

基于STM32F7的可编程电源显示系统设计与实现

王鹏举, 何丰, 陈国平, 管春, 张祥

引用本文:

王鹏举, 何丰, 陈国平, 等. 基于STM32F7的可编程电源显示系统设计与实现[J]. 液晶与显示, 2021, 36(7): 973-982.

WANG Peng-ju, HE Feng, CHEN Guo-ping, et al. Design and implementation of programmable power display system based on STM32F7[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2021, 36(7): 973-982.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.37188/CJLCD.2020-0344>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于STM32F4的多通道串口驱动TFT液晶屏显示系统设计

Design of TFT LCD display system driven by multi-channel serial port based on STM32F4

液晶与显示. 2020, 35(5): 449-455 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203505.0449>

S3C2440A在步进电机控制机器人交互中的应用

Application of S3C2440A in human-computer interaction of stepping motor controller

液晶与显示. 2015, 30(1): 70-76 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20153001.0070>

液晶显示屏与电容式触摸屏间的信号串扰抑制

Reduction of crosstalk between TFT-LCD and capacitive touch panel

液晶与显示. 2018, 33(6): 504-510 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183306.0504>

基于STM32的R61581驱动液晶屏显示方法研究

Method of LCD display by R61581 driving based on STM32

液晶与显示. 2016, 31(1): 93-96 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20163101.0093>

高分辨率多点触控红外触摸屏设计

Design of high resolution infrared multi-touch screen

液晶与显示. 2015, 30(1): 77-82 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20153001.0077>

文章编号:1007-2780(2021)07-0973-10

基于 STM32F7 的可编程电源显示 系统设计与实现

王鹏举*, 何 丰, 陈国平, 管 春, 张 祥

(重庆邮电大学 光电工程学院, 重庆 400065)

摘要:采用机械按键编程方式的直流稳压电源存在按键易磨损、电路构成复杂等问题。为解决上述问题,设计了一种基于 STM32F7 的可编程数字电源 TFT 液晶屏触摸显示系统。该系统的硬件由 STM32F7 处理器、TFT 液晶触摸屏、SDRAM 芯片、电源模块组成,STM32F7 用于驱动 TFT 液晶屏,并通过 LTDC 扩展外部 SDRAM 作为显存,电源模块为显示屏提供背光电压。软件利用 FreeRTOS 实时操作系统管理调度系统任务,并利用 emWin 进行图形界面设计,采用 DMA 方式读取数据。该显示系统电路简单,显示性能稳定可靠,可对电源系统进行触摸控制。实验结果表明:该系统显示效果清晰,控制响应快,能对电源系统进行实时控制和监测显示。该系统利用 TFT 触摸屏实现了可编程电源的人机交互功能,为 TFT 触摸屏在电源领域的应用提供了参考。

关 键 词:TFT 液晶触摸屏;可编程数字电源;显示;人机交互;FreeRTOS

中图分类号:TP334 **文献标识码:**A **doi:**10.37188/CJLCD.2020-0344

Design and implementation of programmable power display system based on STM32F7

WANG Peng-ju*, HE Feng, CHEN Guo-ping, GUAN Chun, ZHANG Xiang

(School of Optoelectronic Engineering, Chongqing University of Posts and
Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: The direct current regulated power supply adopting the mechanical buttons programming mode has problems, such as easy wear of buttons and complex circuit composition. To solve the above problems, a system is designed with the programmable digital power supply TFT liquid crystal display (LCD) screen touch display based on STM32F7. In terms of the hardware of the system, it is composed of an STM32F7 processor, TFT LCD touch screen, SDRAM chip, and power supply module. STM32F7 is used to drive TFT LCD screen and to expand external SDRAM as video memory through LTDC, and the power supply module provides backlight voltage power for the display screen. The software uses the real-time operating system of FreeRTOS for managing and dispatching system tasks, utilizes emWin for interface design, and adopts DMA pattern to read data. The display system has a simple circuit, stable and reliable display performance, and can control the power system by

收稿日期:2020-12-12;修订日期:2021-03-10.

基金项目:国家自然科学基金(No. 61671091)

Supported by National Natural Science Foundation of China(No. 61671091)

* 通信联系人, E-mail:1002359883@qq.com

touching. The experimental results show that the system has a clear display effect, fast control and response. Additionally, the system realizes the human-computer interaction function of the programmable power supply by utilizing the TFT touch screen, thereby providing a reference for the application of the TFT touch screen in the power supply field.

Key words: TFT LCD touch screen; programmable digital power supply; display; human machine interaction; FreeRTOS

1 引言

近年来,电子设备飞速发展,关于人机界面显示的开发也越来越多。因为薄膜晶体管液晶显示屏(TFT-LCD)性价比高,所以在嵌入式系统显示应用中占了主要部分^[1]。在电源领域也不例外,但是目前市面上绝大部分的台式电源的人机交互都采用 LCD 显示输出加机械按键输入的形式,如文献[2]利用 AT89C51 单片机设计了一款简单灵活、经济、携带方便的数字稳压电源,但其机械按键的设计存在按键易磨损、不易调准、电路构成复杂等缺点。

针对上述问题,本文设计了一种 TFT 液晶屏触摸显示系统,采用 480×272 分辨率 TFT 触摸彩屏作为电源系统的人机交互部分,实现对电源系统的触摸控制。并利用 STM32 的可变存储控制器(FMC)扩展外部同步动态随机存取存储器(SDRAM)作为显存,同时用其显示控制器(LTDC)直接驱动液晶显示面板,简化了系统电路结构。提出了一种基于 STM32 的可编程电源人机交互新方案,满足了数字电源系统高可靠性要求。此外,通过移植 STemWin 缩短和降低了界面设计的过程和难度。通过嵌入 FreeRTOS 实时操作系统实现系统任务的稳定运行。扩展了 TFT 液晶屏的适应性和使用范围^[3]。

2 系统总体设计

2.1 数字电源系统简介

数字电源系统如图 1 所示。可编程功率输出部分由开关预调节模块和线性后稳压模块构成,前级预调节模块采用降压 Buck 拓扑,高效地降低电压,减少整个系统的损耗。线性后调节模块采用基于线性稳压芯片 LT3081 的稳压结构,极

大地抑制由前级开关带来的噪音和干扰,实现精准低纹波输出。线性后稳压的输出电压由 DAC 通过放大电路进行控制。输出电压通过跟踪电路反馈给前级开关预调节模块,通过调节控制开关导通信号的占空比大小,实现前级输出跟随的目的。让前级的输出电压始终比后级只高 2 V 左右,以此来减小线性后稳压部分的压降损耗,提高效率。

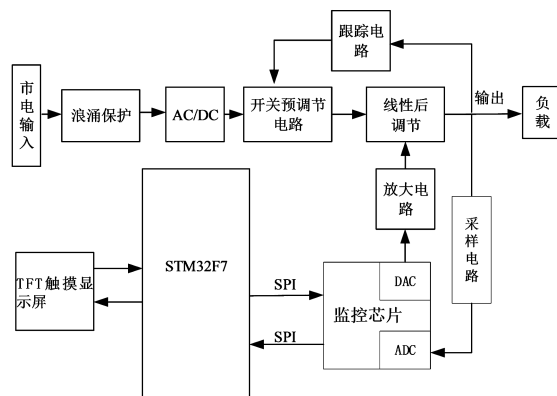


图 1 电源系统总体框图

Fig.1 General block diagram of power supply system

可编程电压的实现过程为:控制器接收处理来自触摸显示屏的用户操作,通过 SPI 通信控制调节监控芯片 AD7292 的 DAC 电压的输出大小, DAC 的输出通过放大电路控制线性调节的输出。

2.2 显示系统总体设计

如图 2 所示,显示部分大致可以分为 5 部分,微控制器(MCU)、TFT 液晶显示屏、SDRAM 模块、SD 卡的读写模块和其他外设。微控制器接收来自触摸控制模块的信息并加以处理,LCD 屏作为主要输出设备用以显示图像信息,SDRAM 主要作为 LCD 屏的显存及动态内存设备,为 LCD 显示提供支持,SD 卡读写模块存储图片等作为外部存储设备为界面设计提供资源。

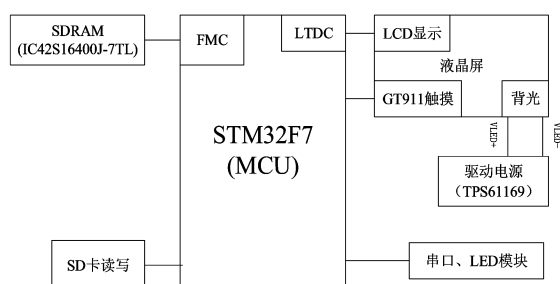


图 2 系统总体架构图

Fig.2 System architecture diagram

3 显示系统硬件设计

3.1 FMC 和 SDRAM 硬件设计

FMC 可以驱动包括 SRAM(静态随机存取存储器)、SDRAM(同步动态随机存取存储器)、NOR FLASH 以及 NAND FLASH 类型的存储器^[4]。因 FMC 将外部存储单元直接映射到 STM32 内部寻址空间,所以可以直接通过访问地址来读写数据,只需在程序中定义指向该地址的指针,完成 FMC_SDCR 控制寄存器和 FMC_SDTR 时序寄存器的配置后就可由 FMC 自动完成数据访问。

图 3 所示为处理器内核的存储空间与 STM32 FMC 外设地址的映射关系。SDRAM 的存储区域被分成了两块:Bank1 和 Bank2,由 FMC_SDCKE 时钟使能信号线和 FMC_SDCLK 信号线决定存储区域,选择 FMC_SDCKE0 和 FMC_SDCLK0,地址范围是 0xC0000000-0xCFFFFFFF,而选择 FMC_

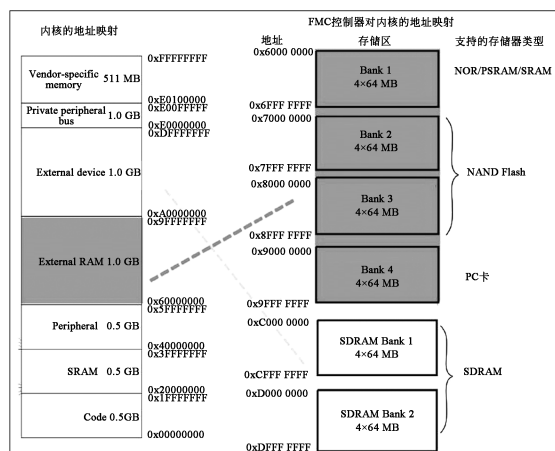


图 3 FMC 的地址映射

Fig.3 Address mapping for the FMC

SDCKE1 和 FMC_SDCLK1,地址范围是 0xD0000000-0xDFFFFFFF。

SDRAM 和内部 SRAM 功能一样^[5],但 SDRAM 容量较大,价格却很便宜,所以使用 SDRAM 能很大程度降低外扩内存的成本且较好地支持 GUI 的开发。本次设计选用的芯片是 IS42S16400J-7TL,内存大小为 8 M,支持 FMC 接口。

SDRAM 与 MCU 的连接如图 4 所示,相连的引脚主要为地址线 and 数据线,还有一些具有特定功能的引脚。设计使用的存储区域为 Bank2,需要选择 FMC_SDCKE1 和 FMC_SDCLK1,地址线为 12 根,地址范围为 0xD0000000-0xDFFFFFFF,有 16 根数据线。

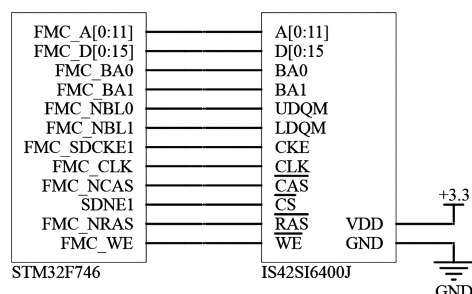


图 4 SDRAM 硬件连接图

Fig.4 SDRAM hardware connection diagram

3.2 LTDC 和 DMA2D

在 STM32F7 系列微处理器中,内部自带一个 LTDC 液晶控制器,将带有 LTDC 功能的引脚连接至 LCD-TFT 面板,就可通过处理器直接控制面板显示图像。

图 5 所示为 LTDC 控制器内部结构和外部与 TFT 液晶屏的连线图。LTDC 内部有图像处理单元、寄存器及时钟信号。图像处理单元可处

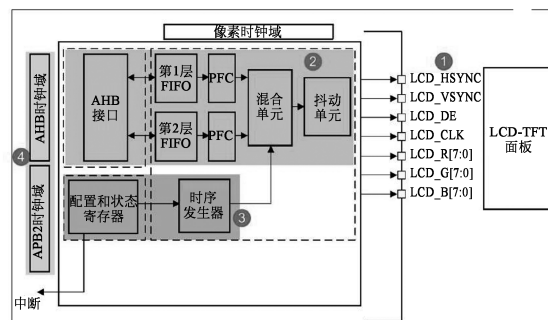


图 5 LTDC 硬件连接图

Fig.5 Diagram of LTDC hardware connection

理两层图像。外部通过信号线与显示屏连接,用以驱动液晶显示面板。此外,由于显示的数据容量非常大,ST 公司为提高芯片的图像处理能力设计了一款图形专用 DMA,即 DMA2D,用于对图像进行填充和搬运而完全不用 CPU 干预,它可以快速绘制矩形、直线,进行分层数据混合、数据复制以及图像数据格式转换。

3.3 LCD 背光电源的设计

图 6 所示为液晶屏背光电源模块,选择 TPS61169 芯片为液晶屏背光提供 18 V 的电源电压。TPS61169 是一款升压转换器,配有额定电压为 40 V 的集成开关场效应晶体管(FET),可驱动 LED 串。升压转换器内部具有一个 40 V、1.8 A 的金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET),电流下限为 1.2 A,可针对小型或大型面板背光照明驱动单个 LED 或 LED 串。运行期间,LED 电流可通过施加到 CTRL 引脚上的脉宽调制(PWM)信号加以控制,该信号占空比的大小决定了反馈引脚(FB)电压的大小。因此,可以通过控制 CTRL 引脚的 PWM 达到控制液晶屏亮度的效果。

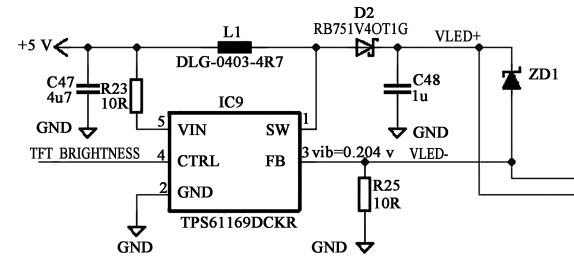


图 6 电源电路原理图

Fig.6 Schematic diagram of power supply circuit

3.4 SPI 接口设计

图 7 所示为控制器与数字电源系统的 SPI 接口设计图。选择控制器的第 5 组 SPI 接口与监控芯片 AD7292 相应引脚进行连接,实现通信功能,控制器通过 AD7292 实现对电源系统的控制和监测。AD7292 是一款集通用模拟信号监控和控制所需功能于一体的单芯片,具有一个 8 通道 10 位

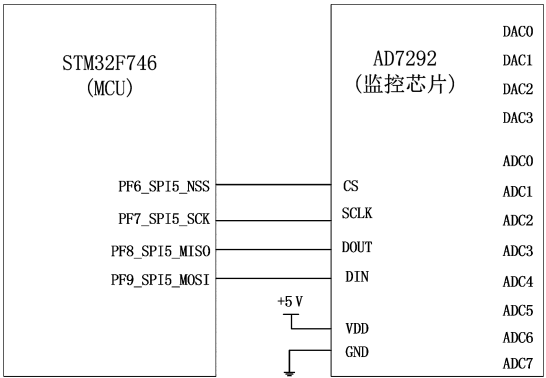


图 7 SPI 通信接口连接图

Fig.7 Diagram of SPI communication interface connection

ADC、4 个 10 位 DAC、一个精度为 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的内部温度传感器以及 12 个 GPIO,可协助系统监控和控制。其中,10 位高速低功耗逐次逼近型(SAR)ADC 专为监控多种单端输入信号而设计。AD7292 提供寄存器可编程 ADC 序列器,可选择用于转换的可编程通道序列。

4 显示系统软件设计

系统的软件编译环境是 Keil MDK,程序初始化配置使用 STM32CubeMX 软件。因为该软件基于 Cube 库,所以它能够调用完整的 HAL 库进行开发,而它具备的图形向导特性能够很大程度减少开发工作量,其支持全系列的 STM32 芯片。所以对于 STM32 单片机开发者来说,只需简单地根据图形界面向导来配置参数,就能够很方便地初始化程序代码。FreeRTOS 和 STemwin 的移植也可直接在 CubeMX 进行配置完成。FreeRTOS 有诸多优点,可以满足中小型嵌入式系统对 RTOS 的需求。用户可根据需求配置任务管理、内存管理、时间管理、通讯管理等基本管理功能^[6]。

表 1 系统任务划分

Tab.1 System task division

任务	GUI 任务	电源系统任务	文件系统任务	其他
用途	设置电源输出、显示输出结果等人机交互功能	控制 DAC 输出、ADC 采样、过温、过压过流保护等系统主要功能	截图、数据记录等辅助功能	其他待扩展功能

数字电源系统的任务划分如表 1 所示,单独用一个任务实现人机交互功能,即 GUI 任务。GUI 任务是除了空闲任务以外优先级最低的任务,因为 emWin 极占用系统资源而且时间较长,如果这个任务设置为高优先级,会直接影响低优先级任务的执行。电源系统任务是优先级最高的,因为其任务是实现电源系统主要功能且需要对数据进行实时处理。

4.1 FMC 和 SDRAM 软件配置

SDRAM 初始化流程与读写流程如图 8、图 9 所示,其中 t_{RP} 、 t_{RFC} 、 t_{MRD} 为 SDRAM 中很重要的参数,需要根据具体的芯片进行配置。具体配置如下:由硬件连接决定选择存储区域 SDRAM bank2,列数为 8 位 2 进制数,行数则为 12 位,CAS 潜伏期根据时钟定为 2 个周期,写保护一般配置为无,SDRAM 时钟配置为 2 分频,即 108 MHz,每个周期时间为 9.25 ns,CAS 潜伏期后直接读取数据。加载模式寄存器命令和激活或刷新命令之间的延迟为 2 个周期。发出自刷新命令到发出激活命令之间的延迟设为 7 个时钟周期,即 $7 \times 9.25 \text{ ns} = 64.75 \text{ ns}$ 。最短自刷新周期设为 5 个时钟周期,即 $5 \times 9.25 = 46.25 \text{ ns}$,约大于最小值 42 ns。刷新命令和激活命令之间的延迟设为 7 个时钟周期,即 $7 \times 9.25 = 64.75 \text{ ns}$,约大于最小值 63 ns。写命令和预充电命令之间的延迟设为 2 个时钟周期。预充电命令与其他命令之间的延迟设为 2 个时钟周期,即 $2 \times 9.25 = 18.5 \text{ ns}$,约大于最小值 15 ns。激活命令与读/写命令之间的延迟设为 2 个时钟周期。

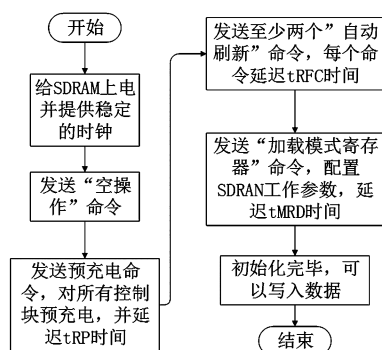


图 8 SDRAM 初始化流程

Fig.8 SDRAM initialization process

对应代码如下:

```
void MX_FMC_Init(void){
```

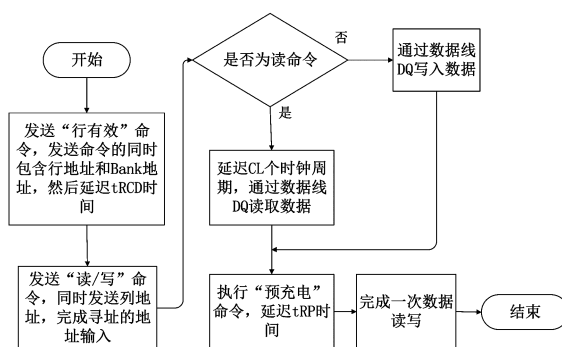


图 9 SDRAM 读写流程

Fig.9 SDRAM read-write flow

```
FMC_SDRAM_TimingTypeDef SdramTiming = {0};
```

```
hsdram1.Instance = FMC_SDRAM_DEVICE;
```

```
/* SDRAM 初始化配置 */
```

```
hsdram1.Init.SDBank = FMC_SDRAM_BANK2; //使用 BANK2
```

```
hsdram1.Init.ColumnBitsNumber = FMC_SDRAM_COLUMN_BITS_NUM_8;
```

```
hsdram1.Init.RowBitsNumber = FMC_SDRAM_ROW_BITS_NUM_12;
```

```
hsdram1.Init.MemoryDataWidth = FMC_SDRAM_MEM_BUS_WIDTH_16;
```

```
hsdram1.Init.InternalBankNumber = FMC_SDRAM_INTERN_BANKS_NUM_4;
```

```
hsdram1.Init.CASLatency = FMC_SDRAM_CAS_LATENCY_3;
```

```
hsdram1.Init.WriteProtection = FMC_SDRAM_WRITE_PROTECTION_DISABLE;
```

```
hsdram1.Init.SDClockPeriod = FMC_SDRAM_CLOCK_PERIOD_2;
```

```
hsdram1.Init.ReadBurst = FMC_SDRAM_RBURST_DISABLE;
```

```
hsdram1.Init.ReadPipeDelay = FMC_SDRAM_RPIPE_DELAY_1;
```

```
/* SDRAM 时序参数配置 */
```

```
SdramTiming.LoadToActiveDelay = 2; //加载延时 2 个时钟周期
```

```
SdramTiming.ExitSelfRefreshDelay = 7;
```

```
SdramTiming.SelfRefreshTime = 4; //
```

```
自刷新时间 4 个时钟周期
```

```
SdramTiming.RowCycleDelay=6;
SdramTiming.WriteRecoveryTime=2;
SdramTiming.RPDelay=2;
SdramTiming.RCDDelay=2;}
```

4.2 LTDC 配置

本文介绍的是通过 LTDC 控制 RGB 接口的屏幕,即屏幕是不带控制器的,与带控制芯片的 8080 系列接口的屏幕不同。RGB 时序图如图 10 所示,RGB 接口的屏幕是通过 MCU 不断发送显示数据到屏幕,逐行扫描显示。

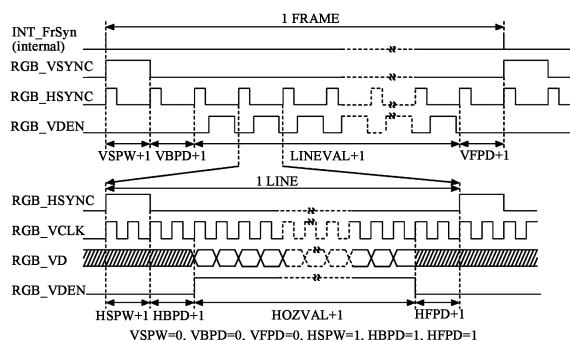


图 10 RGB 时序图

Fig.10 Diagram of RGB sequence

其中 VSYNC 表示垂直同步信号,当 LCD 屏一帧的数据传输结束时,该信号线电平跳变。HSYNC 表示水平同步信号,当某一行数据传输完毕,该信号线会发生电平跳变。VDEN 是数据使能信号。对应参数配置代码如下:

```
void MX_LCD_Init(void){
    /* 配置 LTDC */
    hltdc.Instance=LTDC;
    hltdc.Init.HSPolarity=LTDC_HSPOLARITY_
AL;
    hltdc.Init.VSPolarity=LTDC_VSPOLARITY_
AL;
    hltdc.Init.DEPolarity=LTDC_DEPOLARITY_
AL;
    hltdc.Init.PCPolarity=LTDC_PCPOLARITY_
IPC;
    hltdc.Init.HorizontalSync=19; //配置水平
刷新时间
    hltdc.Init.VerticalSync=2;      //配置垂
直刷新时间
    hltdc.Init.AccumulatedHBP=159;
    hltdc.Init.AccumulatedVBP=22;
```

```
hltdc.Init.AccumulatedActiveW=1183;
hltdc.Init.AccumulatedActiveH=622;
hltdc.Init.TotalWidth=1343;
hltdc.Init.TotalHeigh=634;
hltdc.Init.Backcolor.Blue=0;
hltdc.Init.Backcolor.Green=0;
hltdc.Init.Backcolor.Red=0; //设置背景色
pLayerCfg.WindowX0=0;
pLayerCfg.WindowX1=480;
pLayerCfg.WindowY0=0;
pLayerCfg.WindowY1=272; //坐标点配置
pLayerCfg.PixelFormat=LTDC_PIXEL_
FORMAT_RGB888; //配置为 RGB88 格式
pLayerCfg.Alpha=0xFF;
pLayerCfg.Alpha0=0;
pLayerCfg.BlendingFactor1=LTDC_
BLENDING_FACTOR1_PAxCA;
pLayerCfg.BlendingFactor2=LTDC_
BLENDING_FACTOR2_PAxCA;
pLayerCfg.FBStartAddress=0xD0000000;
pLayerCfg.ImageWidth=480;
pLayerCfg.ImageHeight=272;
pLayerCfg.Backcolor.Blue=0;
pLayerCfg.Backcolor.Green=0;
pLayerCfg.Backcolor.Red=0;}
```

关于 LTDC 参数配置,首先由硬件决定分辨率为 480×272 ,设置像素点宽度为 480,高度为 272。然后是图层的配置:考虑到内存大小,图层数设为 1 层;设置窗口从坐标(0,0)开始,大小为 480×272 像素点;像素点格式设为 RGB888;层的透明度设置为 0xFF;显存起始地址设置为 0xD000 0000,即外部 SDRAM 映射地址的首地址,背景颜色默认为黑色。

4.3 GT911 触摸芯片

触摸芯片一般集成在 LCD 屏上,本次设计所使用的是 109.2 mm (4.3 in) 电容触摸屏,配套的触控芯片是 GT911,其内部结构框图如图 11 所示。

由图可知,想要驱动 GT911,只需要关心 4 个引脚即可,即 I2C 通讯接口 SCL 和 SDA,中断信号引脚 INT 和复位引脚/RSTB。

GT911 主要通过标准 I2C 协议进行数据传输,从设备地址有两组:0xBA/0xBB 和 0x28/

0x29,可以在上电初始化时控制 Reset 和 INT 口状态进行设定。图 12 为设定 0xBA/0xBB 设备时的上电时序图。

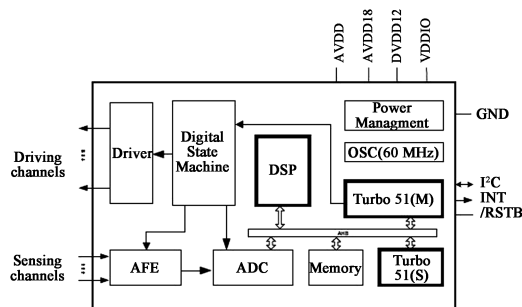


图 11 GT911 内部框图

Fig.11 Internal block diagram of GT911

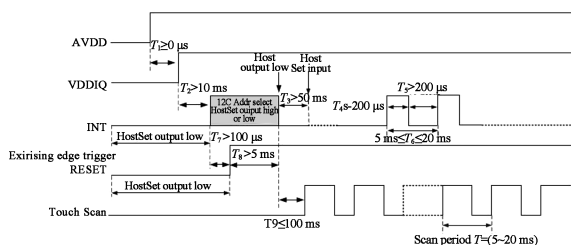


图 12 上电时序图

Fig.12 Power on timing diagram

在 MX 中进行初始化,设置 PD7 为外部中断,采用软件 I2C 方式通讯,所以只需将 PD11、PD12、PD13 设为通用输出引脚,根据 I2C 原理编写软件 I2C 底层操作函数,写入 CT12C.c 文件,并将声明放在 CT12C.h 文件中,在 GT911.c 中进行调用。由前文的 GT911 通讯原理可以写出读写寄存器操作函数如下:

```
static uint8_t GT911_WR_Reg(uint16_t reg, uint8_t * buf, uint8_t len){
    uint8_t i;
    uint8_t ret=0;
    CT_I2C_Start();
    CT_I2C_Send_Byte(CT_CMD_WR);
    CT_I2C_Wait_Ack();
    CT_I2C_Send_Byte(reg>>8);
    CT_I2C_Wait_Ack();
    CT_I2C_Send_Byte(reg&0XFF);
    CT_I2C_Wait_Ack();
    for(i=0;i<len;i++){
        CT_I2C_Send_Byte(buf[i]);
```

```
        ret=CT_I2C_Wait_Ack();
        if(ret)break;
    }
    CT_I2C_Stop();
    return ret;
}

static void GT911_RD_Reg(uint16_t reg,
uint8_t * buf, uint8_t len){
    uint8_t i;
    CT_I2C_Start();
    CT_I2C_Send_Byte(CT_CMD_WR);
    CT_I2C_Wait_Ack();
    CT_I2C_Send_Byte(reg>>8);
    CT_I2C_Wait_Ack();
    CT_I2C_Send_Byte(reg&0XFF);
    CT_I2C_Wait_Ack();
    CT_I2C_Stop();
    CT_I2C_Start();
    CT_I2C_Send_Byte(CT_CMD_RD);
    CT_I2C_Wait_Ack();
    for(i=0;i<len;i++){
        {buf[i]=CT_I2C_Read_Byte(i==(len-1)?
0:1);}
    }
    CT_I2C_Stop();
}
```

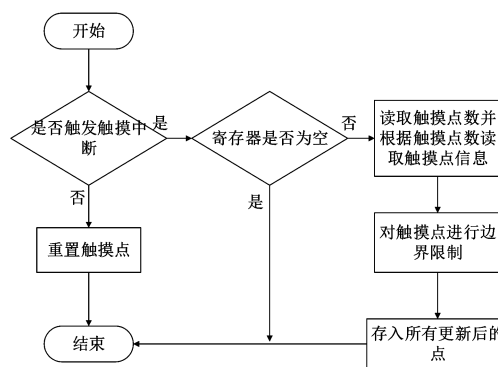


图 13 触摸状态扫描函数流程图

Fig.13 Flow chart of touch state scan function

触摸状态扫描函数软件流程图如图 13 所示,该函数需要放在定时器中断中,间隔一段时间执行一次,获取触摸点的信息。首先对触摸中断是否被触发进行判断,如有被触发则再判断寄存器的值,当寄存器中有值时读取触摸点的个数,根据个数再读取触摸点的值并更新信息。

4.4 emWin 界面制作

emWin 是 Segger 公司为嵌入式平台开发的高效稳定的图形软件库,能够用于提供有效的,独

立于处理器和显示控制器的图形用户界面^[7]。利用 STemWin 自带的 GUIBuilder 工具可初步完成每个页面的设计,并利用 emWin 的 API 函数实现对页面各个控件的优化,最终设计出美观、人性化的界面。

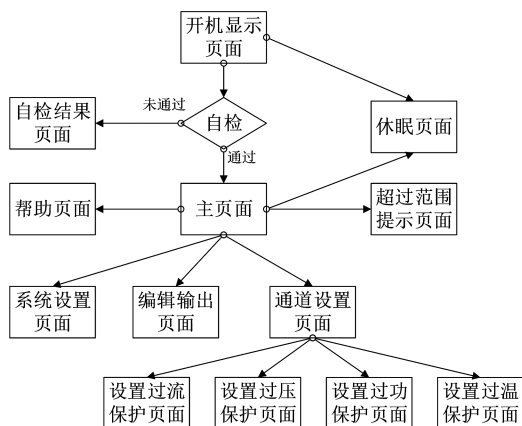


图 14 页面执行流程图

Fig.14 Page execution flowchart

图 14 为各页面执行流程图,在设计时根据系统功能需求而设计了不同的显示页面,根据用户的操作并利用 emWin 的 WM_HideWindow() 和 WM_ShowWindow() 函数实现页面切换的功能。

5 实验结果

图 15、图 16、图 17 分别为最终设计完成的界面和实际应用情况,可以看出显示效果清晰流畅。通过对界面进行触摸操作,如设置输出电压、电流等,测试其对系统的控制和监控情况。

图 18 所示为显示屏对电源系统双通道的实时监控情况,通道一和通道二电压、电流预设值均



图 15 系统主页面

Fig.15 System main page



图 16 设置输出页面

Fig.16 Setting of output page



图 17 实际应用情况

Fig.17 Practical application

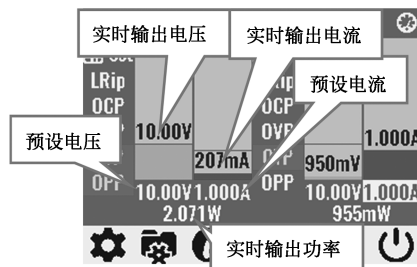


图 18 双通道实时监控情况

Fig.18 Dual channel real-time monitoring situation

为 10 V、1 A,左边为通道一带 50 Ω 负载电阻时的屏幕显示情况。因输出电压设置为 10 V,负载为 50 Ω ,所以输出电流理论值为 200 mA,没有超过预设电流值,电源处于恒压模式输出。右边为通道二带 1 Ω 负载电阻时的屏幕显示情况。因输出电压设置为 10 V,负载为 1 Ω ,所以输出电流理论值为 10 A,超过预设电流值,电源处于恒流模式输出。此时实时输出电压显示为 950 mV,与理论输出值 1 V 相差较大,其误差由负载电阻实际值与其标称值 1 Ω 的误差导致。

6 结 论

系统用 STM32F7 作为核心处理器,采用 109.2 mm(4.3 in) LCD 触摸屏实现电源的人机交互功能,通过 LCD 触摸屏采用数字输入的形式克服了采用机械按键作为输入的直流电源存在的输

入值不精确、电位器不易调准等问题。该系统显示效果清晰,能对电源系统进行实时控制和监测显示。此外,系统还通过移植 FreeRTOS 实时操作系统和 emWin,在提高系统的实时稳定性的同时缩短了界面开发流程。本文设计为 TFT 触摸屏在电源领域的应用提供了参考。

参 考 文 献:

- [1] 汤莉莉,黄伟.基于 STM32 的 FSMC 接口驱动 TFT 彩屏设计[J].现代电子技术,2013,36(20):139-141,144.
TANG L L, HUANG W. Method to drive TFT color screen by means of FSMC interface on STM32 [J]. *Modern Electronics Technique*, 2013, 36(20): 139-141, 144. (in Chinese)
- [2] 陶佰睿,苗凤娟,惠鹏飞,等.可编程数字稳压电源设计[J].电源技术,2012,36(6):855-857,901.
TAO B R, MIAO F J, HUI P F, *et al.* Design of programmable digital regulated power supply [J]. *Chinese Journal of Power Sources*, 2012, 36(6): 855-857, 901. (in Chinese)
- [3] 任克强,王传强.基于 STM32F4 的多通道串口驱动 TFT 液晶屏显示系统设计[J].液晶与显示,2020,35(5):449-455.
REN K Q, WANG C Q. Design of TFT LCD display system driven by multi-channel serial port based on STM32F4 [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2020, 35(5): 449-455. (in Chinese)
- [4] 巫梅琴.光谱流式检测仪主控系统研制及数据处理[D].厦门:厦门大学,2018.
WU M Q. Development of the embedded control system and data processing for spectral flow cytometer [D]. Xiamen: Xiamen University, 2018. (in Chinese)
- [5] 刘超.地质灾害监测预警系统的设计与开发[D].西安:西安工程大学,2017.
LIU C. The design and development of geological disaster monitoring and early warning system [D]. Xi'an: Xi'an Polytechnic University, 2017. (in Chinese)
- [6] 张顺,严宏志,韩奉林,等.基于 ARM 和 FreeRTOS 的围棋机器人控制器设计[J].制造业自动化,2018,40(1):28-32,73.
ZHANG S, YAN H Z, HAN F L, *et al.* Design of go robot controller based on ARM and FreeRTOS [J]. *Manufacturing Automation*, 2018, 40(1): 28-32, 73. (in Chinese)
- [7] 陈森.基于 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的新型智能交互终端的设计与实现[D].长沙:湖南大学,2017.
CHEN M. The design and realization of new intelligent interactive terminal based on $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ operating system [D]. Changsha: Hunan University, 2017. (in Chinese)
- [8] 王军,张福弟,王磊,等.基于 STM32 的 R61581 驱动液晶屏显示方法研究[J].液晶与显示,2016,31(1):93-96.
WANG J, ZHANG F D, WANG L, *et al.* Method of LCD display by R61581 driving based on STM32 [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2016, 31(1): 93-96. (in Chinese)
- [9] 王永强,王壮,潘兵.基于混合控制策略的高频 DC/DC 谐振变换器[J].电力电子技术,2016,50(10):22-25.
WANG Y Q, WANG Z, PAN B. High frequency DC/DC resonant converter based on hybrid control strategy [J]. *Power Electronics*, 2016, 50(10): 22-25. (in Chinese)
- [10] 赵瑞杰,陶学军,田素立,等.多路精密稳压电源的研究[J].电力电子技术,2012,46(8):86-88.
ZHAO R J, TAO X J, TIAN S L, *et al.* Research on multi-output precision regulated switching power supply [J]. *Power Electronics*, 2012, 46(8): 86-88. (in Chinese)
- [11] CHAO G. Human-machine interface: design principles of visual information in human-machine interface design [C]//*Proceedings of the 2009 International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics*. Hangzhou: IEEE, 2009: 262-265.
- [12] 刘欣,叶芸,唐谦,等.有机发光二极管显示屏的喷墨打印研究与展望[J].中国光学,2020,13(2):217-228.

- LIU X, YE Y, TANG Q, *et al.* Progress of OLEDs prepared by inkjet printing [J]. *Chinese Optics*, 2020, 13 (2): 217-228. (in Chinese)
- [13] 冯思悦, 梁静秋, 梁中翥, 等. LED 微阵列投影系统设计[J]. *中国光学*, 2019, 12(1): 88-96.
- FENG S Y, LIANG J Q, LIANG Z C, *et al.* Design of projection system for a micro-LED array [J]. *Chinese Optics*, 2019, 12(1): 88-96. (in Chinese)

作者简介:



王鹏举(1995—),男,四川广安人,硕士研究生,2018 年于重庆科技学院获得学士学位,研究方向为电子新技术及应用。E-mail: 1002359883@qq.com



陈国平(1976—),男,重庆合川人,博士,教授,2009 年于电子科技大学获得博士学位,主要从事嵌入式技术与应用方面的研究。E-mail: chengp@cqupt.edu.cn