

# SSVEP-BCI 刺激器测试报告

该 SSVEP-BCI 刺激器是脑-机接口系统中交互界面的重要部分，当下呈现如图 1 所示。本报告主要测试在不同条件下界面内刺激频率的精确度、稳定性。

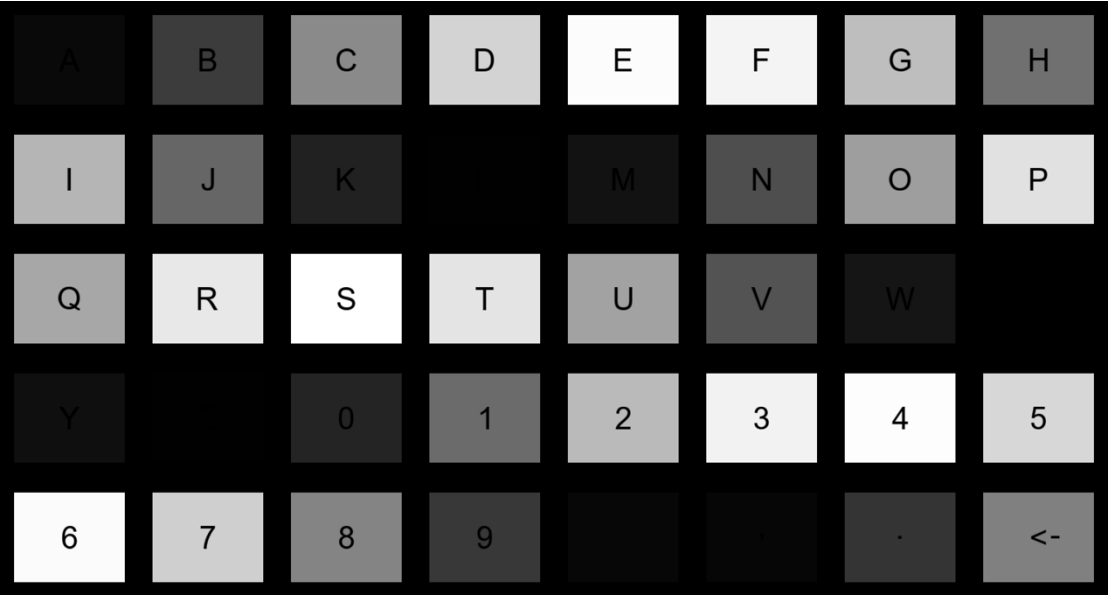


图 1. SSVEP-BCI 刺激器界面

## 1. 刺激器的频率精确度测试

### (1) 基于光电池的计算结果

设置窗口为 2560×1440，通过光电池采集屏幕显示信号，应用 Neuroscan 记录数据，采样 5s 连续数据，对 40 目标 SSVEP-BCI 刺激器测试，部分结果如图 2 所示。

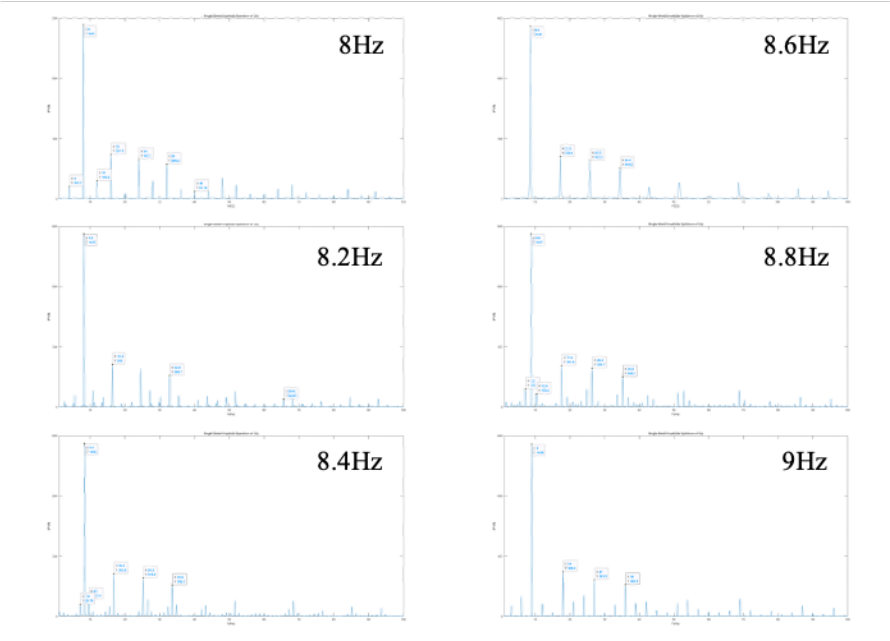
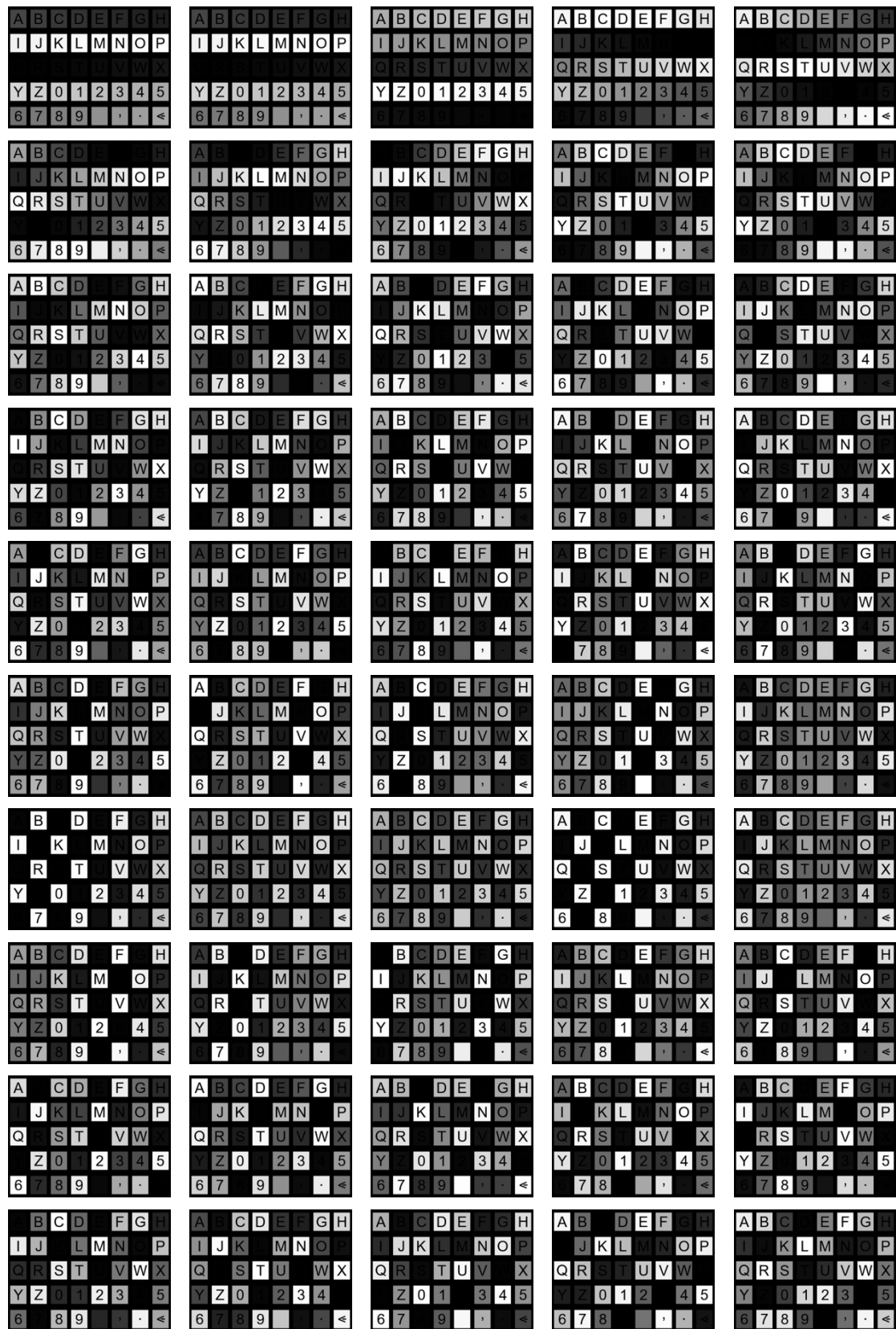


图 2. 频率精确度测试结果

## (2) 基于视频采样的结果

截取连续的 1 秒数据，转换为图像帧，结果如图 3 所示。



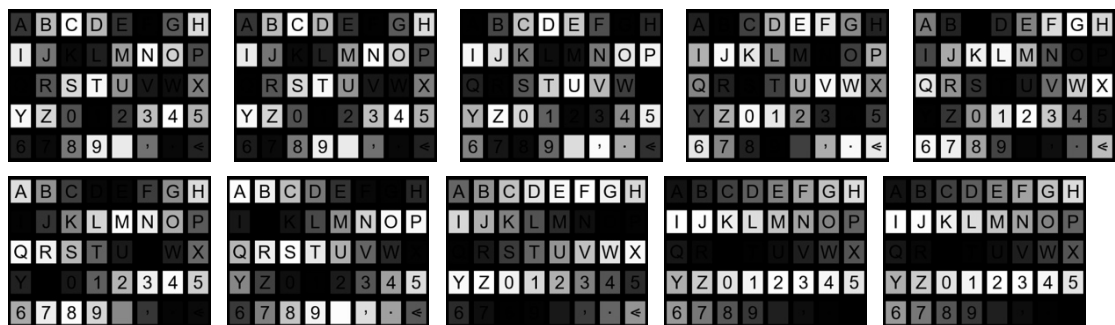


图 3. 录屏转图片（连续截取 60 帧）

### (3) 基于图像渲染时间的计算结果

在台式机 (RAM:32GB, GPU: NVIDIA Quadro RTX 4000, 刷新率: 60Hz) 上, GPU 的使用情况如图 4 所示, 显示了 30.3 秒-32.7 秒的 GPU 工作情况, 可见: 每一次 GPU 的绘图持续时间都显著小于帧间隔 (16.67ms)。

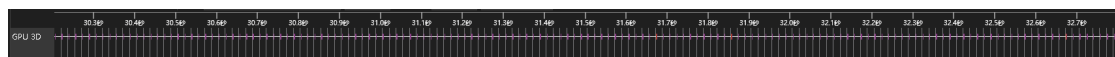


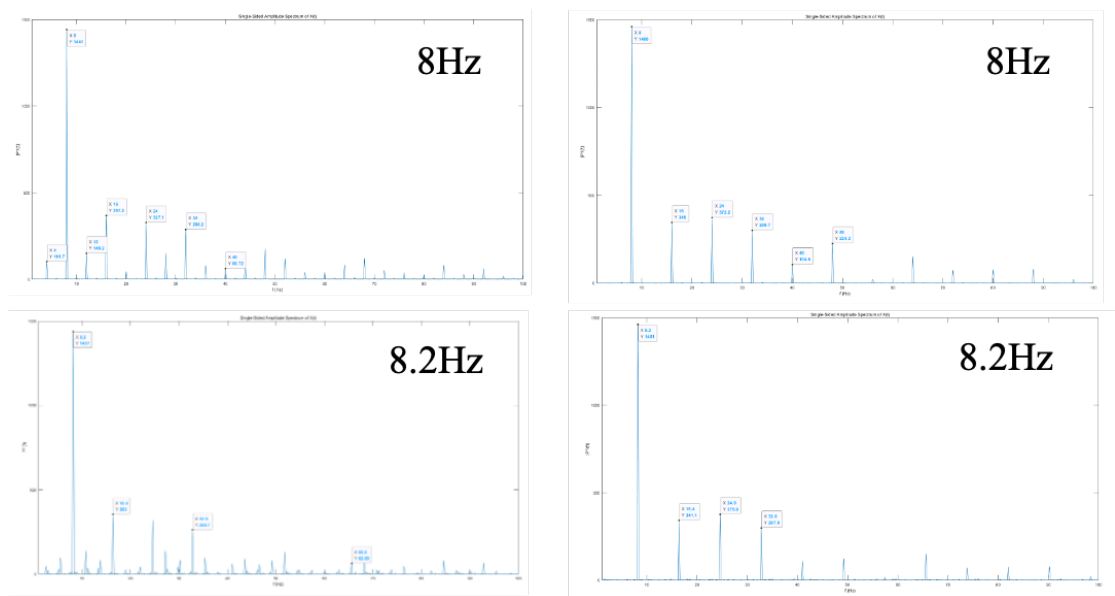
图 4. GPU 工作情况  
(粉色块代表 GPU 处于工作状态)

## 2. 刺激器的频率稳定性测试

设置窗口为 2560×1440, 在台式机 (RAM:32GB, GPU: NVIDIA Quadro RTX 4000, 刷新率: 60Hz) 上, 刺激器工作 2 小时, 对不同时间区间的数据采样, 测试刺激器在时间维度的稳定性, 利用上述方法分析, 刺激稳定。

## 3. 不同刷新率下, 刺激器的频率精确度测试

设置窗口为 2560×1440, 在台式机 (RAM:32GB, GPU: NVIDIA Quadro RTX 4000) 上, 分别设置屏幕刷新率为 60Hz 和 120Hz, 以 8Hz 和 8.2Hz 刺激为例, 实验结果如图 5 所示, 刷新率的提升可以使频谱更加干净。



(1) 60Hz 刷新率

(2) 120Hz 刷新率

图 5. 频率精确度测试结果

#### 4. 不同窗口尺度下，刺激器的频率精确度测试

上述实验均在 2560×1440 的设置下进行，现设置窗口为 800×600，如图 6 所示。40 目标 SSVEP-BCI 刺激器测试结果如图 7 所示。

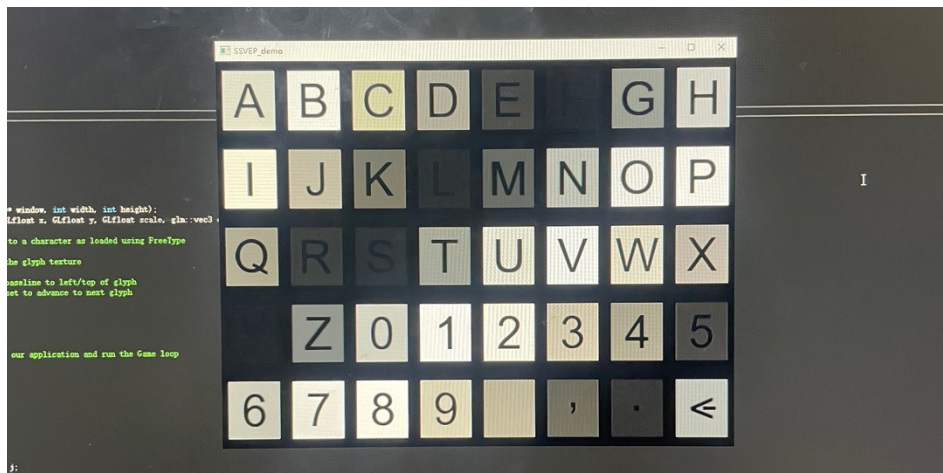


图 6. 小窗口 SSVEP-BCI 刺激器界面

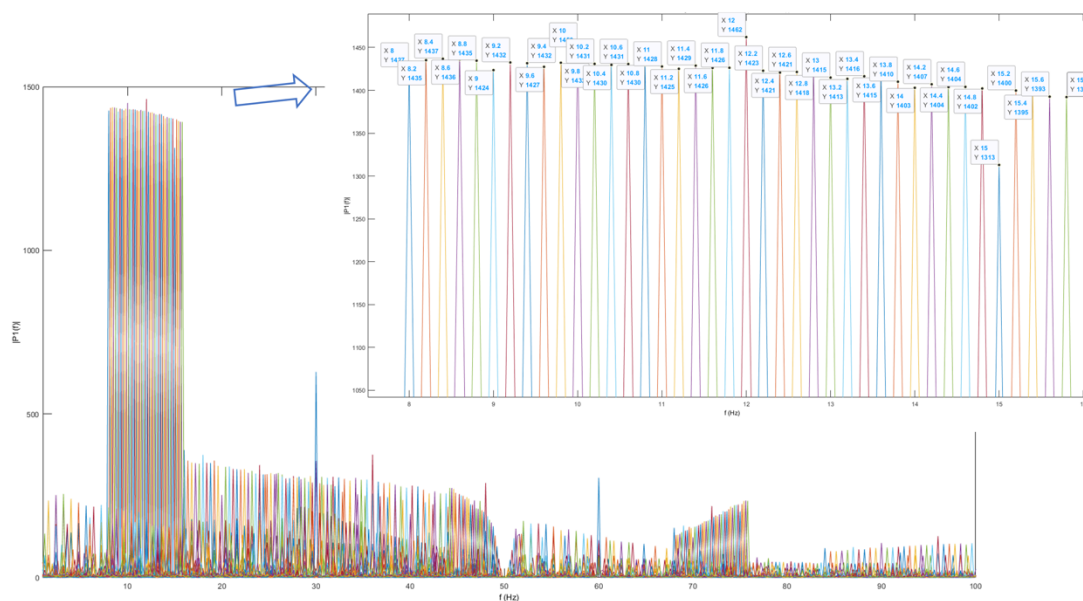


图 7. 小窗口测试结果

### 5. 多窗口模式下，刺激器的频率精确度测试

设置窗口为 2560×1440，在台式机（RAM:32GB, GPU: NVIDIA Quadro RTX 4000, 刷新率: 60Hz）上，实验设置如图 8 所示。以 8Hz 刺激为例，测试结果如图 9 所示，在频谱上符合。

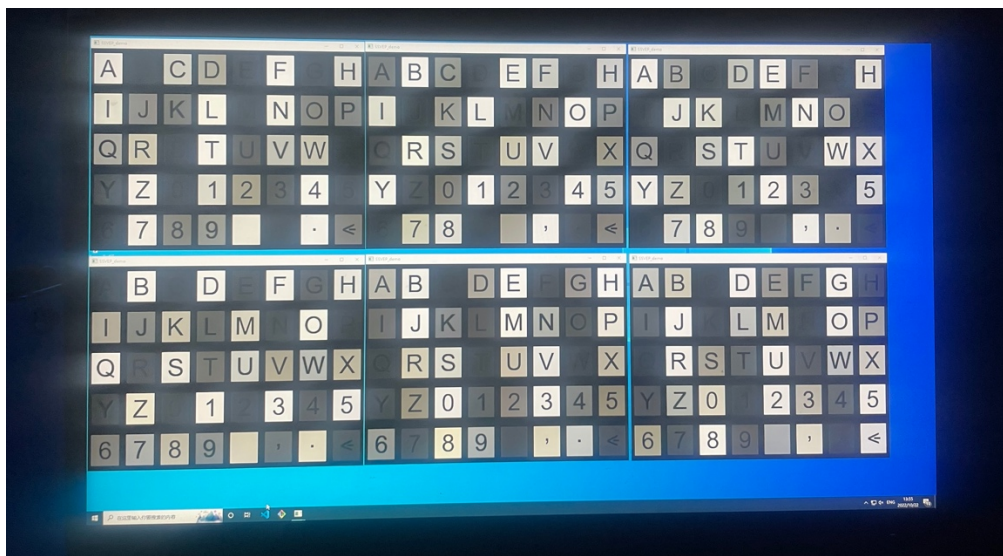


图 8. 多窗口模式

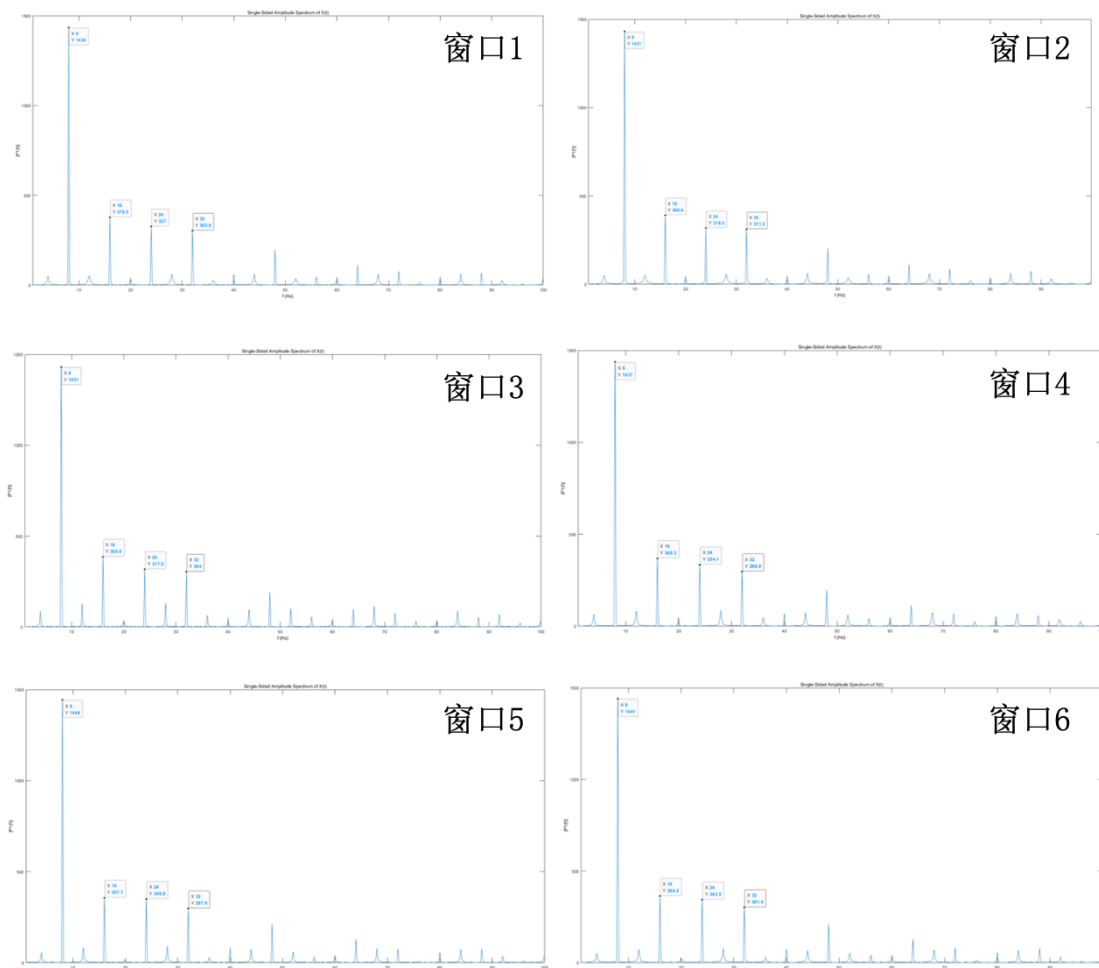
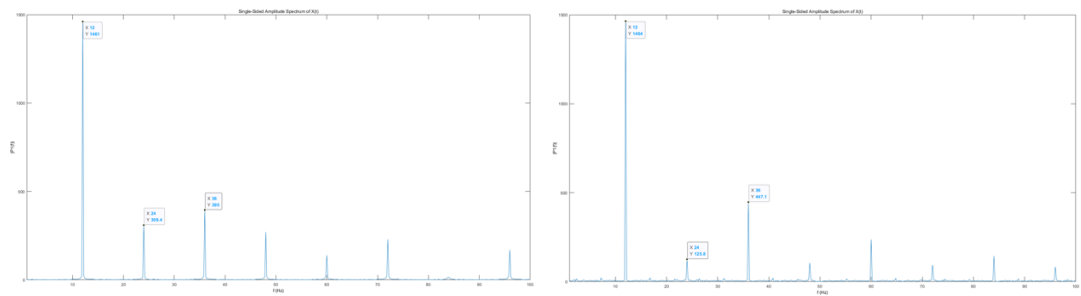


图 9. 多窗口频率精确度测试结果

## 6. 刺激器在不同机器的频率精确度测试

实验在台式机(RAM:32GB, GPU: NVIDIA Quadro RTX 4000, 刷新率: 60Hz),

笔记本电脑（RAM:16GB, GPU:NVIDIA Quadro P1000, 刷新率：60.027Hz）。以 12Hz 为例，设置窗口为 800×600，采样 5s 数据，测试结果如图 10 所示，在频谱上符合。



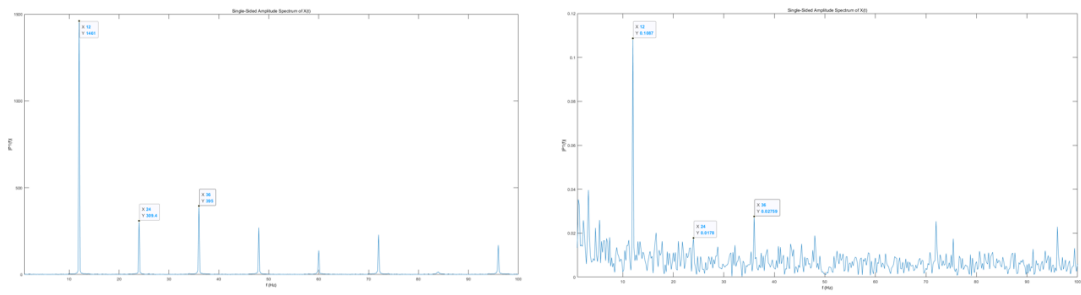
(1) 台式机

(2) 笔记本

图 10. 频率精确度测试

**\* 7. 电路串扰**

在测试过程中，光电池所在通道的频谱和其他通道频谱的对比如图 11 所示，发现：未采集信号的通道依然有采集信号通道的刺激频率成分，即使信号微弱，但放大后在频域上依然可分辨，存在电路间的串扰。



(1) 光电池所在导联

(2) 空导联

图 11. 光电池所在导联和空导联的频谱