

AD8232 模块的变更

虽然公元 8232 年 它用途广泛，其在商用模块（例如您在 Arduino 上找到的廉价模块）上的标准配置针对以下方面进行了优化：心电图它的带宽要窄得多（通常 0.5 赫兹 - 40 赫兹与肌电图（20 赫兹 - 500 赫兹）。

为了获得干净的 EMG 信号，您需要直接在模块上更改一些无源元件（电阻器和电容器）的值。

推荐值表（肌电图与心电图）

如果您决定拆焊并更换模块上的 SMD 元件，以下是大致的参考值：

范围	心电图值（标准）	肌电图值（推荐值）
带宽	0.5 赫兹 - 40 赫兹	10 赫兹 - 500 赫兹
高通滤波器	10 微法/10 兆欧	0.1 微法/10 兆欧
低通滤波器	10 nF / 1 MΩ	1 nF / 1 MΩ

（在上图中，找到高功率 (HP) 和低功率 (LP) 模块，以便找到您特定模块上需要更换的电容器。）

我可以完全通过软件完成所有操作而无需拆焊吗？

不完全是。如果芯片的模拟低通滤波器截止频率为 40 Hz（如标准模块），则 EMG 频率（最高可达 400 Hz）在到达 Arduino 引脚之前就会被硬件物理衰减。

- 结果：你会看到一个非常“柔和”和缓慢的信号，完全丢失了肌肉收缩的所有快速细节。
- 建议：如果你不想焊接，可以寻找明确标明具有更宽带宽的 AD8232 模块，或者接受较低的分辨率，只关注低频信号的“地”。

对 AD8232 模块进行必要的修改

1. 高通滤波器

在 AD8232 原理图中，该滤波器由引脚控制。HPSense 和惠普驱动器目前设置为切断极低频率（生理心电图）。

- 需要修改的组件：**C4** 和 **C6**。
- 当前值：0.33 微法。
- 新推荐值：**0.1** 微法（或 100 nF）。
- 影响：将低截止频率提高到 10-20Hz，消除电缆和皮肤运动造成的明显伪影。

2. 低通滤波器

这是关键所在。AD8232 的电路图使用内部运算放大器作为双极 Sallen-Key 滤波器。电流分量在 40 Hz 以上急剧截止，从而“吞噬”了整个肌电信号。

- 需要修改的组件：**C3** 和 **C1**。
- 当前值：C3 = 10 nF，C1 = 1.5 nF。
- 新推荐值：
 - **C3**：1 nF（将截止频率移至 400 Hz 以上）。
 - **C1**：220 pF（为了保持过滤器的稳定性）。
- 影响：使肌肉纤维的快速频率能够到达输出端。信号输出。

3. 收益

肌电图的振幅比心电图的振幅大。

末级（仪器放大器 + 运算放大器）的增益由下式给出：增益 = $100 * (1 + R9 / R8)$

当 R9 = 1 MΩ 且 R8 = 100 kΩ 时，总增益约为 1100。

如果信号失真过大，出现 3.3V 和 0V 的“跳变”，则减小 R9 的值。

- 需要修改的组件：**R9**（链接至运算放大器-）。
- 当前值：1 兆欧姆
- 编辑：简化为 **470** 千欧姆甚至更少

重新计算截止频率控制

为了计算截止频率 (f_c)，我们将使用 AD8232 中实现的有源滤波器的公式，该公式基于我们选择的值，使其与 EMG 相匹配。

1. 高通滤波器 (低切滤波器)

AD8232 使用双极高通滤波器。截止频率由引脚上的元件决定。HPSDRV 和 HPSEL 采用新值后：

- 电阻器 **R11**、**R12**、**R13**：10 兆欧姆和 1.4 兆欧姆 (模块标配)。
- 电容器 **C4**、**C6**：0.1 μF (新建议值)。

二极滤波器的近似公式为：

$$f_{c\text{-high}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_{12} C_4 R_{13} C_6}}$$

将值 ($1.4 \text{ M}\Omega$ 和 $10 \text{ M}\Omega$) 替换为 $0.1 \mu\text{F}$)：

$$f_{c\text{-high}} \approx \mathbf{13.3 \text{ Hz}}$$

13 Hz 的结果非常适合 EMG，因为它消除了手抖和导线运动 (通常 $< 10 \text{ Hz}$)，而不会影响肌肉信号。

2. 低通滤波器 (上切)

低通滤波器是采用内部运算放大器的两极 Sallen-Key 滤波器。

- 电阻器 **R7**、**R8**、**R9**：1 兆欧姆和 100 千欧姆 (模块标配)。
- 电容器 **C3**、**C1**：1 nF 和 220 pF (新建议值)。

截止频率的计算公式为：

$$f_{c\text{-low}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_7 R_8 C_3 C_1}}$$

将值 ($1 \text{ M}\Omega$ 和 $100 \text{ k}\Omega$) 替换为 1 nF 和 220 pF)：

$$f_{c\text{-low}} \approx \mathbf{340 \text{ Hz}}$$

与原先的 40 Hz 心电图模块相比，我们现在有了 340 Hz，这是一个足够宽的带宽，可以捕获大部分肌电信号能量，该能量在 400-500 Hz 之后迅速衰减。

带宽概要

心电图 (原始) 频率范围：0.5 Hz 至 40 Hz

肌电图 (改良版)：40 Hz 至 340 Hz

更换概要 (SMD 模块)

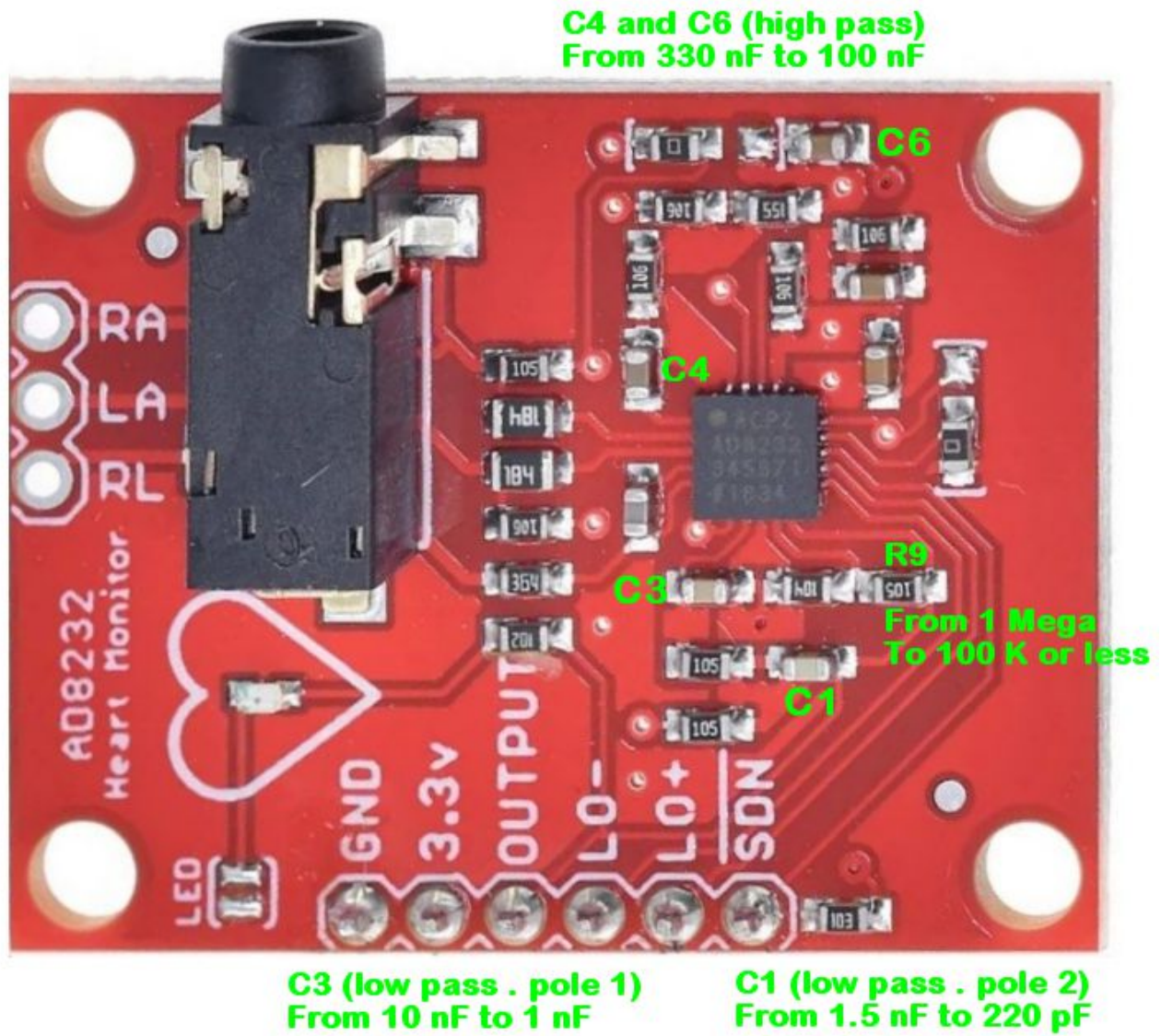
标签	功能	原值	新值 (EMG)
C4	高通滤波器 (第一极)	0.33 微法	100 nF
C6	高通滤波器 (极点 2)	0.33 微法	100 nF
C3	低通滤波器 (极点 1)	10 nF	1 nF
C1	低通 (极点 2)	1.5 nF	220 pF

实现说明

1. 焊接：表单上的组件通常采用以下形式 **0603** 你需要一把细尖烙铁或一台热风枪。
2. 电极 **C**：如 Myoware 原理图所示，参比电极(C)至关重要。在 AD8232 模块上，将其连接到引脚。**RL** (右腿)
3. 软件：硬件更改完成后，引脚信号输出会给你肌电图原始数据 (在 Myoware 方案中，第一个模块出来的那个)。此时您可以应用校正 (腹肌) 和积分器 (移动平均)，如第二个 PDF 中所述，通过软件实现。

PCB 修改

如图所示，替换 C1、C3、C4、C6 和 R9。



AD8232 原理图

这是 AD8232 的示意图，其中包含了心电图组件（在进行心电图修改之前）。

