

超声波通讯部分需要介绍的内容

————数据+图片+独特优势

1. 工作背景与优越特性

工作背景

随着无线通信技术广泛应用于智能制造、车联网、智慧城市等领域，特定工作场景下的通信难题也随之出现。这些难题包括：

- 静电屏蔽限制：**封闭金属容器（如储油罐体内部）产生的静电屏蔽会限制电磁波的传输。
- 强电磁干扰：**在强电磁干扰场合下，无线电磁波通信无法正常使用。
- 密闭环境数据传输：**在石油井下或密闭建筑物内外部，数据传输亟待解决。

本次磁吸管道机器人便是工作在具有强电磁屏蔽的环境下的，因此我们提出采用**超声波**作为信息传输的载体。

优越特性（超声波相比电磁波）

我们无缆磁卫团队提出采用**超声波**代替电磁波作为信息传输的载体，其优势在于：

- 不受干扰：**能克服静电屏蔽和强电磁干扰的影响。
- 穿透力强：**具有**方向性好、穿透力强**的优点，可以穿透固体，且不受电磁屏蔽的困扰。
- 不占频谱：**超声波作为机械波，不占用宝贵的频谱资源。

2. 硬件：系统架构与关键组件

该系统是一个**低速率半双工通信系统**，采用**主机询问、从机应答**的方式进行数据传输。系统通过软件定义功能，以降低硬件成本并提高灵活性。

硬件部分	组成/功能描述
超声波换能器	收发两用型压电超声波换能器。工作频率选择为 40kHz。 系统信号收发共用同一换能器。

硬件部分	组成/功能描述
MCU 核心	选用 STM32F407VET6 芯片，利用其 ADC、DAC、DMA 等资源实现通信功能。
信号发射电路	主要由 带通滤波电路 和 功率放大电路 组成，用于滤除 DAC 信号中的杂波并进行功率放大，驱动换能器。
信号接收电路	由 带通滤波电路 和 电平迁移电路 组成，用于滤波、信号放大，并将信号电平迁移至 ADC 采集范围 (0V ~ 3.3V)。
半双工收/发切换	基于模拟开关芯片 (ADG1419)，用于在信号发射和接收状态之间切换，避免相互干扰。
电源电路	提供 MCU 及其外围电路主控板所需的 5V 电源（经 DC-DC 和 LDO 两级降压），以及信号收发电路所需的双电源 ±6V 供电。

核心芯片选型

- **MCU 主控：STM32F407VET6**。该芯片时钟频率最高可达 168MHz，片上资源丰富，内嵌 ADC 和 DAC，用于完成差错控制编译码、扩频解扩、调制解调等复杂的数字运算。
- **模拟开关：ADG1419BRMZ**。用于实现信号收/发状态的半双工切换。
- **功率放大器：TDA2030A**。用于信号发射，具有大功率输出和小失真的优点。
- **运放芯片：NE5532DR**。用于信号接收和发射电路中的滤波和放大。

信号处理电路

硬件模块	组成与功能	关键参数
信号发射电路	带通滤波 (NE5532 运放回路) → 功率放大 (TDA2030A 芯片)。 功能 ：滤除 DAC 输出信号中的直流分量和高次谐波，并将信号放大，驱动超声波换能器。	带通滤波中心频率约为 41.6kHz。 功率放大电路的电压增益设置为 2 倍。
信号接收电路	带通滤波 → 信号放大 → 电平迁移 (NE5532 运放回路)。 功能 ：滤除噪声干扰，放大微弱信号，并将信号电平整体迁移至 ADC 采集范围 (0V ~ 3.3V)。	带通滤波中心频率约为 41.6kHz。 电平迁移幅度设置为 1.65V。

硬件模块	组成与功能	关键参数
收/发切换	使用 ADG1419 模拟开关芯片。 功能： 在信号接收和发射之间进行切换， 确保电路共用同一超声波换能器时不相互干扰。 MCU 的 PE13 引脚输出逻辑电平控制开关状态。	供电电压为 $\pm 6V$ 。

系统电源电路

电源模块负责提供稳定能量：

- 3.3V 电源：**为 MCU 及其外围电路供电，并作为 ADC/DAC 的参考电压。采用 DC-DC 降压 (LM2596S-5.0) 后接 LDO 稳压 (RT9013) 的两级降压方式，以获得纯净电源。
- 双电源 $\pm 6V$ ：**为信号收/发相关电路（运放、功放、模拟开关）供电。通过两颗 LM2576-ADJ 芯片，以独立输出和串联输出的方式生成 $\pm 6V$ 电压。

3. 算法：通信技术与性能数据

通信关键技术（算法）

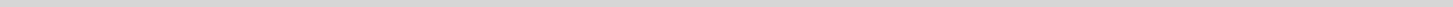
系统软件在 MCU 中实现各通信模块功能，具有高度灵活性：

算法技术	目的/实现细节
DSSS 扩频解扩	直接序列扩频通信 (DSSS) 。采用 Gold 序列 作为扩频码（周期 31，扩频因子 31），可有效抵抗 窄带干扰、多径干扰 ，并实现 CDMA 多址通信 。
数字调制解调	采用 DPSK (二进制差分相移键控) 和 $\pi/4$ - QDPSK (四进制差分相移键控)。 $\pi/4$ -QDPSK 具有 峰均比小、抗多径衰弱能力强 等优点。
差错控制	采用 HARQ (混合自动重传请求) 差错控制原理。编码采用 RS 编码 （内码，用于纠错）与 CRC16 校验 （外码，用于检错）的 混合编码 。
调制速率模式自适应	利用 HARQ 的重传机制评估信道质量， 自适应调整调制方式与传输速率 （ 2k Baud DPSK \rightarrow 4k Baud DPSK \rightarrow 4k Baud $\pi/4$ -QDPSK）， 以平衡通信的可靠性与有效性。

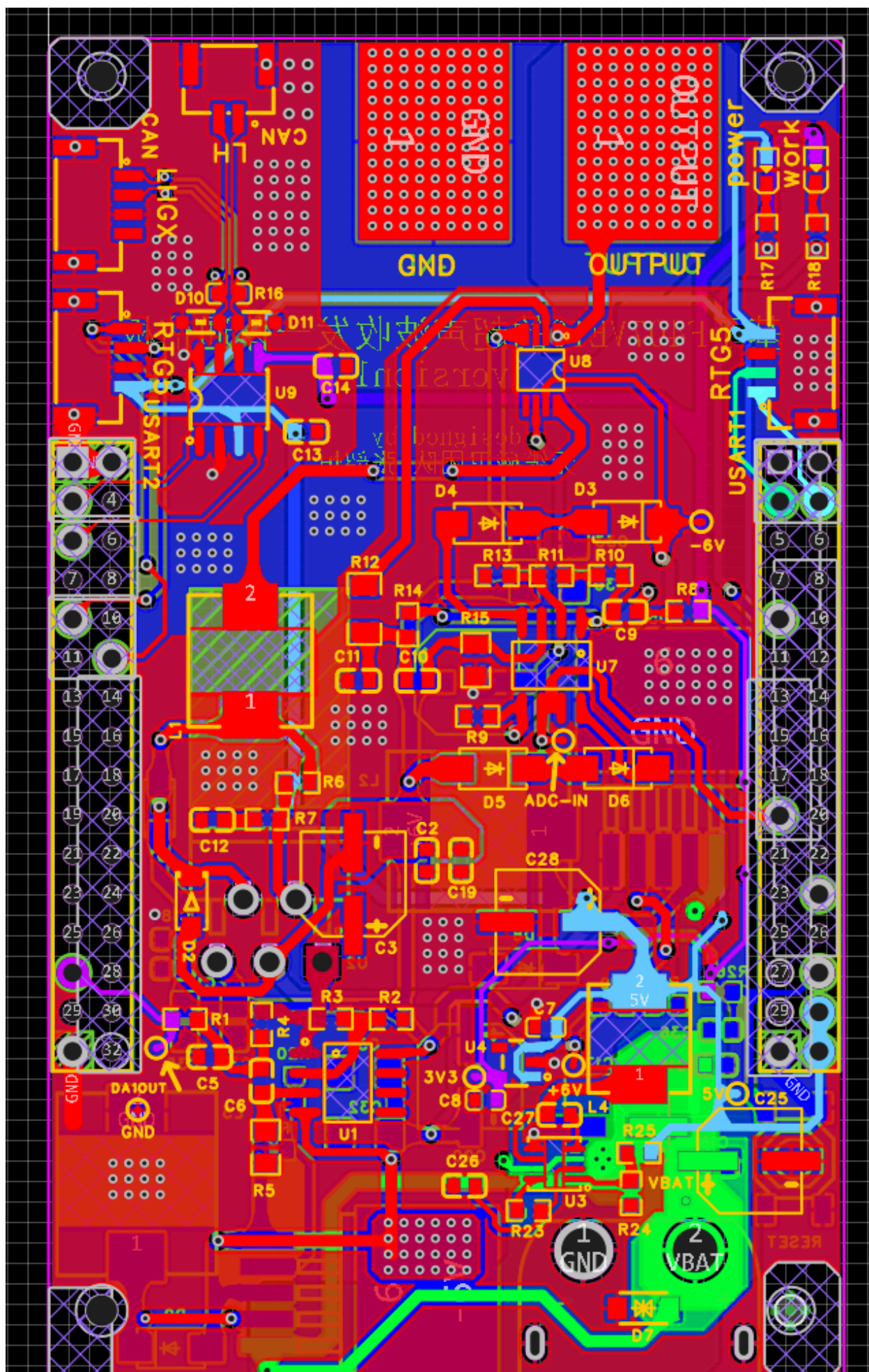
算法技术	目的/实现细节
信号生成	采用 DMA + DAC+ 定时方式实现 直接数字频率合成 (DDS) 技术，通过查找波形表动态填充缓冲区，实现调制信号输出。

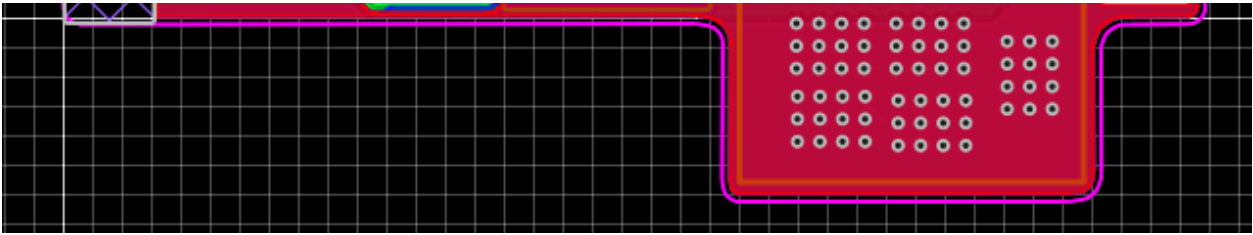
性能数据

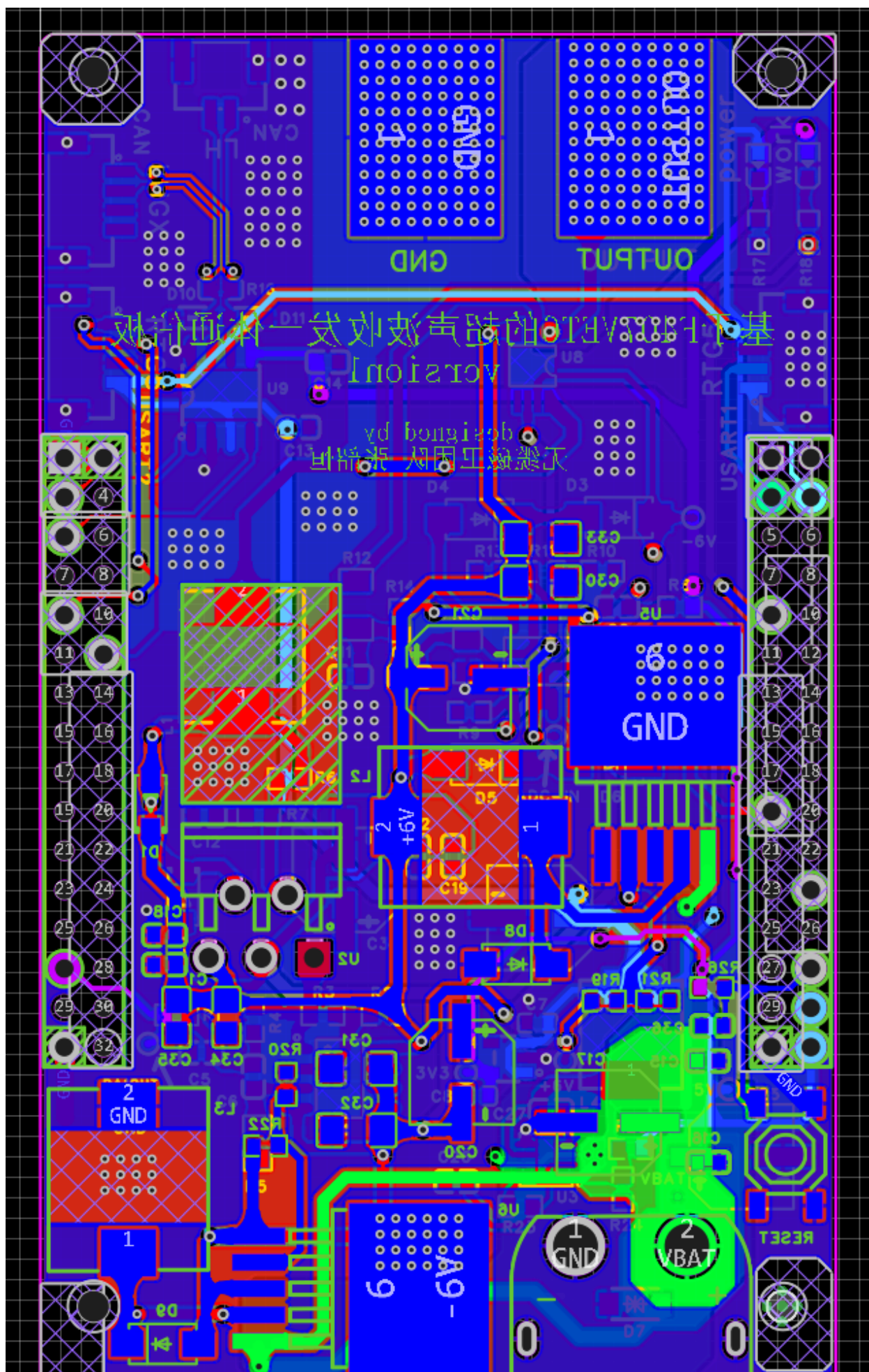
性能指标	测试结果或指标
通信速率与模式	模式 1 (2k Baud DPSK) : 可靠性高，有效性低。 模式 3 (4k Baud $\pi/4$-QDPSK) : 可靠性低，有效性高。
通信稳定性	在单频干扰和多址干扰下，信噪比 (S/N) 大于 0dB 时，误码率基本低于 10^{-3} 。 DSSS 技术验证了抵抗干扰和实现 CDMA 多址通信的可行性。
通信距离	在硬橡胶、金属 (40mm 厚) 和混凝土等墙体介质上均完成了通信测试。发送信号峰峰值 4V 时，最大 错开距离 在 64mm 到 92mm 之间。
能耗	信号接收状态 整机平均功耗约为 1.44W。 信号发射状态 整机平均功耗约为 2.04W。
数据处理耗时	在 4k Baud 模式下，数据发送处理耗时约 8.8ms 至 14.8ms，数据接收处理耗时约 13.6ms 至 21.6ms，均小于 ADC/DAC 对缓冲数组 31ms 的处理时间。

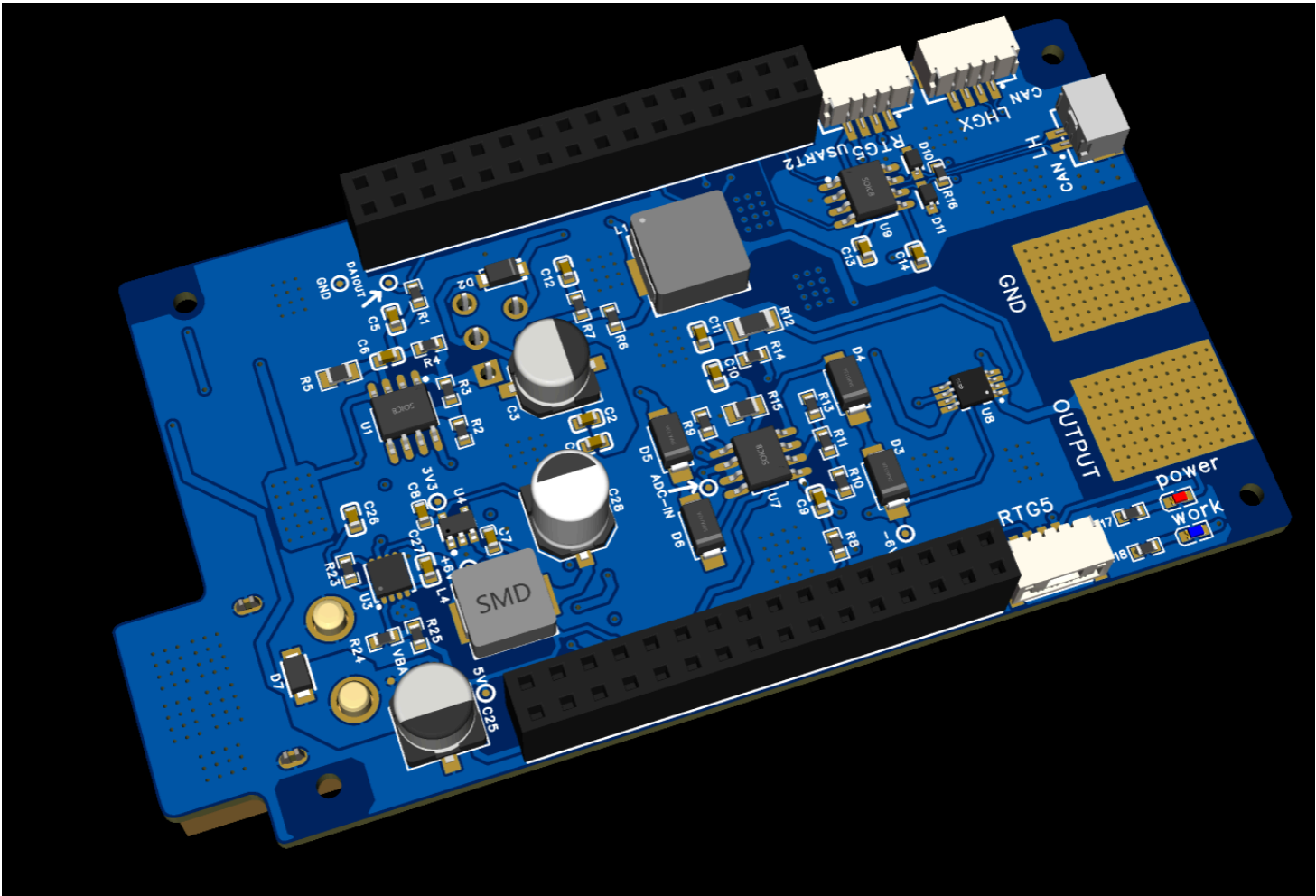
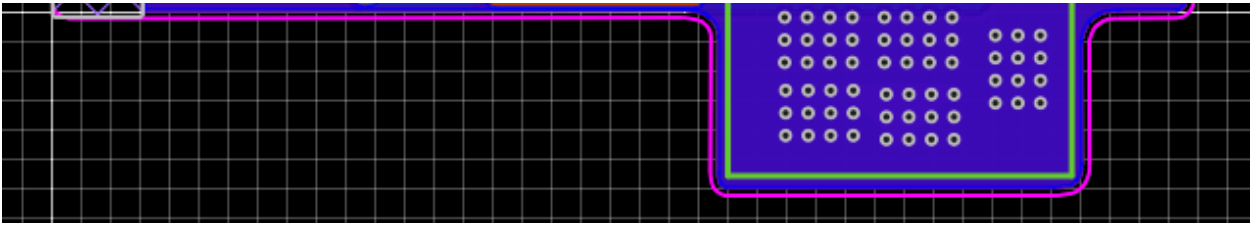


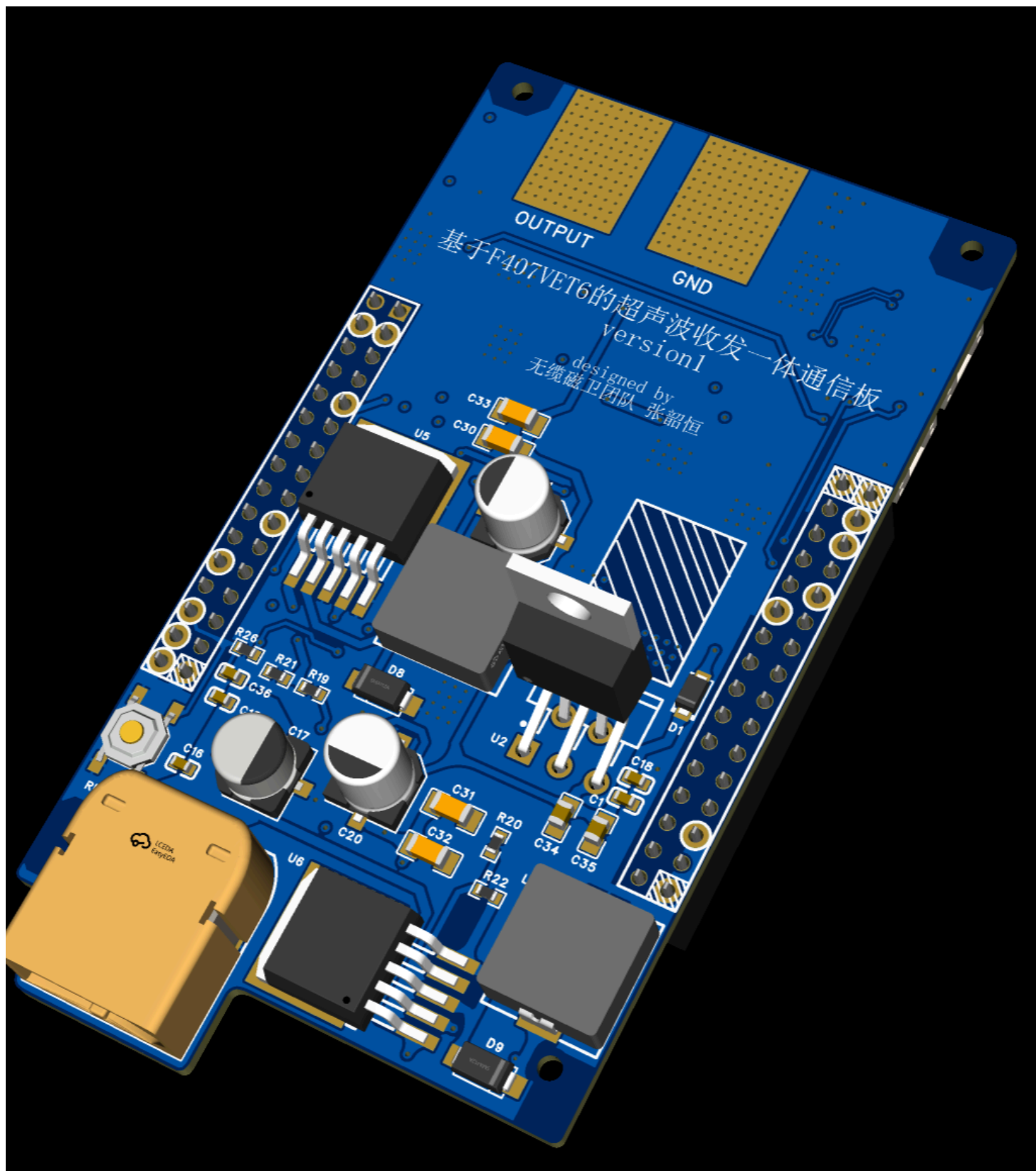
4. 硬件电路展示：











5. 部分仿真展示：

