

# 便携式脑电信号采集装置的设计与实现

医电53 李竞捷

[jingjie.li@nyu.edu](mailto:jingjie.li@nyu.edu)

指导老师: 李津副教授

2019年6月11日

# 便携式脑电信号采集装置的设计与实现

## 背景

脑电信号监测的原理

脑电信号监测的应用

脑电信号采集设备现状

## 硬件与软件解决

硬件主体构架

PCB外围电路设计

电气隔离安全性设计

DSP嵌入式程序设计

上位机波形显示程序设计

## 性能测试与人体实测

物理参数测试

电压与功耗测试

频率响应 共模抑制比测试

信噪比 谐波噪声测试

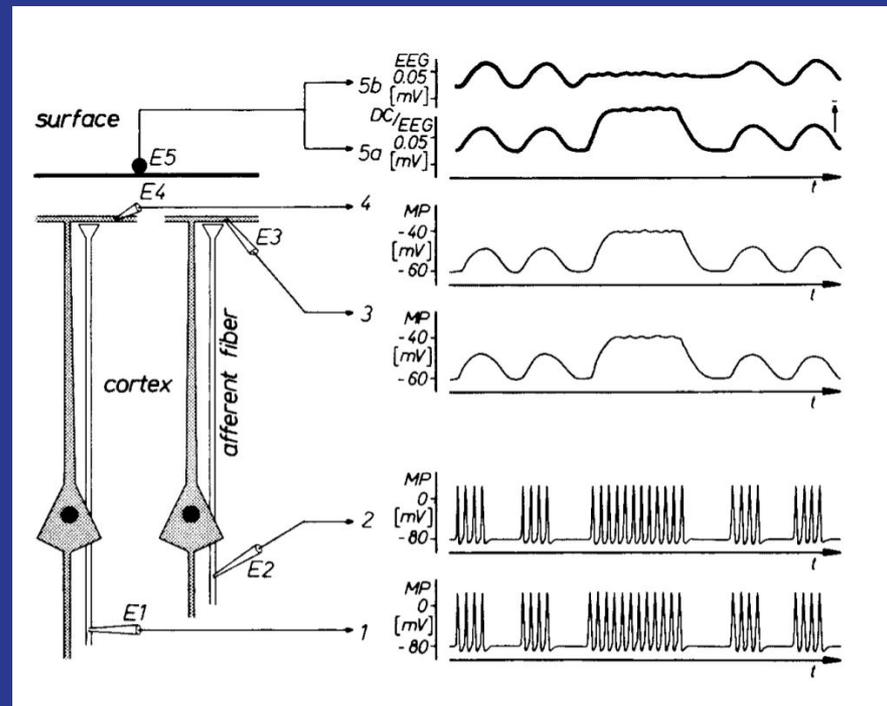
人体ECG信号实测

人体EEG信号实测

# 研究背景

# EEG 测量原理

突触后电位的集合，头皮处采集微弱的电信号



NIEDERMEYER and LOPES DA  
SILVA, 2005, Electroencephalography

# EEG测量的应用

医学应用

## 医学监测

- 癫痫监测
- 睡眠监测
- 麻醉深度监测

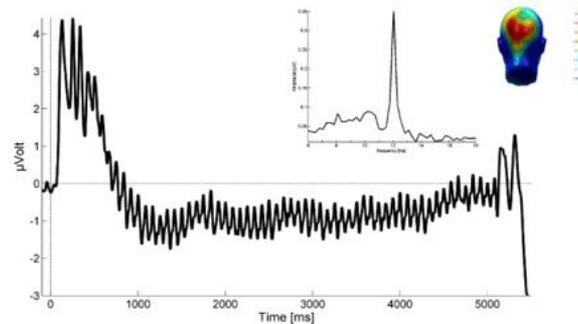


Wikipedia

工程应用

## 脑机接口的实现

- SSVEP视觉诱发电位
- 运动想象 P300

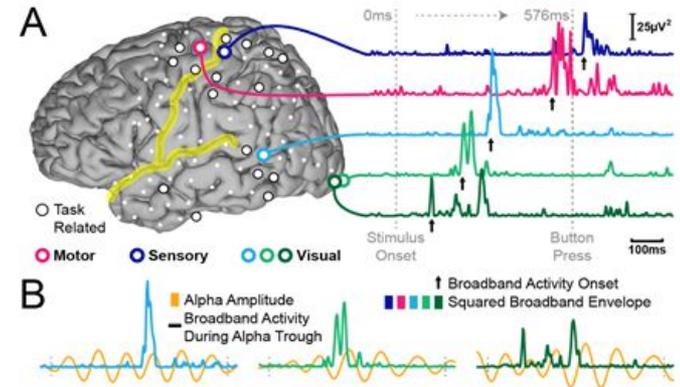


(Wieser, laisch & Pauli ., 2014)

科学研究

## 认知神经科学研究

- 事件相关电位ERP
- 频率频带能量分析



Schalk et al., 2017

# 硬件与软件解决

# EEG采集装置的主要模块结构

## EEG采集模块

### 前端采集模块

- TI ADS1299芯片
- EEG信号采集
- 前置滤波
- 放大
- AD转换
- SPI传输
- 右腿驱动降噪

## 数据控制处理模块

### 数据处理控制模块

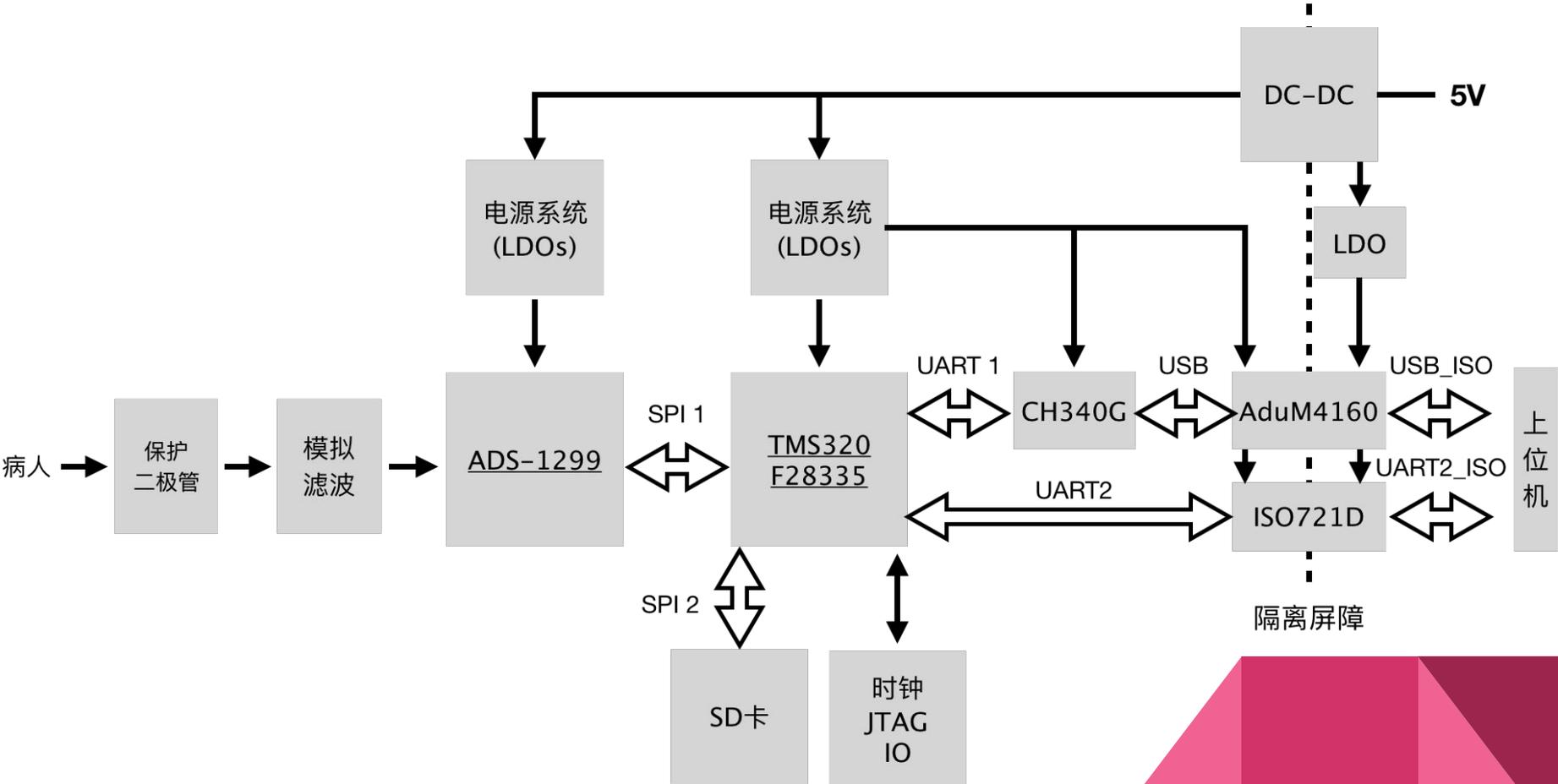
- TI TMS320F28335DSP
- 通过SPI接受采集模块数据
- 数据打包、UART高速传输
- 数据在线处理, 在线频谱分析功能(待完善)

## 上位机显示模块

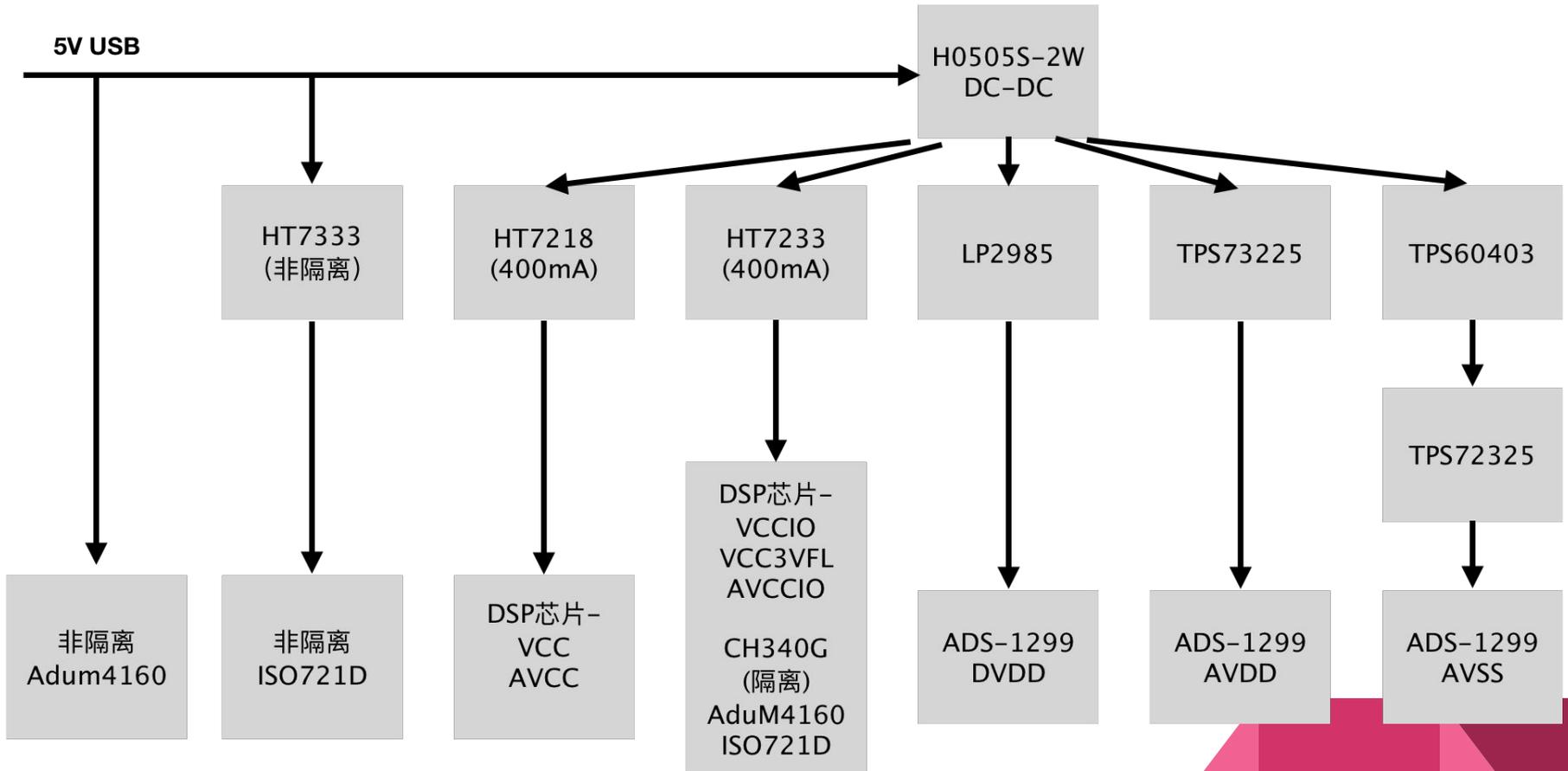
### 上位机显示模块

- EEG波形实时显示
- EEG数据存储
- EEG数据频谱显示
- EEG数据频带能量分析

# EEG采集装置硬件部分模块图



# EEG采集装置硬件部分电源树设计



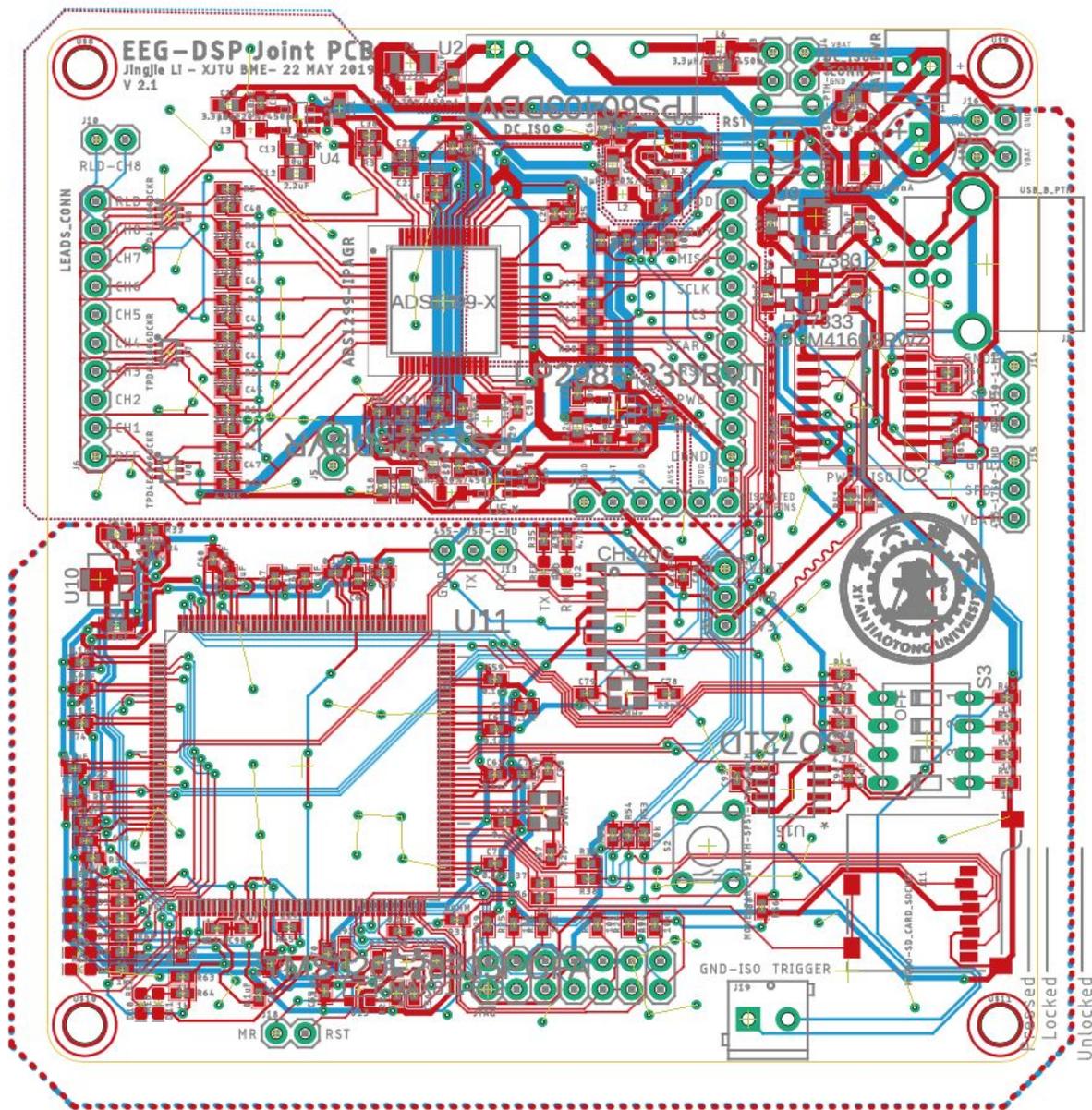
# EEG采集装置硬件部分制作成品



# EEG采集装置硬件部分制作成品各模块

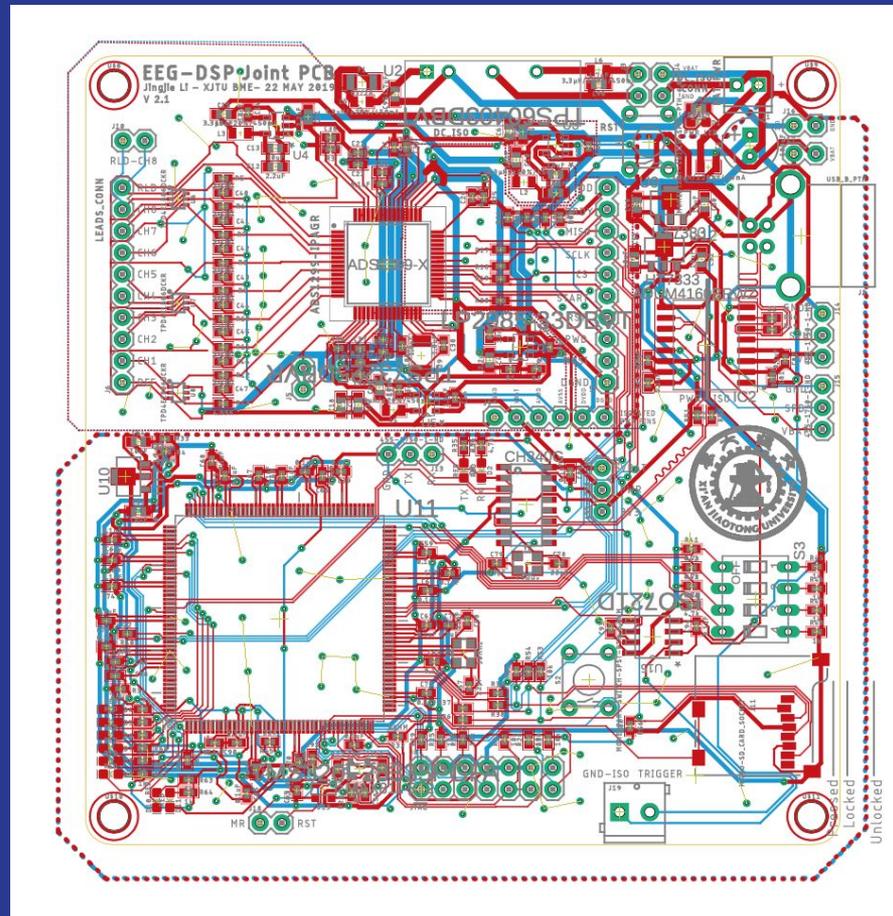


# PCB 走线



# PCB设计亮点

完整的电气隔离设计  
ADS1299输入保护  
电源功率核算  
差分信号等长走线  
DSP电源监控复位



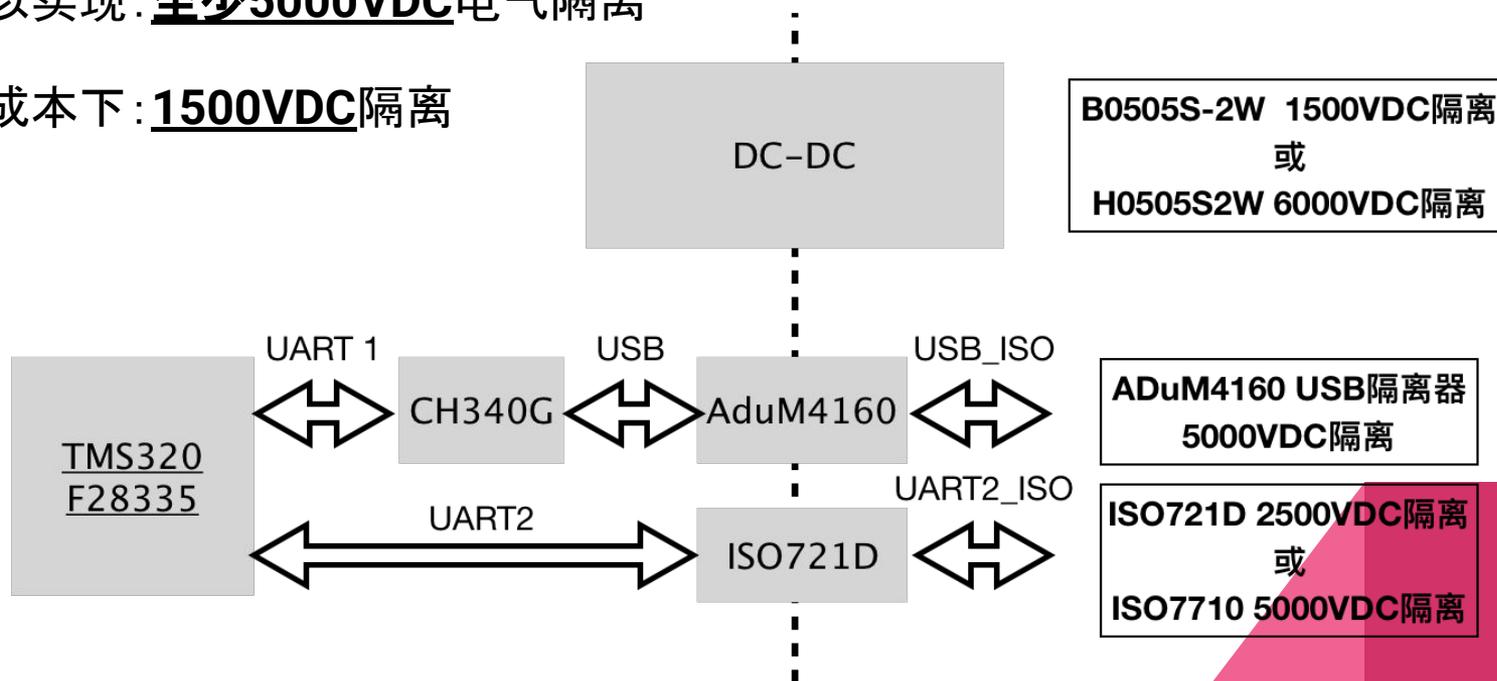
# 完整的电气隔离设计

满足GB 9706.26-2005: 医用电气设备第 2 部分: 脑电图机安全专用要求

BF型设备, 应用部分浮地隔离

可以实现: 至少5000VDC电气隔离

低成本下: 1500VDC隔离

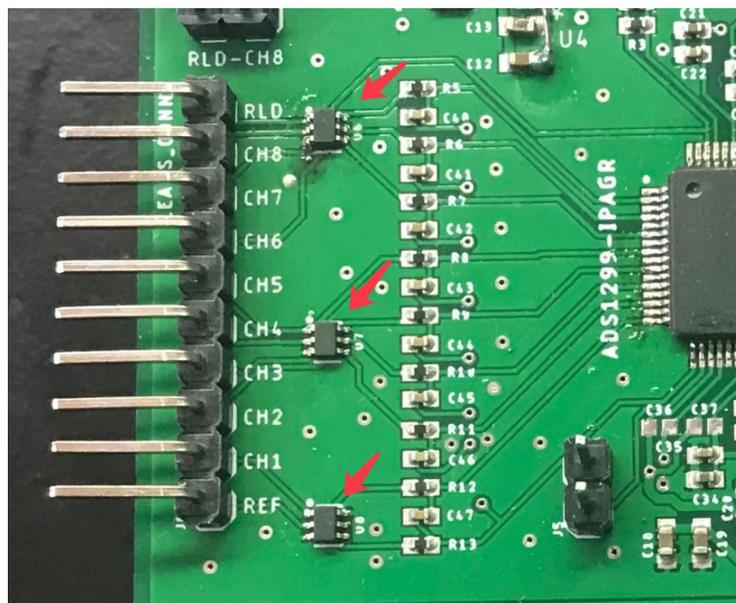


# ADS1299 EEG信号输入保护

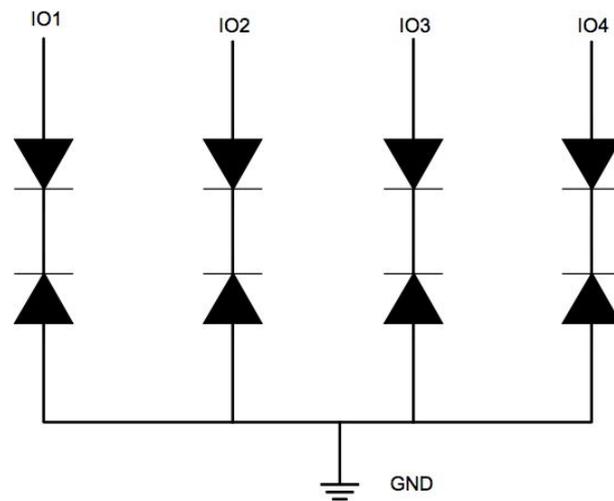
使用TPD4E1B06 瞬态抑制二极管对模块TPD4E1B06

超过 $\pm 7.8\text{V}$  时电压钳制

保护ADS1299内部精密的EEG放大器



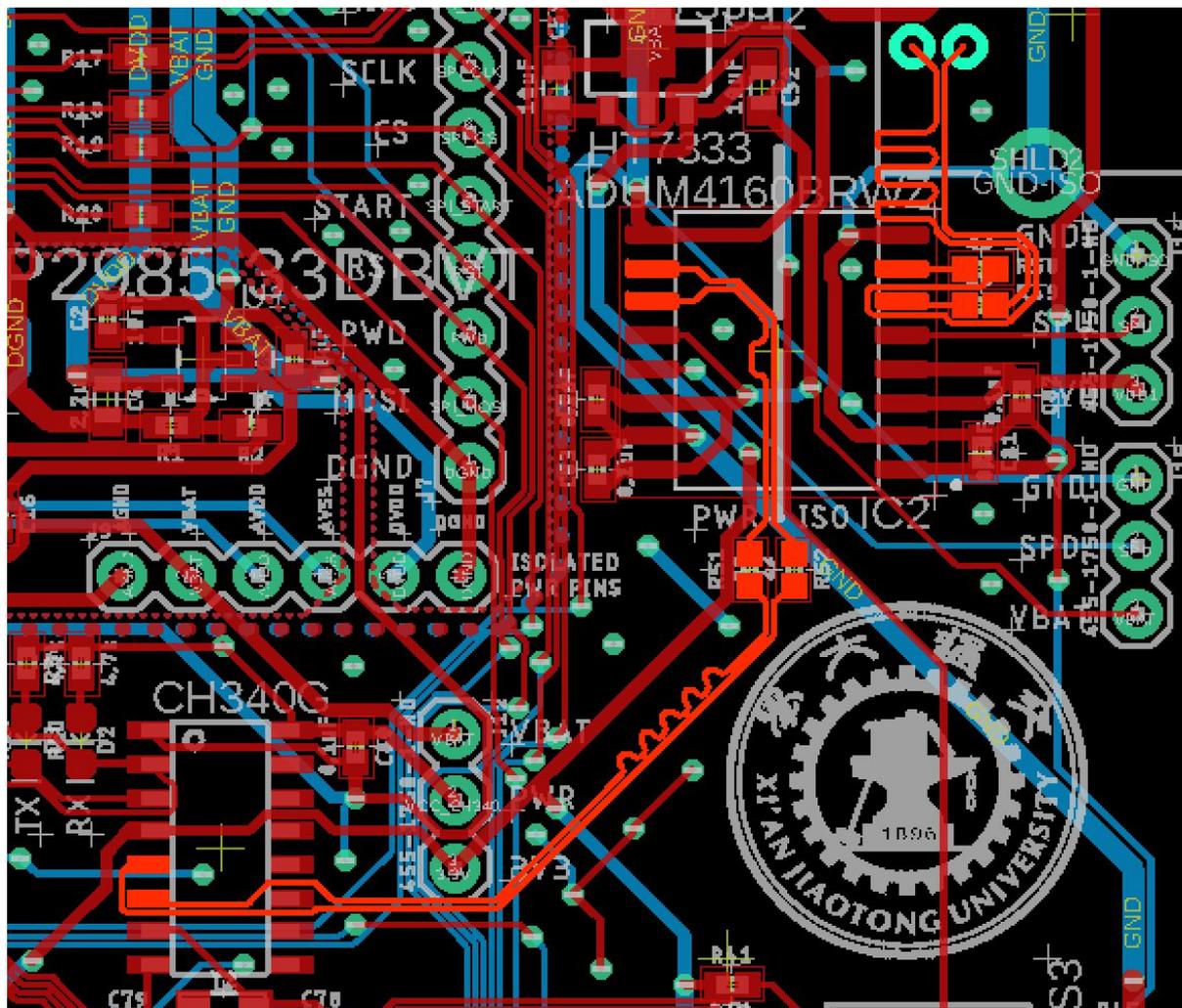
Functional Block Diagram



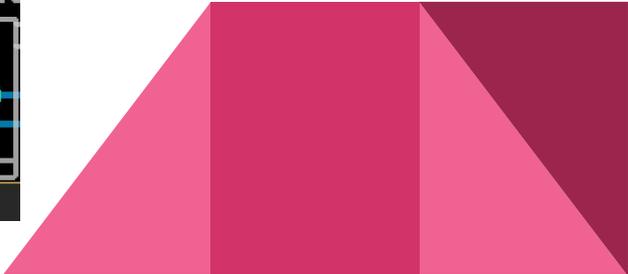
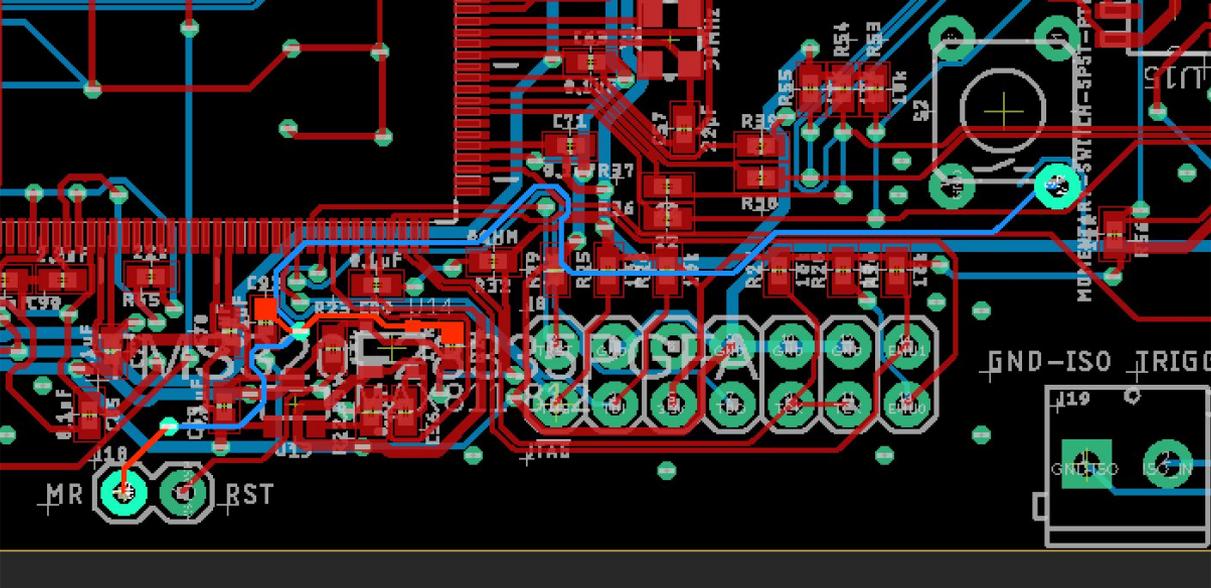
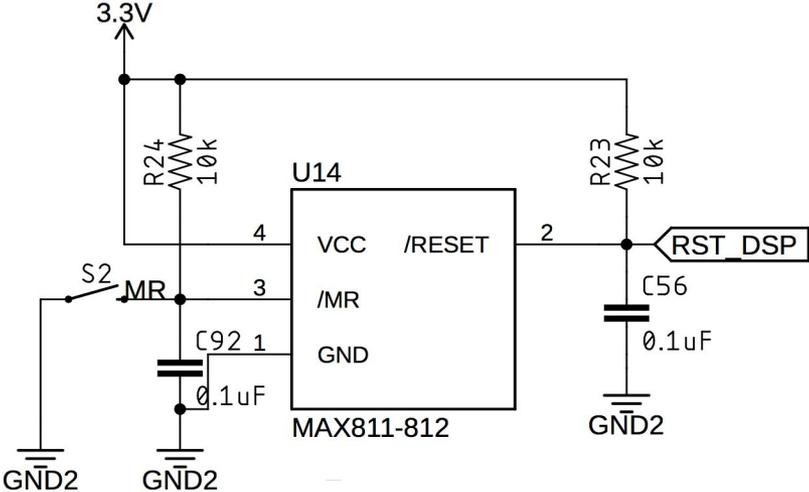
# 电源功率核算

耗电器件	功率	工作电流
DSP 1.8V	360mW	200mA
DSP 3.3V	660mW	200mA
ADS1299	39mW	12mA
USB隔离	19.8mW	6mA
触发输入隔离	6.6mW	2mA
USB-TTL	39.6mW	12mA
总功率	1121.7mW	2160mW(以5V)
实测总功率	1587.5mW	

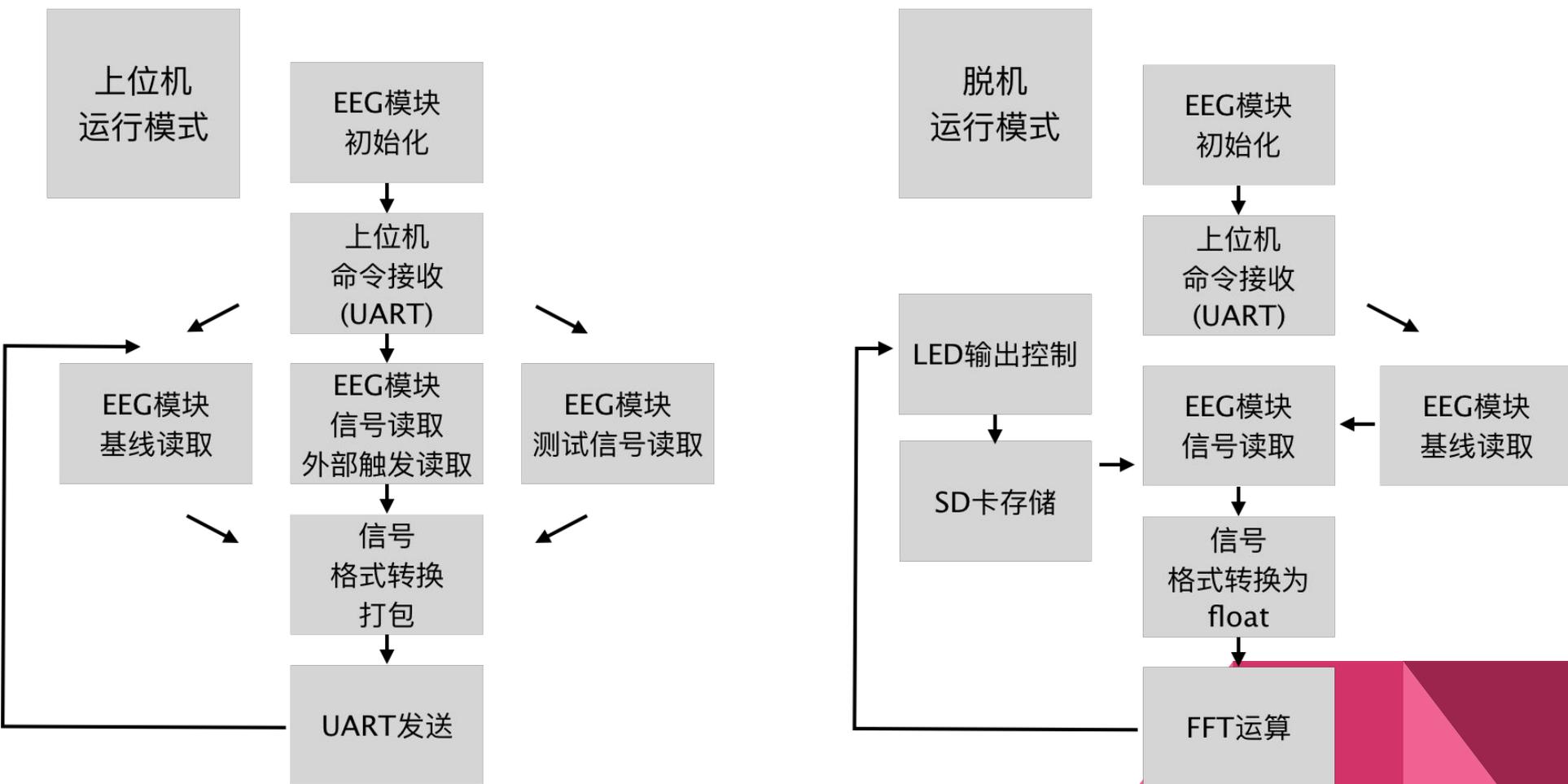
# 差分信号等长走线



# DSP电源监控复位

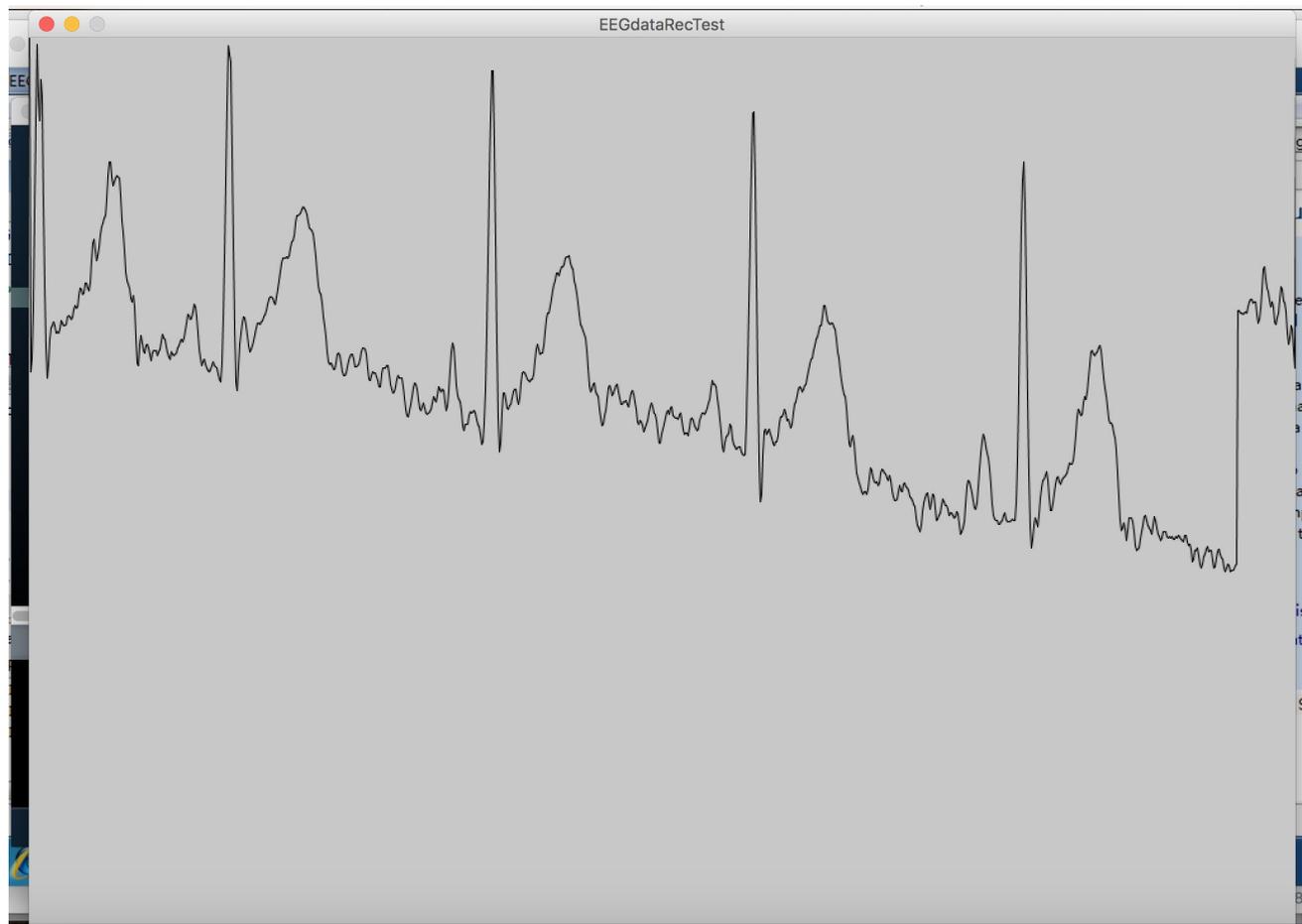


# DSP软件控制程序原理框图

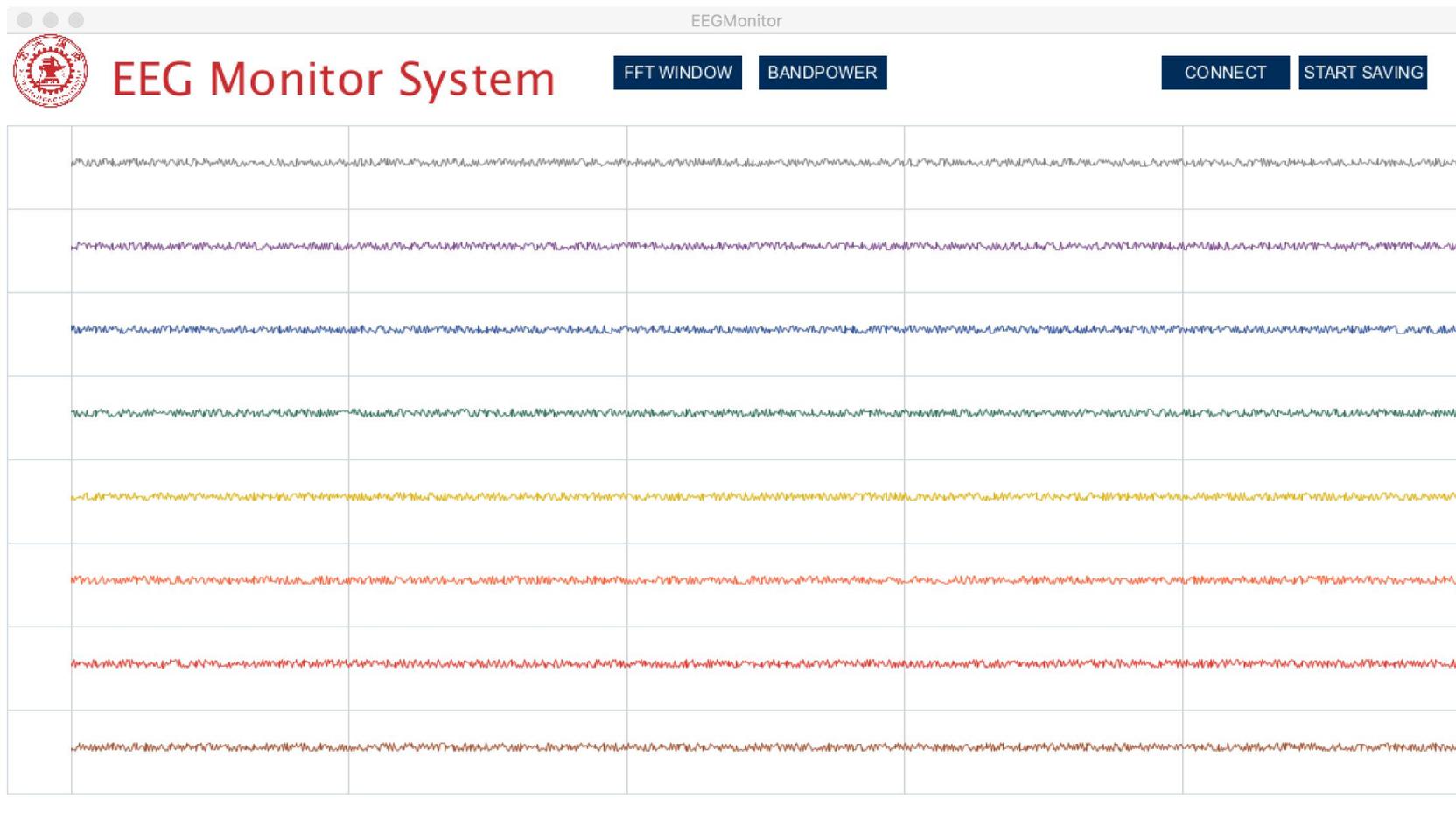




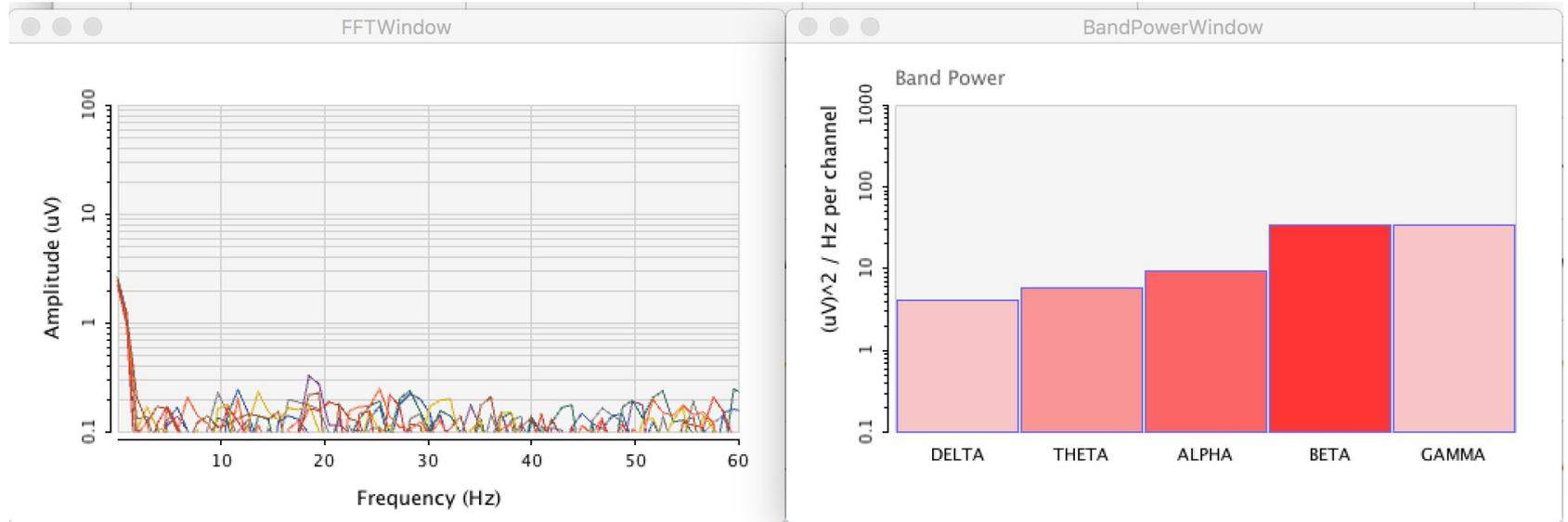
# 波形显示软件-初始版单通道



# 上位机显示软件运行截图



# 上位机显示软件频谱分析和频带能量显示



# 便携式脑电信号采集装置的设计与实现

## 背景

脑电信号监测的原理

脑电信号监测的应用

脑电信号采集设备现状

## 硬件与软件解决

硬件主体构架

PCB外围电路设计

电气隔离安全性设计

DSP嵌入式程序设计

上位机波形显示程序设计

## 性能测试与人体实测

物理参数测试

电压与功耗测试

频率响应 共模抑制比测试

信噪比 谐波噪声测试

人体ECG信号实测

人体EEG信号实测

# EEG-PCB成品 9.26\*8.74\*1.5cm



# 电源电压以及功耗

表 4-2 各电源部分电压

电源名	理论电压	静态电压	工作态电压
总电源	5V/4.8V	5.16V	5.16V
隔离总电源	5V/4.8V	4.82V	4.82V
ADS1299 DVDD	3.3V	3.32V	3.32V
ADS1299 AVDD	2.5V	2.50V	2.50V
ADS1299 AVSS	-2.5V	-2.49V	-2.49V
DSP 3V3	3.3V	3.34V	3.34V
DSP 1V8	1.8V	1.79V	1.78V
隔离前 3V3	3.3V	3.29V	3.29V

表 4-3 静息态与工作态功率测试

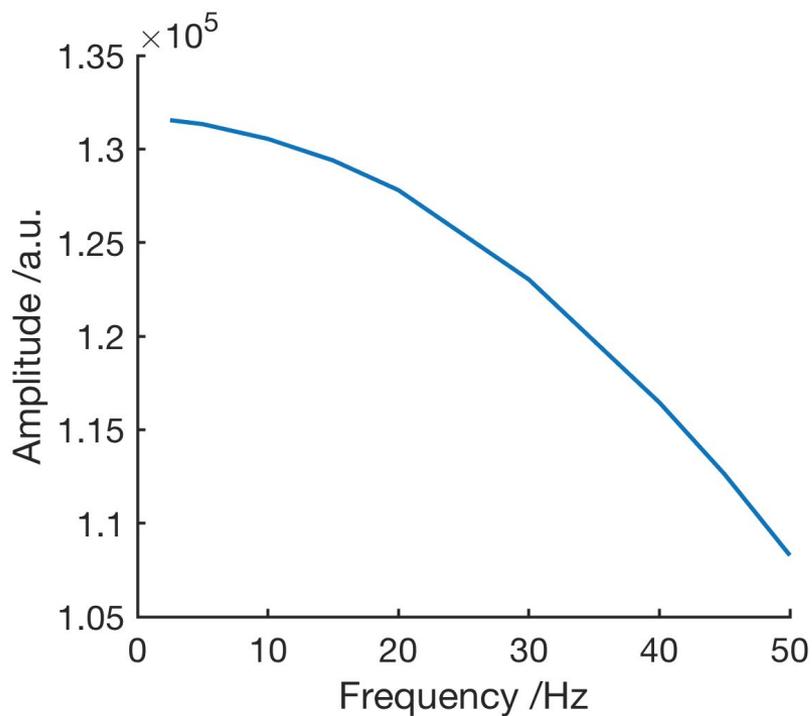
	电压	电流	功耗
静息态	5.00V	299.54mA	1497.7mW
工作态	4.97V	319.44mA	1587.5mW

# 频率响应测试

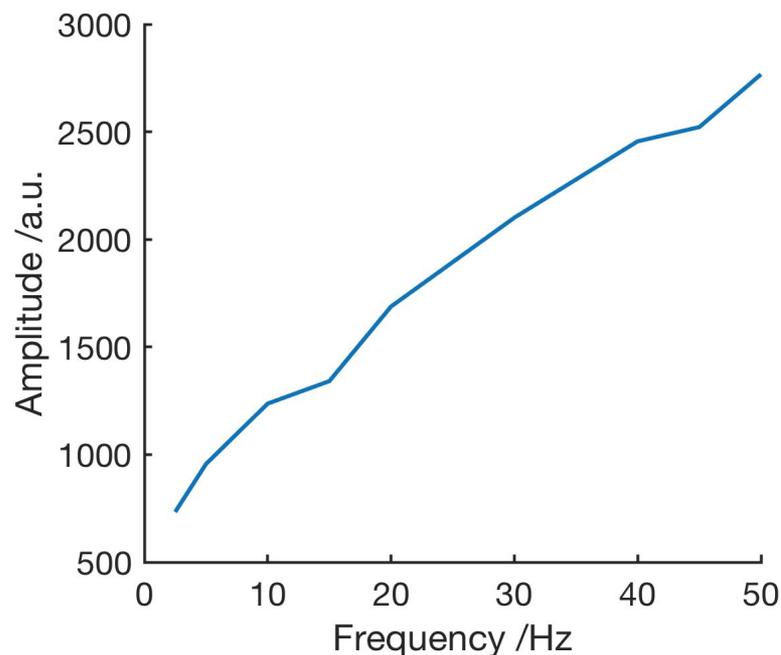
输入10Hz, 3mV Vcc正弦波信号作为差模信号

输入10Hz, 1.5V Vcc正弦波信号作为共模信号

## 差模



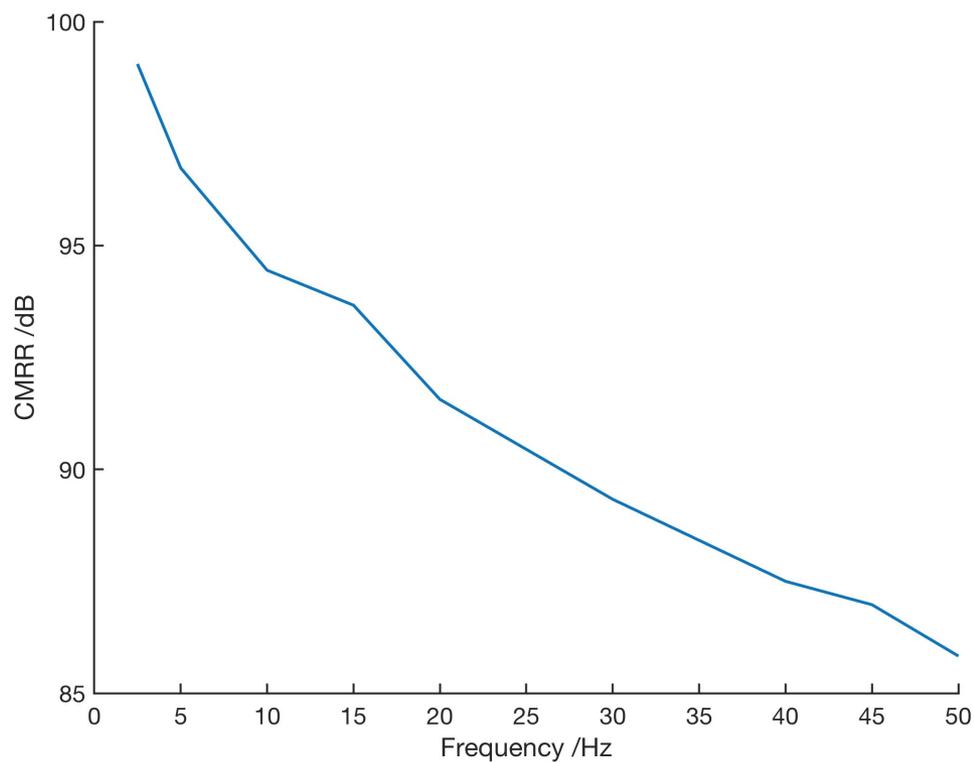
## 共模



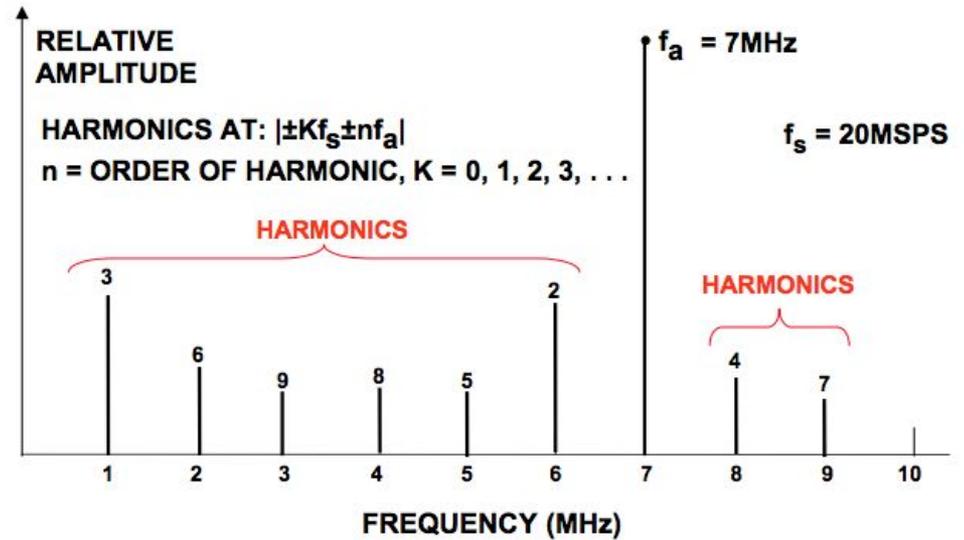
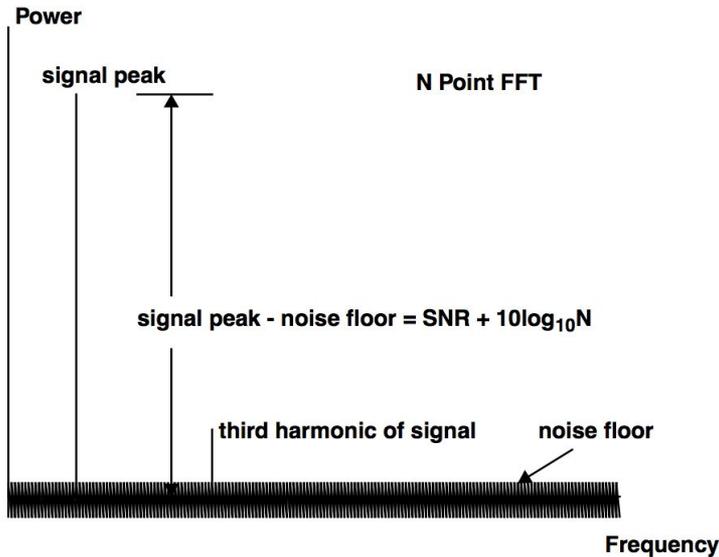
# 共模抑制比

在共模、差模频率响应数据的基础上计算EEG采集系统的共模抑制比

共模抑制比最大超过99dB (110dB理想), 平均约为92dB



# 信噪比(SNR), 全谐波失真(THD)测试方法

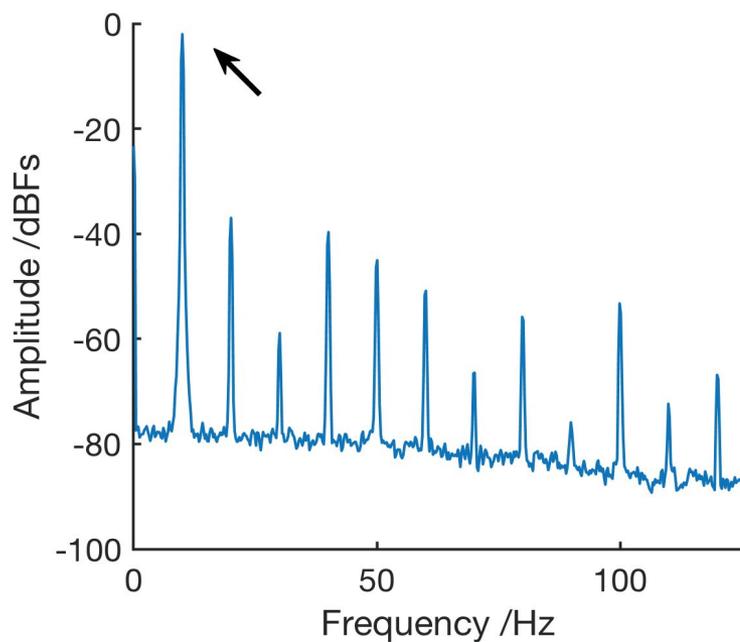
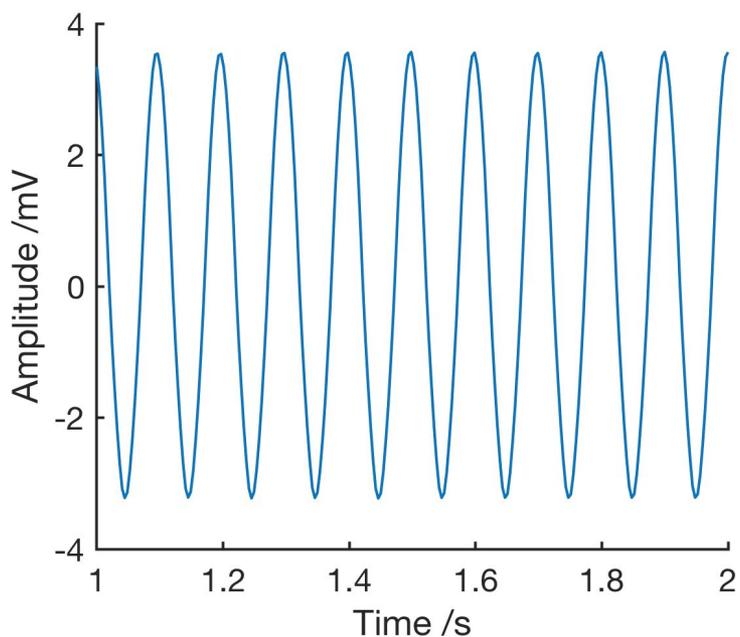


$$SNR(dB) = SignalPeak(dB) - NoiseFloor(dB) - 10\log N$$

$$THD_F = 20 \log_{10} \frac{\sum_{i=2}^n V_i}{V_1}$$

# 信噪比(SNR), 全谐波失真(THD)测试结果

输入10Hz, -2dBFS(3.4mV Vcc) 正弦波信号



**SNR: 50dB (121dB理想) THD: -32.46dB (-99dB理想)**

# 模拟EEG信号幅度的SNR测试

分别测试了 5 $\mu$ V, 10 $\mu$ V, 20 $\mu$ V, 50 $\mu$ V, 100 $\mu$ V 10Hz正弦波输入信号的SNR

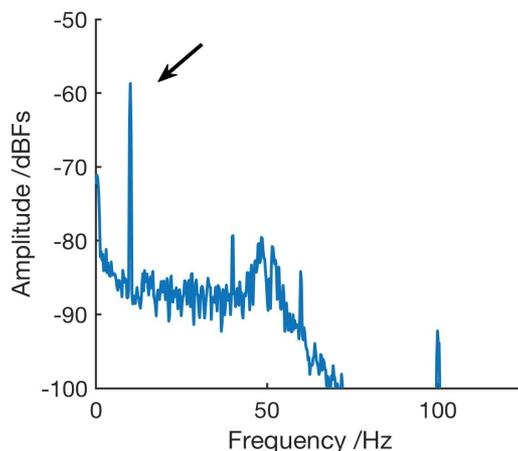
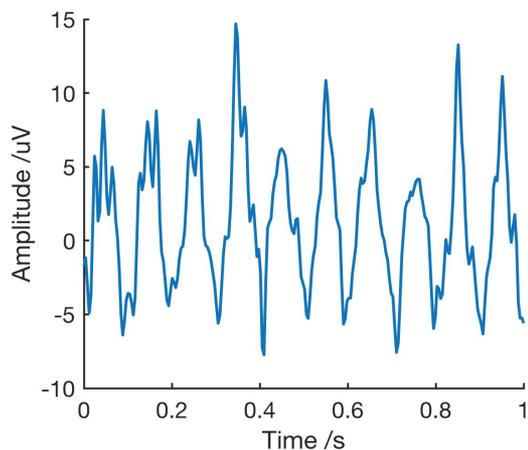
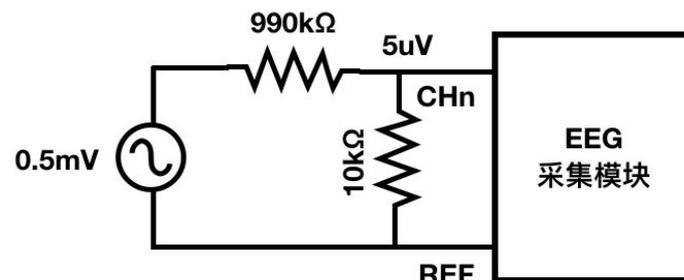
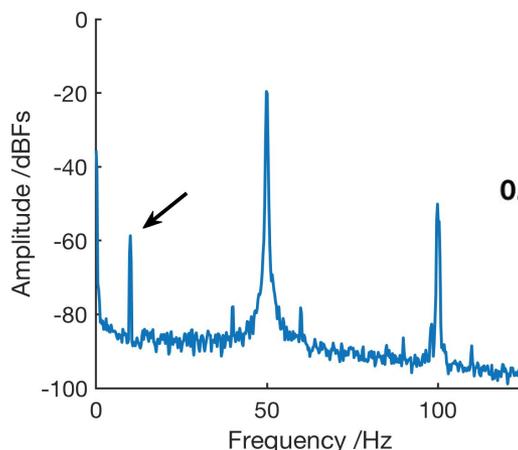
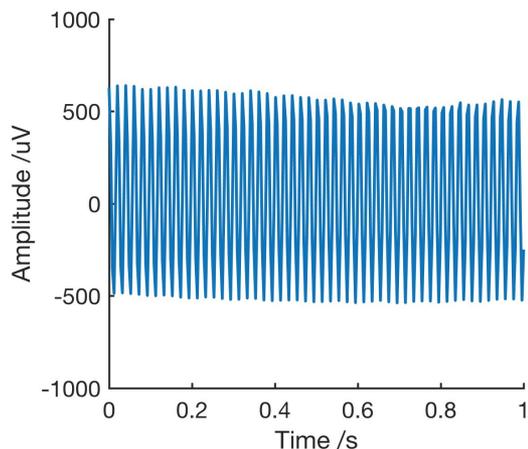


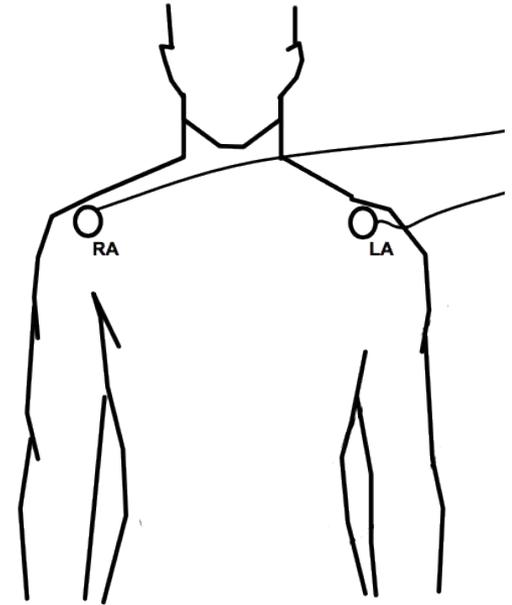
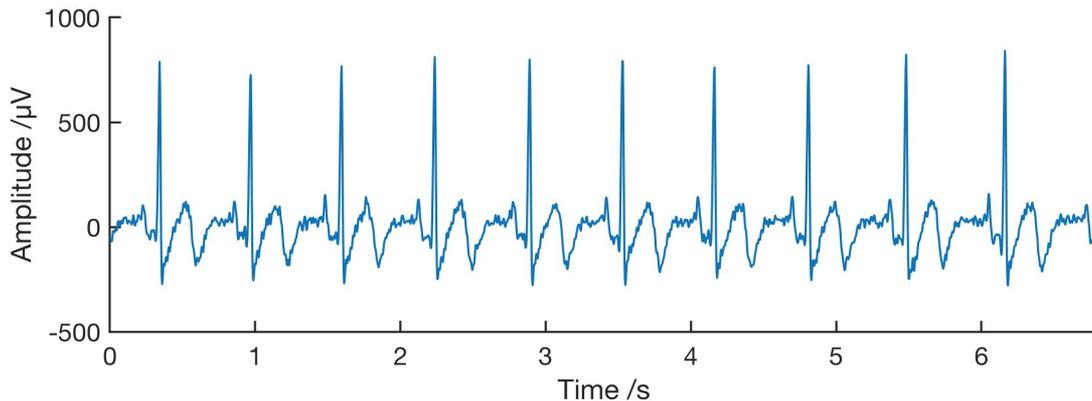
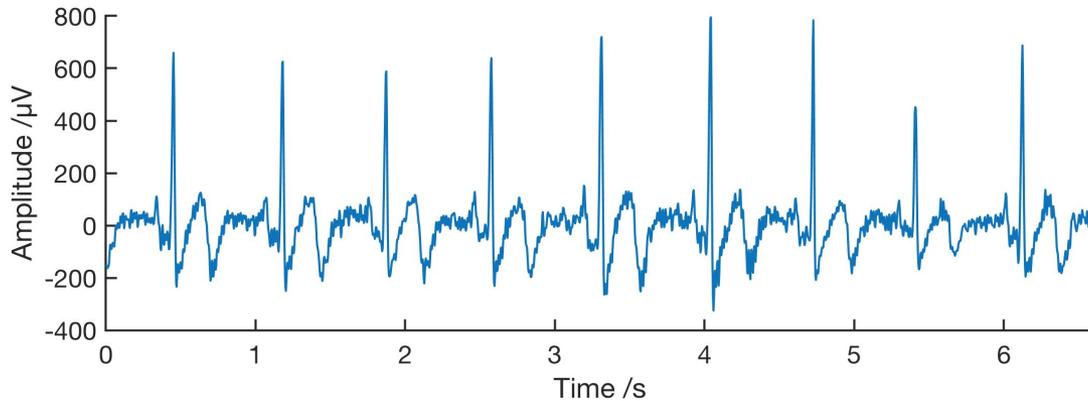
表 4-1 不同信号输入幅度的 SNR

信号幅度	SNR
5 $\mu$ V	0.3dB
10 $\mu$ V	4.3dB
20 $\mu$ V	9.2dB
50 $\mu$ V	16.3dB
100 $\mu$ V	22.3dB

# EEG采集系统 人体信号实测

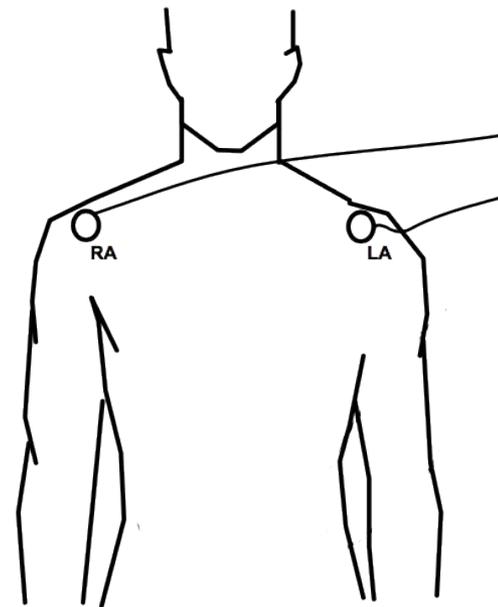
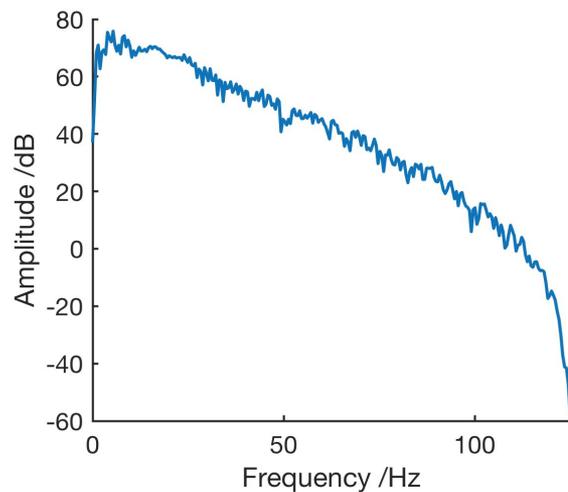
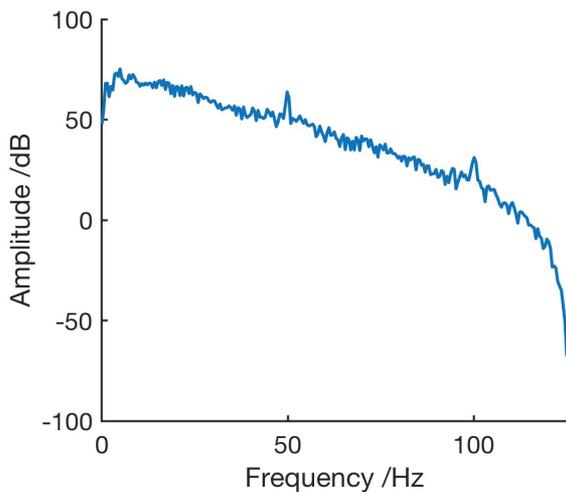
# 人体ECG 信号实测

使用I导联，接地连接在被试左右手上。并添加将右腿驱动电路接在右手上。打开和未打开右腿驱动模块两情况下，采集到的ECG信号如下方两图。



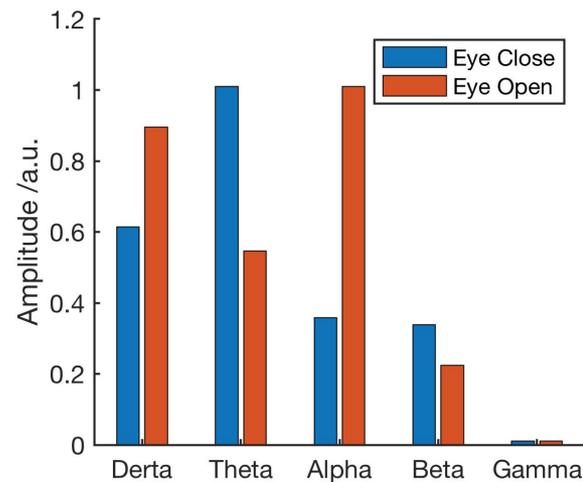
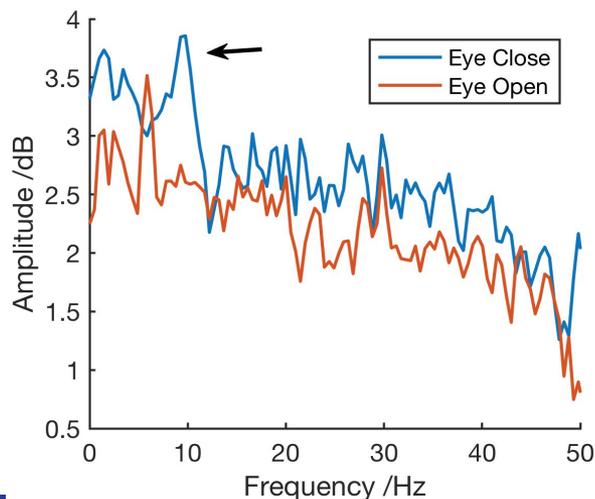
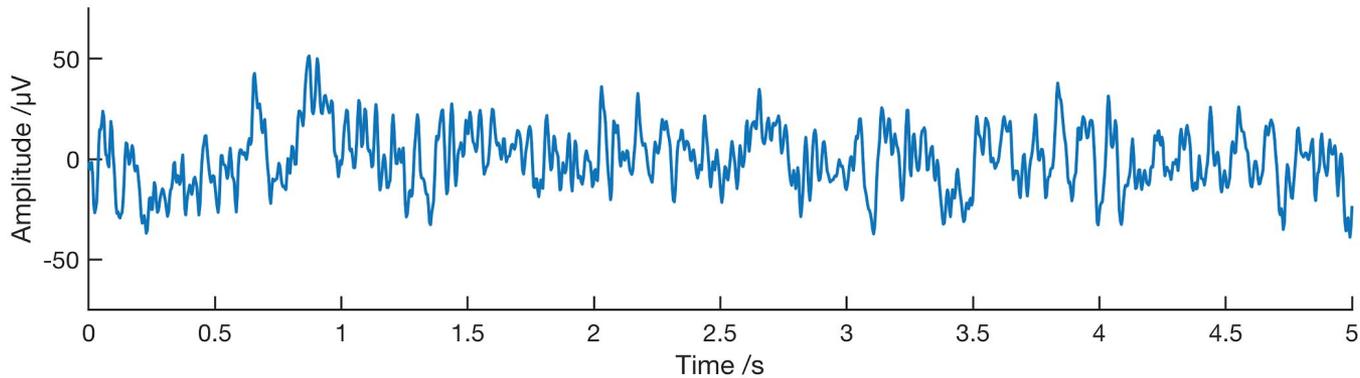
# 人体ECG 信号实测

ECG信号质量较好, PQRST波群都可见, 右腿驱动模块可带来显著的噪音降低, ECG有无右腿驱动频谱如下图。

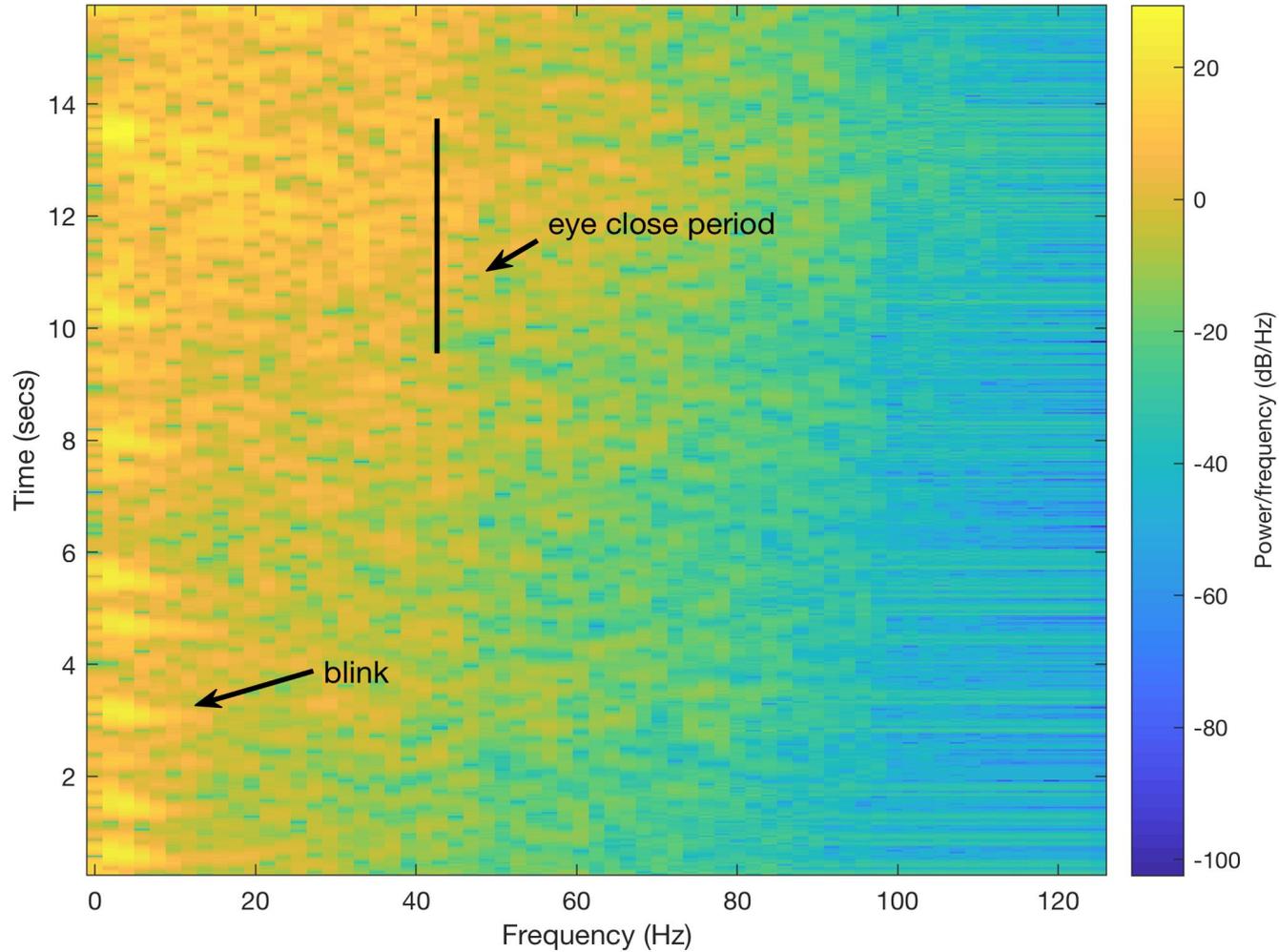


# 人体EEG信号实测

EEG参考电极贴于耳后乳突处，地电极与测试电极接在被试额头上。在被试闭眼以及睁眼时分别监测前额叶EEG信号。可观察到闭眼带来的Alpha波增强。



# 人体EEG信号实测-从睁眼到闭眼-时频图



我们设计的EEG信号采集装置在EEG信号幅度上仍有较好的信噪比性能，经实验证实可以测量到真实的人体EEG信号。

# 总结

**便携式EEG实时监测应用前景较好**

**EEG信号幅度微弱，采集难度较大**

**我们使用ADS1299芯片、TMS320F28335数字信号处理器芯片等搭建了便携式EEG信号采集系统**

**我们的EEG硬件系统设计规范，遵守安全标准，注意功耗、电流、信号质量与芯片模拟部分的保护等**

**我们设计了一些列配套嵌入式软件、上位机波形显示和存储软件服务于EEG采集硬件系统**

**频率响应、SNR、CMRR、THD测试表面我们的系统具备对EEG信号的测量能力**

**人体ECG信号实测验证了各部分功能，EEG实测显示我们的系统可以收集到EEG信号**