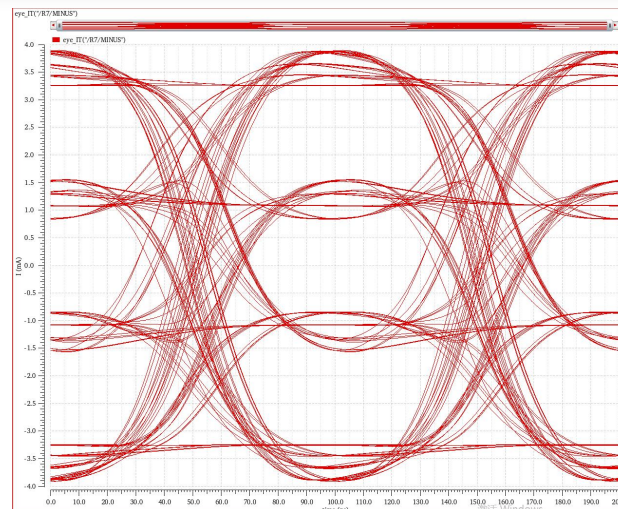
- 在带有电感的输出信号拥有比无电感输出信号明显的过冲
- 信号的过冲可以为信道的高频损耗带来一定的补偿

后仿真验证

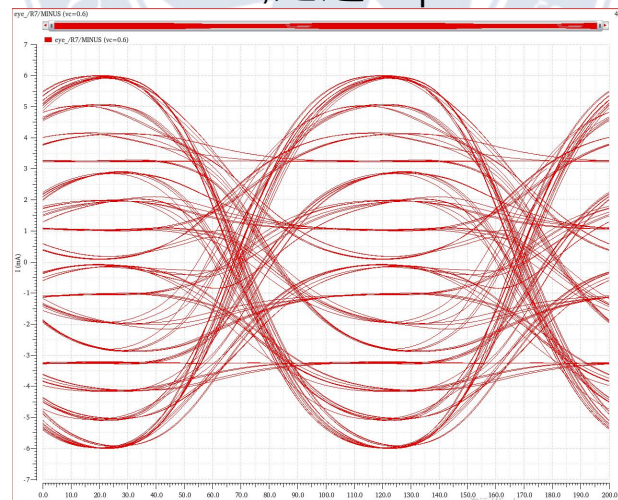
- 无电感通道输入信号10Gbps速率下，不同延迟信号输入到combiner，加重1.5mA。在相应的延迟时间内都有信号的叠加。



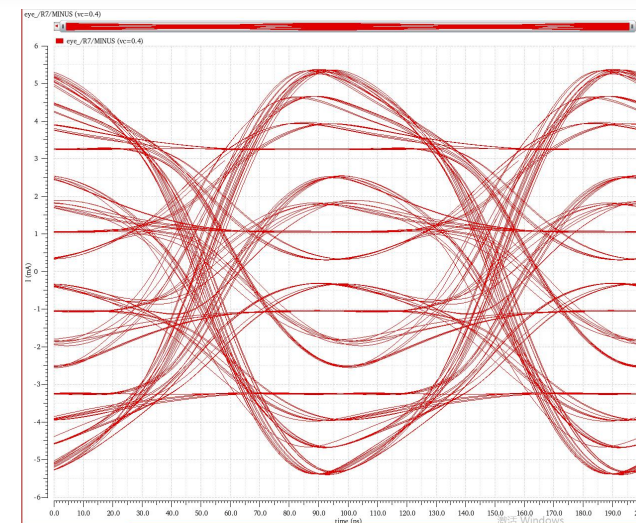
未均衡输出眼图



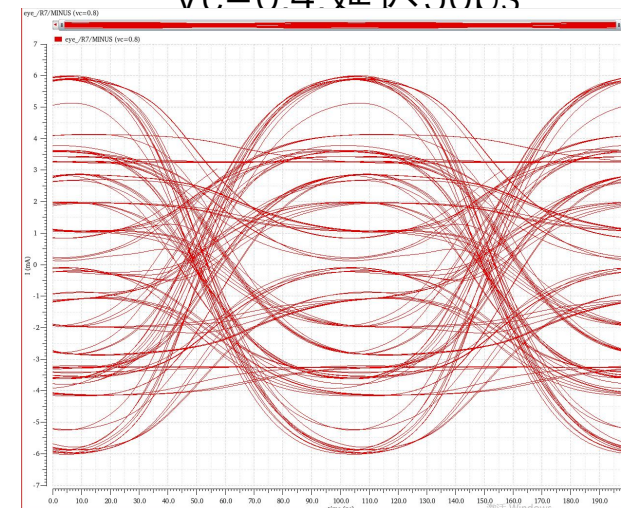
$V_c=0$, 延迟27ps



$V_c=0.6$, 延迟75ps



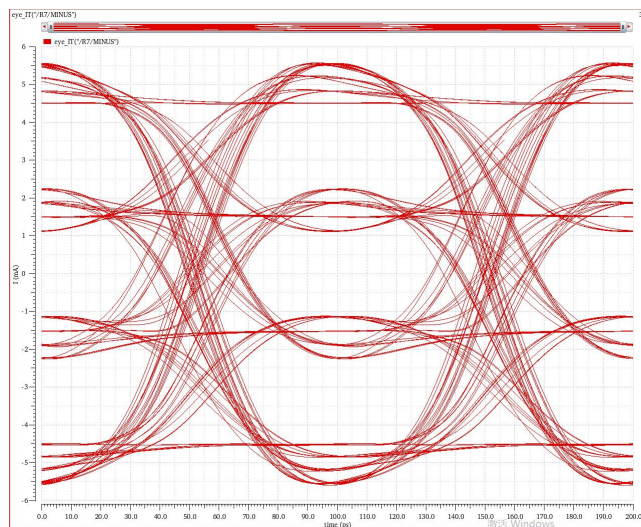
$V_c=0.4$ 延迟50ns



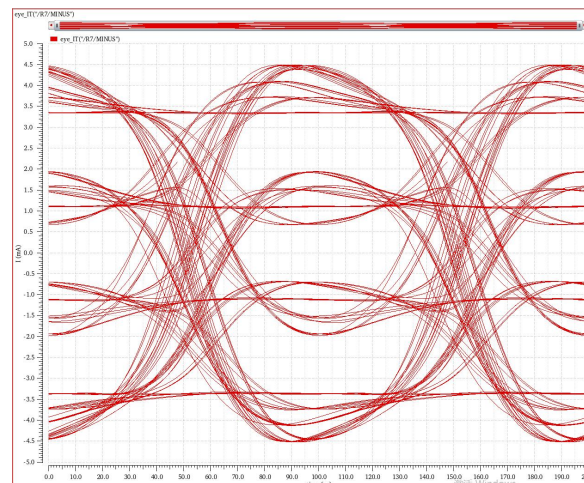
$V_c=0.8$, 延迟95ps

后仿真验证

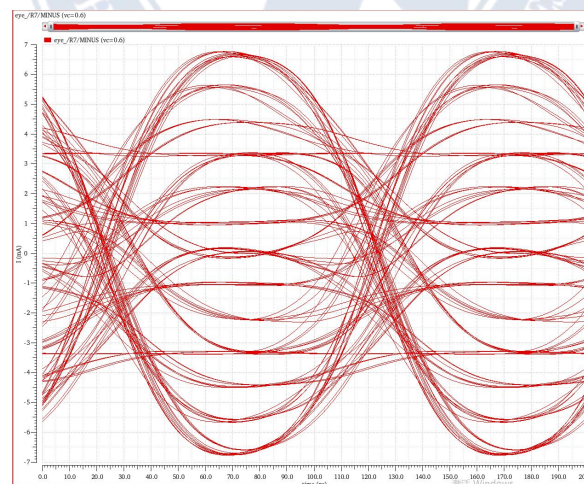
- 带电感通道输入信号10Gbps速率下，不同延迟信号输入到combiner，加重1.5mA。在相应的延迟时间内都有信号的叠加。



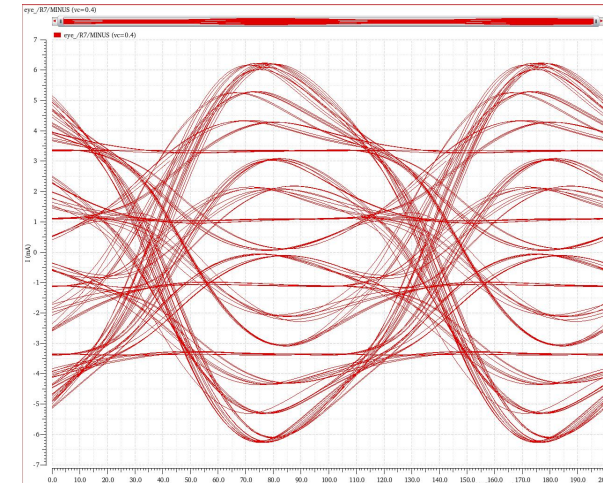
未均衡输出眼图



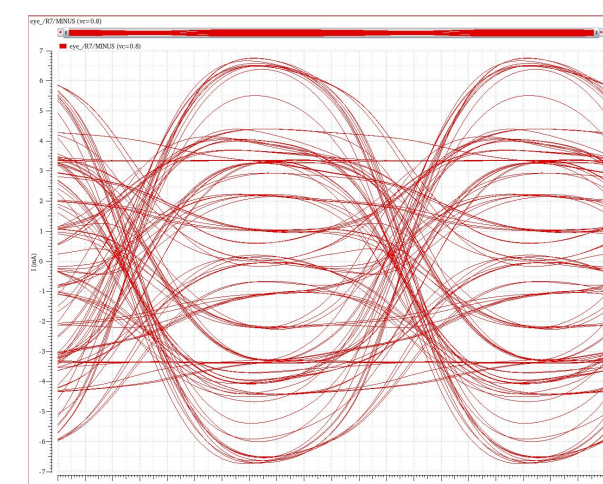
$V_c=0$, 延迟27ps



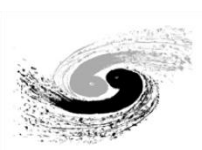
$V_c=0.6$, 延迟75ps



$V_c=0.4$, 延迟50ps

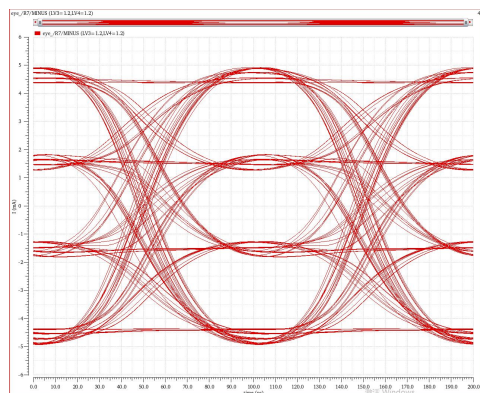


$V_c=0.8$, 延迟95ps

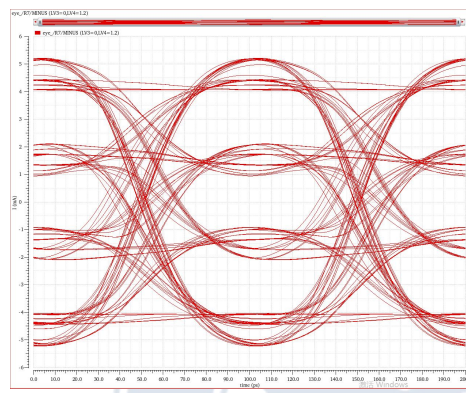


后仿真验证

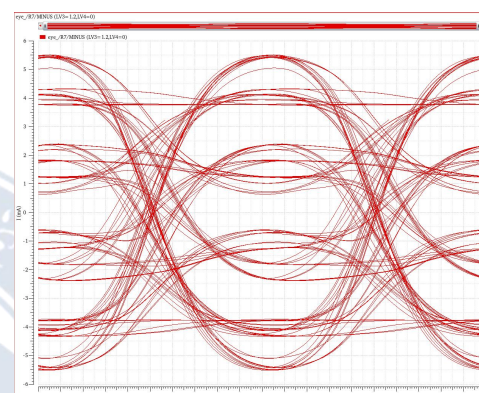
无电感通道



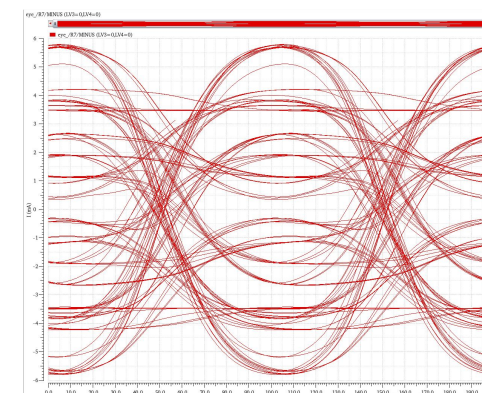
0000



0100

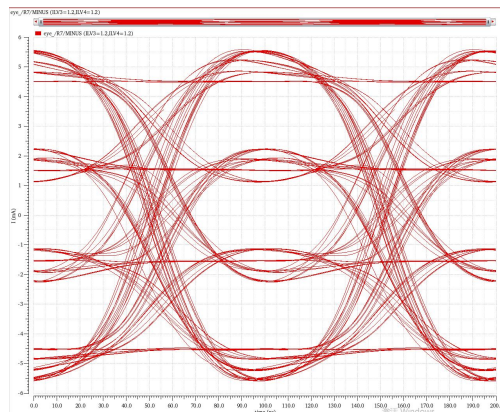


1000

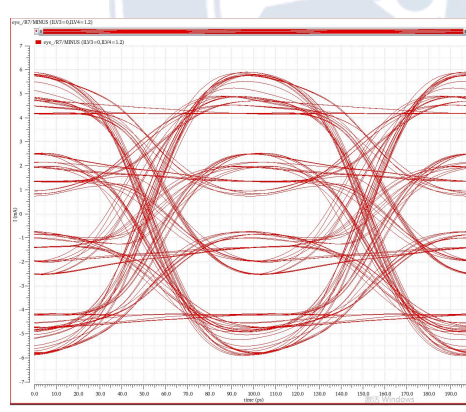


1100

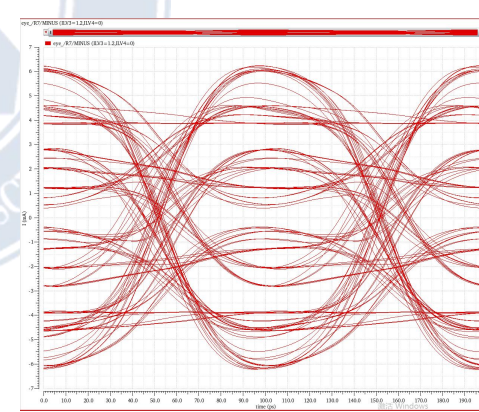
有电感通道



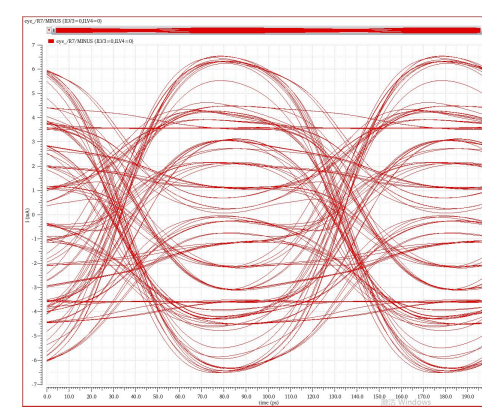
0000



0100

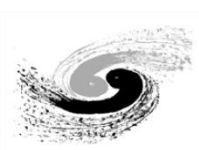


1000



1100

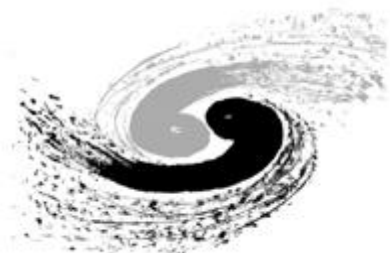
- 在延迟95ps ($V_c=0.8V$) 下的四级均衡仿真输出眼图，随着加重档位的增加，信号的过冲越来越严重，说明对于信号的高频成分的补偿越来越大，与理论相符。



➤ 后续计划:

- 完成P4TXc芯片的测试板设计
- 完成P4TXc芯片的测试工作
- 完成P4TXc芯片与PAM4芯片的联合测试, 验证功能





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

请各位老师指正