



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

波形数字化技术中 程控增益放大电路研究

曹喆
中国科学技术大学
2018.4.26



目录

- **研究背景**
- **方案设计**
- **系统测试**
- **总结与展望**



研究背景

➤ 波形数字化技术

- 粒子物理与核物理实验
- 多通道、高带宽、大动态范围

➤ 研究目标

- 通用远程全程控增益放大器系统

➤ 设计目标

- 1000倍动态范围
- DC/LF-250MHz
- 直流偏置可调
- 增益可调
- 远程全程控系统

目录

- 研究背景
- **方案设计**
- 系统测试
- 总结与展望



方案设计

➤ 系统结构

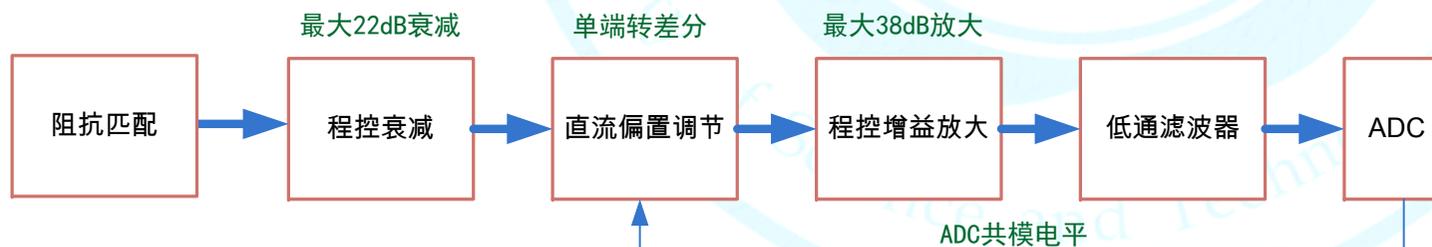
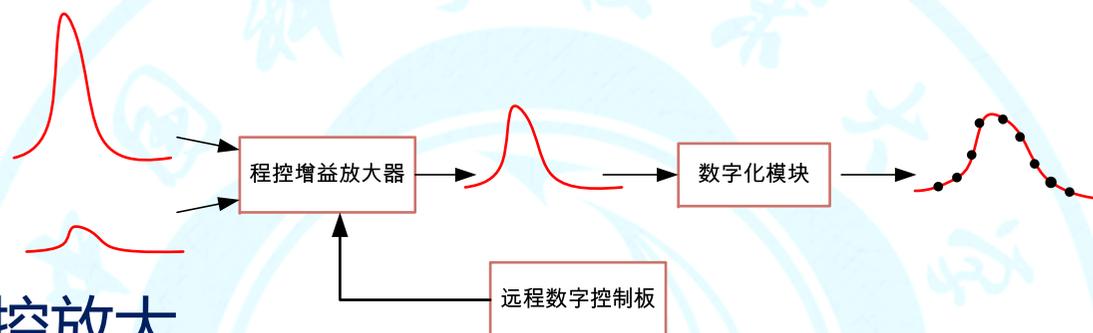
➤ 前端模拟板

➤ 程控衰减+程控放大

➤ 三种方案

➤ 远程数字控制板

➤ 多种接口



AD8370方案

➤ 电路结构

➤ DAT-31R5-PP+

- 程控衰减器
- 衰减:31.5dB
- 步长:0.5dB
- 带宽:DC-2.4GHz

➤ AD8370

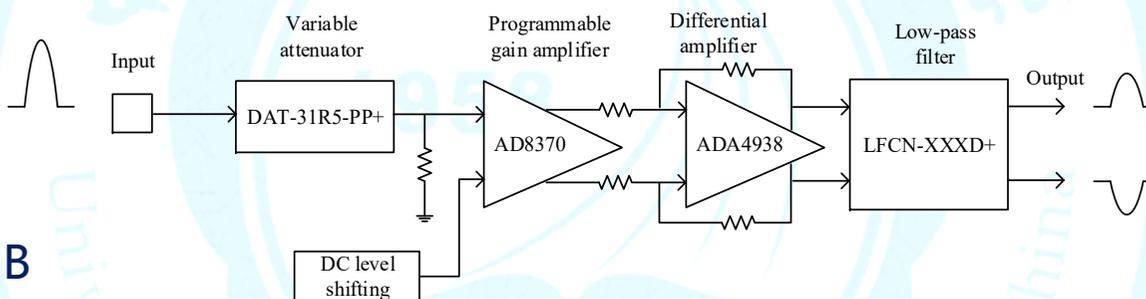
- 程控增益放大器
- 增益:-11dB~34dB
- 带宽:750MHz

➤ ADA4938

- 全差分运放
- 带宽:1GHz

➤ LFCN-291-1PM+

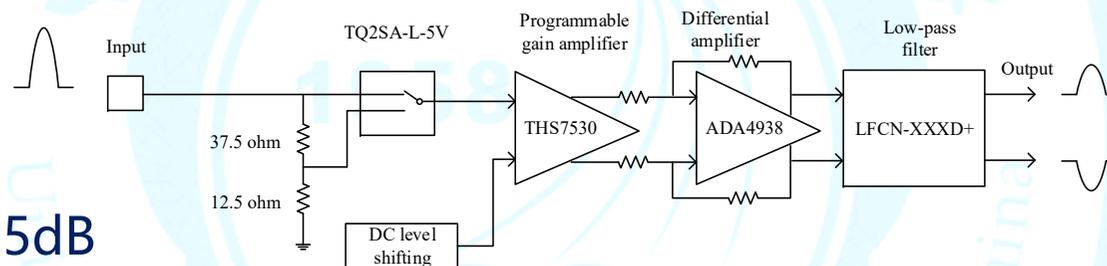
- 低通滤波器
- 带宽:DC-290MHz



THS7530方案

➤ 电路结构

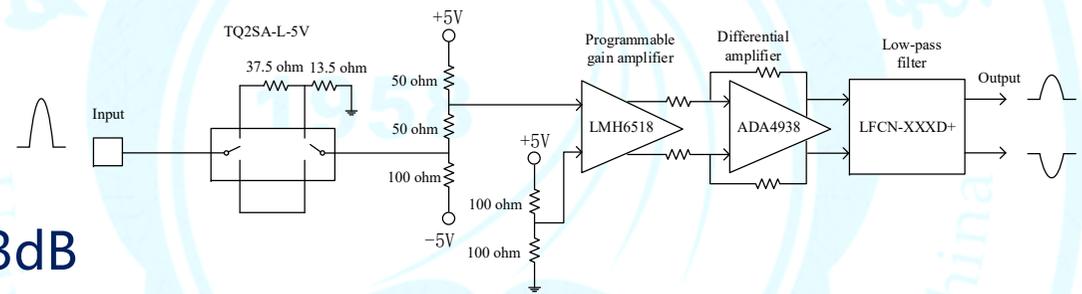
- TQ2SA-L-5V
 - 继电器
 - 选择0/-12dB
- THS7530
 - 程控放大器
 - 带宽:300MHz
 - 增益:11.6dB~46.5dB
 - ADC控制增益
- ADA4938
 - 全差分运放
 - 带宽:1GHz
- LFCN-291-1PM+
 - 低通滤波器
 - 带宽:DC-290MHz



LMH6518

➤ 电路结构

- TQ2SA-L-5V
 - 继电器
 - 选择0/-13.6dB
- THS7530
 - 程控放大器
 - 带宽:900MHz
 - 增益:-1.16dB~38.3dB
 - 步长:2dB
- ADA4938
 - 全差分运放
 - 带宽:1GHz
- LFCN-291-1PM+
 - 低通滤波器
 - 带宽:DC-290MHz



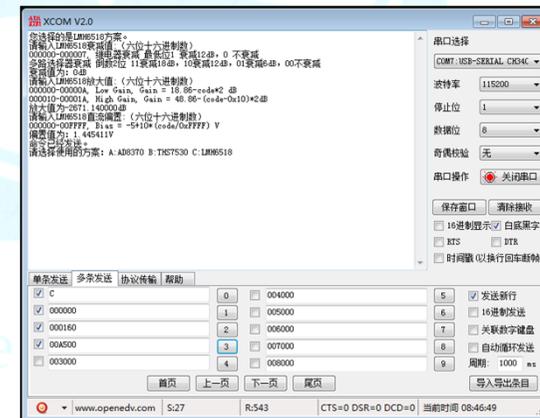
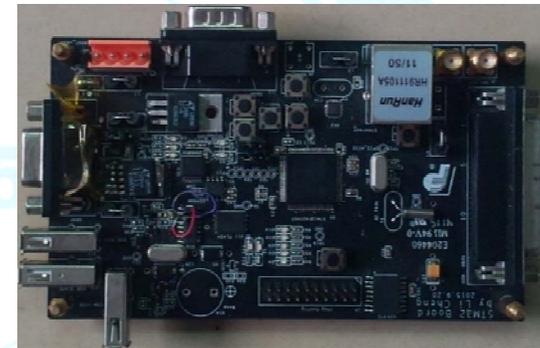
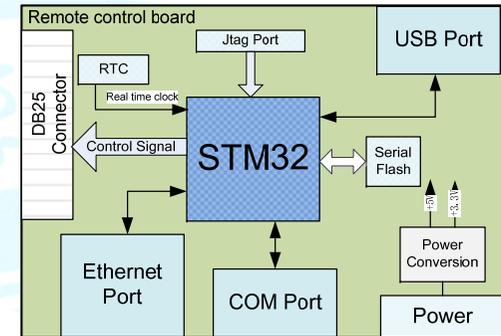
数字控制板

➤ 基于STM32数字控制板

- ARM Cortex-M4微处理器
- 集成以太网网口、USB、RS232接口
- DAC、VGA远程控制线SPI配置
- 开发配套控制软件

➤ 特点

- 成本低、开发便捷、通用性强
- 相对于FPGA更适合功能简单、通用接口的场合
- 实现模拟板远程控制



目录

- 研究背景
- 方案设计
- **系统测试**
- 总结与展望



系统测试

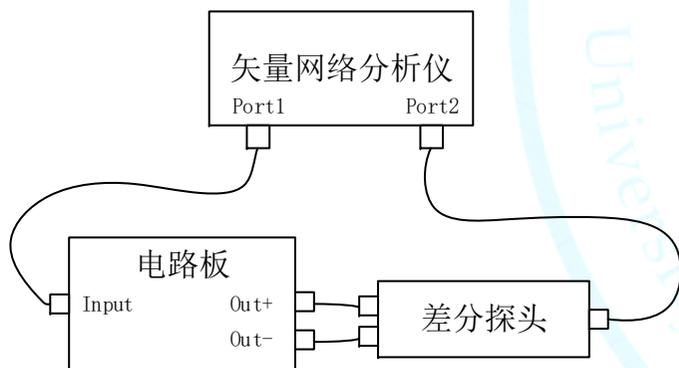


测试内容：
直流、S参数、噪声、谐波、瞬态
BaF2探测器联调

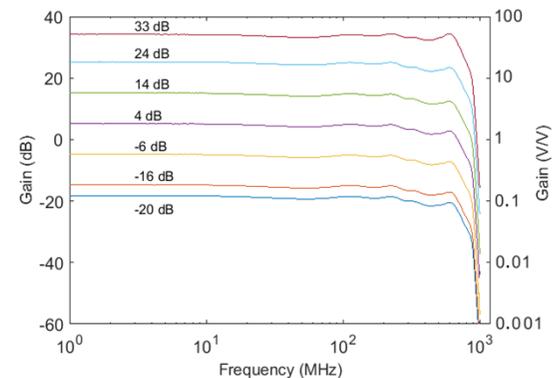
S参数测试

增益线性、带宽

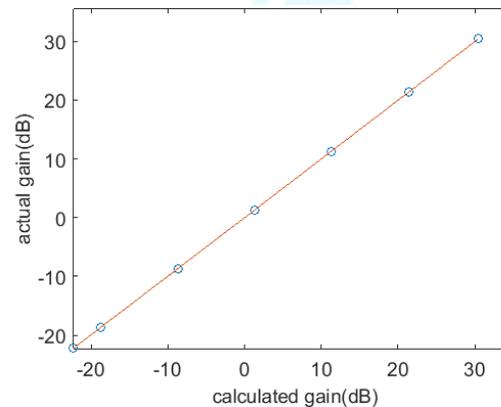
AD8370方案



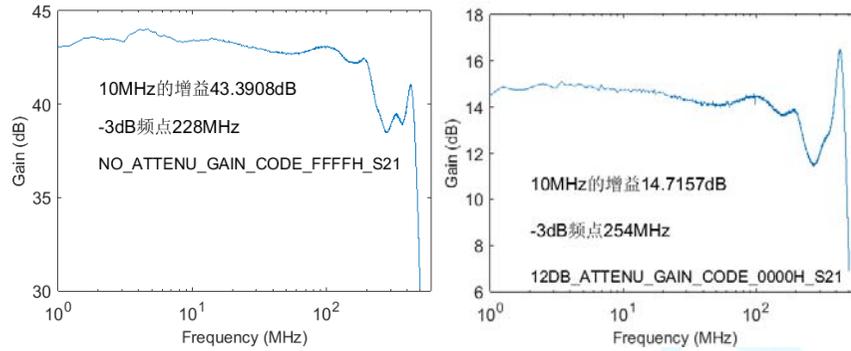
-3dB@700MHz



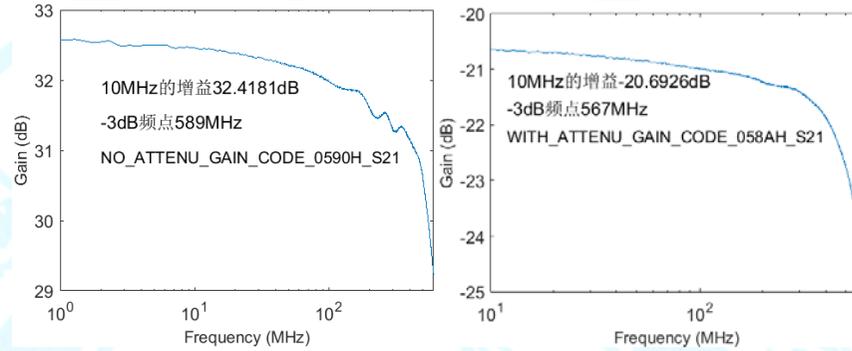
理论增益与实际增益曲线
@70MHz



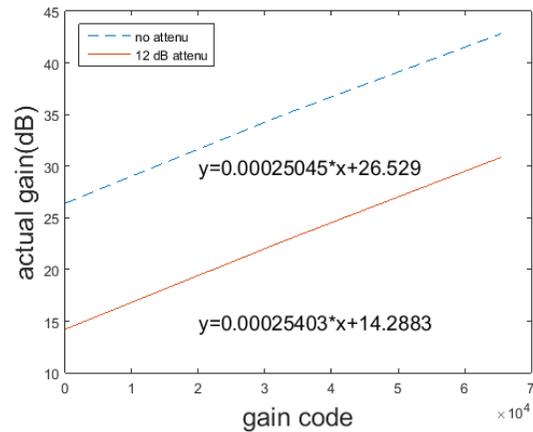
THS7530方案



LMH6518方案

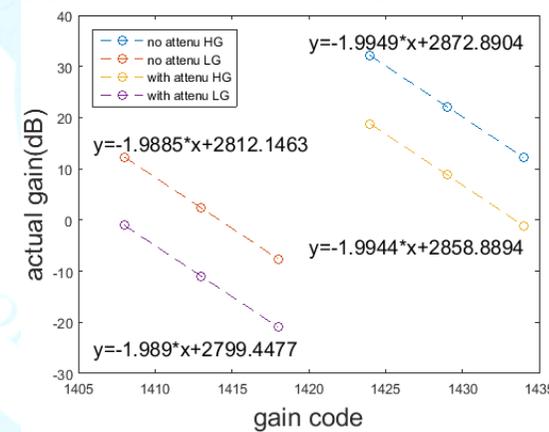


不同增益下波特图
-3dB@228MHz



实际增益曲线 (70MHz)

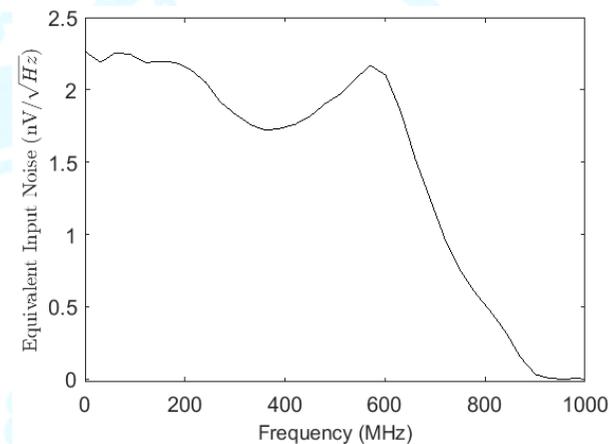
不同增益下波特图
-3dB@490MHz



实际增益曲线 (70MHz)

噪声测试

AD8370方案



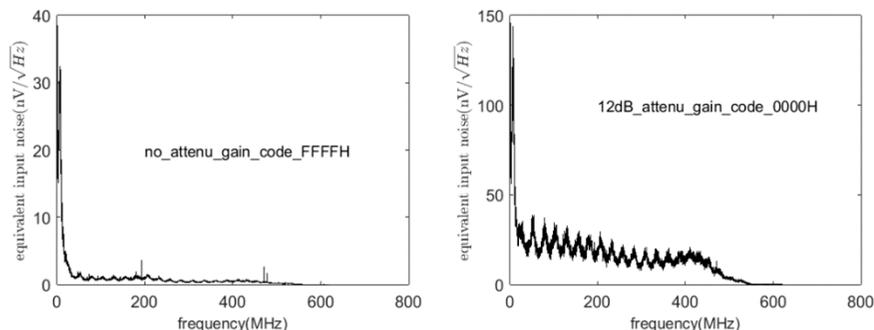
33dB增益下的等效输入端噪声能量谱密度



Gain (dB)	Input noise(uV)
33	54
24	41
14	34
4	106
-6	335
-16	1060
-22	1332

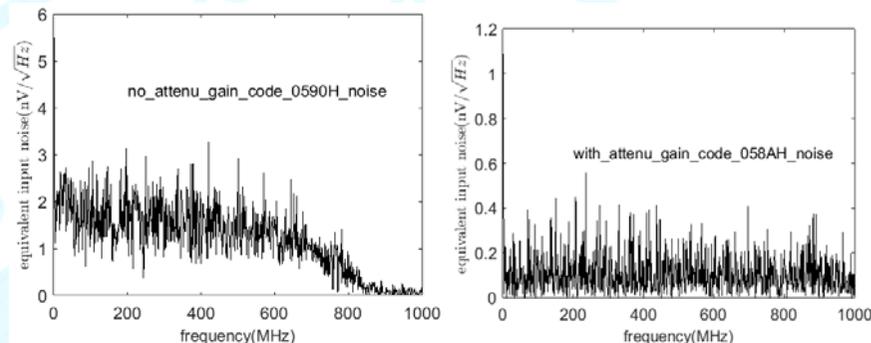
不同增益下的等效输入端噪声幅度

THS7530方案



不同增益下等效输入端噪声能量谱密度

LMH6518方案



不同增益下等效输入端噪声能量谱密度

前级衰减	无衰减			12dB衰减		
电路增益(dB)	26.5	34.7	42.9	14.5	22.7	30.9
等效输入噪声幅度(uV)	98.5	41.4	21.8	392	145	87

不同增益下的等效输入端噪声幅度

前级衰减	无衰减					有衰减				
电路增益(dB)	32.4	22.5	12.6	2.6	-7.3	19.0	9.1	-0.9	-10.7	-20.7
等效输入噪声幅度(uV)	37.39	13.32	19.31	35.25	8.96	64.38	33.29	80.16	7.70	3.27

不同增益下的等效输入端噪声幅度

谐波测试

AD8370方案



输出信号 功率(dBm)	Gain (dB)	THD(10MHz) (dBc)	THD(100MHz) (dBc)
-1.5	33	-69.42	-56.69
2.1	24	-67.45	-53.60
5	14	-65.58	-48.42
5	4	-64.53	-48.53
5	-6	-64.78	-49.23
5	-16	-66.91	-50.23
5	-20	-64.36	-49.64

THD<-64dB@10MHz

THD<-48dB@100MHz

THS7530方案

前级衰减	无衰减			12dB衰减		
电路增益 (dB)	26.5	34.7	42.9	14.5	22.7	30.9
输出信号的功率	单端-1dBm, 差分5dBm					
30.5MHz 谐波(dBc)	-31.89	-33.85	-23.11	-32.45	-35.88	-36.27
125MHz 谐波(dBc)	-44.21	-35.56	-20.65	-43.63	-35.48	-27.94

THD<-23dB@30.5MHz
THD<-20dB@125MHz

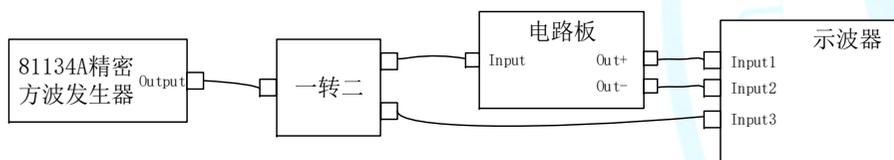
LMH6518方案

前级衰减	无衰减				有衰减			
电路增益 (dB)	32.4	22.5	12.6	2.6	19.0	9.1	-0.8	-10.7
输出信号的功率	单端-1dBm, 差分5dBm							
15.5MHz 谐波 (dBc)	-48.49	-62.00	-66.36	-64.76	-57.47	-64.22	-67.46	-66.05
98MHz 谐波 (dBc)	-38.83	-48.72	-55.56	-54.46	-42.24	-49.38	-55.88	-55.06

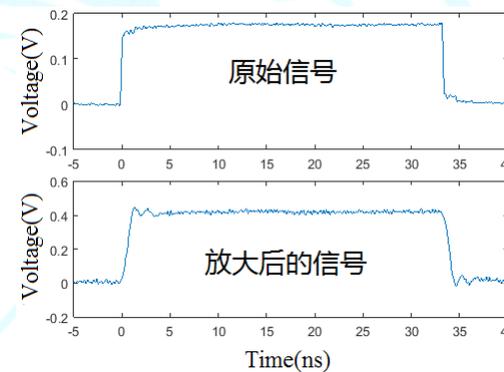
THD<-48dB@15.5MHz
THD<-38dB@98MHz

瞬态测试

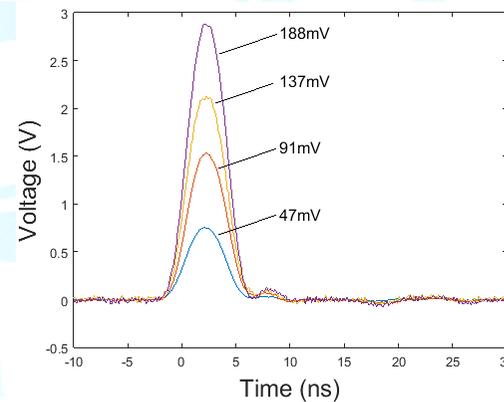
AD8370方案



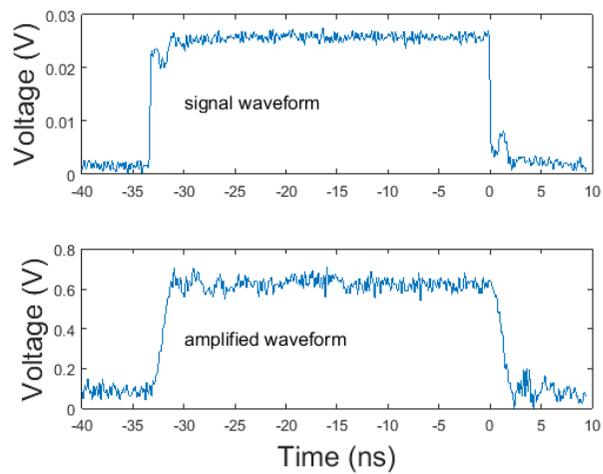
方波瞬态测试



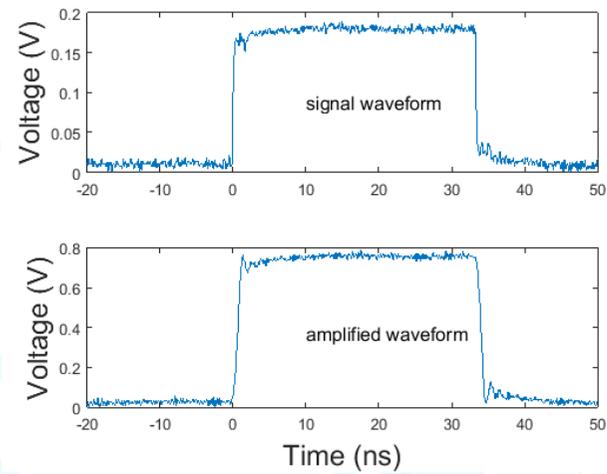
脉冲瞬态测试



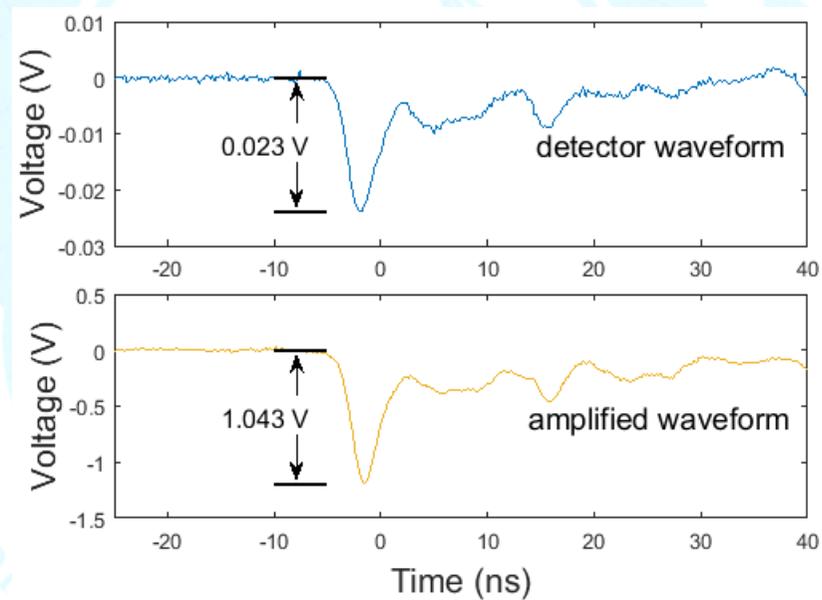
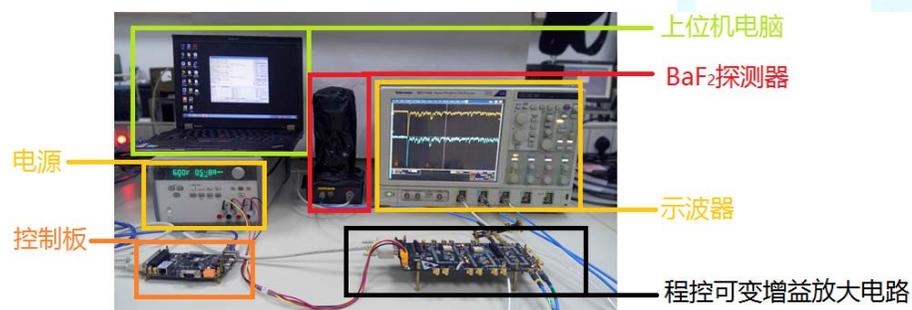
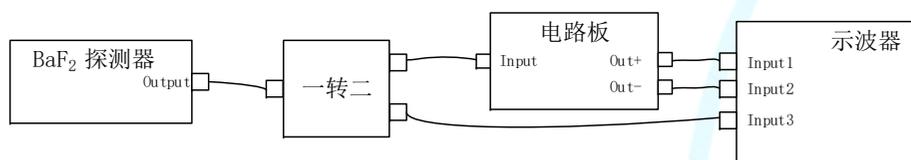
THS7530方案



LMH6518方案



BaF₂探测器联调



目录

- 研究背景
- 方案设计
- 系统测试
- **总结与展望**



测试结果

方案	带宽 (MHz)	增益 (dB)	增益曲线平坦性
AD8370方案	700	-40~33	好
THS7530方案	228	14~43	差
LMH6518方案	490	-21~32	好

➤ 存在问题

➤ AD8370

➤ 最高增益33dB

➤ THS7530

➤ 最低增益14dB

➤ 增益曲线平坦性较差

➤ 噪声和谐波较大

➤ LMH6518

➤ 最高增益32dB

➤ 静态工作点调节困难
增益控制的步进
10dB

总结

支出科目	预算金额 (万元)	本年度支出 (万元)	备注
1.科研业务费	1.0	1.0	
2.实验材料费	6.5	8.5	会议、差旅费调整至实验材料费
3.仪器设备费	0	0	
4.会议、差旅费	2.0	0	
5.文献信息费	0.5	0.5	
合计	10.0	10.0	

➤ 论文：

- [1] Cheng Li, Zhe Cao*, Jiadong Hu, Changqing Feng, Shubin Liu, Qi An. "Development of a high dynamic range and wide bandwidth amplifier electronics system", The 20th Real Time Conference, Padova, Italy, June 2016.
- [2] Zhe Cao, Jiadong Hu, Cheng Li, Siyuan Ma, Shubin Liu, Qi An*. "Design of a Data Acquisition Module Based on PXI for Waveform Digitization", International Conference on Technology and Instrumentation in Particle, Beijing, China, May 22 to 26, 2017.

➤ 会议报告：

- Design of Waveform Digitization Data Acquisition Module Based on PXI, The Technology and Instrumentation in Particle Physics 2017 (TIPP2017) conference, 北京, 2017年5月21日~26日

展望

➤ 民用

- 测控系统
- 智能仪器仪表
- 数据采集系统

➤ 工业

- 通讯
- 测量仪器
- 超声检测

➤ 国防

- 中国工程物理研究院
- 西北核技术研究所



The logo of Tsinghua University of Science and Technology of China is a circular emblem. It features a central stylized sailboat with a curved sail, set against a background of a sun or moon. The emblem is surrounded by a circular border containing the university's name in Chinese characters at the top and English at the bottom. The year '1950' is also visible within the emblem.

Thank you!