

万万没想到 LM358 也能采集心电

心电采集是一个比较有趣的项目，同时也考验理论和实践相结合的动手能力。

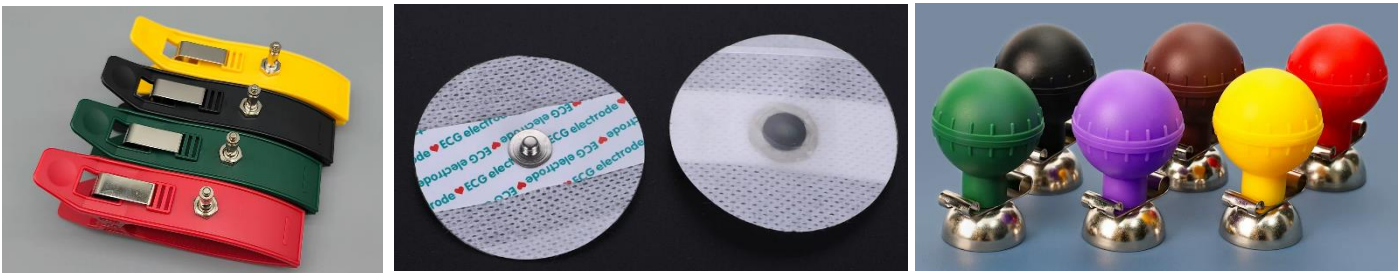
本文为大纲性质，微信扫描添加，带您完成实验，真人讲解。



扫二维码，添加我为朋友。

先说电极选择：

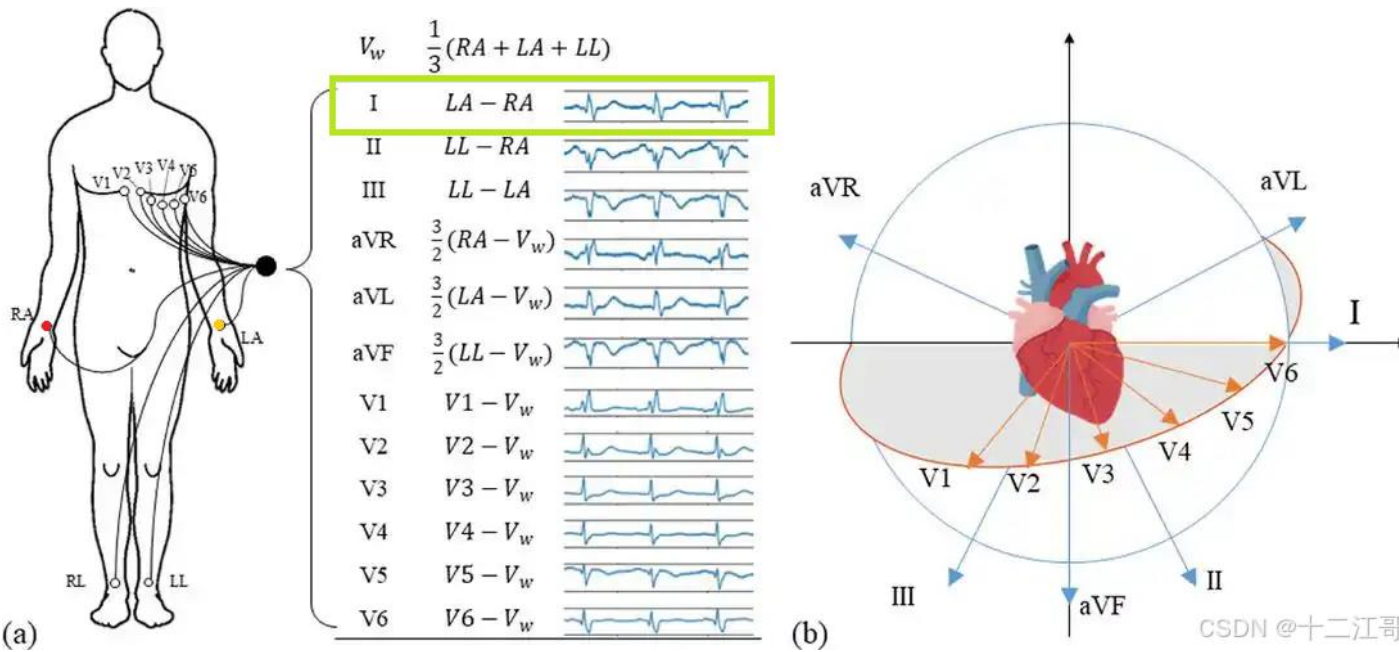
新手建议先用夹子（左一），红色 黄色 两个就够了。



贴片位置需要点经验和运气，如果位置不对那得撕下来再贴，几次就废了（略微肉痛）。身边有心内科医生指导或耗材充足请无视这点。实测发现“贴片 ” 效果明显是要好一些的。先用夹子成功看到波形，电路部分得以验证后，需要进一步改善波形质量，再用贴片不迟。还有个原因就是：贴片黏糊糊的，测试完总想洗澡，夹子就没这问题，可以尽情测试。医疗级的夹子是有氯化银涂层的，淘宝货廉价的应该都是普通不锈钢。实测廉价款也能出波形，初步实验够用的。后续如需提升精度还是建议购买有医疗资质的专业电极。至于为什么是“氯化银”这里不展开。夹子上有 3mm 4mm 两种孔，常见香蕉插头是 4mm 的，专业设备有用 3mm 的，注意匹配。心电导联是有颜色的，虽然说自己测试不用太严谨，但最好按规矩来。

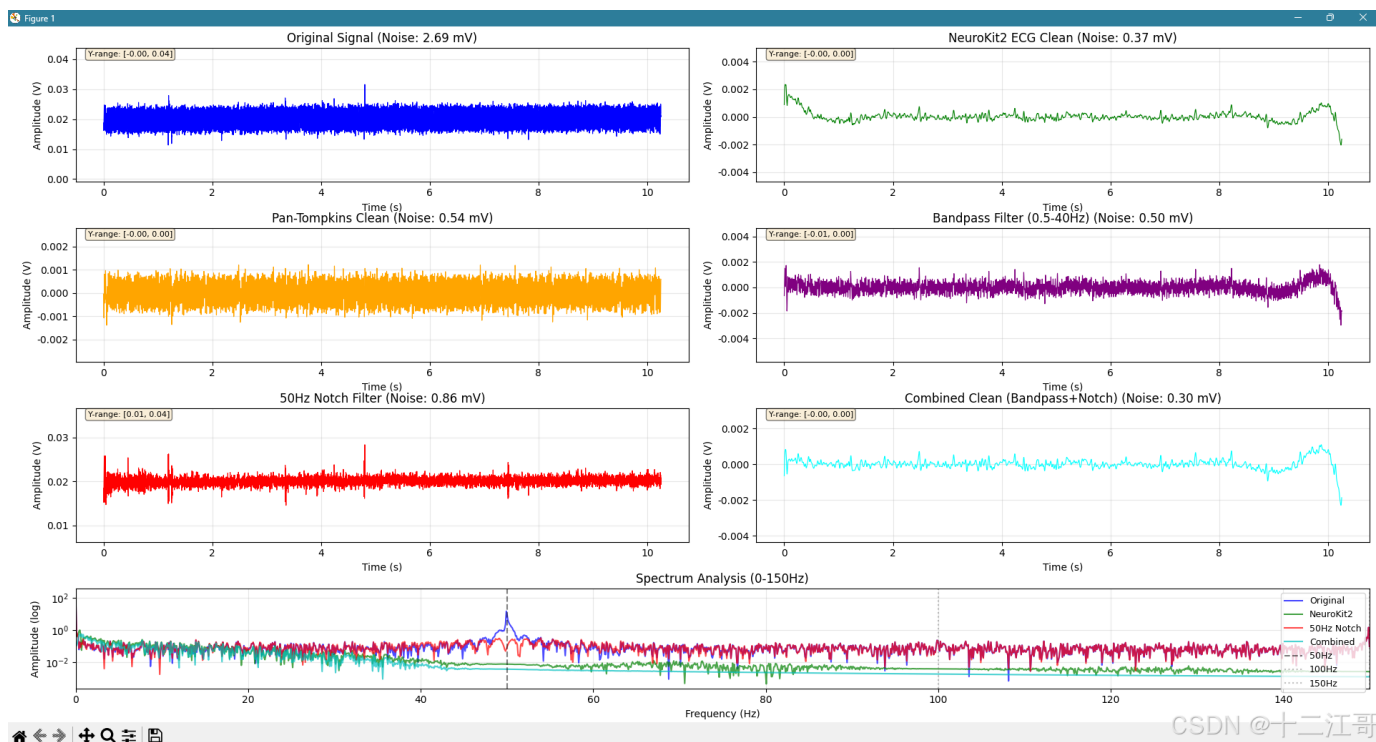
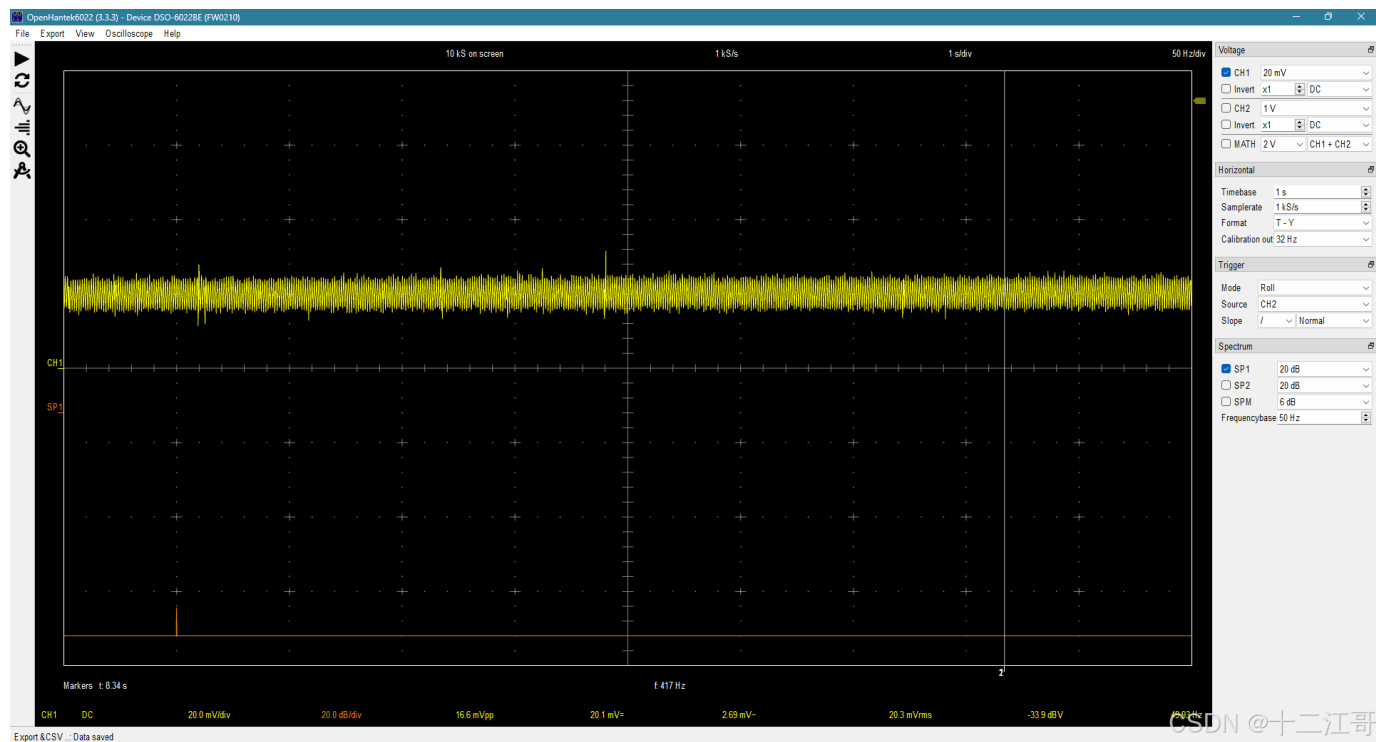
以下测试均基于两个夹子引出的两条线 （ 12 导联之 I 导联 ）

右腿驱动不需要的，因为已经能够较好看到波形了！带心电检测的各种 watch 也都只有两电极。



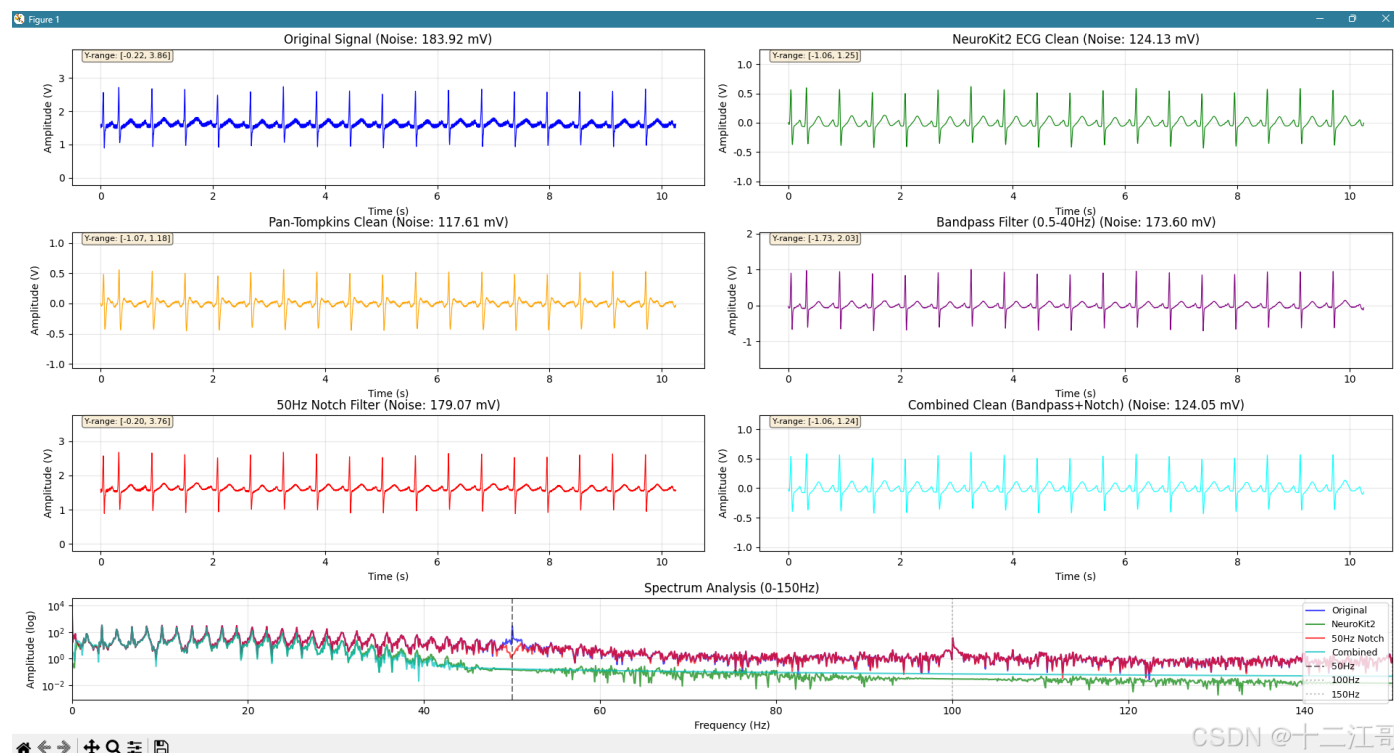
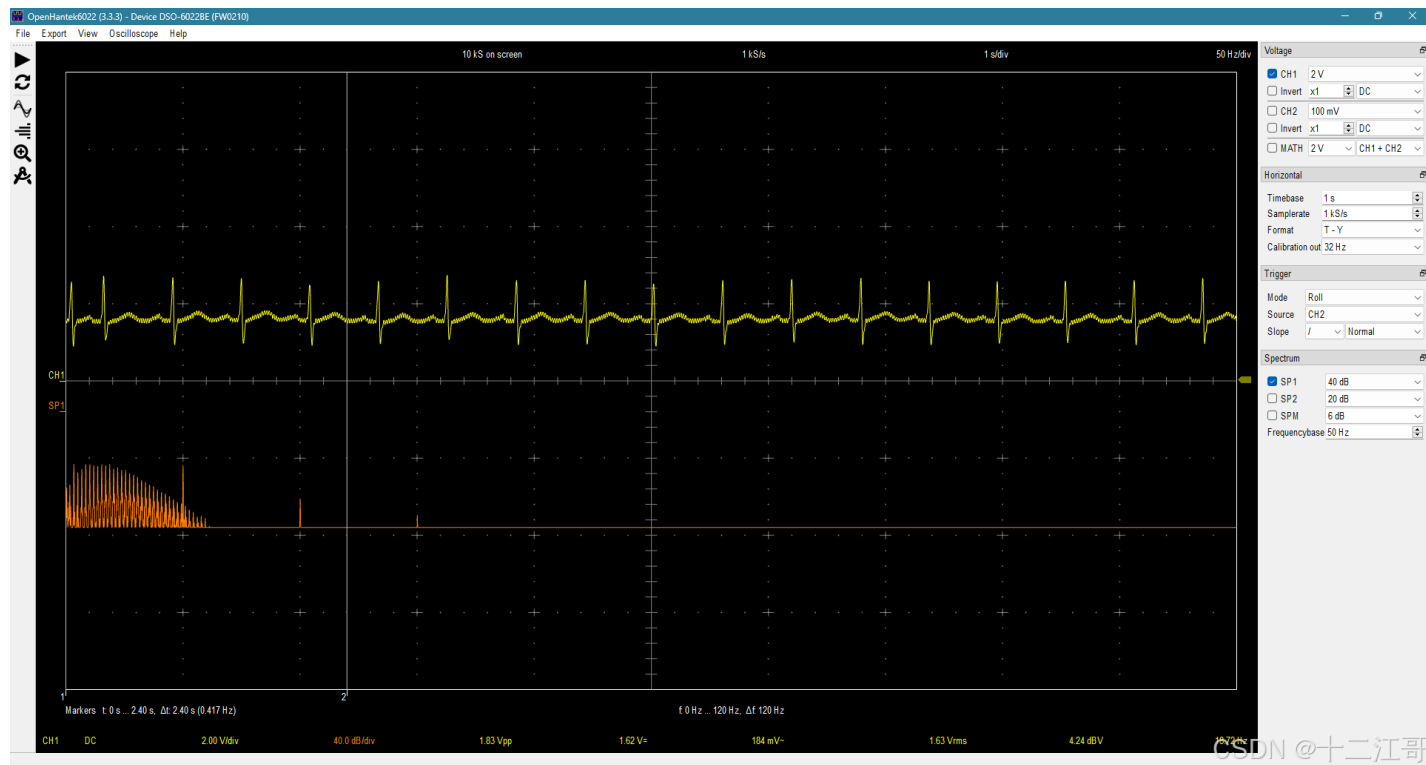
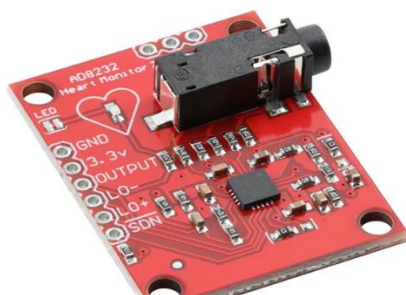
实验一. 示波器直接测量两个夹子（没有任何放大电路）

不出意外只有杂波，隐约可见 R 波，即使软件滤波后也不能获得什么有用的波形。大概原因是示波器有本底噪声，心电信号在 1mV 左右，远低于本底噪声以及工频干扰。或许高级的示波器能够胜任，有条件的可以试试。



实验二. 使用 AD8232 模块相对简单，用来建立信心。

波形很干净，数字滤波后可以视为标准波形，用于对比其他实验获得的波形。



实验三. 接下来增加点难度，用仪表放大器 AD620

略微需要点模拟电路基础，以及熟悉各种运放特性。一开始增益不要设高了，先保证示波器看到波形（有文章建议 20，实测 50 也可，100 就很飘了）。如果输出到普通单片机 ADC 采集，可以考虑再增加一级放大。

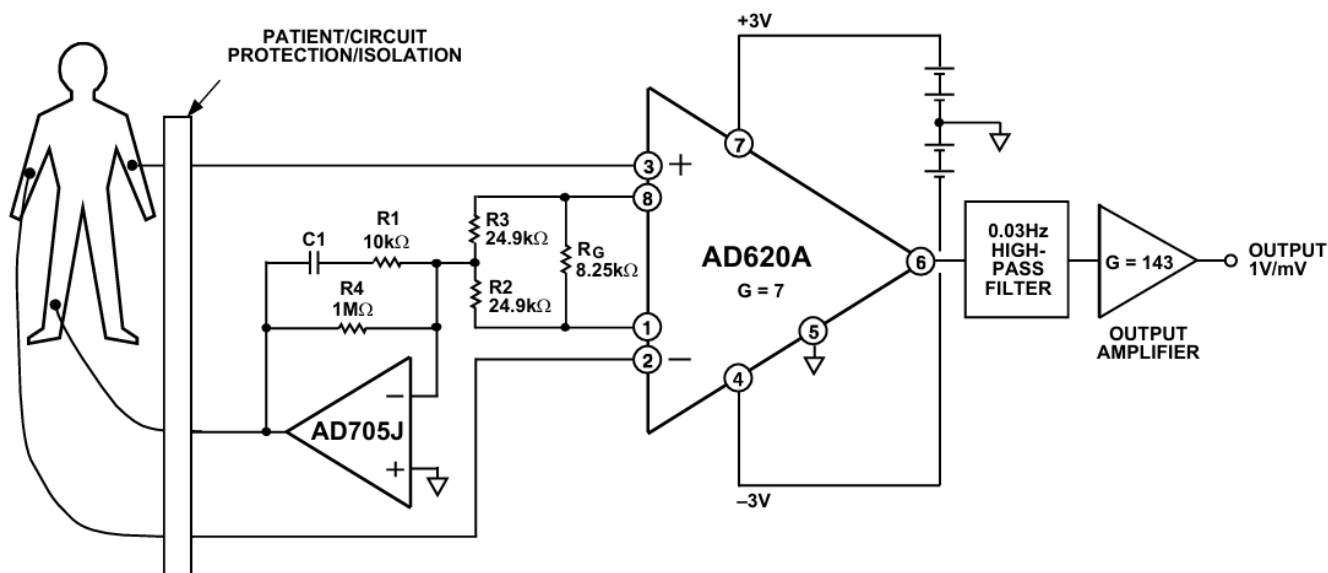
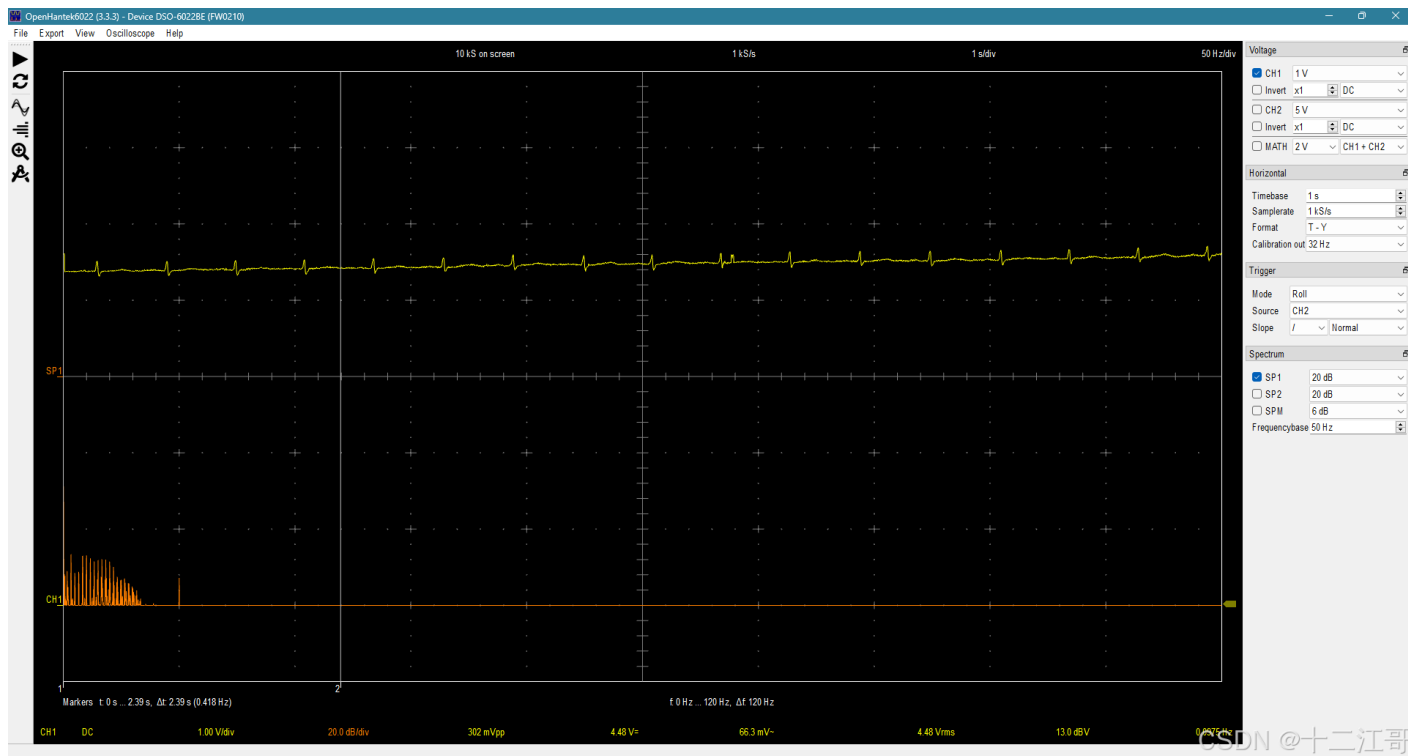
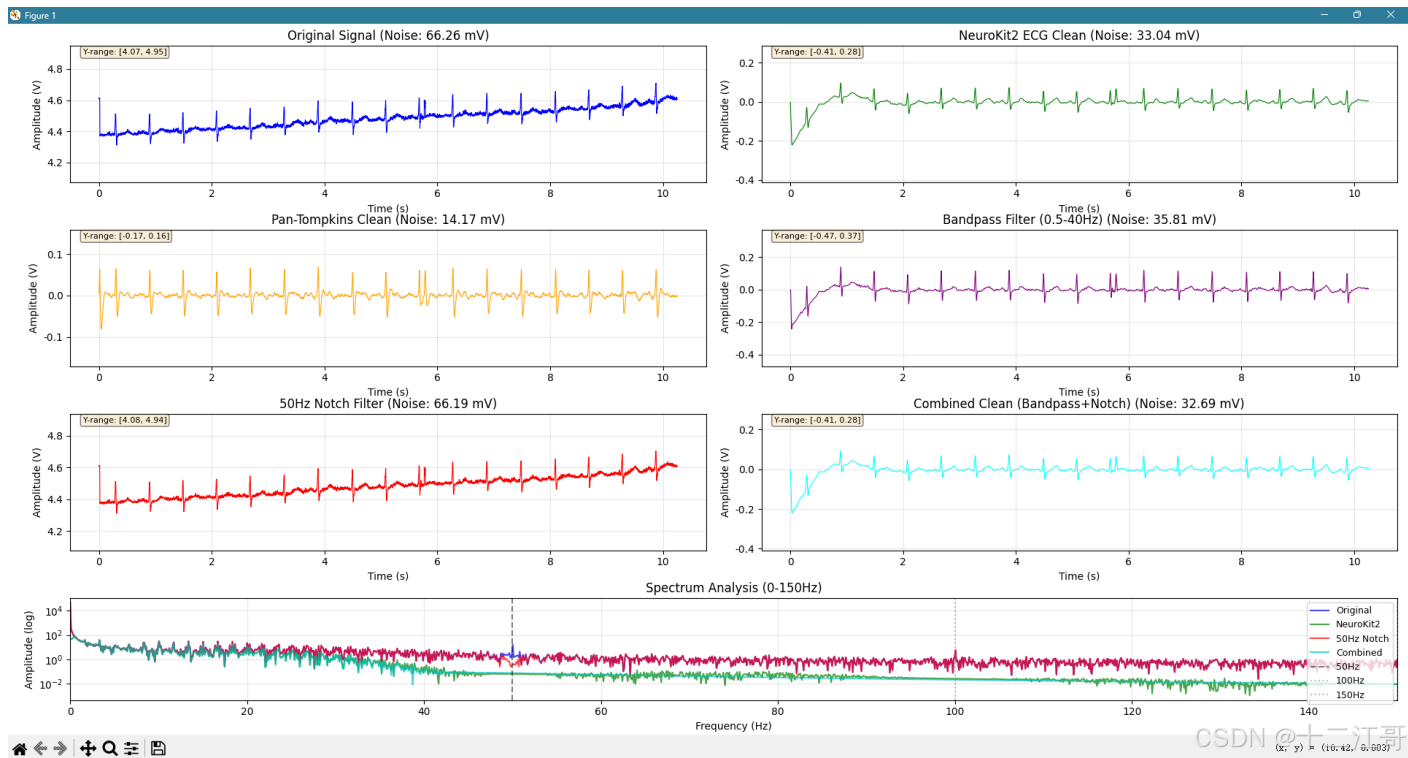


Figure 39. A Medical ECG Monitor Circuit

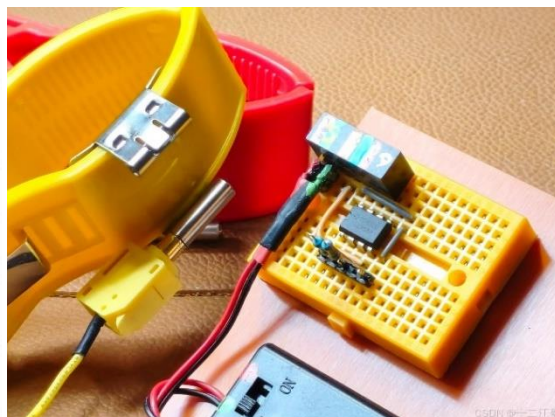
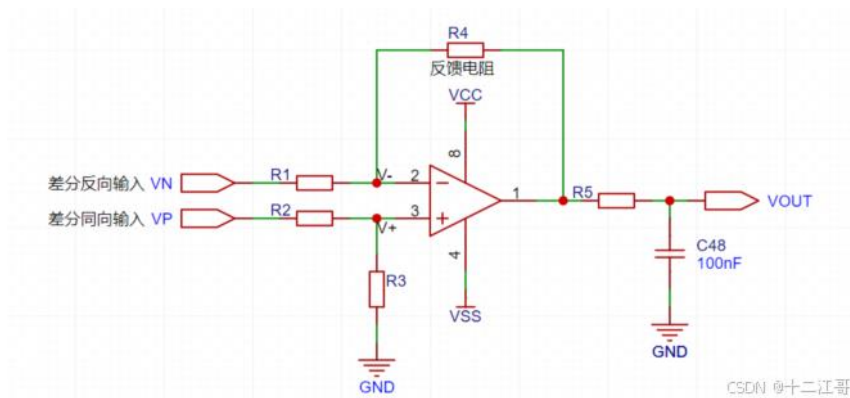
CSDN @十二江哥



CSDN @十二江哥

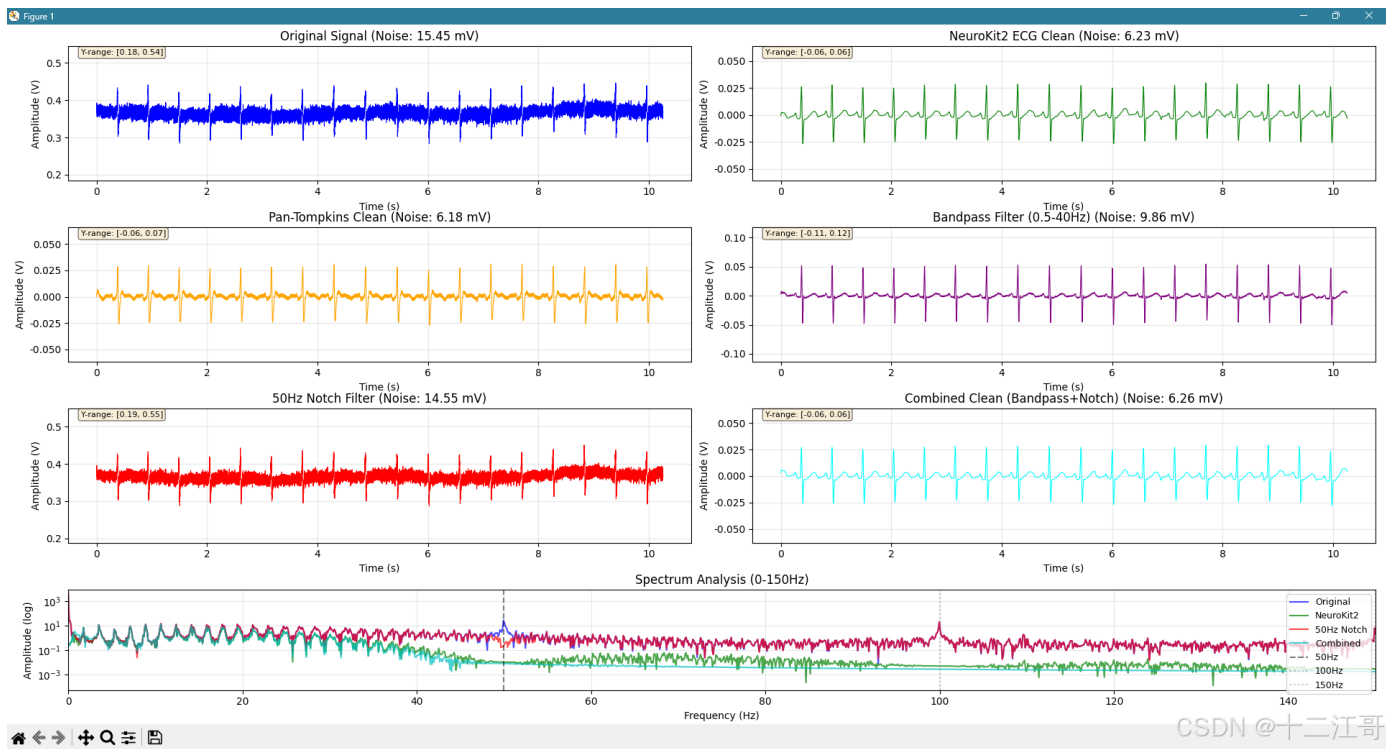


实验四. 没苦硬吃，把 LM358 翻出来娱乐一下？



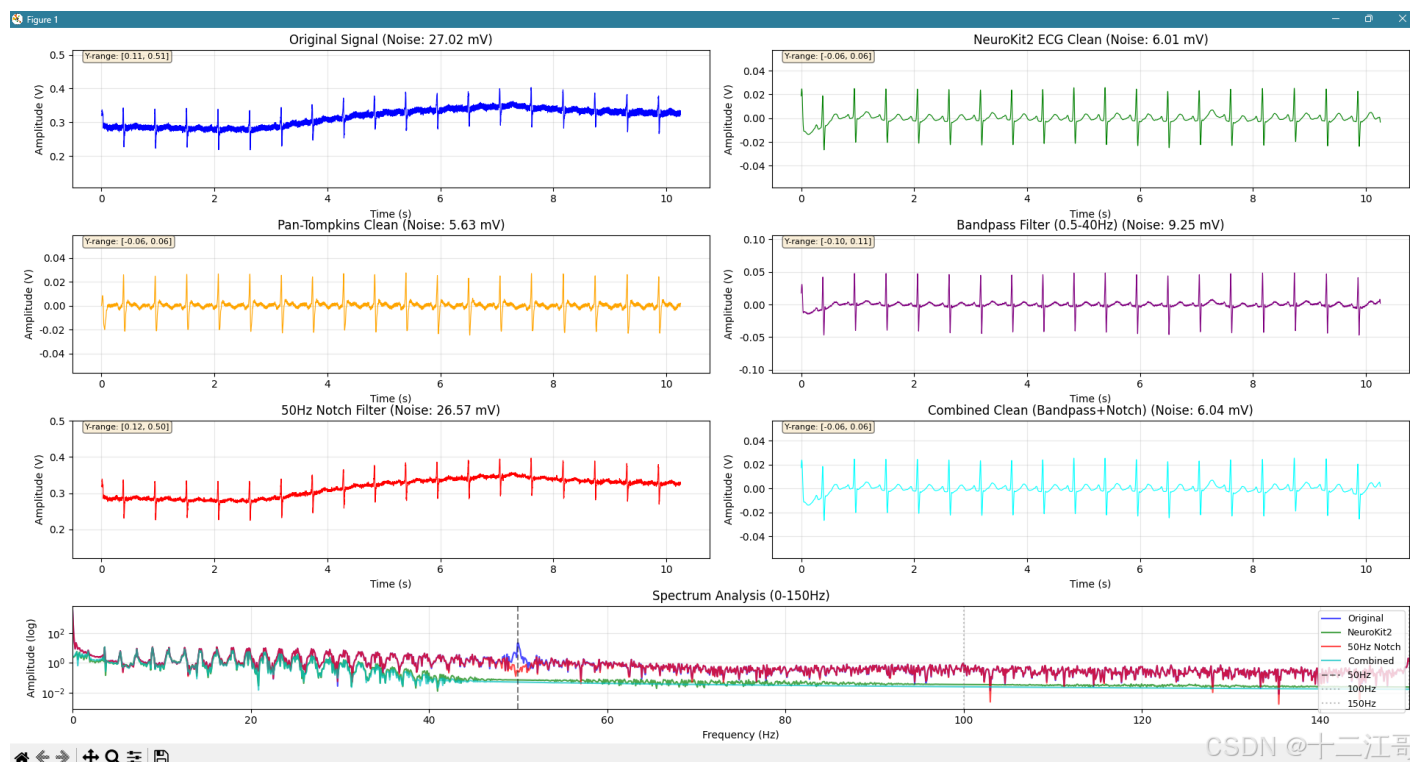
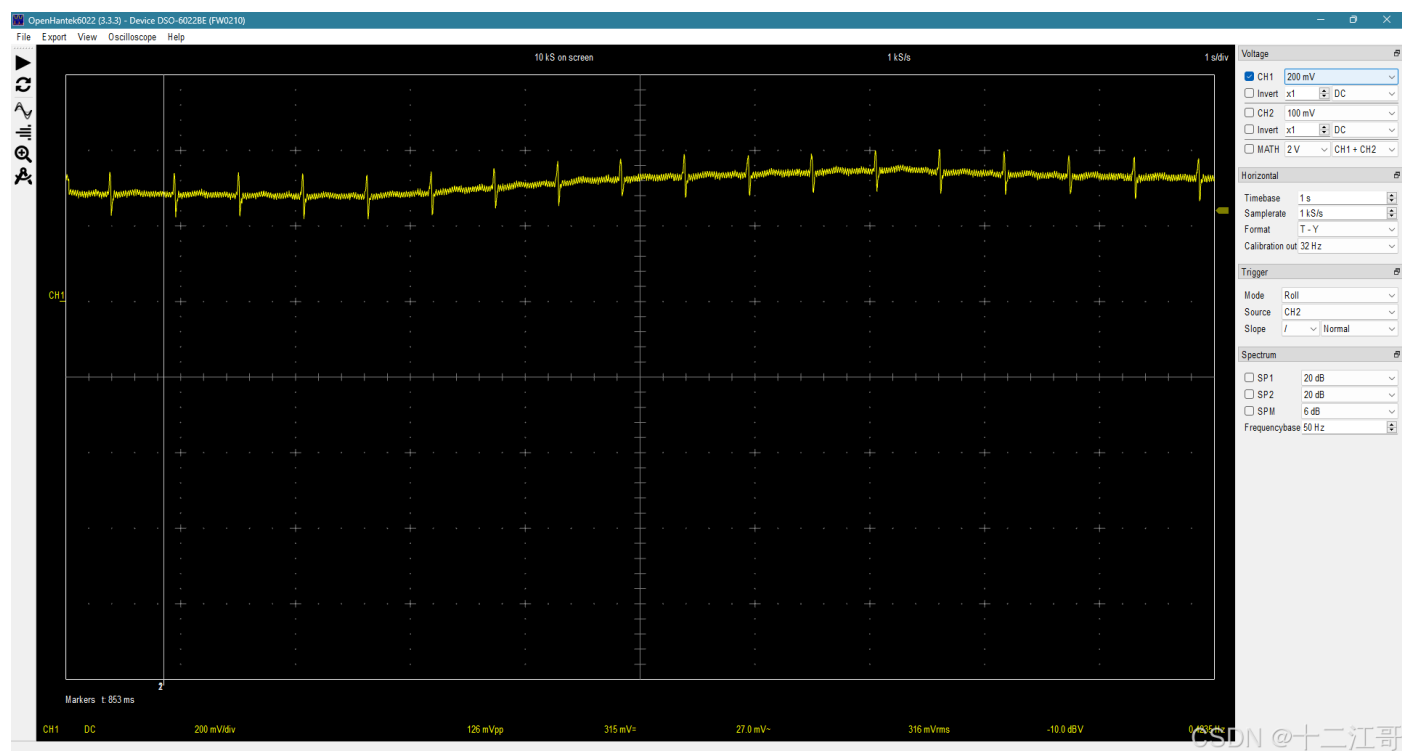
差分放大电路， $1k+1M$ 电阻，预期增益 1000 倍（实际远没达到，生物电是个比较复杂的信号，大概可以理解为电极到信号之间还有一个 $10k$ 的电阻，所以实际增益 $1M/10k$ 大概 100 倍）。可以看到工频干扰比较大，毕竟这款运放过于廉价，能看到波形就不错了。好消息是滤波后也够看。





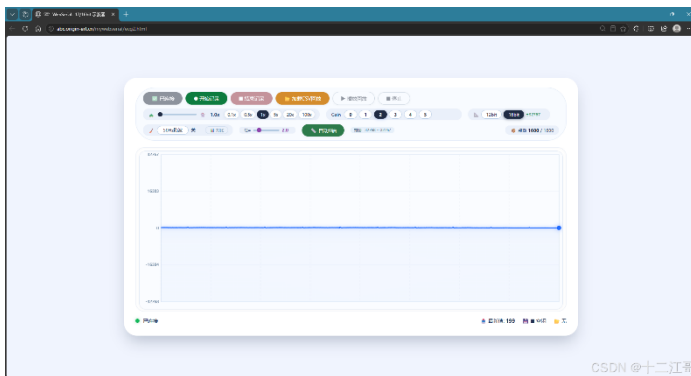
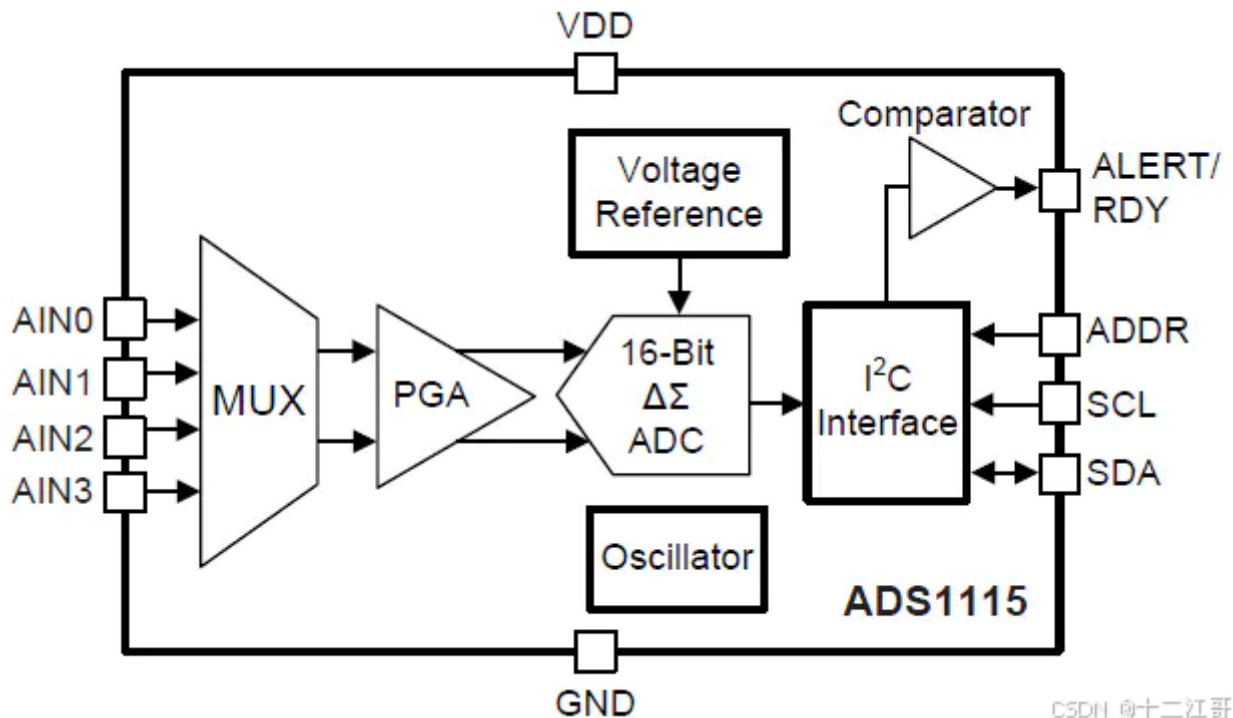
实验五. 既然 LM358 都能看到波形, 那就追加一个实验, 用新一代运放 OPA2188 试试?

波形明显改善, CMRR 146dB 真不是吹的。



实验六. 用 16bit ADC ADS1115 采集

对于 HRV 分析，6bit 的波形就足够提取 R 波。16bit / 6bit， 那就把多出来的 10bit 视为增益，
用 ADC 直接采集就成为可能了。



嗯。。。采集出来就只有一条水平线。。。就像。。。噤了。

“确定一定以及肯定”没噤嘛。。。睁大眼睛仔细看，还是可以看到有轻微的周期性尖峰。。。那就抢救一下！

于是切换到“Y 轴自适应模式”，波形不就有了。虽然看起来傻大黑粗，至少证明还活着不是。

专业分析

数据有了，HRV 分析这些就是一句话的事。。。



实验中还遇到的问题:

示波器直接查看运放输出波形挺好的，ADC 采样后数据有毛刺，在 AI 帮助下很容易解决了。（软件滤波无效，得加一级硬件滤波）