

武汉大学

二〇二二 ~ 二〇二三学年第 二 学期

电子信息工程系

电子系统综合设计 课程报告书

班 级： 电子信息工程(国际) 2020 级 1 班

学 号： 202021177001、015、031

姓 名： 曾静如、刘骁然、何松谕

课程名称： 电子系统综合设计

学时学分： 4 学时 1.5 学分

指导教师： 陈建良 杨永立

二〇二三年 五 月

摘 要

本次课程设计，设计并实现了一个基于 51 单片机的手机无线充电器。整个系统包括电源模块、电压电流检测模块、主控电路模块、LED 模块、LCD 模块和无线传输模块六个模块。利用线圈的电磁感应原理，将 220V，50Hz 的交流电转换成 5V，1A 的直流电输出，通过 mini-USB 接口实现系统给手机充电的功能。

本次课程设计分为：电路设计，软件设计，原理图绘制，软件仿真，实物焊接和系统测试六个部分。小组成员分工合作共同完成了本次手机无线充电器的设计和实现。最终系统输出为 5V1A，纹波为 37mV，纹波率小于 1%，电源效率大于 50%，符合题目要求。

关键词: 无线充电器; 51 单片机; 电磁感应

目 录

第一章	任务要求	5
第二章	系统方案选择	6
2.1	系统方案比较	6
2.2	无线充电系统总体方案	6
2.3	系统硬件器件的方案选择	7
2.2.1	主控芯片的选择	7
2.2.2	液晶显示模块的选择	8
2.4	系统硬件电路的方案选择	8
2.4.1	AC/DC 电路选择	8
2.4.2	发射端电路方案选择	9
2.4.3	接收端电路方案选择	9
2.5	任务分工	9
第三章	详细设计	10
3.1	系统硬件原理图	10
3.2	主控模块设计	11
3.3	电源模块设计	12
3.4	无线传输模块设计	12
3.4.1	无线发射模块	13
3.4.2	无线接收模块	15
3.5	无线充电线圈的选择	16
3.6	电压电流检测模块	16
3.7	液晶显示模块	17
3.8	元件清单	17
第四章	软件设计	19
4.1	AD 模数转换	19
4.2	延时模块	19
4.3	STC89 在线编译模块	20
4.4	STC89C52 在线编译模块	20
4.5	电流电压检测模块	21
4.6	程序流程图	21
第五章	系统测试分析	22
5.1	仿真结果	22
5.2	硬件测试	23
5.2.1	实物图	23
5.2.2	焊接检测	24
5.3	系统输出性能检测	24

5.3.1 系统输出电压检测	24
5.3.2 系统输出电流检测	25
5.3.3 系统输出纹波检测	25
第六章 问题分析	26
第七章 结论	27
参考文献	28

第一章 任务要求

为了设计和制作一套满足要求输入为市电 220V, 50Hz 电源, 输出 5V, 1A 直流, 纹波小于 1%, 电源效率>50%, 且输入输出由线圈无线传输; 且输出接口为 mini-USB 插头, 可用于手机充电无线充电装置。我们的设计遵循以下步骤:

1. 市电转换和整流

在这一模块, 我们要将 220V, 50Hz 的交流市电转换成电压电流都更小的直流电, 然后通过输入端口给整个系统供电。

2. 主控电路设计

主控电路, 由主控芯片, 液晶显示屏和它的外围电路构成, 其主要功能为保证整个系统都能正常运行, 同时监控输出电压电流的数值。

3. 无线充电电路设计

无线充电系统通常基于磁谐振原理。我们需要设计一个发射线圈和一个接收线圈, 它们之间通过磁场进行能量传输。发射线圈: 选择一个适当尺寸的铜线圈, 用于发射端。将线圈与一个适当的谐振电容并联, 形成一个 LC 谐振电路。使用一个开关频率为 100kHz-200kHz 的 MOSFET 开关, 驱动 LC 谐振电路; 接收线圈: 选择一个与发射线圈匹配的接收线圈。在接收线圈上也并联一个适当的谐振电容, 以便与发射线圈在相同的频率上共振。在接收线圈的输出端连接一个整流器, 将交流电转换为直流电。

4. 输出接口设计

根据要求, 输出接口为 mini-USB 插头。我们选择一个 mini-USB 母头, 将输出电压连接到插头的正确引脚。同时, 还需要一个稳压模块, 来将输出电压稳定在 5V, 利用稳压模块的纹波抑制特性来减少输出的纹波。

第二章 系统方案选择

2.1 系统方案比较

无线充电技术主要分为以下三种。

表 1.1 三种无线充电技术的比较

无线充电技术	传输功率	传输距离	特点
电磁感应	几瓦到几百瓦	小于十毫米	充电器和待充电设备要很近, 终端产品的初级线圈和电路之间要进行屏蔽, 充电器和手机进行通信
无线电波	不超过一百瓦	最高不超过十米	传输功率小, 无法在短时间内完成手机的充电任务, 效率低, 发射的大量功率以无线电波形式浪费掉
电磁共振	几千瓦	三到四米	必须对所需频率进行保护, 几米范围内传输需要几百兆赫兹的频率

目前市场上的主流无线充电器均选用电磁感应方式设计无线充电器, 在充电时, 要求发射端线圈接近接收端线圈, 这类充电方式的充电功率符合大部分小型电器基本充电基本要求, 并且电路原理简单易实现, 所以本次设计我们也采用电磁感应方式无线充电器。

2.2 无线充电系统总体方案

无线充电的基座（发射端线圈部分）主要包括：振荡电路、降压电路、功放电路和一个电磁感应的发射线圈，220V 的市电经过变压器，整流电路，滤波电路，稳压电路输出 5V 直流送给发射模块，在该模块内部，5V 直流电经过逆变电路，LC 谐振电路等产生高频交变电流，电流通过线圈后形成了交变磁场，接收端线圈在这交变磁场中进行电磁感应，从而产生电流。再由接收端的充电电路将感应到的交流电转换为直流电，然后再进一步传输至输出端口的负载，这样就达

到了无线充电功能。在完成以上功能的同时我们用 51 单片机及 LCD 液晶显示屏监控输入输出电流，定量的观察传输过程中各参数的变化，此功能主要以代码实现。

无线电能传输系统原理图如图 1.1 所示。

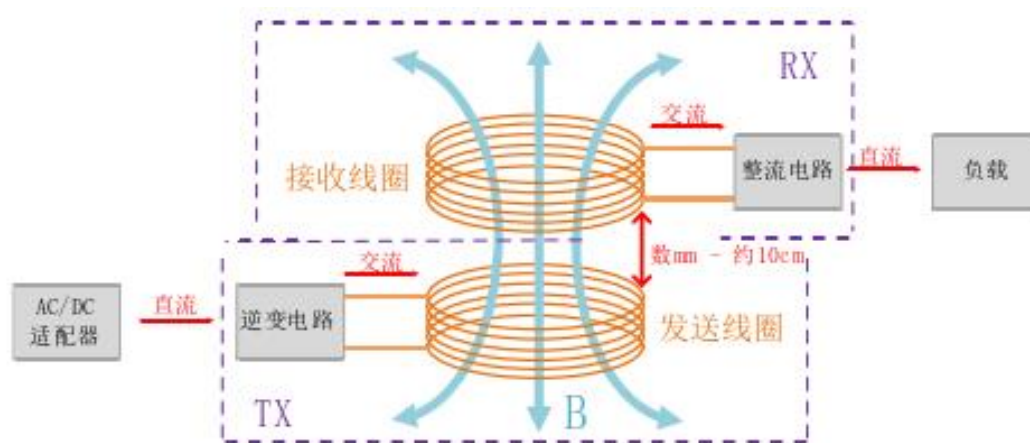


图 2.1 无线电能传输系统原理图

2.3 系统硬件器件的方案选择

2.2.1 主控芯片的选择

方案一：STM32 类芯片

STM32 是一类高性能，低成本，具有高频率的单片机。对于监控各参数来说，STM32 类芯片无疑能够在满足功能的同时，还存在非常多的剩余。但出于对设计的实际出发，不应造成过多的浪费，从而排除此类单片机。另外，STM32 类单片机相较于 51 单片机开发程度较难，需要有一定的基础。

方案二：STC89C52 芯片

STC89C52 是一款高性能、低功耗的 8 位 CMOS 微处理器，它的 8 K 字节可编程 Flash 内存，其性能优于普通 51。此外，这种芯片的擦洗次数超过了数十万次，使用起来十分方便^[1]。它的特点是管脚数目多，应用广泛。

综合以上说明，在充分考虑到 STC89C52 系统的性能能够达到本次设计要求的前提下，充分考虑到资源的合理使用、成本、开发难度等因素，最后确定了宏晶公司 STC89C52 单片机为主要控制器。

2.2.2 液晶显示模块的选择

方案一：采用 LCD1602 液晶显示屏

LCD1602 以点阵的方式进行显示，可以显示两行字符，并且 LCD1602 的引脚数量较少，可以很容易控制它。而且对于本设计而言，两行字符完全可以实现功能的显示。另外，该液晶屏成本较低，尺寸较小，在设计上有更多的地方可以嵌入。

方案二：使用 LCD12864 液晶显示屏

LCD12864 同样也是以点阵的方式进行显示，并且相较于 LCD1602 只能显示两行字符而言，LCD12864 可以显示更多的字符，并且分辨率更高。虽然 LCD12864 液晶屏功耗低、体积也较小，但是其显示信息量过大，设计起来相对复杂，除此之外，该液晶屏价格相对较高。

综合上述的描述，LCD1602 控制更为简单，其可以显示的字符完全可以满足本设计，LCD12864 虽然字符更多，但是相较于本设计有点冗余。同时考虑到资源的合理利用和成本以及开发的难易程度，最终决定采用 LCD1602 液晶显示屏作为显示模块。

2.4 系统硬件电路的方案选择

手机无线充电系统的硬件电路选择以保证充电线路运行正常的情况下，尽量降低能耗，简化电路及降低花费为目标，对电路进行设计。

2.4.1 AC/DC 电路选择

220V 转 5V 电路结构如下：

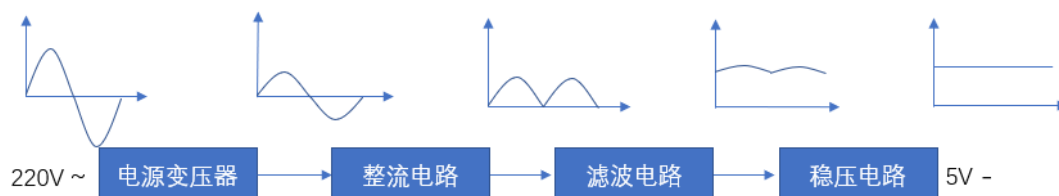


图 2.2 220V 交流电转变为 5V 直流电过程

由于大部分充电器已包含 AC/DC 功能，因此选择对应要求的充电器即可，根据要求我们选择 12V 转 5V 的 AC/DC 充电器。

2.4.2 发射端电路方案选择

发射端电路原理结构如下：

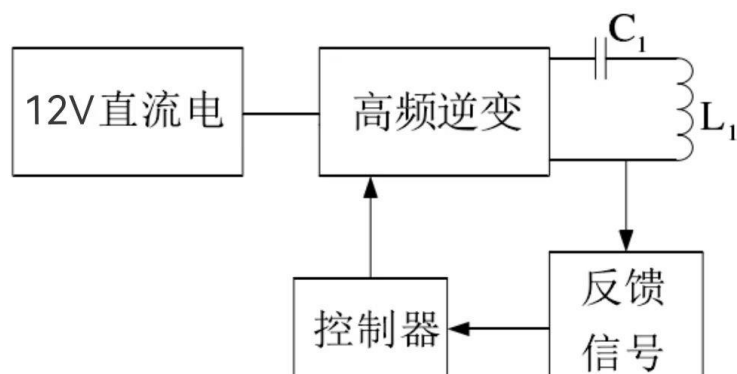


图 2.3 发射电路

2.4.3 接收端电路方案选择

接收端电路原理结构如下：

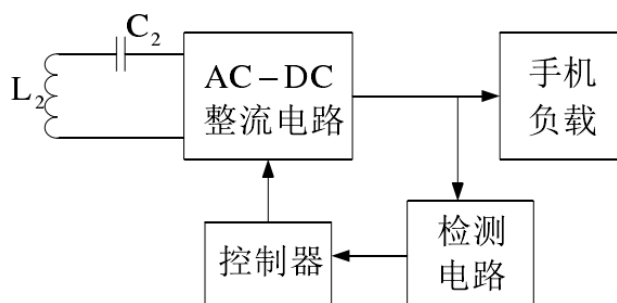


图 2.4 接收电路

2.5 任务分工

本次设计小组成员有曾静如，何松谕和刘骁然。刘骁然负责主要的电路设计和各电子元件的筛选，曾静如负责本次项目的仿真工作和原理图的绘制，何松谕负责参数监控模块设计及 51 单片机代码编写。在焊接和组装系统方面，刘骁然和何松谕主要负责无线充电线圈的发射和接收端电路的焊接，曾静如则负责整体电路的焊接。系统的调试和检测由三人共同完成。

第三章 详细设计

3.1 系统硬件原理图

系统硬件总原理图如下，下面分别对每个模块进行详细阐述。

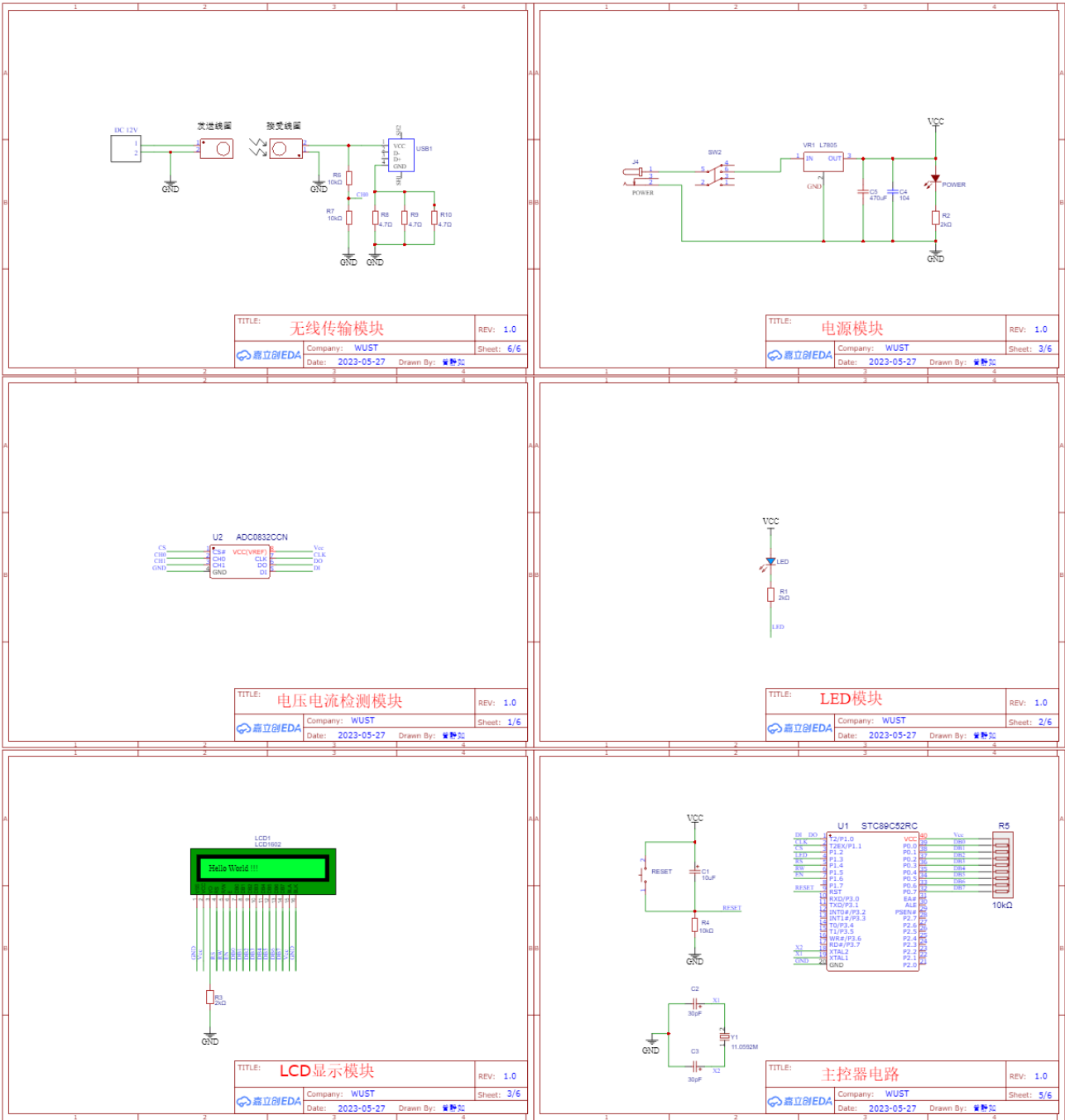


图 3.1 系统原理图

3.2 主控模块设计

为保证 STC89C52 单片机能够在 5V 电压下进行最基础的运行能力，我们在 STC89C52 上通过一些元器件组成上拉电阻电路、复位电路、晶振电路等，构成一个单片机最小系统，单片机最小系统框图如下。



图 3.2 单片机的最小系统框图

如图 3.3 所示为主控制 CPU 模块，其中 R1 为排阻，单片机 P0 口必须接上 10k 的上拉电阻才能使用。左下角为晶振电路，晶振与电容是配套使用，电容的取值范围是 3-50pf 在这个范围内应该都可以，这里我们选用 30pf。左上电路为复位电路，单片机 9 脚是高电平复位，按下按键 9 脚可进行 5v 手动复位，其中电阻与电容是自动复位，组成一个微分电路，电容在瞬态过程视为短路处理，相当于 9 脚接 5V 高电平。电容与电阻的取值决定了复位时间的长短，两者的乘积为复位时间，阻值的大小选为 4.7KΩ。

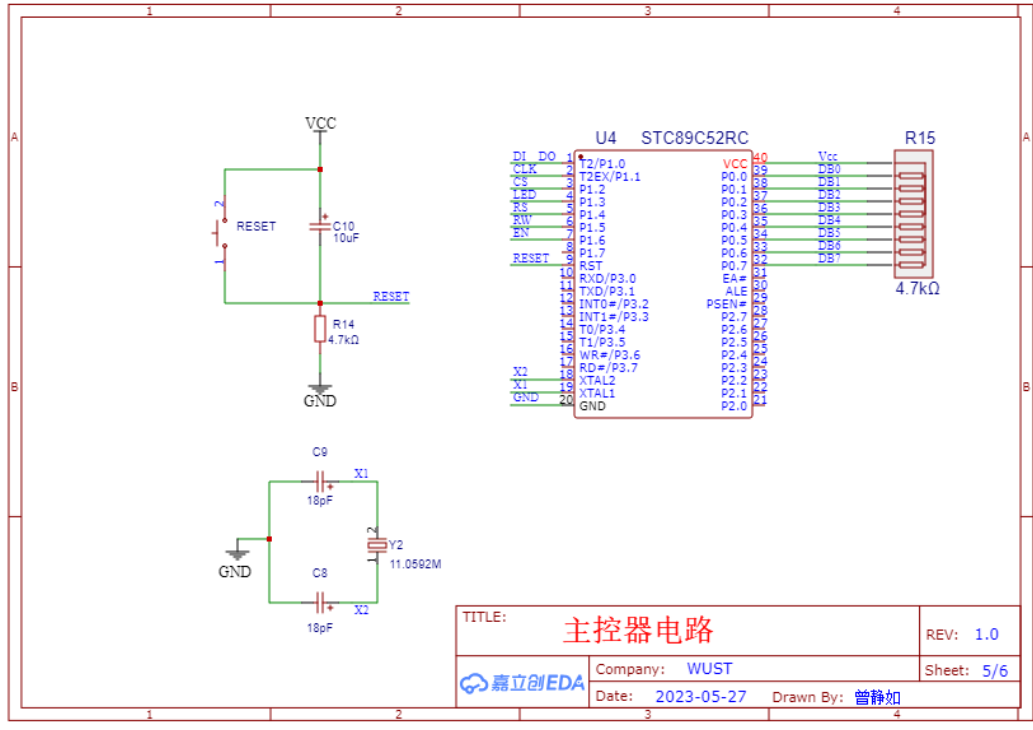


图 3.3 主控制 CPU 模块

3.3 电源模块设计

如图 3.4 所示，电源模块主要功能为其他模块供电，此模块分为 2 部分。一部分为将经过处理的电流输出给单片机以及各个模块供电，另外一部分为 12V 直接输出给在无线发射模块，其间对 12V 直流电进行处理时用到了稳压模块 L7805，将 12V 稳压成 5V，单片机要求 5V 输入，所以必须有一个 5V 的电压输入以保证其工作正常。其中 C4、C5 为滤波电容，C4 是 470uF 是低通滤波，滤除低频不稳定的电压，C5 是滤除高频不稳定的电压波形。电阻接在电源指示灯上起到限流作用，防止烧坏指示灯。

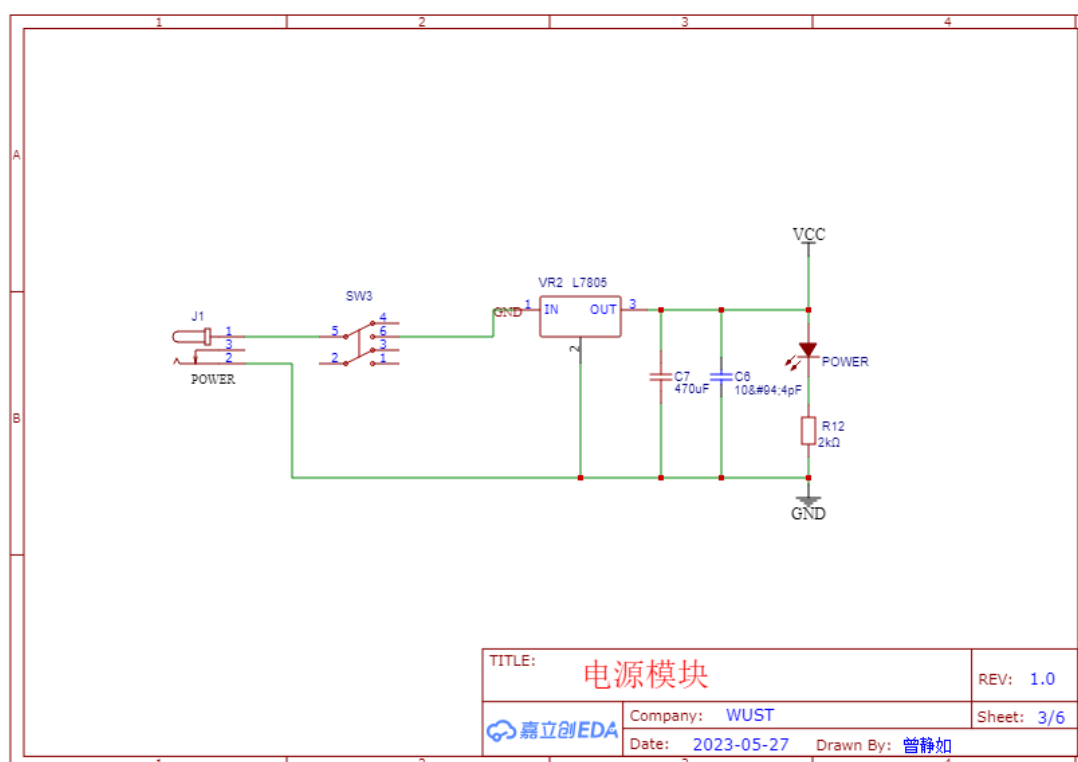


图 3.4 电源模块电路原理图

3.4 无线传输模块设计

无线发送模块的输入为 12V 直流电源，以电磁能的形式输出，为接受电路提供能量。接收端与发送端产生磁场切割，产生电压，经过处理后产生 5V 的电压输出，通过两个采样电阻分压，采集电压的变化在液晶屏上显示，电压输出经过一个 USB 接口连接负载如手机等。后接 3 个串联 4.7KΩ 电阻，作为采样电阻，其中 CH0 和 CH1 接口与 LCD 液晶屏连接。

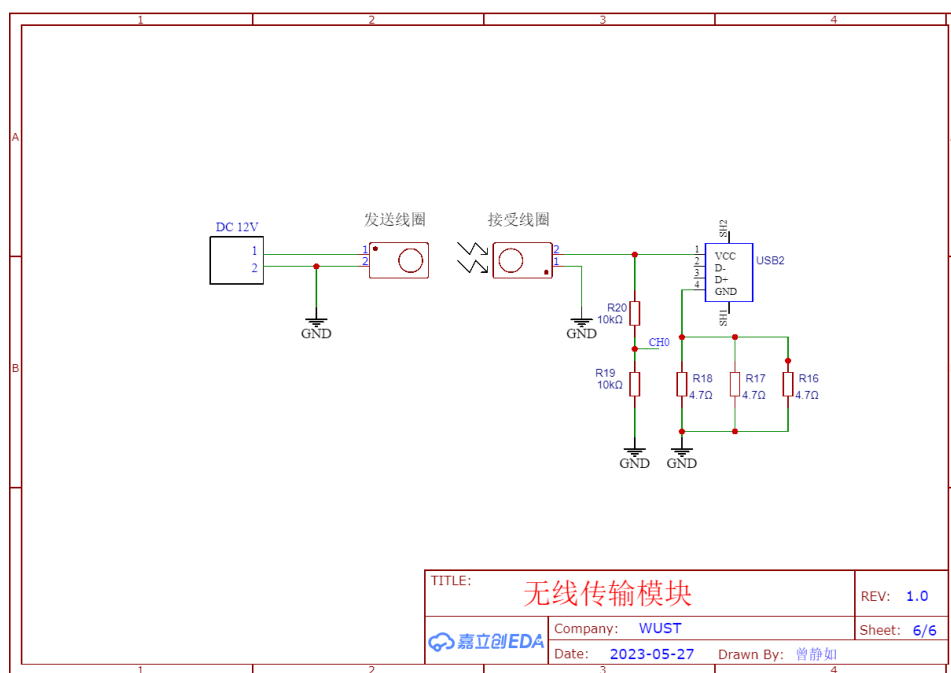


图 3.5 无线传输模块

3.4.1 无线发射模块

发射模块主要由 LC 谐振电路，逆变电路，滤波电路等构成，此模块将输入的 12V 直流电转化为高频交变电流传输给发射线圈发射本次设计我们使用 XKT-412 芯片及外围电路实现此功能，下面详细介绍这款芯片。

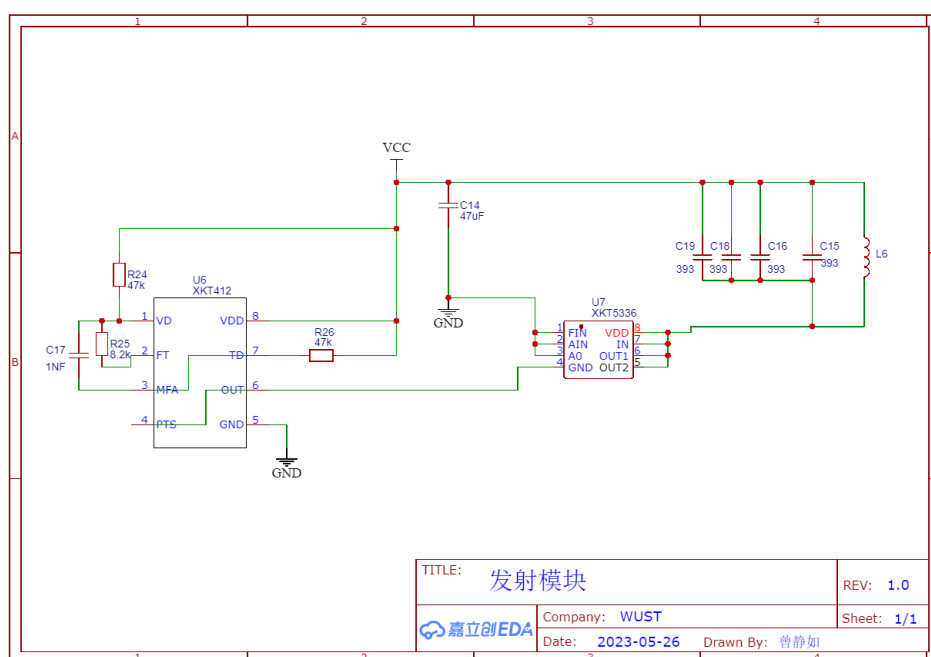
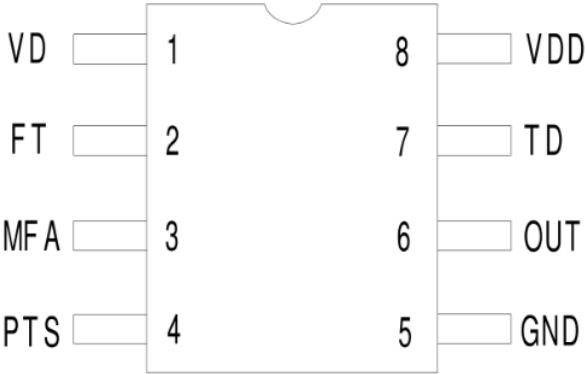


图 3.4 线圈发射模块

XKT-412 芯片为芯科泰开发的高频大功率集成电路，体积小输出功率强大，可工作在较高频率范围内使用，可大大减少发送线圈的体积和尺寸增强发射功率，降低线圈成本。同样的发射电路可以在任意工作范围内电压使用而不改变任何器件使用极为方便，电路极为简单，具有精度高稳定性好等特点，其专门用于无线感应智能充电、供电管理系统中，可靠性能高。

XKT-412 负责处理该系统中的无线电能传输功能，采用电磁能量转换原理并配合接收部分做能量转换及电路的实时监控；负责各项电池的快速充电智能控制，XKT-412 只需配合极少的外部元件就可以做成高可靠的无线快速充电器、无线电源供电。



XKT- 412

图 3.5 XKT412 示例图

各引脚功能如下：

表 3.1 XKT-412 引脚功能

引脚名称	功能
VD	电压控制
FT	频率微调
MFA	多功能调节
WL	功率加强
GND	地
OUT	输出
TD	功率驱动
VDD	电源正极

3.4.2 无线接收模块

无线接收模块主要功能为将接收到的交变电流通过整流器，滤波器等输出成可供用电器使用的 5V2A 电流，此模块我们采用 T3168 芯片及外围电路进行设计，下面介绍 T3168 芯片。

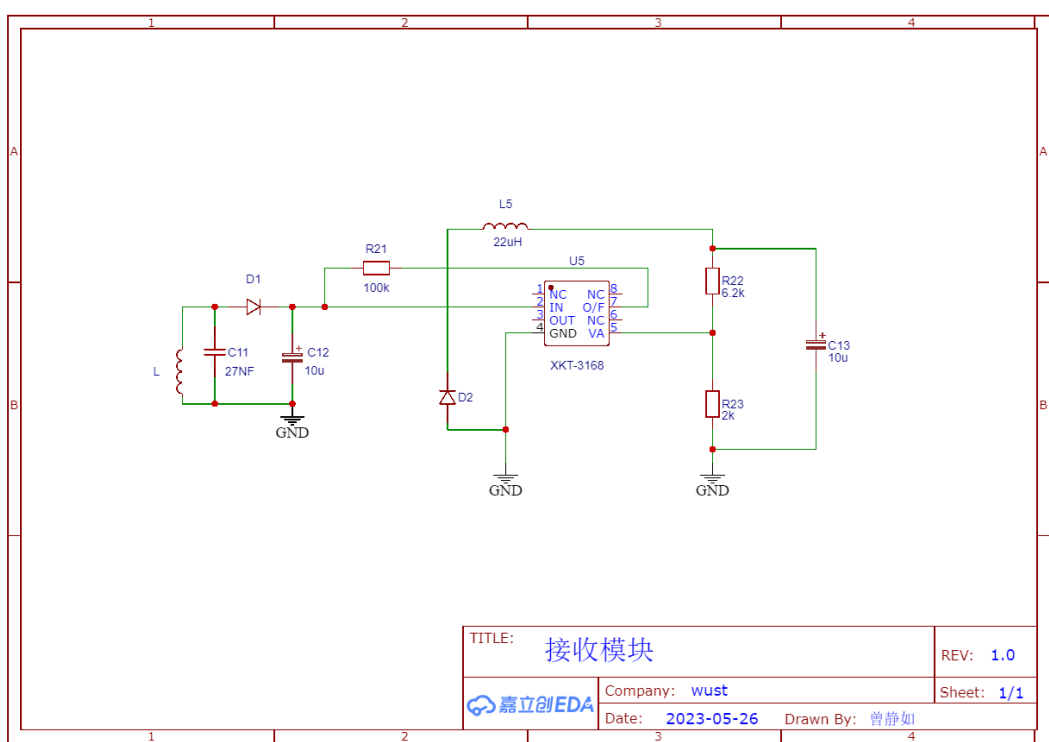


图 3.6 线圈接收模块

T3168 芯片是芯科泰无线充电系列通用接收集成电路，体积小输出功率大，可配合各种无线充电方案应用，电路简单使用方便。

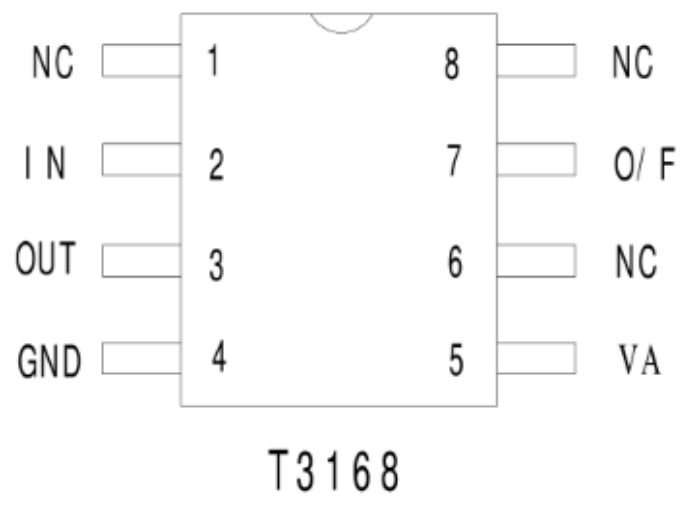


图 3.7 T3168 示例图

各引脚功能如下：

表 3.2 T3168 引脚功能

引脚名称	功能
NC	空
IN	输入
OUT	输出
GND	地
VA	输出电压调节取样
NC	空
O/F	输出控制使能端
NC	空

3.5 无线充电线圈的选择

无线充电线圈供电后，会产生磁场，使其呈螺旋状，磁场的数量和单位时间内的电流都会增加，而磁场强度则会随着电流的趋化作用而增加。为了增加空间的使用，线圈使用的电线一般都是绝缘的。我们选择的是电感为 14uH, 直径为 43mm 的 XKT-L3 线圈，该线圈可在输出端产生较大的电流，保证了输出功率。

3.6 电压电流检测模块

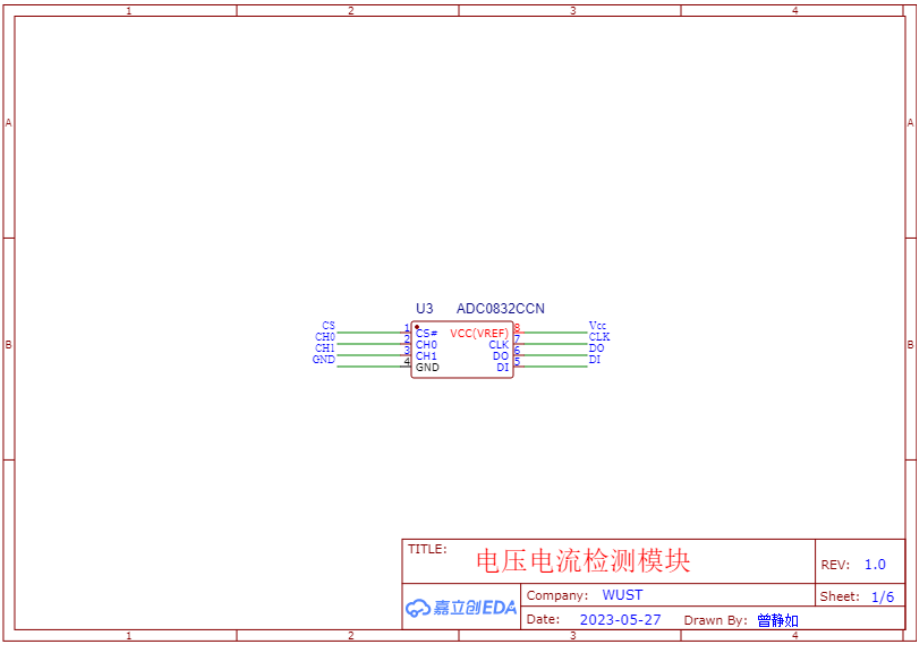


图 3.7 电压电流检测模块

如图 3.7 数模转换器，将 CH0,CH1 输出的电压，电流信号转换成数字信号并传输给 LCD 模块进行显示。这部分主要是程序处理，电路上不过多的解释。

3.7 液晶显示模块

液晶显示模块实现的功能显示采集的电压, 电流大小。

此次设计的液晶显示模块使用的是 LCD1602 液晶显示屏，其本身有 16 根引脚，第 1 根、第五根与第 16 根引脚接地，第 2 根与第 15 根接电源，第 7 根至第 14 根，也就是数据总线 D0~D7 引脚与单片机 P0.0~P0.7 引脚相连接，通过高低电平来输出控制指令；第 4 根 RS 引脚为输入端口，进行寄存器的选择与单片机的 P2.6 引脚连接；第 6 根引脚输入使能信号与单片机的 P2.7 相连接。液晶显示模块的电路原理图如图 3.8 所示。

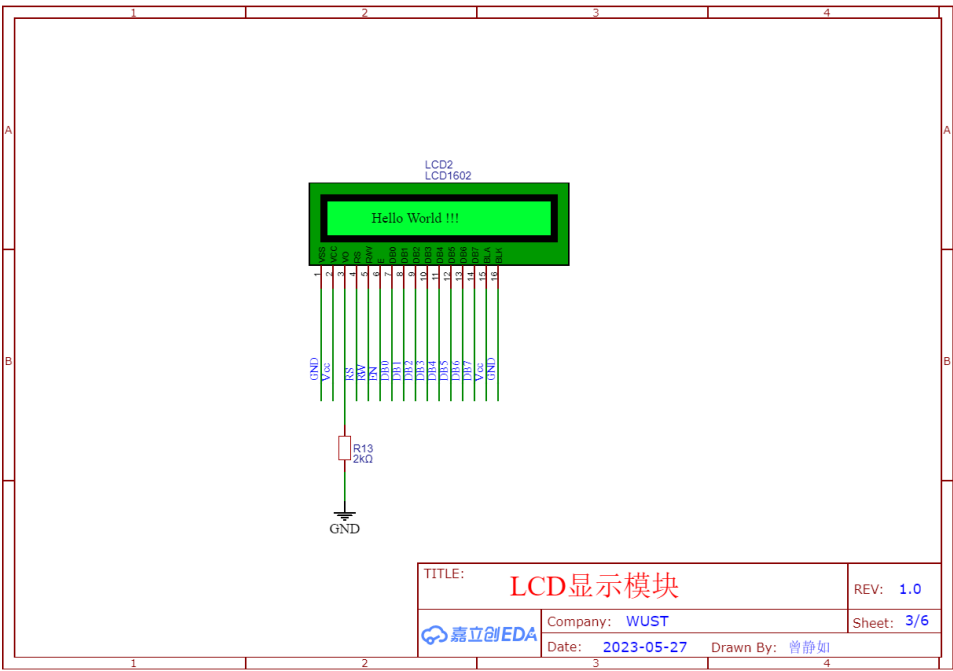


图 3.8 LCD 显示模块

3.8 元件清单

表 3.3 元件清单

名称	规格	数量	价格
电解电容	10uF	1	0.06
瓷片电容	30pF	2	0.05
电解电容	470uF	1	0.1
瓷片电容	104	1	0.02
插头	12V DC	1	0.3

续表 3.3 元件清单

名称	规格	数量	价格
发光二极管	5mm	2	0.2
液晶屏	LCD1602	1	8.4
电阻	10K Ω	3	0.15
电阻	4.7 Ω	3	0.07
电阻	2k Ω	3	0.15
触点按键	SW-PB	1	0.4
按钮开关	8*8 自锁开关 6 脚	1	0.05
51 单片机	STC89C52	1	5.5
单片机座	DIP40	1	0.35
模数转换器	ADC0832	1	3.5
USB 母座	Header 4	1	0.14
稳压芯片	L7805	1	0.7
晶振	11.0592M	1	0.3
电源接口	DC-005 12V	1	0.38
万用板	9x15cm	1	5.99
导线		若干	1
IC 插座	DIP-8	1	0.07
电感线圈	XKT-L3/14uH 43mm	2	7
万用板	单面喷锡 10x15	1	5.99
XKT-3168 芯片		1	1.9
XKT-5336 芯片		1	1.8
0650 电感	22uH	1	0.38
XKT-412 芯片		1	1.3
0805 贴片电阻	8.2K Ω	1	0.03
1206 贴片电容	39NF NPO	1	1
1206 贴片电容	10uF/25V	1	0.25
0805 贴片电阻	47K Ω	2	0.05
0603 贴片电容	1NF	1	0.05
SS34	SMA	2	0.3
0603 贴片电容	27NF	1	0.7
0805 贴片电阻	6.2K Ω	1	0.03
0805 贴片电阻	2K Ω	1	0.3
1206 贴片电容	47uF	1	0.4
1206 贴片电容	10uF/16V	1	0.2
0805 贴片电阻	100K Ω	1	0.03
PCB 板		2	0
总计			50.09

由上表可知，本次元件成本一共花费 50.09 元。经过我们在淘宝网和咸鱼网等二级购物平台的浏览和估算，本系统成品的市场价在 190 元到 230 元之间不等。

第四章 软件设计

根据设计要求，无线充电设备程序需要具备以下几个功能：AD 模数转换、延时、STC89 在线编译、LCD 显示屏的驱动以及电压电流监测。程序的主要功能由许多小的子模块组成，各个模块之间看似相互独立但实际上有紧密相连，当程序运行到下一级功能时，高一级的模块主要起到控制作用，实现程序间的调用与衔接。因此我们小组编译了相应的一个主程序（电流电压的检测程序）和 4 个子程序（AD 模数转换程序、延时程序、STC89 在线编译程序和 LCD 显示屏驱动程序）

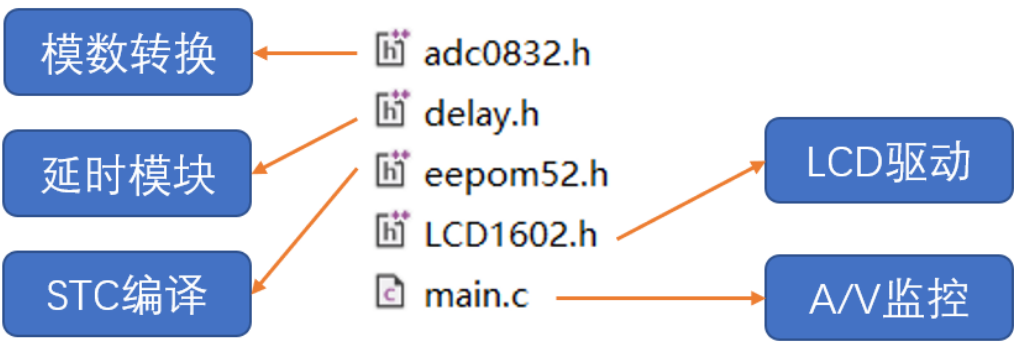


图 4.1 文件清单

4.1 AD 模数转换

此模块实现了一个 AD（模数转换）转换子程序，用于读取 ADC0832 芯片转换的模拟信号并将其转换为数字信号。

具体来说，这段代码使用了单片机的 GPIO 口控制 ADC0832 芯片的时钟、片选和数据输入输出，以及使用了延时函数。其中，函数参数 CH 用于选择 ADC0832 芯片的转换通道，dat 用于存储 AD 转换的结果。

在函数体内部，首先对 ADC0832 芯片进行初始化操作，然后根据通道选择的不同，控制数据输入口 DATI 输出不同的二进制序列来选择对应的通道。接着，通过时钟 CLK 的控制，读取 ADC0832 芯片输出的模拟信号并转换为数字信号。最后，将读取的数字信号存储到变量 dat 中，并释放 ADC0832 芯片。

4.2 延时模块

这段代码定义了一个延时函数 Delay，用于在单片机中实现延时操作。

在函数体内部，使用了两个参数：T 表示需要延时的时间，单位为毫秒；i

用于循环计数器。函数通过 for 循环实现了一定时间的延时，其中内层循环 200 次，每次循环大约需要 12 个机器周期，因此总的延时时间为 1 毫秒。

这个延时函数可以在单片机控制程序中用于实现各种需要暂停一定时间的操作，例如 LED 闪烁、蜂鸣器发声、电机转动等等。需要注意的是，由于延时函数中使用了 for 循环，因此在延时期 CPU 处于忙等待状态，不能处理其它事件，因此需要根据具体的应用场景合理使用延时函数。

4.3 STC89 在线编译模块

此模块作用是 STC89 单片机的 ISP/IAP 编程库，用于实现单片机的在线编程功能。

在代码中，首先定义了一些常量和宏定义，包括命令字、返回值、等待时间以及寄存器的地址等。然后定义了一系列函数，实现了 ISP/IAP 编程的各种操作，如打开和关闭 ISP/IAP 功能、字节读写、扇区擦除等。

具体来说，通过调用这些函数，可以实现单片机程序的在线编程。例如，可以使用 byte_write 函数将指定地址的存储单元写入指定的数据，使用 byte_read 函数读取指定地址的存储单元的内容，使用 SectorErase 函数擦除指定扇区的数据等。这些函数内部根据 ISP 协议，使用寄存器和命令字等实现了相应的编程操作。

需要注意的是，在使用 ISP/IAP 编程时需要确保单片机的电源稳定，避免在编程时出现掉电等异常情况，否则可能会导致单片机无法正常工作。同时，由于在线编程会对单片机的内部 Flash 进行读写操作，因此需要谨慎使用，避免误删或误写重要程序。

4.4 STC89C52 在线编译模块

该模块是一个驱动 LCD1602 液晶显示屏的库文件，通过定义了一些函数和常量，实现了对 LCD1602 的初始化、写指令和写数据等操作。

具体来说，代码中定义了 LCD_PINDATA、RS、RW 和 E 等引脚，用于连接单片机和 LCD1602，并提供了 WriteCOMDATA、LCD_Init 和 WriteChar 等函数，实现了对 LCD1602 的驱动。

其中，WriteCOMDATA 函数用于向 LCD1602 写入指令或数据，通过控制 RS、RW 和 E 等引脚，将数据写入 LCD_PINDATA 中，实现了对 LCD1602 的写操作。LCD_Init 函数用于初始化 LCD1602，具体包括清屏、设置显示模式和光标等。WriteChar 函数用于在 LCD1602 的任意位置写指定个字符，通过控制行和列的地址，实现了在 LCD1602 上任意位置写字符的功能。

需要注意的是，在使用该库文件时，需要提前定义好 LCD_PINDATA、RS、RW 和 E 等引脚，并正确连接单片机和 LCD1602。同时，在写入指令或数据时，需要遵循 LCD1602 的操作规范，例如在写入指令或数据前需要保证 E 引脚为高电平，写入完成后需要保证 E 引脚为低电平等。

4.5 电流电压检测模块

这段程序是一个基于 STC89 单片机的电压电流监测程序，通过连接 ADC0832 模数转换芯片和 LCD1602 液晶显示屏，实现了对电压和电流的监测和显示。

具体来说，代码中通过引入了 LCD1602.h 和 adc0832.h 两个头文件，分别定义了 LCD1602 和 ADC0832 的相关函数，包括 LCD 初始化、在 LCD 上写字符、读取 ADC 转换值等操作。在主函数中，首先进行了 LCD 的初始化，然后通过循环不断读取 ADC 转换值，并将读取到的电压和电流值显示在 LCD 上。

在显示电压值时，代码通过读取 ADC 转换值，并将其转换为实际电压值，然后将电压值显示在 LCD 的第一行。在显示电流值时，代码同样通过读取 ADC 转换值，并将其转换为实际电流值，然后将电流值显示在 LCD 的第二行。同时，代码还根据电流值的大小控制了一个 LED 灯的亮灭，当电流值超过 100mA 时，LED 灯亮起，否则 LED 灯熄灭。

需要注意的是，在使用该程序时，需要正确连接 ADC0832 和 LCD1602，并将其引脚连接到单片机的相应 IO 口。同时，需要提前定义好显示数组 disp1 和 disp2，并在主函数中正确调用 LCD1602 和 ADC0832 的相关函数。

4.6 程序流程图

如下是子程序的流程框图：

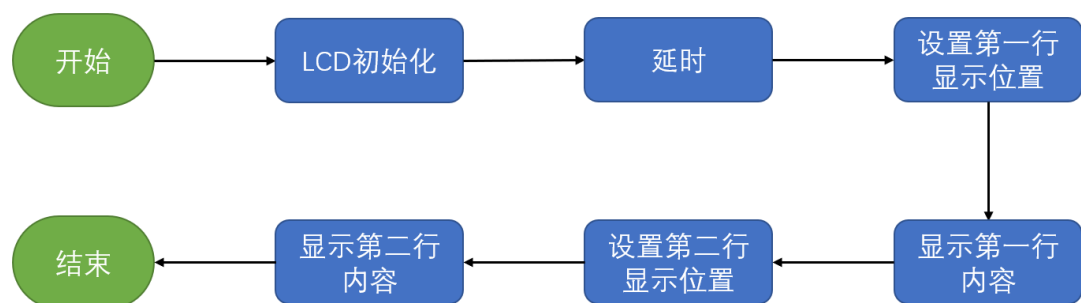


图 4.2 子程序流程框图

如下是主程序的流程框图：

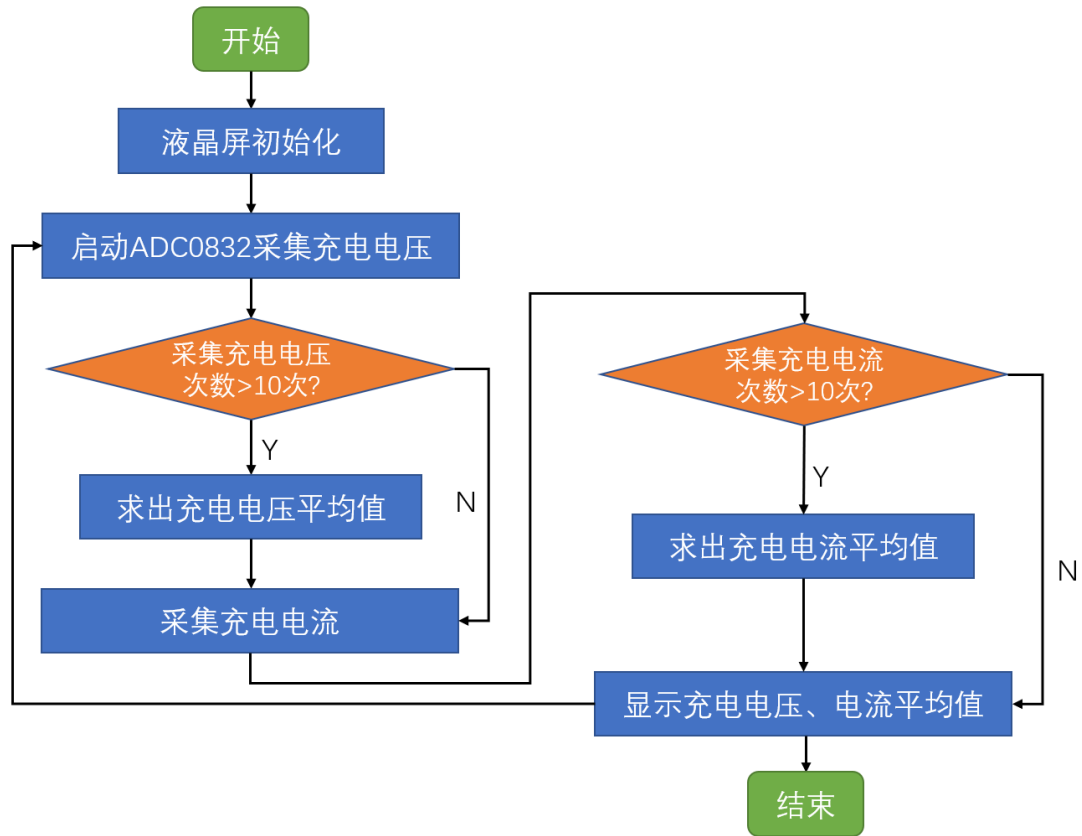


图 4.3 主程序流程框图

第五章 系统测试分析

5.1 仿真结果

我们在仿真软件 Proteus8 上进行了本次系统的仿真。由于仿真和实物有很大的差别，比如本次系统里的无线线圈互感在仿真电路里无法具体实现，故我们只进行了主控电路和电源电路的仿真，如图 5.1 是仿真结果。

由仿真结果图可知，51 单片机和 LCD 屏幕均正常工作。我们设计的主控电路和电源模块电路都是正确的，原理都是可行的。

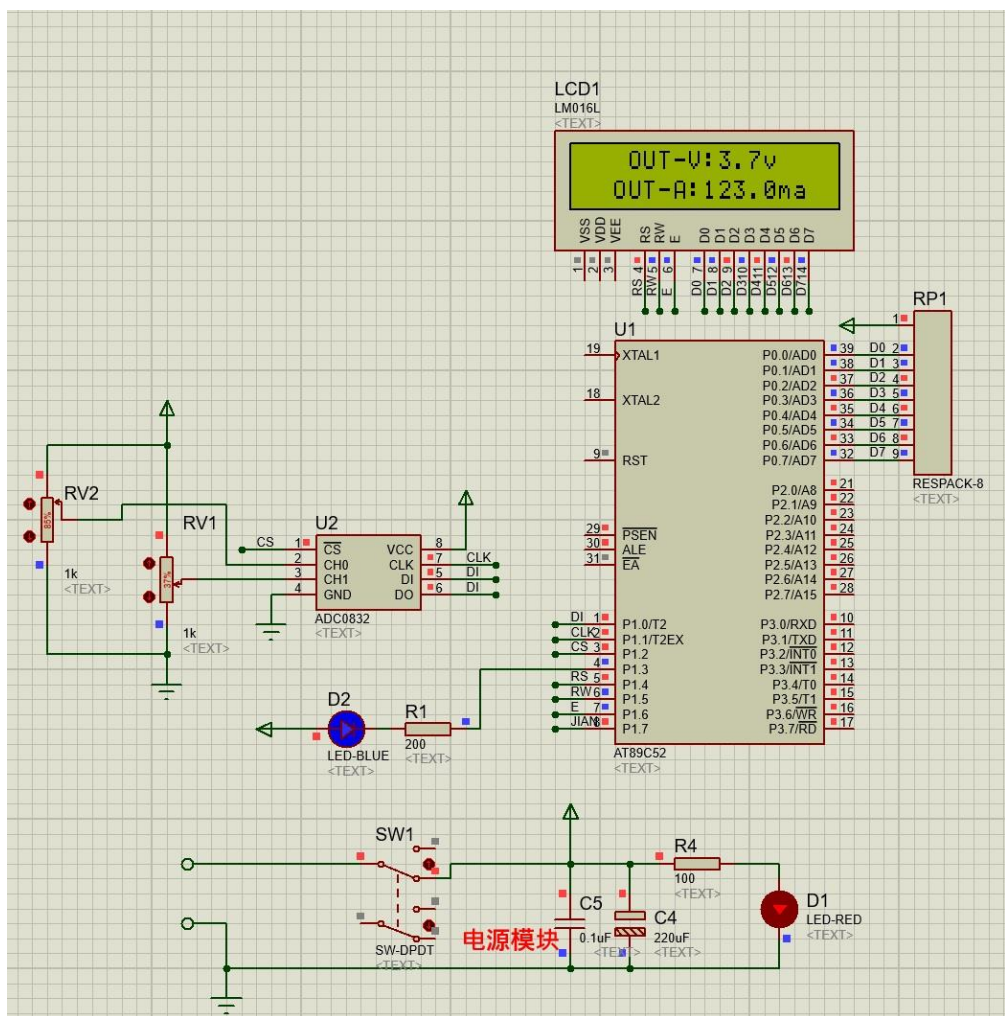


图 5.1 系统仿真结果

5.2 硬件测试

5.2.1 实物图

如下图所示，手机无线充电系统的整体设计由如下几部分组成，首先是交流转直流的适配器，220V 市电转为 12V 的直流电，通过稳压模块 L7805，其中 5V 给单片机供电，其他的给其余电路供电，能够看到的两个电容，都是滤波电容，一个电容是 470uf 是低通滤波，滤除低频不稳定的电压，一个电容是 0.1uf 是滤除高频不稳定的电压波形。最上面看到的是 LCD1620 液晶显示器，用来显示输出端的电压和电流值。显示器下面就是所用到的 STC89C52 单片机，用来控制检测输出端的电压、电流。在电路板的最右边是输出端口，通过 USB 输出端连接需要的负载，下面接了 3 个小电阻，电流的检测必须要串联才能检测，所以接了 3 个很小的电阻作为采样电阻，采集电压点：CH0 和 CH1 在液晶屏上显示采样得来的电压电流值。电路板能够看到所引出来的两个模块分别是手

机无线充电系统的发射模块和接受模块。通过两个模块所连接的线圈进行电磁耦合产生能量，进行无线充电。

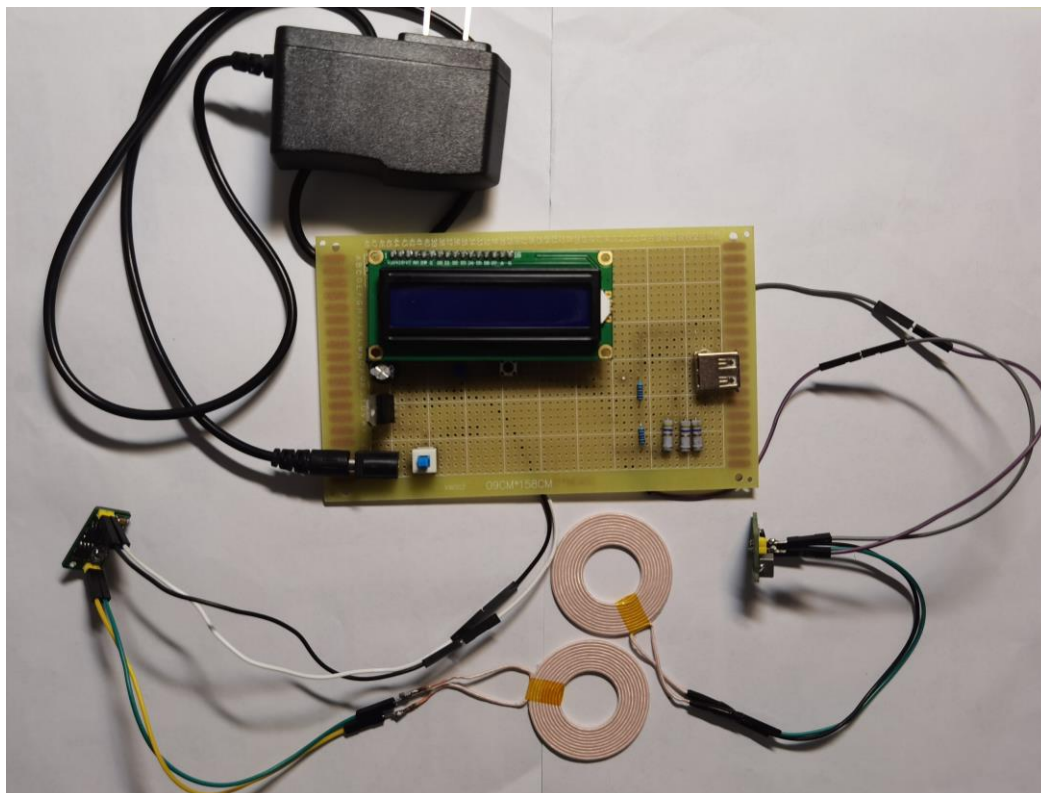


图 5.2 实物图

5.2.2 焊接检测

在焊完每个器件后，我们都会用万用电表的蜂鸣器模式，检测电路的通断。电路连通时，蜂鸣器发出声音；电路中断时，蜂鸣器不发出声音。待所有引脚检测无误后，我们接通电源，可以看到，按下按键开关，红色 LED 灯亮起，LCD 显示屏参数正常显示。将线圈靠拢，蓝色 LED 灯正常亮起，显示屏上电压开始逐渐增大。说明整个系统电路无误，能够正常工作。

5.3 系统输出性能检测

5.3.1 系统输出电压检测

接通电源，将两个线圈距离尽可能减小，使两个线圈能够进行完全耦合，到达电压输出的最大值，可以通过图所示，LCD1602 显示器上可以看到采样的电压为 5V。

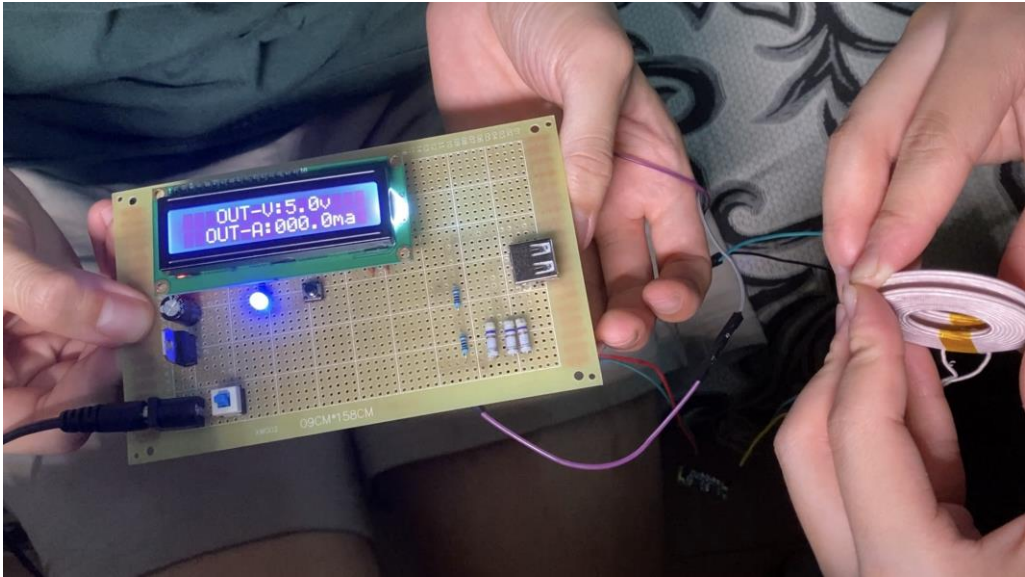


图 5.3 最大输出电压

5.3.2 系统输出电流检测

在接通电源后，我们在输出端用一根 USB 数据线连接了一个小的电风扇。将线圈完全耦合后，小电扇的充电指示灯亮起，风扇开始转动，此时 LCD 屏幕显示电压为 5V。说明输出功率正常，满足 5V,1A 的输出要求。用万用表直接检测输出线圈的接收模块两端，测得电流值为 1.6A 左右，满足需求。

5.3.3 系统输出纹波检测

示波器接上电压探头并配上纹波测试专用接地针头。探头正极点触在输出端口 USB 的电源端，接地针头点触输出端口 USB 的接地端开始测量，观察 30 秒钟，记录波形滚动过程中的最大峰峰值，即为纹波电压。最终测得纹波电压为 37mV，满足纹波率小于 1% 的输出标准。

第六章 问题分析

在本次项目的具体实施过程中，不可避免地遇到许多问题，解决这些问题成了项目环节中不可或缺的一部分。

1. 发射模块和接收模块的设计

线圈的发射模块电路和接受模块电路是本次设计电路中的重点。在发射模块里必须包含一个逆变电路来实现直流电到交流电的转换，而在接收端又需要再次完成整流和电流电压的放大。我们参考了许多无线电感线圈的发射和接收电路，最终选择了 XTK-142 芯片和 T3186 芯片构成的模块。

2. 硬件方案的选择

一开始，我们选择打印 PCB 板来完成系统电路的焊接。我们一共打印了三种 PCB 电路，分别是主体电路板、发射电路和接收电路。由于我们对于 PCB 板的走线掌握还不太熟练，导致 PCB 上的两个 LED 连接有问题，无法正常运行，我们又临时改用万用板来自己走锡完成电路的连接。

3. 焊接问题

我们一共焊了三块万用板，前两个电路的通断都是用万用表一个一个引脚测试过，可能是由于引脚的氧化或者焊锡和引脚接触不良，LCD 模块与单片机连接有问题，通电后 LCD 上的字样不能正常显示。我们在焊接第三块板时，尽量缩短走锡的距离，更换了芯片座和排母的材质，选择导电性能更好的铜针。在焊接两块线圈的 PCB 板时，由于肖特基二极管 SS34 太小了，第一次没有正确连接二极管的正负极导致无法运行。而且每个贴片元件都很小，特别是芯片，我们在焊接时必须小心谨慎，好几次都把芯片的引脚焊在一起了。

4. 线圈互感问题

我们在完成线圈与模块的焊接后，通电，将线圈耦合，发现蓝色 LED 指示灯不亮。我们先用万用表检测两个模块的输出，发现均是导通的。由此确立了是线圈与模块连接的问题。我们将两个线圈调换位置，再用万用表检测通断，发现接收端检测不到电压。于是确定了连接到接受端的线圈与导线的连接有问题，我们把焊锡融化后重新跟导线连接，通电后发现电路能正常运行

第七章 结论

本次无线手机充电系总体来说分为电路设计、软件设计、硬件焊接和测试与调试四个部分。整体电路基于 51 单片机来实现。我们采用以 XKT-412 芯片及其外围电路组成的发射电路和以 T3168 芯片及其外围电路组成的接收电路，最终输出电压为 5V，输出电流在 1A 左右，超额完成了输出功率的要求。与此同时，我们的纹波率也小于 1%。总的来说，此项目符合预期的效果。

本次课程设计项目严格控制了成本，所用到的器材价格都很便宜。虽然需要到的元件种类很多，但价格都很低，像一些电阻和电容都才几角几分钱一个。在组装或者后续的使用中，如果出现了故障需要更换或者修理，也不会需要很高的成本。并且，我们在电路的焊接和组装上，都是自己动手完成。比如发射模块和接收模块，我们了解到，封装好的成品发射模块市场价在 50 块左右，而我们自己在嘉立创上打印 PCB 板，购买相应的零件，成本在 14 块左右。这样一来，大大减少了成本。在电子元件的选择上，也是尽可能选择环境友好型材料。极大减少了废弃时对环境的污染压力。尽管电子元件们都很便宜，但在重要的器件上，我们也尽可能选择质量好的，比如贴片电容，我们都选用的 NPO 材质的。好的材质保证了成品的质量，大大提高了使用的年限。

由于本次设计我们自身的知识和经验的限制，导致本次设计的无线充电器的效率仍不太理想，有很多地方还需要进一步完善。总体来说，我们的设计虽然达到了一些基本要求，但还有很多不足。而按照目前的无线充电发展趋势，相信无线充电技术应该是很大的提升空间。例如，如何增加传送距离，在保证系统稳定性的情况下，提高传输效率等等。

参考文献

- [1] 曹婕. 基于单片机的嵌入式系统中 TCP/IP 协议栈的实现与应用[D]. 武汉大学, 2006.
- [2] 王艳. 智能手机共享无线充电运营平台研究[D]. 华中科技大学, 2019.
- [3] 刘现伟. 手机无线充电技术市场及未来趋势分析[J]. 电子世界, 2020(09): 65-66.
- [4] 付文铎, 吴培峰, 韩新风, 等. 手机无线充电技术原理及应用展望[J]. 机电信息, 2019(23): 3.
- [5] 李通. Qi 标准手机无线充电系统关键问题研究[D]. 电子科技大学, 2020.
- [6] 吴亮. 基于电磁感应的无线充电装置的设计[J]. 山西大同大学学报: 自然科学版, 2020, 36(5): 4.
- [7] 寇宏, 卓兰. 无线电能传输技术及 Qi 标准[J]. 信息技术与标准化, 2018(03): 51-54.
- [8] 罗苏南, 田朝勃, 赵希才. 空心线圈电流互感器性能分析[J]. 中国电机工程学报, 2004(03): 113-118.
- [9] 严文杰. 基于 Qi 标准的无线充电通信系统研究与实现[D]. 西安电子科技大学, 2021.
- [10] 苏家健. 单片机原理及应用技术[M]. 高等教育出版社, 2004.
- [11] 魏红兵, 王进华, 刘锐. 电力系统中无线电能传输的技术分析[J]. 西南大学学报 (自然科学版), 2009(09): 169-173.
- [12] 黄辉, 黄学良, 谭林林. 基于磁场谐振耦合的无线电力传输发射及接收装置的研究[J]. 电工电能新技术, 2011(01): 34-37.
- [13] 周雯琪, 马皓, 何湘宁. 感应耦合电能传输系统不同补偿拓扑的研究[J]. 电工技术学报, 2009(01): 137-143.
- [14] C. Liu, C. Jiang and C. Qiu, "Overview of coil designs for wireless charging of electric vehicle," 2017 IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power Transfer (WoW), Chongqing, 2017, pp. 1-6
- [15] 贾红梅. 手机无线充电系统的研究[D]. 安徽工业大学, 2017.