

ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
ĐẠI HỌC BÁCH KHOA



BÁO CÁO

ĐỀ TÀI:
ĐO CÔNG SUẤT LƯỚI DÙNG VI ĐIỀU KHIỂN

GVHD: ThS. Nguyễn Trung Hiếu

Sinh viên thực hiện	Mã số sinh viên
Phan Trường Giang	2111103

Hồ Chí Minh, ngày 05 tháng 07 năm 2023

TÓM TẮT

Việc xác định công suất của thiết bị là không hề đơn giản kể cả DC lẫn AC. Khác xa so với lý thuyết, kết quả đo đặc ảnh hưởng từ rất nhiều yếu tố không mong muốn như nhiệt độ, nhiễu, v.v. Thế nên, cần áp dụng một số kỹ thuật để tăng độ chính xác của phép đo. Ngoài việc sử dụng thiết bị chuyên dụng khá đắt đỏ, ta có thể dùng vi điều khiển kết hợp với các cảm biến để xác định công suất của đối tượng đo dựa trên cơ sở lý thuyết.

Từ công suất xác định được, ta có thể dùng kết quả vào nhiều mục đích như: lựa chọn đường dây phù hợp, tính toán điện năng tiêu thụ, v.v. Dẫn đến việc phải tăng độ tin cậy của kết quả đo bằng vi điều khiển với nhiều phương pháp như dùng biến áp, cảm biến, điện trở shunt hoặc kết hợp các phương pháp với nhau.

Bài báo cáo này chỉ ra các vấn đề cơ bản và đưa ra giải pháp cho việc đo công suất lưới bằng bộ ADC 12-bit của vi điều khiển STM32F103C8T6.

Bài báo cáo có tham khảo một số tài liệu.

[1] [2]

DANH SÁCH HÌNH ẢNH

Figure 1: Hình ảnh thực tế của đề tài	2
Figure 1: Dual regular simultaneous mode	4
Figure 2: Sơ đồ khối nguồn cấp	5
Figure 3: LDO 3.3V	5
Figure 4: LDO 5V	6
Figure 5: Sơ khối mô tả thiết kế phần cứng bộ đo công suất AC.	6
Figure 6: Biến áp thường.	7
Figure 7: Biến áp ZMPT101B.	7
Figure 8: Sơ đồ nguyên lý khuếch đại vi sai dùng OPAMP	8
Figure 9: Dạng sóng V_{out} của OPAMP cấp nguồn đôi	8
Figure 10: Dạng sóng V_{out} của OPAMP cấp nguồn đơn	9
Figure 11: Dạng sóng V_{out} của OPAMP cấp nguồn đơn và khuếch đại vi sai	9
Figure 12: Khuếch đại vi sai dùng OPAMP cấp nguồn đơn	10
Figure 13: Mạch đo điện áp AC	10
Figure 14: Mạch đo dòng điện AC dùng ACS712	11
Figure 15: Kết nối MCU và các ngoại vi	11
Figure 16: Các tụ lọc cho MCU	12
Figure 17: Thạch anh ngoại 8MHz	12
Figure 18: Giao tiếp Serial Wire và nút nhấn reset MCU	12
Figure 19: LCD 1602 giao tiếp 4-bit	12
Figure 20: Lưu đồ giải thuật đo công suất AC	13
Figure 21: Clock tree cho MCU	14
Figure 22: ADC1 channel 6 và ADC2 channel 7	14

DANH SÁCH BẢNG BIỂU

Table 1: Thông số ADC	3
Table 2: Bảng sai số của ADC	3

MỤC LỤC

TÓM TẮT	I
DANH SÁCH HÌNH ẢNH	II
DANH SÁCH BẢNG BIỂU	III
MỤC LỤC	IV
CHƯƠNG I. CÁC VẤN ĐỀ VỀ ĐO CÔNG SUẤT	1
1.1 Lý do chọn đề tài	1
1.2 Mô tả đề tài	2
CHƯƠNG II. ĐO CÔNG SUẤT LƯỚI DÙNG VI ĐIỀU KHIỂN STM32F103C8T6	3
2.1 Tổng quan về bộ ADC của STM32F103C8T6	3
2.1.1 Các thông số cơ bản	3
2.1.2 Chọn mode thích hợp	4
2.1.3 Thời gian lấy mẫu (Sampling time)	5
2.2 Nguồn cấp cho mạch	5
2.3 Thiết kế bộ đo công suất AC	6
2.3.1 Ý tưởng thực hiện	6
2.3.1.1 Đo điện áp AC	6
2.3.1.2 Đo dòng điện AC	10
2.4 Thiết kế giao tiếp MCU và hiển thị LCD	11
2.5 Thiết kế phần mềm đọc tín hiệu ADC và tính toán công suất	13
2.5.1 Cấu hình Clock cho hệ thống	13
2.5.2 Cấu hình ADC	14
2.5.3 Công thức tính công suất	14
CHƯƠNG III. KẾT LUẬN	16
TÀI LIỆU THAM KHẢO	17

CHƯƠNG I. CÁC VẤN ĐỀ VỀ ĐO CÔNG SUẤT

1.1 Lý do chọn đề tài

Với sự phát triển của công nghiệp, càng nhiều thiết bị điện được sử dụng, việc đo công suất là một vấn đề rất quan trọng.

Đầu tiên đó là xác định năng lượng tiêu thụ, bằng cách biết được công suất của thiết bị, ta có thể tính toán năng lượng tiêu thụ trong một khoảng thời gian cụ thể, nhằm mục đích quản lý năng lượng cho một hệ thống. Mặt khác, ta có thể theo dõi để phát hiện, xác định các thay đổi bất thường của công suất để bảo trì và sửa chữa.

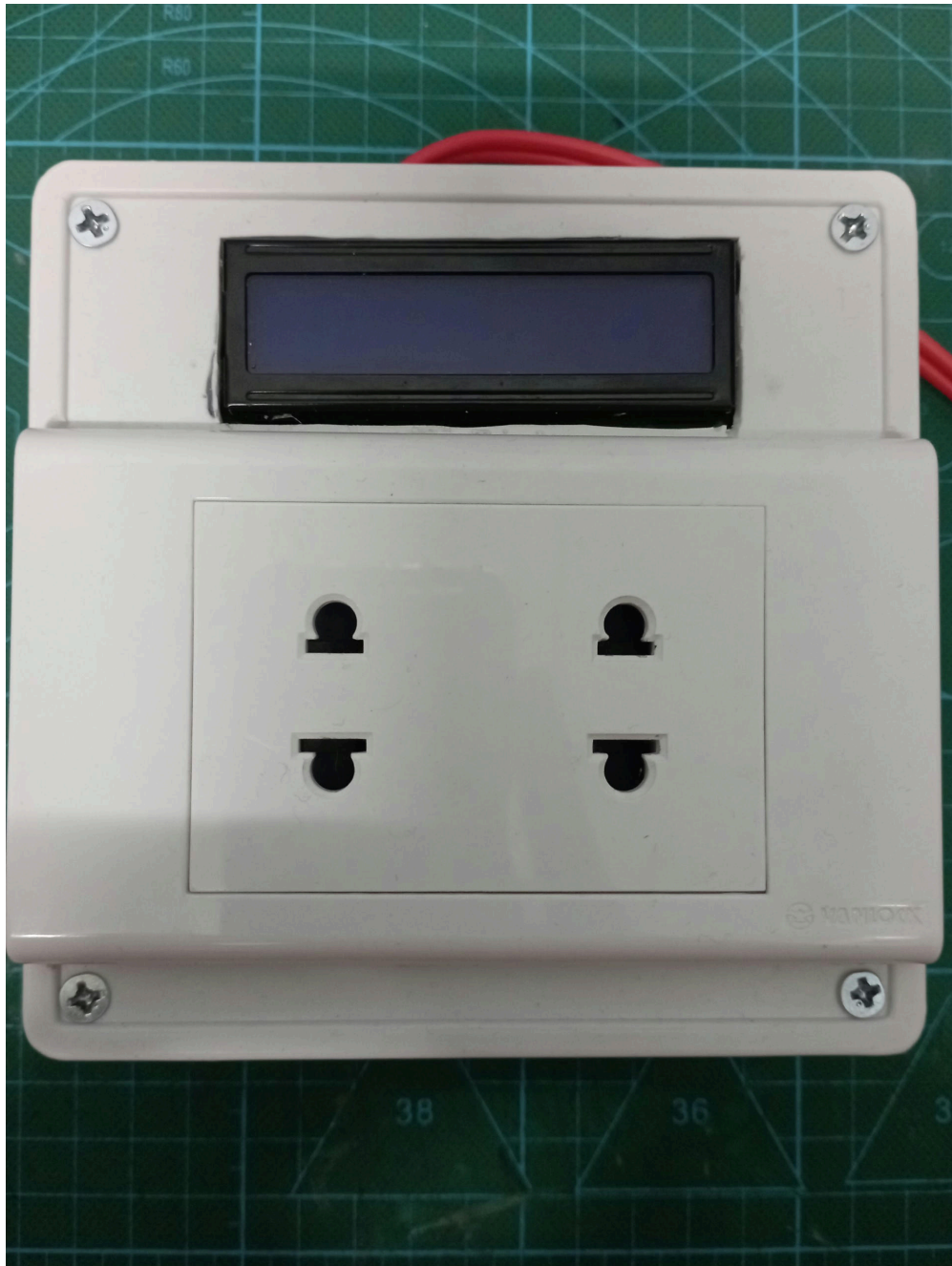
Tiếp theo, khi sử dụng thiết bị điện thì xảy ra hao phí là việc không tránh khỏi. Đo công suất tiêu thụ giúp ta có thể biết được công suất hữu ích là bao nhiêu trong quá trình hoạt động, từ đó có thể đánh giá và tối ưu hiệu suất thiết bị cũng như hệ thống.

Trong ngành điện tử, đo công suất là một phần quan trọng của thiết kế và kiểm tra các mạch điện, giúp xác định công suất tiêu thụ của các linh kiện và hệ thống, đảm bảo rằng chúng hoạt động đúng theo thiết kế và không vượt quá giới hạn an toàn.

Hiện nay, trên thị trường đã có rất nhiều dụng cụ đo công suất, tuy nhiên em chọn đề tài này để thiết kế bộ đo công suất tích hợp vào ổ cắm có thêm các tính năng hiển thị công suất lên LCD.

1.2 Mô tả đề tài

1. Kích thước: 12x12x6cm.
2. Nguồn cấp: 230VAC.
3. Có 2 ổ cắm 2 chấu kiểu C và E/F phù hợp với hầu hết các thiết bị ở Việt Nam.
4. LCD 1602 hiển thị công suất.



Hình 1.1 Hình ảnh thực tế của đề tài

CHƯƠNG II. ĐO CÔNG SUẤT LƯỚI DÙNG VI ĐIỀU KHIỂN

STM32F103C8T6

2.1 Tổng quan về bộ ADC của STM32F103C8T6

2.1.1 Các thông số cơ bản

Bộ ADC đóng vai trò quan trọng, là bộ phận thu thập giá trị điện áp và dòng điện theo thời gian, cũng là bộ phận quyết định độ chính xác của hệ thống. Theo datasheet, bộ ADC của STM32F103C8T6 là bộ ADC 12-bit, có các mode: Single conversion mode, Continuous conversion mode, Scan mode và Discontinuous mode. Dưới đây là các thông số cơ bản được ghi trong datasheet.

Bảng 2.1 Thông số ADC

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Đơn vị
V_{DDA}	ADC power supply		2.4		3.6	V
V_{REF+}	Positive reference voltage		2.0		V_{DDA}	V
f_{ADC}	ADC clock frequency		0.6		14	MHz
f_S	Sampling rate		0.05		1	MHz
t_{CAL}	Calibration time	$f_{ADC} = 14\text{MHz}$	5.9			μS
t_{STAB}	Power-up time		0	0	1	μS
t_{CONV}	Total conversion time	$f_{ADC} = 14\text{MHz}$	14			$1/f_{ADC}$

Vấn đề tiếp theo ta cần quan tâm là các sai số của bộ ADC.

Bảng 2.2 Bảng sai số của ADC

Symbol	Parameter	Conditions	Typ.	Max.	Unit
$ E_T $	Total unadjusted error	$f_{ADC} = 14\text{MHz}, V_{DDA} = 3.3\text{V}$	3	to be determined	LSB
$ E_O $	Offset error		1	to be determined	
$ E_G $	Gain error		2	to be determined	
$ E_D $	Differential linearity error		3	to be determined	
$ E_L $	Integral linearity error		2	to be determined	

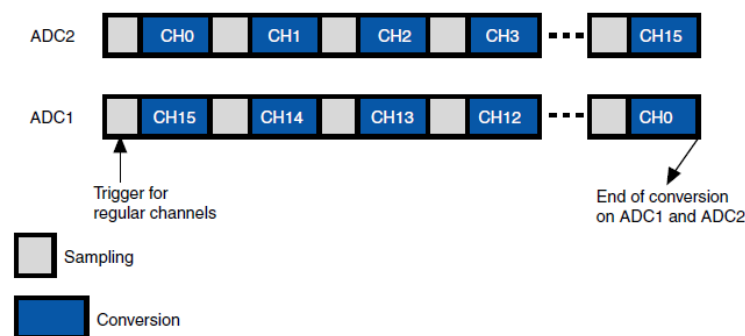
2.1.2 Chọn mode thích hợp

Theo datasheet, STM32F103C8T6 có tất cả 2 ADC: ADC1 và ADC2 nên được chia thành 2 nhóm mode hoạt động chính, bao gồm nhóm Independent mode và Dual mode.

- Nhóm Independent mode gồm:
 1. Single-channel, single conversion mode,
 2. Multichannel (scan), single conversion mode,
 3. Single-channel, continuous conversion mode,
 4. Multichannel (scan), single conversion mode,
 5. Injected conversion mode.
- Nhóm Dual mode gồm:
 1. Dual regular simultaneous mode,
 2. Dual fast interleaved mode,
 3. Dual slow interleaved mode,
 4. Dual alternate trigger mode,
 5. Dual combined regular/injected simultaneous mode,
 6. Dual combined: injected simultaneous + interleaved mode.

Với các mode kể trên, mode thích hợp nhất để đọc đồng thời tín hiệu điện áp tức thời và dòng điện tức thời là mode **Dual regular simultaneous** với ADC1 channel 6 đọc tín hiệu dòng điện, ADC2 channel 7 đọc tín hiệu điện áp.

Trong mode này, ADC1 và ADC2 sẽ lấy mẫu và chuyển đổi đồng thời. Sau khi chuyển đổi xong, kết quả sẽ được lưu vào thanh ghi data 32-bit ADC1. Nếu dùng scan mode, thứ tự chuyển đổi các channel của 2 ADC có chút khác biệt, với ADC1: từ channel 15 đến channel 0 và ADC2 là từ channel 0 đến channel 15.



Hình 2.1 Dual regular simultaneous mode

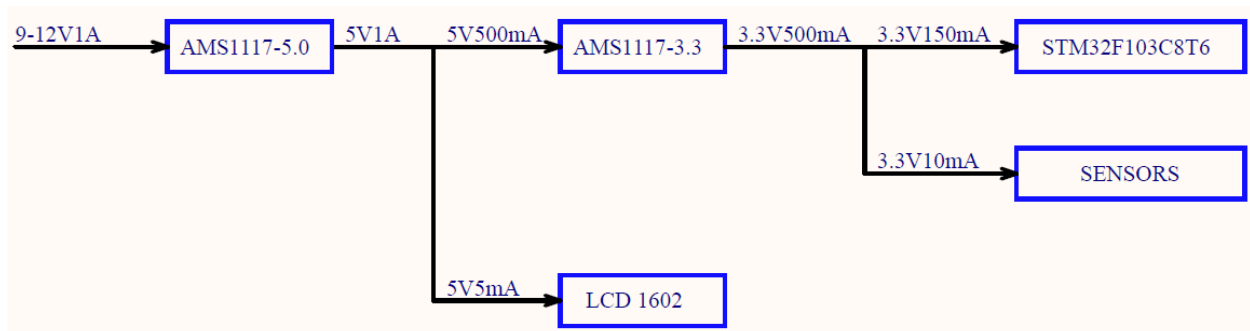
2.1.3 Thời gian lấy mẫu (Sampling time)

Mỗi kênh trong bộ ADC có thể lập trình từng giá trị sampling time riêng biệt. Tối thiểu là 1.5 cycles và tối đa là 239.5 cycles.

Như vậy, total conversion time (T_{CONV}) của STM32F103C8T6 sẽ được tính như sau:

$$T_{\text{CONV}} = \text{Sampling time} + 12.5 \text{ cycles.} \quad (2.1)$$

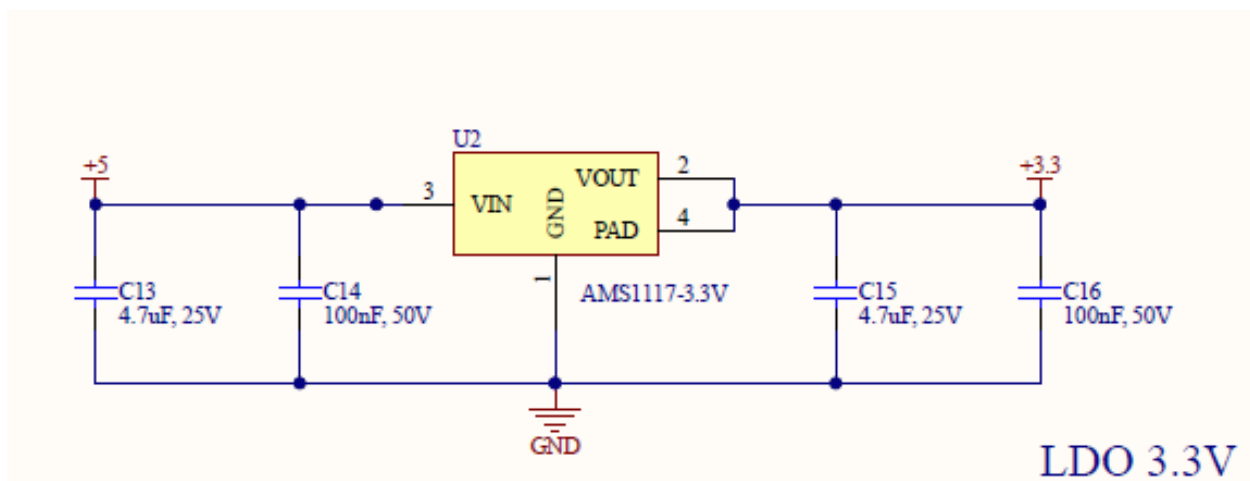
2.2 Nguồn cấp cho mạch



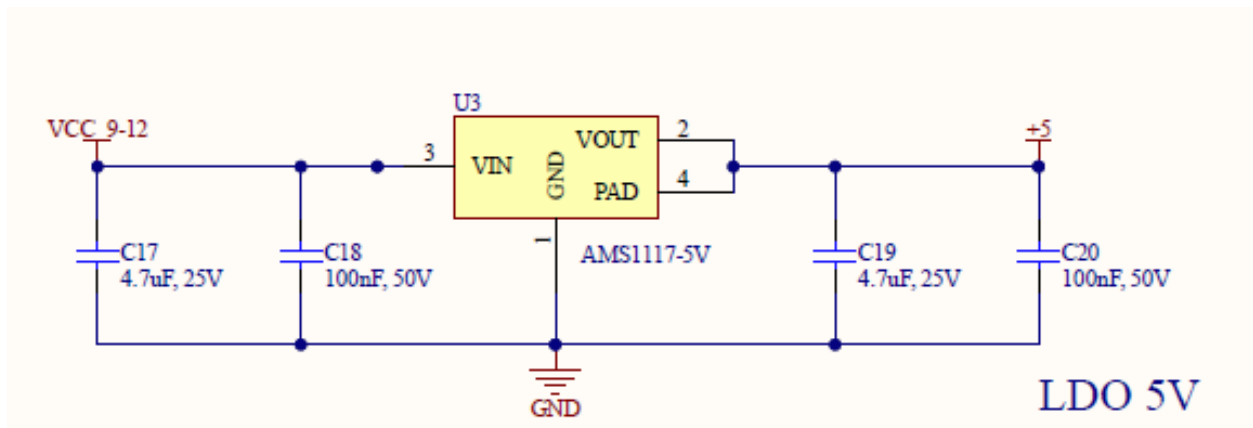
Hình 2.2 Sơ đồ khối nguồn cấp

Ta sẽ sử dụng adapter chuyển từ 220VAC thành 9VDC sao đó dùng LDO hạ áp xuống 5v và 3.3V

Theo **Hình 2.2** về LDO, ta sẽ chọn IC AMS1117 - 5V và IC AMS1117 - 3.3V là đủ công suất cung cấp cho mạch.



Hình 2.3 LDO 3.3V

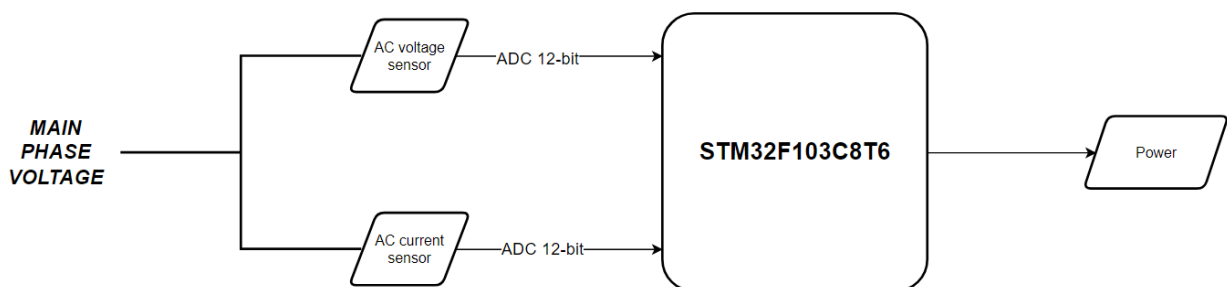


Hình 2.4 LDO 5V

2.3 Thiết kế bộ đo công suất AC

2.3.1 Ý tưởng thực hiện

Scale dòng điện và điện áp của điện lưới về phạm vi điện áp đọc được của bộ ADC (0 - 3.3V với $V_{DDA} = 3.3V$), tích hợp vào ổ cắm có hiển thị LCD.



Hình 2.5 Sơ khối mô tả thiết kế phần cứng bộ đo công suất AC.

2.3.1.1 Đo điện áp AC

Với ý tưởng ban đầu dùng biến áp để hạ áp từ điện áp lưới, tuy nhiên với loại biến áp thường như **Hình 2.6** có kích thước khá lớn (thường 6.5 x 3.5 x 3.5 cm) làm cho bộ đo bị cồng kềnh.

**Hình 2.6** Biến áp thường.

Sau khi tìm hiểu các loại biến áp, vấn đề đã được giải quyết bằng biến áp ZMPT101B có kích thước nhỏ gọn chỉ 1.7 x 2 cm (**Hình 2.7**).

**Hình 2.7** Biến áp ZMPT101B.

Theo datasheet, ZMPT101B là biến áp dòng, tức là ta phải mắc tải hạn dòng ở cuộn sơ cấp để tạo dòng qua biến áp và mắc trở lấy mẫu tại cuộn thứ cấp. Biến áp có tỷ số 2mA:2mA, nếu ta chọn trở hạn dòng $R_L = 820k\Omega$ và trở lấy mẫu $R_S = 100\Omega$, giả sử điện áp lưới là $230V_{rms}$ thì điện áp trên trở R_S có biên độ là

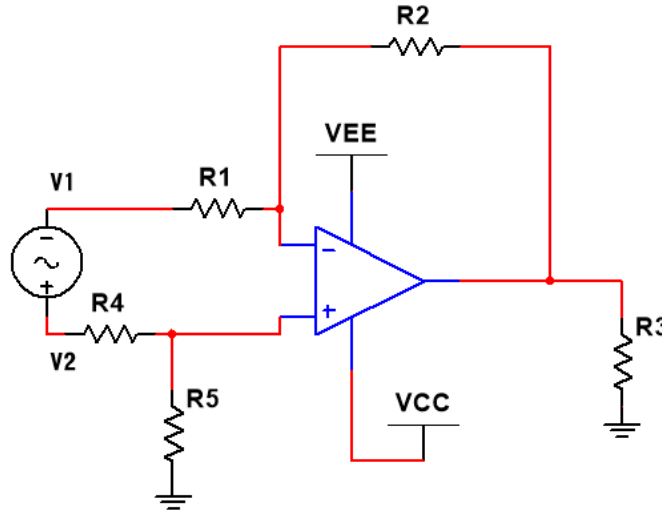
$$V_{R_S} = \frac{230 \cdot \sqrt{2} \cdot 2}{R_L} \cdot R_S = \frac{230 \cdot \sqrt{2} \cdot 2}{820k} \cdot 100 = 0.079V_{pp} \quad (2.2)$$

Với V_{pp} khá nhỏ như vậy, ảnh hưởng của nhiễu đối với tín hiệu là rất lớn, ta cần 1 tầng khuếch đại vi sai để loại bỏ nhiễu từ biến áp. Tuy nhiên, điện áp lưới có dạng sóng sin, có bán kỳ âm và bán kỳ dương. ADC của STM32F103C8T6 chỉ có thể đọc giá trị điện áp dương từ 0 - V_{DDA} , vậy nên ta cần có 1 tầng cộng điện áp DC $V_{offset} = \frac{V_{DDA}}{2}$ để nâng toàn bộ điện áp U_R lên phần dương.

Mạch khuếch đại này sẽ dùng IC TL072 tham khảo datasheet **tại đây**. TL072 có lợi thế hơn so với LM358 ở các module trên thị trường:

- Có thể cấp nguồn 3.3V tiện lợi cho việc dùng STM32F103C8T6.
- Độ nhiễu thấp (low-noise).
- Dùng JFET nên trở kháng đầu vào cao.

Ta sẽ thiết kế từng tầng, đầu tiên là tầng khuếch đại vi sai dùng OPAMP. **Hình 2.8** là sơ đồ cơ bản của tầng khuếch đại vi sai:

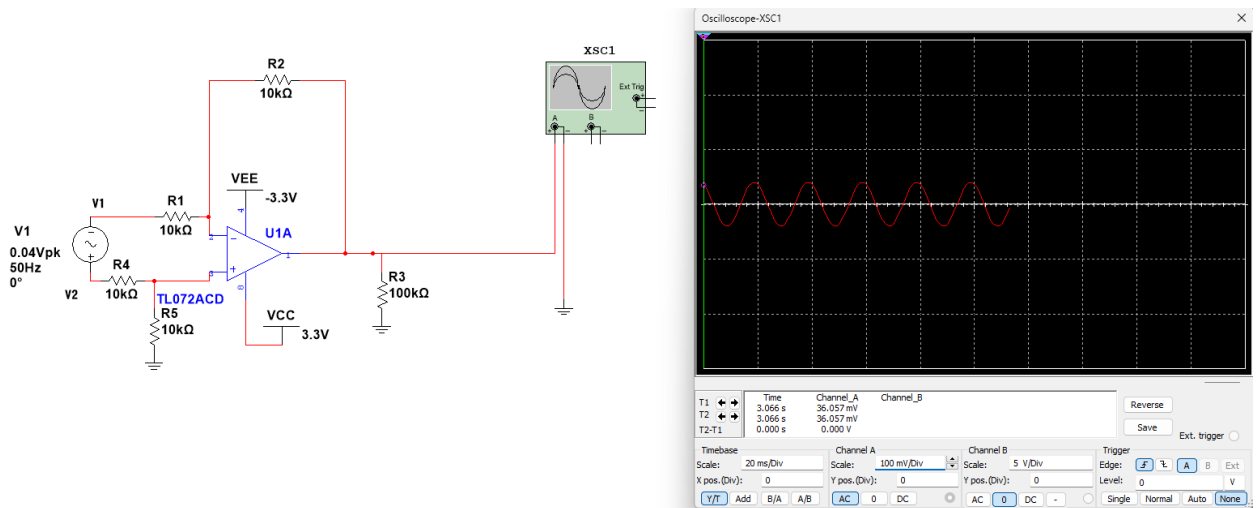


Hình 2.8 Sơ đồ nguyên lý khuếch đại vi sai dùng OPAMP

Theo lý thuyết, độ lợi vi sai của mạch **Hình 2.8** :

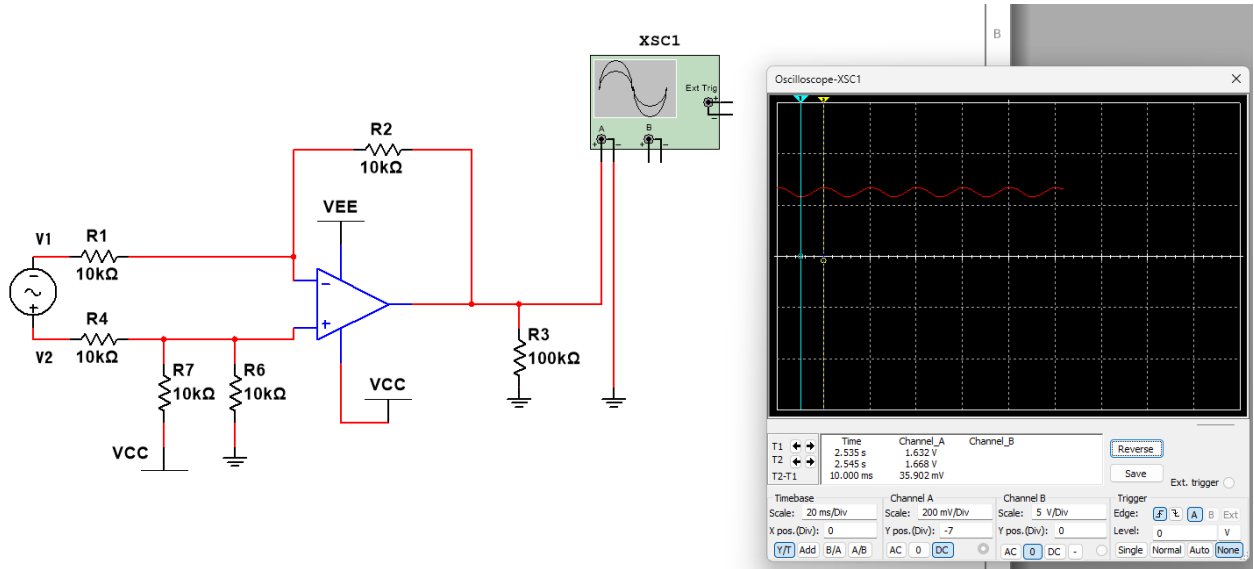
$$V_{out} = V_2 \cdot \left(\frac{R_5}{R_4 + R_5} \right) \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - V_1 \cdot \left(\frac{R_2}{R_1} \right) \quad (2.3)$$

Với $R_1 = R_2$ và $R_4 = R_5$, ta được $V_{out} = V_2 - V_1 = V_R$, nguồn cấp $V_{CC} = 3.3V$ và $V_{EE} = -3.3V$ thì dạng sóng V_{out} thu được như **Hình 2.9** :



Hình 2.9 Dạng sóng V_{out} của OPAMP cấp nguồn đôi

Tuy nhiên, việc chưa đủ kiến thức để thiết kế nguồn đôi $\pm 3.3V$ nên ta sẽ chuyển sang cấp nguồn đơn $3.3V$ và cộng thêm $V_{offset} = \frac{V_{CC}}{2}$ và dạng sóng V_{out} thu được .

Hình 2.10 Dạng sóng V_{out} của OPAMP cấp nguồn đơn

Lúc này, ngỡ ra sẽ có phương trình

$$V_{out} = V_2 \cdot \left(\frac{R_4 \parallel R_6}{R_7 + R_4 \parallel R_6} \right) \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - V_1 \cdot \left(\frac{R_2}{R_1} \right) + V_{CC} \cdot \frac{R_6}{R_6 + R_7} \quad (2.4)$$

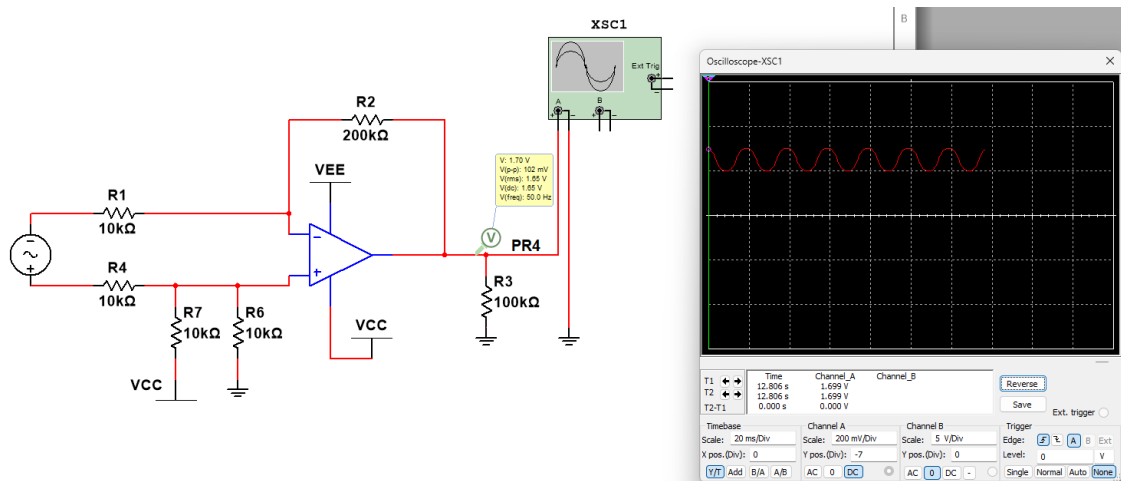
chọn tất cả $R = 10k\Omega$, ta có

$$V_{out} = \frac{2}{3} \cdot V_2 - V_1 + \frac{V_{CC}}{2} \quad (2.5)$$

và dạng sóng thu được như **Hình 2.10** có $V_{pp} = 36.2 \text{ mV}$. Được biết, độ lợi áp của mạch phụ thuộc bởi tỷ số $\frac{R_2}{R_1}$ để dễ dàng cho việc đọc ADC, ta chọn $R_2 = 200k\Omega$, $R_1 = 10k\Omega$. Như vậy, thay vào **Phương trình 2.4** ta được:

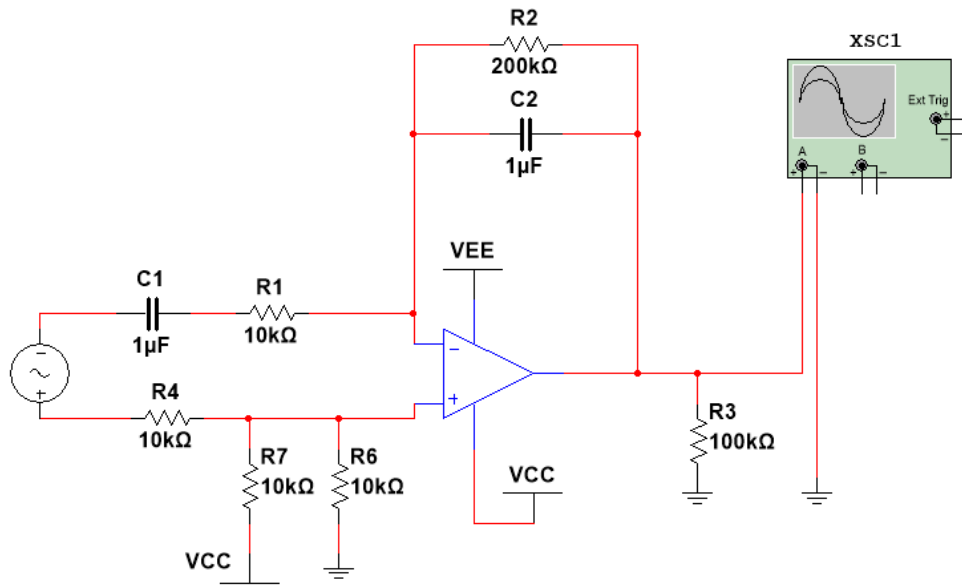
$$V_{out} = \frac{20}{3} \cdot V_2 - 20 \cdot V_1 + \frac{V_{CC}}{2} \quad (2.6)$$

và có $V_{pp} = 102 \text{ mV}$ dạng sóng như **Hình 2.11**



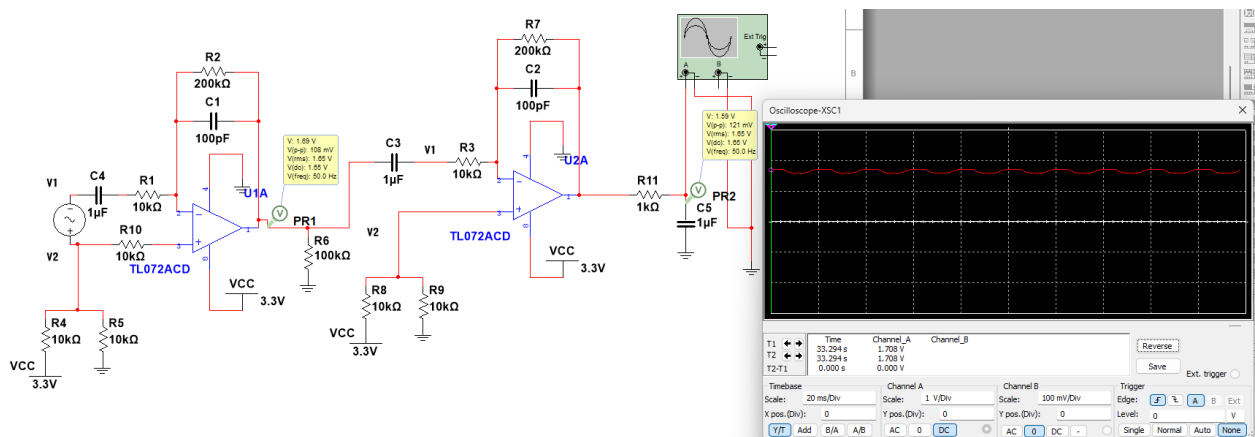
Hình 2.11 Dạng sóng V_{out} của OPAMP cấp nguồn đơn và khuếch đại vi sai

Tiếp theo, ta sẽ thêm tụ decoupling và tụ bypass vào mạch như **Hình 2.12**

**Hình 2.12** Khuếch đại vi sai dùng OPAMP cấp nguồn đơn

Vậy là ta đã thiết kế xong tầng khuếch đại vi sai, với ý tưởng ban đầu ta sẽ làm tầng cộng điện áp, tuy nhiên do ở tầng 1 ta đã cộng được $V_{offset} = \frac{V_{CC}}{2}$ mà tín hiệu vẫn còn khá nhỏ để đọc nên tầng tiếp theo sẽ có tác dụng khuếch đại tín hiệu một lần nữa.

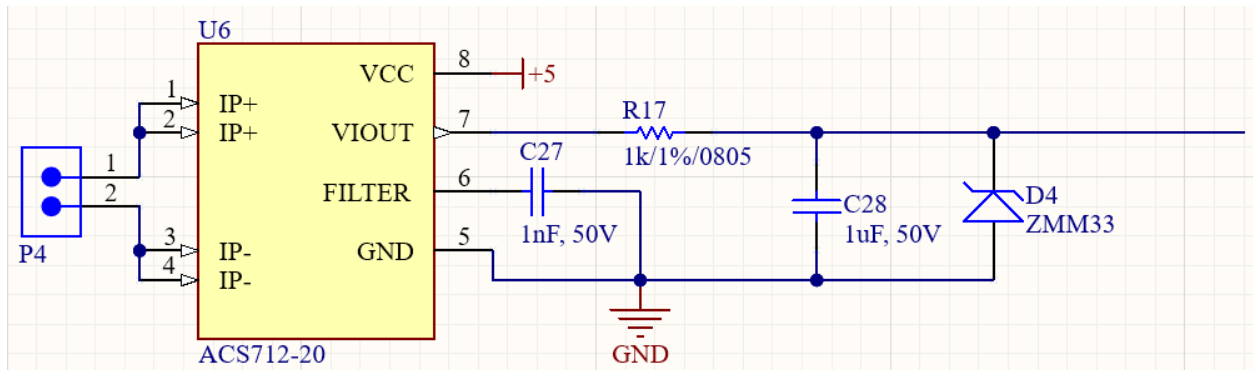
Để lọc nhiễu tín hiệu, ta sẽ gắn thêm bộ lọc thông thấp RC với $R = 1k\Omega$, $C = 1\mu F$ có tần số cắt $f_C = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 1000 \cdot 10^{-6}} = 160 \text{ Hz}$, ta được mạch hoàn chỉnh như **Hình 2.13**.

**Hình 2.13** Mạch đo điện áp AC

2.3.1.2 Đo dòng điện AC

Để đo dòng điện AC, ta sẽ dùng cảm biến dòng dựa trên hiệu ứng Hall ACS712 với tầm đo đến 30A. Với nhu cầu đo chỉ dưới 8A nên ta sẽ dùng loại ACS712-20 có độ nhạy 100mV/A. V_{out}

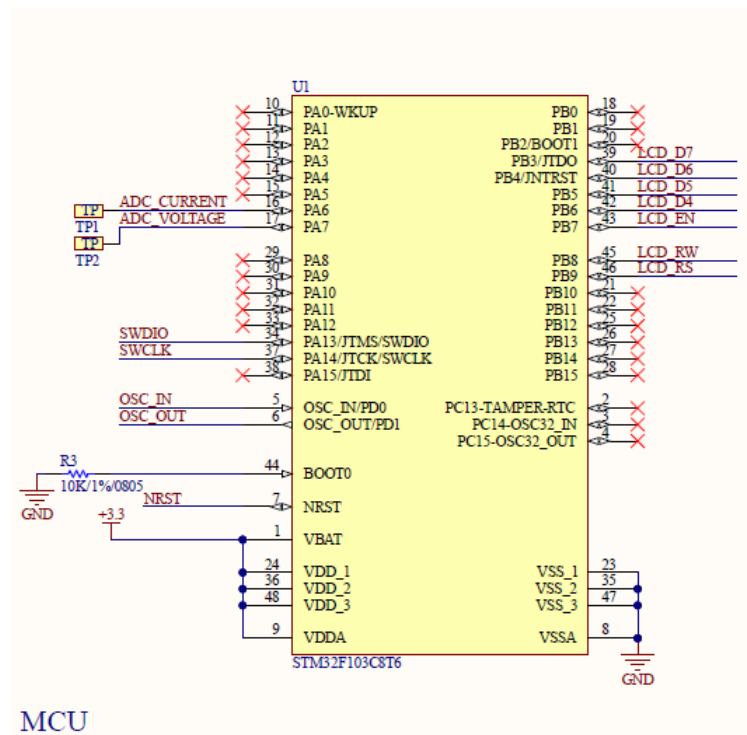
tại chân số 7 của IC là tín hiệu analog $0 - V_{CC}$ và có $V_{\text{offset}} = \frac{V_{CC}}{2}$ vậy nên chỉ cần gắn thêm bộ lọc thông thấp và diode zener tránh trường hợp V_{out} quá 3.3V.



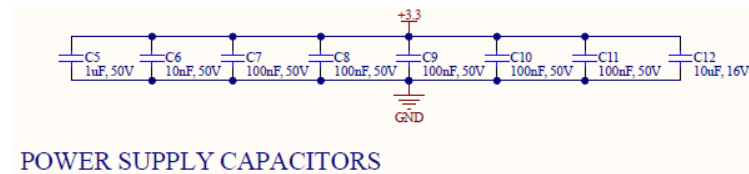
Hình 2.14 Mạch đo dòng điện AC dùng ACS712

2.4 Thiết kế giao tiếp MCU và hiển thị LCD

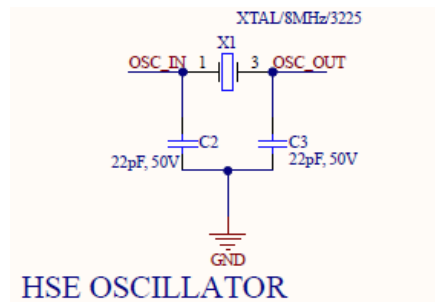
Về MCU, ta sẽ sử dụng STM32F103C8T6 có 64KB FLASH và 64 pins phù hợp với đề tài. MCU khi cấp nguồn cần gắn thêm một số tụ lọc theo datasheet (Hình 2.16). Sử dụng thạch anh ngoại để cấp xung clock ổn định cho hệ thống cũng như bộ ADC (Hình 2.17), debug và nạp code qua serial wire và nút reset MCU (Hình 2.18) và 7 chân GPIO để giao tiếp với LCD 1602 (@).



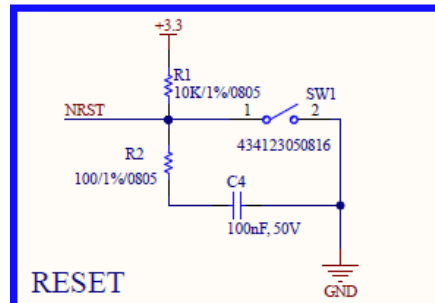
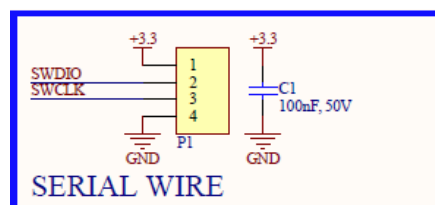
Hình 2.15 Kết nối MCU và các ngoại vi



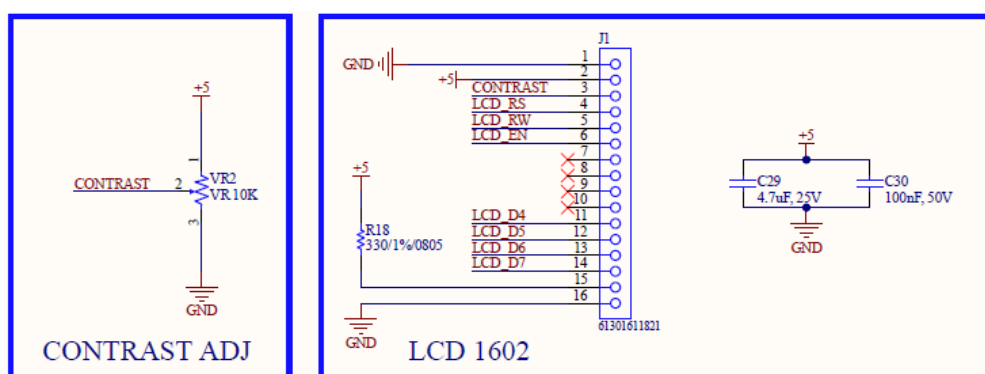
Hình 2.16 Các tụ lọc cho MCU



Hình 2.17 Thạch anh ngoại 8MHz

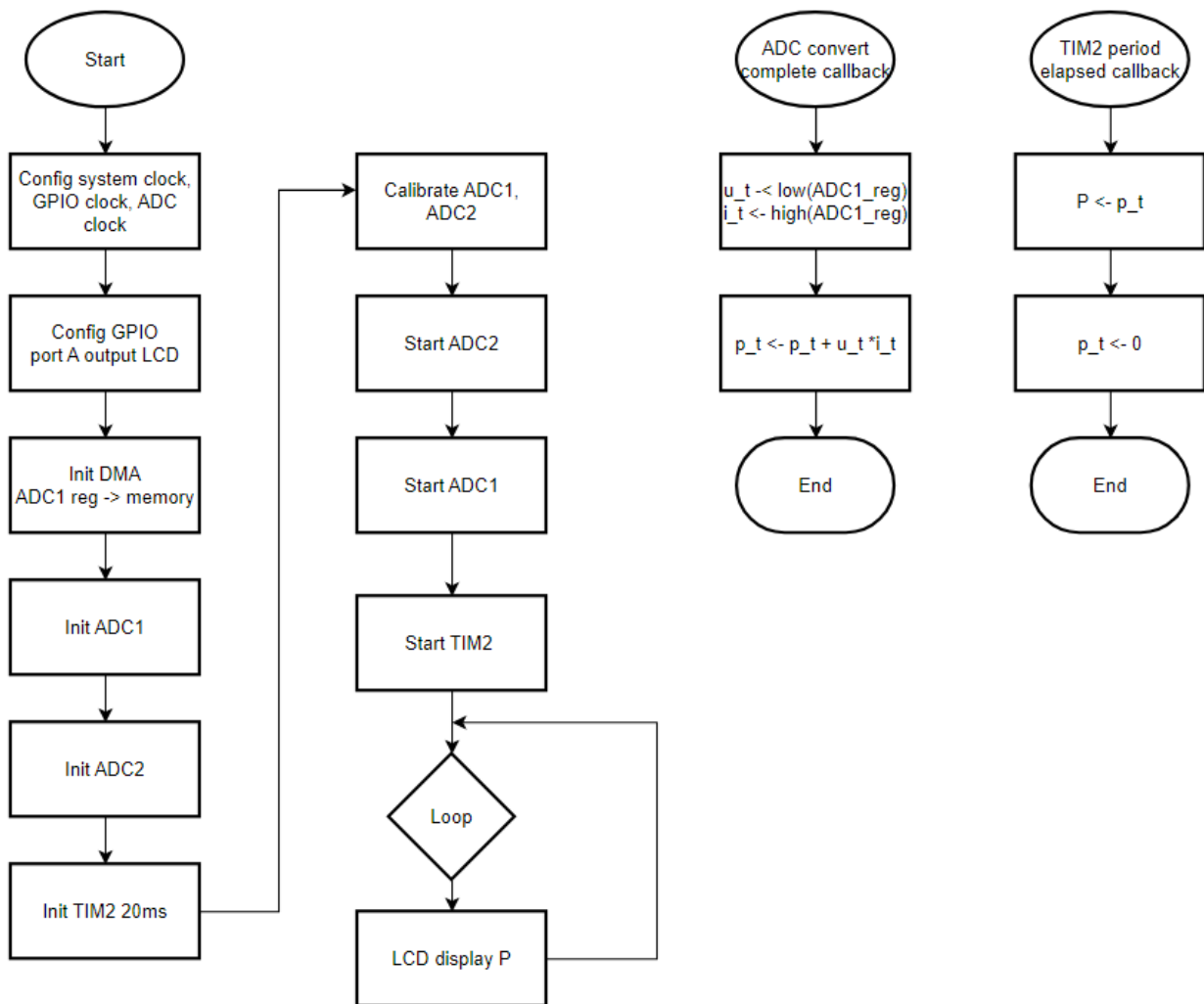


Hình 2.18 Giao tiếp Serial Wire và nút nhấn reset MCU



Hình 2.19 LCD 1602 giao tiếp 4-bit

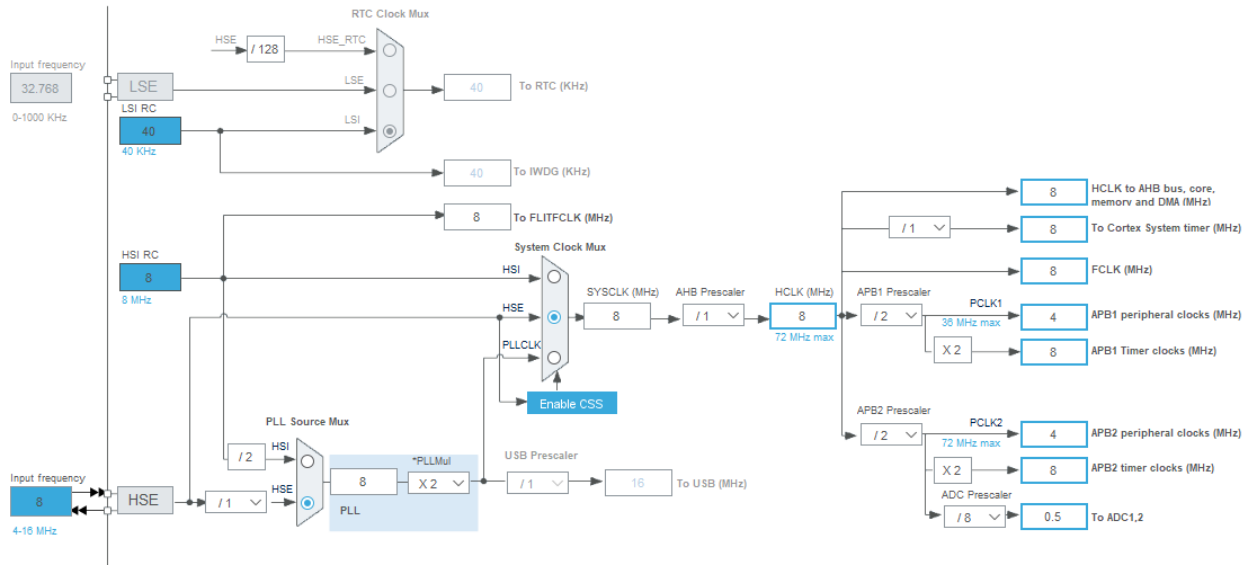
2.5 Thiết kế phần mềm đọc tín hiệu ADC và tính toán công suất



Hình 2.20 Lưu đồ giải thuật đo công suất AC

2.5.1 Cấu hình Clock cho hệ thống

Hệ thống sẽ sử dụng xung clock từ thạch anh 8MHz (HSE), qua các bộ prescaler để cấp cho ADC1 & ADC2 clock 500kHz và timer clock 8MHz (Hình 2.21).



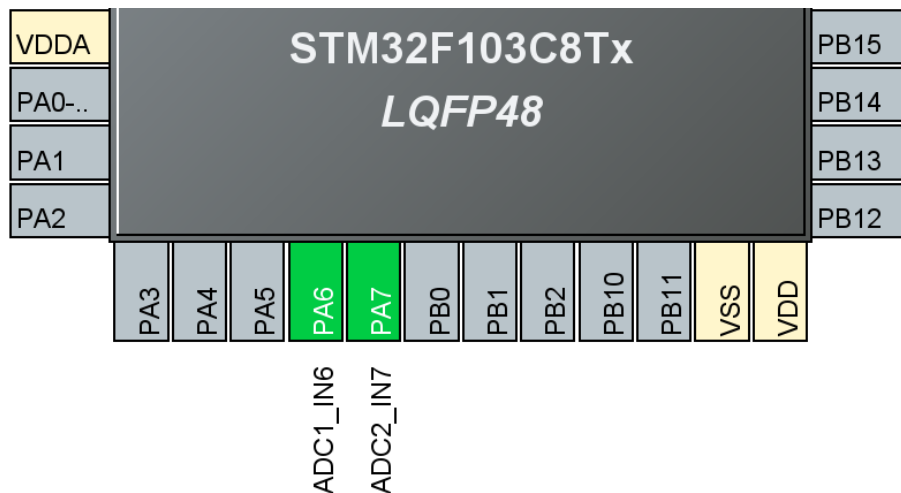
Hình 2.21 Clock tree cho MCU

2.5.2 Cấu hình ADC

Theo **Phương trình 2.1**, ta sẽ chọn Sampling time tối đa là 239.5 cycles, $f_{\text{ADC}} = 500 \text{ kHz}$ suy ra thời gian chuyển đổi của bộ ADC là

$$T_{\text{CONV}} = \frac{239.5 + 12.5}{500000} = 0.5 \text{ ms} \quad (2.7)$$

Cho điện lưới có chu kỳ 50Hz thì trong 1 chu kỳ bộ ADC sẽ lấy mẫu 40 lần. Với dữ liệu lớn như vậy, ta sẽ sử dụng DMA để tránh chiếm tài nguyên của CPU.



Hình 2.22 ADC1 channel 6 và ADC2 channel 7

2.5.3 Công thức tính công suất

Ta sẽ tính công suất trung bình theo công thức:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt \quad (2.8)$$

Phương trình 2.8 có thể tính như sau:

$$P = \frac{1}{T} \cdot \sum u(t) \cdot i(t) \cdot T_s \quad (2.9)$$

với T là chu kỳ của điện lưới 20ms, T_s là thời gian lấy mẫu $T_s = \frac{239.5}{500000} = 0.48 \text{ ms}$, $u(t)$ chính là giá trị tức thời của ADC2_IN7, $i(t)$ là giá trị tức thời của ADC1_IN6.

Thay vào **Phương trình 2.9**

$$P = \frac{T_s}{T} \cdot \sum u(t) \cdot i(t) = 0.024 \cdot \sum u(t) \cdot i(t) \quad (2.10)$$

Ta sẽ dùng **Phương trình 2.10** để tính toán trong MCU.

ADC1 & ADC2 đều là ADC 12-bit, $V_{\text{ref}} = V_{\text{DDA}} = 3.3V$ suy ra u và i tức thời.

$$u = \frac{\text{ADC2_IN7}}{4096} \cdot 3.3 \cdot V_GAIN \quad (2.11)$$

$$i = \frac{\text{ADC1_IN6}}{4096} \cdot 3.3 \cdot I_GAIN \quad (2.12)$$

Suy ra

$$p = u \cdot i = \text{ADC1_IN6} \cdot \text{ADC_IN7} \cdot \left(\frac{3.3}{4096} \right)^2 \cdot V_GAIN \cdot I_GAIN \quad (2.13)$$

để giảm tải tài nguyên CPU, ta sẽ nhân hằng số ở bước cuối cùng

$$P = 0.024 \cdot \left(\frac{3.3}{4096} \right)^2 \cdot V_GAIN \cdot I_GAIN \cdot \sum u \cdot i \quad (2.14)$$

Phương trình 2.14 là phương trình được dùng trong giải thuật tính công suất. Với V_GAIN và I_GAIN là 2 hệ số nhân tỷ lệ.

CHƯƠNG III. KẾT LUẬN

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Ludek Holoubek, “Watt-hour meter based on the Stm32f101 microcontroller.” [Online]. Available: https://www.st.com/resource/en/application_note/an3322-watthour-meter-based-on-the-stm32f101-microcontroller-stmicroelectronics.pdf
- [2] Zhanpeng Huang, Ying Tang, and Qin Li, “Design of AC voltage tester based on Stm32,” 2021.