

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA**  
**KHOA ĐIỆN – ĐIỆN TỬ**  
**BỘ MÔN ĐIỆN TỬ**  
-----o0o-----



**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC**

**MÔ PHỎNG VÀ THIẾT KẾ ĐIỆN NĂNG KẾ ĐIỆN**  
**TỬ 1 PHA**

**GVHD: KS. Vũ Quang Thời**

**SVTH: Nguyễn Thùy Vương**

**MSSV: 1912467**

**TP. HỒ CHÍ MINH, THÁNG 10 NĂM 2023**

-----☆-----

-----☆-----

Số: \_\_\_\_\_/BKĐT  
Khoa: **Điện – Điện tử**  
Bộ Môn: **Điện Tử**

## NHIỆM VỤ LUẬN VĂN TỐT NGHIỆP

- HỌ VÀ TÊN: NGUYỄN THUY VƯƠNG MSSV: 1912467
  - NGÀNH: **ĐIỆN TỬ - VIỄN THÔNG** LỚP: DD19DV08
  - Đề tài: **MÔ PHỎNG VÀ THIẾT KẾ ĐIỆN NĂNG KẾ ĐIỆN TỬ 1 PHA.**
  - Nhiệm vụ (Yêu cầu về nội dung và số liệu ban đầu):
    - Nguyên lý hoạt động của điện kế điện tử dân dụng 1 pha.
    - Thiết kế phần cứng điện kế điện tử (Điện áp vào 220Vac và dòng tải tối đa là 10Aac).
    - Thiết kế phần mềm hiển thị giá trị dòng điện, điện áp hiệu dụng và chỉ số kWh tiêu thụ.
    - Mô phỏng và thực hiện thiết kế.
  - Ngày giao nhiệm vụ luận văn: 14/6/2023
  - Ngày hoàn thành nhiệm vụ: 2/9/2023
  - Họ và tên người hướng dẫn: **KS. Vũ Quang Thời** Phần hướng dẫn  
.....  
.....
- Nội dung và yêu cầu LVTN đã được thông qua Bộ Môn.

*Tp.HCM, ngày..... tháng..... năm 2023*

**CHỦ NHIỆM BỘ MÔN**

**NGƯỜI HƯỚNG DẪN CHÍNH**

### PHẦN DÀNH CHO KHOA, BỘ MÔN:

Người duyệt (chấm sơ bộ): .....

Đơn vị: .....

Ngày bảo vệ: .....

Điểm tổng kết: .....

Nơi lưu trữ luận văn: .....

## ***LỜI CẢM ƠN***

Em xin được gửi lời cảm ơn chân thành đến thầy Vũ Quang Thời đã tận tình hướng dẫn, giúp đỡ cũng luôn tạo những điều kiện tốt nhất để em trong suốt quá trình thực hiện đề tài này.

Tuy nhiên trong quá trình thực hiện đề tài, do kiến thức chuyên ngành của em còn hạn chế nên em vẫn còn nhiều thiếu sót khi tìm hiểu, thực hiện cũng như đánh giá và trình bày về đề tài. Rất mong nhận được sự quan tâm, góp ý của thầy/cô giảng viên bộ môn để em có thể rút kinh nghiệm và hoàn thiện hơn đề tài của mình trong tương lai.

Em xin trân trọng cảm ơn!

*Tp. Hồ Chí Minh, ngày 5 tháng 9 năm 2023.*

**Nguyễn Thùy Vương**

## TÓM TẮT ĐỒ ÁN

Cùng với sự phát triển của kỹ thuật điện tử số và kỹ thuật vi xử lý, các thiết bị đo lường điện tử đã có bước tiến có tính cách mạng bằng việc sử dụng các bộ vi xử lý (Microprocessor), nó cho phép xử lý phép đo và số liệu đo được nhanh chóng, tự động và chính xác hơn. Kỹ thuật đo lường số đã sử dụng các hệ thống đo theo kiểu các modul tiêu chuẩn hợp thành, đã tạo nên tính mềm dẻo, linh hoạt cho phép các hệ thống đo số có nhiều khả năng, như mở rộng phạm vi đo, đo được nhiều loại tín hiệu khác nhau, kết quả đo đạt được độ chính xác cao và rút ngắn thời gian đo.

Đi cùng với xu thế tất yếu của loại thiết bị hiện đại trong thế hệ công nghệ thông tin này, các thiết bị đo điện năng ở nước ta tại thời điểm hiện tại đã và đang được chuyển đổi từ thiết bị cơ khí sang các thiết bị đo điện tử thông minh bởi những tín năng nổi trội, tính chính xác cũng như được ứng dụng công nghệ thông tin vào trong việc quản lý. Việc đưa công tơ điện tử thông minh vào sử dụng đã góp phần vào công cuộc hiện đại hóa hệ thống lưới điện. Bản thân là một sinh viên chuyên ngành Điện tử - Viễn thông, mong muốn thực hiện đề tài tốt nghiệp mang tính thực tế và có khả năng ứng dụng và cùng với sự gợi ý của giảng viên hướng dẫn, em đã chọn đề tài **MÔ PHỎNG VÀ THIẾT KẾ ĐIỆN KẾ ĐIỆN TỬ 1 PHA**. Và giới hạn nội dung của đề tài này là nghiên cứu mô phỏng và thiết kế một điện kế điện tử dân dụng 1 pha hiển thị các giá trị điện áp, dòng điện và điện năng tiêu thụ, lưu trữ giá trị điện năng tiêu thụ phòng trường hợp mất điện, đồng thời có thêm kết nối IoT.

## MỤC LỤC

<b>GIỚI THIỆU .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Tổng quan .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Nhiệm vụ đề tài .....</b>	<b>1</b>
<b>CHƯƠNG 1: LÝ THUYẾT VỀ CÔNG SUẤT VÀ NĂNG LƯỢNG ĐIỆN XOAY CHIỀU MỘT PHA TRONG CÔNG TƠ ĐIỆN .....</b>	<b>2</b>
<b>1. Công suất và năng lượng tiêu thụ trong mạch xoay chiều một pha:.....</b>	<b>2</b>
<b>2. Phương pháp đo công suất trong mạch điện .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Các loại công tơ điện 1 pha trên thị trường .....</b>	<b>5</b>
<b>3.1 Công tơ điện cơ khí 1 pha .....</b>	<b>5</b>
<b>3.2 Công tơ điện tử 1 pha .....</b>	<b>7</b>
<b>4. Thiết bị mẫu và cách truyền chuẩn .....</b>	<b>8</b>
<b>4.1 Thiết bị mẫu .....</b>	<b>8</b>
<b>4.2 Cách truyền chuẩn .....</b>	<b>8</b>
<b>4.3 Cấp chính xác .....</b>	<b>9</b>
<b>CHƯƠNG 2: TỔNG QUAN VỀ CÔNG TƠ ĐIỆN TỬ 1 PHA VÀ Ý TƯỞNG THIẾT KẾ ĐỀ TÀI.....</b>	<b>11</b>
<b>1. Lý thuyết về thiết kế của công tơ điện 1 pha .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1 Nguyên lý hoạt động của công tơ điện tử.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2 Công tơ điện tử sử dụng IC đo năng lượng .....</b>	<b>12</b>
<b>2. Ý tưởng thiết kế đề tài.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Yêu cầu thiết kế.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 Sơ đồ khối của thiết kế .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2.1 Sơ đồ khối tổng quát .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2.2 Sơ đồ khối của khối xử lý tín hiệu.....</b>	<b>15</b>
<b>CHƯƠNG 3: THIẾT KẾ PHẦN CỨNG VÀ TÍNH TOÁN.....</b>	<b>17</b>
<b>1. Khối xử lý tín hiệu .....</b>	<b>17</b>
<b>1.1 IC nhân tín hiệu analog AD633.....</b>	<b>17</b>
<b>1.1.1 Giới thiệu về IC AD633 .....</b>	<b>17</b>
<b>1.1.2 Tính toán và sơ đồ nguyên lý.....</b>	<b>18</b>
<b>1.2 Bộ lọc thông thấp tích cực.....</b>	<b>18</b>

1.2.1	<i>Lý thuyết về bộ lọc thông thấp tích cực</i>	18
1.2.2	<i>Tính toán và sơ đồ nguyên lý</i>	23
1.3	<b><i>IC chuyển đổi tín hiệu điện áp – tần số</i></b>	26
1.3.1	<i>Giới thiệu về IC LM331</i>	26
1.3.2	<i>Tính toán và sơ đồ nguyên lý</i>	29
2.	<b>Khôi đo dòng điện và khôi đo điện áp</b>	31
2.1	<i>Lý thuyết về mạch chỉnh lưu chính xác nửa bán kỳ dùng Opamp</i>	31
2.2	<b>Khôi đo dòng điện</b>	34
2.2.1	<i>Phần 1 – Đưa vào khối xử lý tín hiệu</i>	35
2.2.2	<i>Phần 2 – Chỉnh lưu bán kỳ để MCU tính dòng hiệu dụng</i>	36
2.3	<b>Khôi đo điện áp</b>	36
2.3.1	<i>Phần 1 – Đưa vào khối xử lý tín hiệu</i>	37
2.3.2	<i>Phần 2 – Chỉnh lưu bán kỳ để MCU tính điện áp hiệu dụng</i>	37
3.	<b>Khôi hiển thị LCD</b>	38
4.	<b>Node MCU ESP8266</b>	39
5.	<b>Khôi vi điều khiển trung tâm</b>	42
<b>CHƯƠNG 4: THIẾT KẾ PHẦN MỀM</b>		<b>45</b>
1.	<b>Yêu cầu thiết kế phần mềm</b>	45
2.	<b>Lưu đồ giải thuật chương trình chính</b>	45
<b>CHƯƠNG 5: KẾT QUẢ THỰC HIỆN</b>		<b>48</b>
1.	<b>Kết quả thực hiện</b>	48
2.	<b>Sai số phép đo</b>	51
2.1	<i>Sai số phép đo dòng điện và điện áp</i>	51
2.2	<i>Sai số phép đo năng lượng tiêu thụ</i>	52
<b>KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN</b>		<b>53</b>
1.	<b>Kết luận</b>	53
2.	<b>Hướng phát triển</b>	53
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO</b>		<b>54</b>
<b>PHỤ LỤC</b>		<b>55</b>

## DANH SÁCH HÌNH MINH HỌA

Hình 1-1: Tam giác công suất .....	3
Hình 1-2: Công tơ điện cơ khí .....	6
Hình 1-3: Cấu tạo công tơ điện cơ khí .....	6
Hình 1-4: Công tơ điện tử .....	7
Hình 1-5: Sơ đồ khối công tơ điện tử .....	8
Hình 1-6: Quy trình truyền chuẩn .....	9
Hình 2-1: Sơ đồ khối hoạt động của công tơ điện tử .....	11
Hình 2-2: Lấy mẫu rời rạc và chuyển tín hiệu tương tự sang số .....	12
Hình 2-3: Kiến trúc mạch thông dụng của công tơ điện tử sử dụng IC đo năng lượng.....	12
Hình 2-4: Sơ đồ khối tổng quan thiết kế.....	14
Hình 2-5: Sơ đồ khối chi tiết của khối xử lý tín hiệu .....	16
Hình 3-1: Sơ đồ khối và các chân của AD633 .....	17
Hình 3-2: Sơ đồ nguyên lý của AD633 .....	18
Hình 3-3: Các vùng của bộ lọc.....	19
Hình 3-4: Bộ lọc RC thụ động .....	19
Hình 3-5: Dạng đáp ứng tần số của các kiểu bộ lọc .....	20
Hình 3-6: Bảng hệ số $Q$ ở các bậc của bộ lọc Butterworth .....	20
Hình 3-7: Ảnh hưởng của bậc bộ lọc đối với bộ lọc thông thấp Butterworth.....	21
Hình 3-8: Bộ lọc bậc 2 VCVS.....	21
Hình 3-9: Thiết kế bộ lọc thông thấp bậc 2 với độ lợi là 1 .....	24
Hình 3-10: Sơ đồ nguyên lý của bộ lọc thông thấp tích cực Butterworth .....	25
Hình 3-11: Biểu đồ Bode của bộ lọc thông thấp (mô phỏng trên phần mềm Multisim).....	26
Hình 3-12: Sơ đồ chân của LM331 .....	27
Hình 3-13: Sơ đồ khối chức năng của LM331 .....	27
Hình 3-14: Sơ đồ khối đơn giản của mạch chuyển đổi $V$ to $F$ và các thành phần ngoại vi.....	28
Hình 3-15: Mạch chuyển đổi $V$ -To- $F$ độc lập đơn giản với độ tuyến tính điển hình $\pm 0,03\%$ ( $F = 10\text{ Hz}$ đến $11\text{ kHz}$ ).....	29
Hình 3-16: Sơ đồ nguyên lý của khối chuyển đổi điện áp - tần số của LM331.....	30
Hình 3-17: a) Diode thực tế không thể chỉnh lưu điện áp AC nhỏ vì điện áp rơi trên diode là $0,6\text{V}$ .....	32
Hình 3-18: a) Ngõ ra $V_0$ bằng 0 khi điện áp vào dương .....	33
Hình 3-19: Ngõ ra, ngõ vào và đặc tính chuyển đổi ngõ ra dương lý tưởng của mạch chỉnh lưu bán kì đảo .....	34

<i>Hình 3-20: Mạch khuếch đại không đảo .....</i>	35
<i>Hình 3-21: Sơ đồ nguyên lý khuếch đại tín hiệu của dòng điện .....</i>	35
<i>Hình 3-22: Sơ đồ nguyên lý mạch chỉnh lưu bán kỳ đảo của tín hiệu dòng điện.....</i>	36
<i>Hình 3-23: Sơ đồ nguyên lý chiết áp tín hiệu điện áp .....</i>	37
<i>Hình 3-24: Sơ đồ nguyên lý mạch chỉnh lưu bán kỳ đảo của tín hiệu điện áp.....</i>	38
<i>Hình 3-25: Sơ đồ nguyên lý khối LCD I2C .....</i>	39
<i>Hình 3-26: Node MCU ESP8266 .....</i>	40
<i>Hình 3-27: Node MCU ESP8266 .....</i>	41
<i>Hình 3-28: Giao diện trang web ThingSpeak.....</i>	42
<i>Hình 3-29: KIT STM32F407VET6 .....</i>	43
<i>Hình 3-30: Sơ đồ nối chân của KIT STM32F407VET .....</i>	44
<i>Hình 4-1: Lưu đồ giải thuật chương trình chính .....</i>	46
<i>Hình 4-2: Lưu đồ giải thuật của ESP8266 .....</i>	47
<i>Hình 5-1: Kết quả hiển thị với điện áp bằng 220V và dòng bằng 2.1A .....</i>	49
<i>Hình 5-2: Kết quả hiển thị với điện áp bằng 220V và dòng bằng 1.01A .....</i>	50
<i>Hình 5-3: Biểu đồ dòng điện hiển thị trên ThingSpeak sau mỗi 20s.....</i>	50
<i>Hình 5-4: Giá trị Wh hiển thị trên ThingSpeak sau mỗi 20s.....</i>	51



## DANH SÁCH BẢNG SỐ LIỆU

<i>Bảng 5-1: Giá trị tần số xung tương ứng với dòng và áp .....</i>	48
<i>Bảng 5-2: Giá trị tần số xung tương ứng với công suất tiêu thụ.....</i>	49
<i>Bảng 5-3: Sai số dòng điện so với Ampe Kìm Kewtech .....</i>	51
<i>Bảng 5-4: Sai số điện áp so với Ampe Kìm Kewtech .....</i>	52
<i>Bảng phụ lục 0-1: Các thông số kỹ thuật của AD633 .....</i>	55
<i>Bảng phụ lục 0-2: Các thông số kỹ thuật của LM331 .....</i>	56
<i>Bảng phụ lục 0-3: Các chân ra của KIT STM32F407VET6 .....</i>	57
<i>Bảng phụ lục 0-4: Các chân ra của Node MCU ESP8266.....</i>	58

## GIỚI THIỆU

### 1. Tổng quan

Công tơ điện tử đã cải thiện được những điểm yếu của công tơ cơ cũng như mang lại rất nhiều tiện ích cho ngành điện như nâng cao độ chính xác của công tơ, giảm tổn thất phi kỹ thuật do sai số của công tơ, nâng cao năng suất lao động, giảm thiểu nhân công ghi chữ thủ công, nâng cao năng lực quản lý, hệ thống hóa đo đếm bằng ứng dụng công nghệ thông tin, hệ thống viễn thông trong quản lý, hệ thống bảo mật.

Trong quá trình định hướng và tìm hiểu đề tài, em đã xem xét và quyết định chọn vi xử lý STM32F407VET của hãng STMicroelectronics cùng IC AD633 nhân tín hiệu của hãng Analog Devices và IC chuyển đổi tần số điện áp tần số LM331 của Texas Instruments để sử dụng cho thiết kế đề tài này. Trong giới hạn đề tài, nghiên cứu mô phỏng và thiết kế một điện kế điện tử dân dụng 1 pha hiển thị các giá trị điện áp, dòng điện và điện năng tiêu thụ, lưu trữ giá trị điện năng tiêu thụ phòng trường hợp mất điện, đồng thời có thêm kết nối IoT.

### 2. Nhiệm vụ đề tài

Nhiệm vụ đề tài là mô phỏng và thiết kế điện kế điện tử 1 pha với cấu tạo đơn giản, độ chính xác cao, giá thành thấp. Tuy nhiên, do giới hạn thời gian nên chưa thể thực hiện mạch hoàn chỉnh cũng như hiệu chỉnh độ chính xác cho thiết kế. Bên cạnh đó cũng có những định hướng phát triển tiếp theo cho đề tài. Nội dung đồ án gồm có 5 chương:

CHƯƠNG 1: LÝ THUYẾT ĐO CÔNG SUẤT VÀ NĂNG LƯỢNG ĐIỆN XOAY CHIỀU MỘT PHA TRONG CÔNG TƠ ĐIỆN TỬ

CHƯƠNG 2: TỔNG QUAN VỀ CÔNG TƠ ĐIỆN TỬ 1 PHA VÀ Ý TƯỞNG THIẾT KẾ ĐỀ TÀI

CHƯƠNG 3: THIẾT KẾ PHẦN CỨNG VÀ TÍNH TOÁN

CHƯƠNG 4: THIẾT KẾ PHẦN MỀM

CHƯƠNG 5: KẾT QUẢ THỰC HIỆN

## CHƯƠNG 1: LÝ THUYẾT VỀ CÔNG SUẤT VÀ NĂNG LƯỢNG ĐIỆN XOAY CHIỀU MỘT PHA TRONG CÔNG TƠ ĐIỆN

### 1. Công suất và năng lượng tiêu thụ trong mạch xoay chiều một pha:

Biểu thức của dòng điện, điện áp trong mạch xoay chiều:

$$i = \sqrt{2} I_{rms} \sin(\omega t + \varphi_i)$$

$$u = \sqrt{2} U_{rms} \sin(\omega t + \varphi_u)$$

$$p = u \cdot i = U_{rms} I_{rms} \cos \varphi - U_{rms} I_{rms} \cos(2\omega t + \varphi_i + \varphi_u)$$

trong đó  $i$ ,  $u$ ,  $P$ : trị số tức thời của dòng điện, điện áp, công suất.

$I_{rms}$  và  $U_{rms}$  là các giá trị hiệu dụng của dòng điện và hiệu điện thế

$\varphi_u$  và  $\varphi_i$  là pha ban đầu của điện áp và dòng điện.

Góc lệch pha giữa các đại lượng là hiệu số pha đầu của chúng. Góc lệch pha giữa điện áp và dòng điện thường kí hiệu là  $\varphi = \varphi_u - \varphi_i$

#### 1.1 Công suất tiêu thụ

Công suất tác dụng  $P$  đặc trưng cho quá trình biến đổi điện năng sang các dạng năng lượng khác như nhiệt năng, cơ năng, ... Công suất tiêu thụ xác định là giá trị trung bình của công suất trong 1 chu kỳ  $T$ .

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T u \cdot i \cdot dt = U_{rms} \cdot I_{rms} \cdot \cos \varphi$$

Trong trường hợp chung nếu một quá trình có chu kỳ với dạng đường cong bất kỳ thì công suất tác dụng là tổng các công suất của các thành phần sóng hài.

$$P = \sum_{k=1}^{\infty} P_k = \sum_{k=1}^{\infty} U_k \cdot I_k \cdot \cos \varphi_k$$

#### 1.2 Công suất phản kháng

Khi tính toán các thiết bị điện để đánh giá hiệu quả của chúng, người ta còn sử dụng khái niệm *công suất phản kháng*. Công suất phản kháng là loại công suất không sinh ra công, không truyền năng lượng qua một đơn vị thời gian. Đại lượng công suất phản kháng  $Q$  đặc trưng cho quá trình trao đổi năng lượng điện từ trường. Đối với áp và dòng hình sin thì *công suất phản kháng* được tính theo:

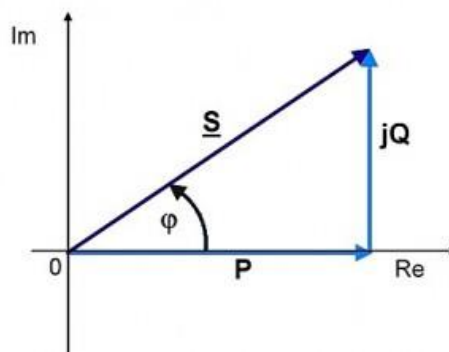
$$Q = U_{rms} \cdot I_{rms} \cdot \sin\varphi$$

### 1.3 Công suất toàn phần

Hợp của công suất hiệu dụng  $P$  và công suất phản kháng  $Q$  có công suất toàn phần  $S$  của thiết bị

$$S = U_{rms} \cdot I_{rms} = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Ba đại lượng  $S$ ,  $Q$ ,  $R$  quan hệ theo một tam giác vuông như, gọi là tam giác công suất.  $P$ ,  $Q$ ,  $S$  có cùng thứ nguyên nhưng để phân biệt người ta dùng các đơn vị khác nhau. Đơn vị của  $P$  là Watt, đơn vị của  $Q$  là VAR, đơn vị của  $S$  là VA.



Hình 1-1: Tam giác công suất

### 1.4 Hệ số công suất

Hệ số công suất trong trường hợp này được xác định như là tỉ số giữa công suất tác dụng và công suất toàn phần:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}$$

Đại lượng  $\cos\varphi$  được gọi là *hệ số công suất*, đánh giá hiệu suất sử dụng nguồn điện. Nâng cao hệ số  $\cos\varphi$  sẽ tăng được hiệu suất sử dụng nguồn, đồng thời làm giảm tiết diện dây dẫn truyền tải, giảm tổn hao điện năng. Việc xác định hệ số  $\cos\varphi$  cũng rất cần thiết.

### 1.5 Điện năng tiêu thụ

Điện năng tiêu thụ của mạch điện xoay chiều:

$$E = \int_{t_1}^{t_2} P dt = \int_{t_1}^{t_2} U_{rms} \cdot I_{rms} \cdot \cos\varphi dt$$

$t = t_2 - t_1$  là khoảng thời gian tiêu thụ của tải.

## 2. Phương pháp đo công suất trong mạch điện

Như vậy công tơ đo năng lượng điện phải bao gồm một bộ phận chuyển đổi để đo công suất, một bộ tích phân. Bộ chuyển đổi đo công suất được thực hiện theo nhiều công suất khác nhau gồm:

**Phương pháp cơ điện:** phép nhân được dựa trên cơ cấu chỉ thị như điện động, sắt điện động, tĩnh điện và cảm ứng, trong đó góc quay  $\alpha$  của phần động là hàm của công suất cần đo.

**Phương pháp điện:** phép nhân được thực hiện bởi các mạch nhân tương tự cũng như nhân số điện tử, tín hiệu ra của nó là hàm của công suất cần đo.

**Phương pháp nhiệt điện:** sử dụng phương pháp biến đổi thẳng công suất điện thành nhiệt. Phương pháp này thường được ứng dụng khi cần đo công suất và năng lượng trong mạch tần số cao cũng như của nguồn laser.

**Phương pháp so sánh:** là phương pháp chính xác vì thế nó thường được sử dụng để đo công suất trong mạch xoay chiều tần số cao.

Đo công suất trong xoay chiều một pha có các phương pháp đo cơ bản sau:

### 2.1 Đo bằng phương pháp cơ điện

Các phương pháp đo công suất bằng phương pháp cơ điện phổ biến gồm:

- + Đo công suất Watmet dùng chuyển đổi Hall
- + Đo công suất bằng phương pháp nhiệt điện

Trong thực tế thường đo trực tiếp công suất bằng watmet điện động và sắt điện động. Những dụng cụ đo này có thể đo công suất trong mạch một chiều và xoay chiều một pha tần số công nghiệp cũng như tần số siêu âm đến 15kHz. Với watmet điện động có thể đạt tới cấp chính xác là  $0,01 \div 0,1$  với tần số dưới 200Hz và trong mạch một chiều, ở tần số từ 200Hz ÷ 400Hz thì sai số đo là 0,1% và hơn nữa. Với watmet sắt điện động với tần số dưới 200Hz sai số đo là  $0,1 \div 0,5$  % còn với tần số từ 200Hz ÷ 400Hz thì sai số đo là 0,2 % và hơn nữa.

### 2.2 Đo bằng phương pháp điện

Khi đo công suất trong xoay chiều một pha theo phương pháp điện thì phép nhân được thực hiện bởi mạch nhân điện tử tương tự và số. Tín hiệu ra của chúng là hàm của công suất cần đo. Các phương pháp đo công suất bằng phương pháp điện phổ biến gồm:

- + Đo công suất bằng Watmet chỉnh lưu điện tử
- + Đo công suất Watmet dùng chuyển đổi Hall
- + Đo công suất bằng phương pháp nhiệt điện
- + Đo công suất bằng phương pháp điều chế tín hiệu

### **3. Các loại công tơ điện 1 pha trên thị trường**

Công tơ điện (đồng hồ điện) là thiết bị dùng để đo đếm lượng điện năng tiêu thụ của nơi sử dụng điện như hộ dân, công ty, nhà máy sản xuất. Đây là thiết bị để công ty điện lực Việt Nam EVN làm cơ sở tính tiền sử dụng điện hàng tháng cho khách hàng. Đơn vị đo hiệu chuẩn là Kilowat kí hiệu là kWh. Và được xác định vào đúng ngày của mỗi chu kỳ thanh toán. Trên thị trường chủ yếu 2 loại đó là: công tơ điện cơ khí, công tơ điện điện tử.

#### **3.1 Công tơ điện cơ khí 1 pha**

Công tơ được chế tạo dựa trên cơ cấu chỉ thị cảm ứng

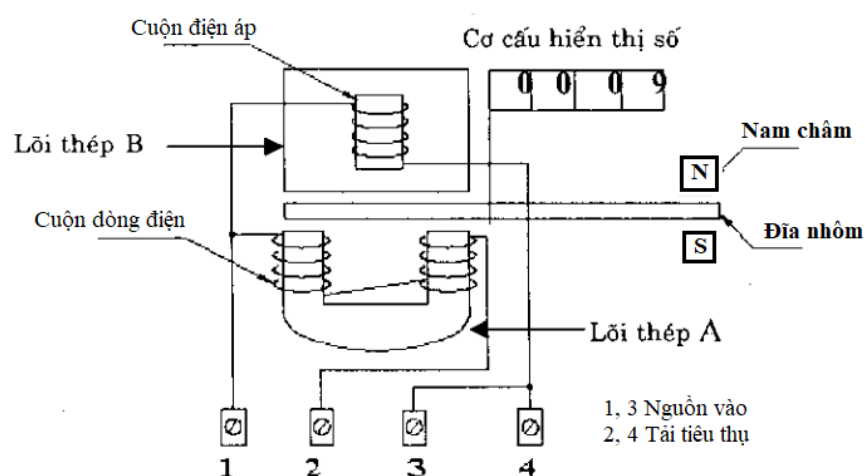
- + *Ý nghĩa các thông số kỹ thuật*
  - 220V: Điện áp định mức của công tơ.
  - 10(40)A: Dòng điện định mức của công tơ là 10A. Có thể sử dụng quá tải đến 40A mà vẫn đảm bảo độ chính xác. Nếu sử dụng quá 40A thì công tơ chạy không đảm bảo chính xác và có thể hỏng.
  - 450 vòng/kWh: Đĩa công tơ quay 450 vòng thì được 1kWh. 900 vòng/kWh, hoặc 225 vòng/kWh cũng tương tự.
  - Cấp 2: Cấp chính xác của công tơ. Sai số 2% toàn dải đo. Tương tự cho cấp 1, cấp 0.5. (Cấp càng nhỏ càng chính xác)
  - 50Hz: Tần số lưới điện



Hình 1-2: Công tơ điện cơ khí

+ Công tơ cơ có các bộ phận chính bao gồm:

- Cuộn dây 1 (tạo nên nam châm điện 1): gọi là cuộn áp được mắc song song với phụ tải. Cuộn này có số vòng dây nhiều, tiết diện dây nhỏ để chịu được điện áp cao.
- Cuộn dây 2 (tạo nên nam châm điện 2): gọi là cuộn dòng được mắc nối tiếp với phụ tải. Cuộn này dây to, số vòng ít, chịu được dòng lớn.
- Đĩa nhôm 3: được gắn lên trục từ vào trục có thể quay tự do giữa hai cuộn dây 1, 2.
- Hộp số cơ khí: gắn với trục của đĩa nhôm.
- Nam châm vĩnh cửu 4: có từ trường của nó xuyên qua đĩa nhôm để tạo ra mômen hãm.



Hình 1-3: Cấu tạo công tơ điện cơ khí

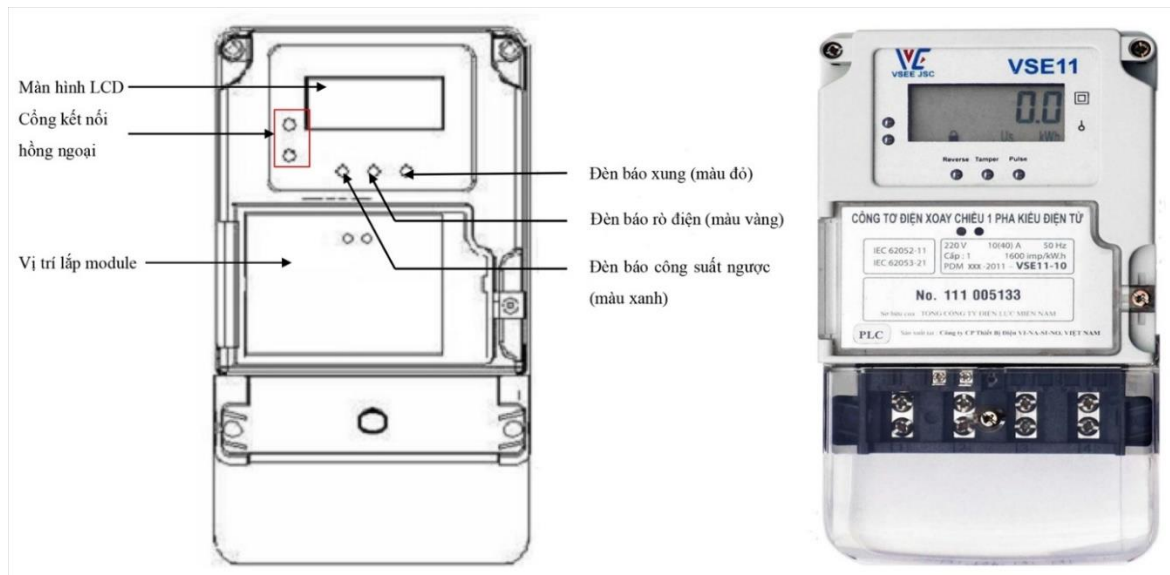
+ *Nguyên lý làm việc*: Khi có dòng điện  $I$  chạy trong phụ tải, qua cuộn dòng tạo ra từ thông  $\Phi_1$  cắt đĩa nhôm hai lần. Đồng thời điện áp  $U$  được đặt vào cuộn áp sinh ra dòng  $I_u$ , dòng này chạy trong cuộn áp tạo thành hai từ thông:

$\Phi_U$ : là từ thông làm việc, xuyên qua đĩa nhôm

$\Phi_1$ : không xuyên qua đĩa nhôm do vậy mà không tham gia việc tạo ra mômen quay.

### 3.2 Công tơ điện tử 1 pha

Công tơ điện tử là thiết bị đo công suất tiêu thụ điện sử dụng chip điện tử để lập trình đo, tính toán và lưu trữ dữ liệu theo thời gian thực. Bên cạnh đó công tơ điện tử còn có khả năng kết nối truyền thông với các thiết bị khác như thiết bị đọc dữ liệu qua sóng hồng ngoại, radio, ... thậm chí có thể kết nối các công tơ điện trong cùng mạng điện bằng phương pháp truyền tín hiệu trên đường dây tải điện.



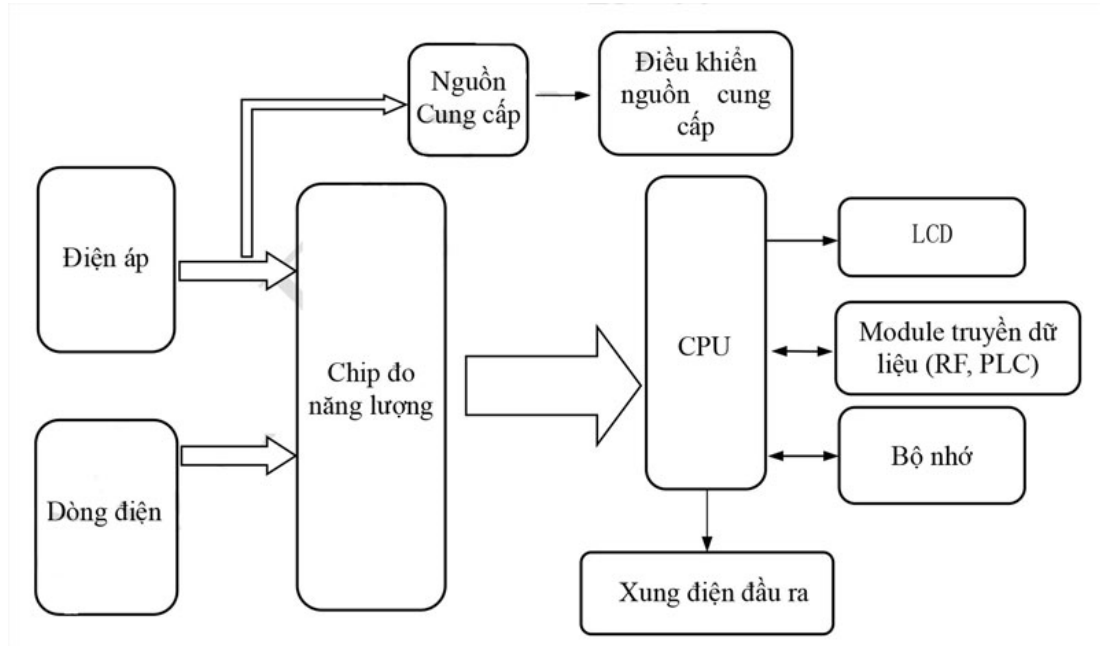
Hình 1-4: Công tơ điện tử

+ *Ý nghĩa các thông số kỹ thuật*

- Điện áp định mức: 220V
- Dòng điện 10(40)A: Dòng điện định mức của công tơ là 10A. Có thể sử dụng quá tải đến 40A mà vẫn đảm bảo độ chính xác. Nếu sử dụng quá 40A thì công tơ chạy không đảm bảo chính xác và có thể hỏng.
- Tần số làm việc:  $50\text{Hz} \pm 1\text{Hz}$
- Hằng số công tơ: 1600imp/kWh công tơ xuất 1600 xung ra đèn LED tương ứng với 1kWh.
- Nguồn cung cấp:  $0.8U_n \leq U \leq 1.2U_n$



- Cấp chính xác: 1



Hình 1-5: Sơ đồ khối công tơ điện tử

#### + Chức năng

- Đo đếm điện năng, dòng điện, điện áp và hiển thị lên màn hình LCD.
- Có cảnh báo lỗi công suất ngược, và lỗi phản cứng.
- Đọc dữ liệu qua module PLC (đọc chỉ số công tơ bằng công nghệ PLC) và sóng RF (đọc chỉ số công tơ bằng handheld và bộ tập trung).
- Có thể tích hợp thêm các module chức năng theo mục đích người sử dụng

### 4. Thiết bị mẫu và cách truyền chuẩn

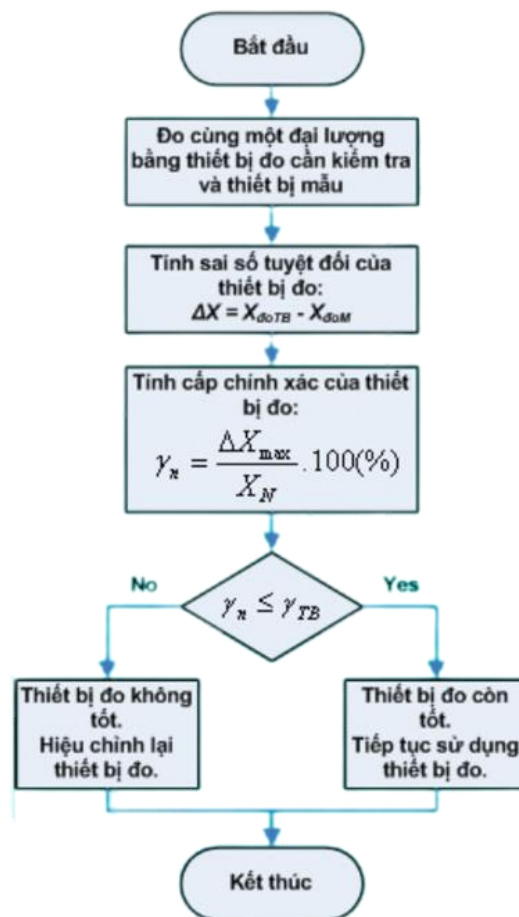
#### 4.1 Thiết bị mẫu

- + **Định nghĩa:** thiết bị mẫu là thiết bị đo để khôi phục một đại lượng vật lý nhất định.
- + **Đặc điểm:**
  - Thiết bị mẫu phải có độ chính xác rất cao từ 0,001% đến 0,1% tùy theo từng cấp, từng loại.
  - Mẫu chính là dụng cụ đo dùng để kiểm tra và chuẩn hoá các dụng cụ đo khác.
  - Dụng cụ mẫu nói chung đắt tiền và yêu cầu bảo quản, vận hành rất nghiêm ngặt nên chỉ sử dụng khi cần thiết.
  - Các dụng cụ mẫu có cấp chính xác thấp hơn dụng cụ chuẩn và thường dùng để kiểm định các dụng cụ đo sản xuất.

#### 4.2 Cách truyền chuẩn

- + *Định nghĩa*: một hệ thống truyền chuẩn thường được thiết kế dưới dạng một hệ thống kiểm tra thiết bị đo. Nó bao gồm thiết bị, phương pháp và độ chính xác của việc truyền từ thiết bị chuẩn cho đến các thiết bị mẫu hay thiết bị làm việc.
- + *Quá trình truyền chuẩn*:

Để kiểm tra thiết bị đo có thể áp dụng các phương pháp: Sử dụng dụng cụ đo với độ chính xác cao (thiết bị mẫu), so sánh chỉ số của dụng cụ được kiểm tra với thiết bị mẫu: sử dụng thiết bị đo cần kiểm tra và thiết bị mẫu (phải chính xác hơn thiết bị đo cần kiểm tra ít nhất 2 cấp) để đo cùng một đại lượng, tính cấp chính xác của dụng cụ đo  $\gamma_n$  và so sánh với cấp chính xác ghi trên dụng cụ đo  $\gamma_{TB}$  từ đó suy ra thiết bị đo còn sử dụng được hay phải hiệu chỉnh. Quá trình kiểm tra như lưu đồ hình.



Hình 1-6: Quy trình truyền chuẩn

### 4.3 Cấp chính xác

Sai số tuyệt đối  $\Delta X$  là hiệu giữa đại lượng đo  $X$  và giá trị thực  $X_{TH}$ :  $\Delta X = X - X_{TH}$

Cấp chính xác của dụng cụ đo là giá trị sai số cực đại mà dụng cụ đo mắc phải. Cấp chính xác của dụng cụ đo được qui định đúng bằng sai số tương đối qui đổi của dụng cụ đó và được Nhà nước qui định cụ thể:

$$\gamma_{qđx} = \left| \frac{\Delta X_m}{X_m} \right| \cdot 100\%$$

với  $\Delta X_m$ - sai số tuyệt đối cực đại

$X_m$ - giá trị lớn nhất của thang đo.

## CHƯƠNG 2: TỔNG QUAN VỀ CÔNG TƠ ĐIỆN TỬ 1 PHA VÀ Ý TƯỞNG THIẾT KẾ ĐỀ TÀI

### 1. Lý thuyết về thiết kế của công tơ điện 1 pha

#### 1.1 Nguyên lý hoạt động của công tơ điện tử

Nguyên tắc hoạt động của công tơ điện tử được thực hiện bằng cách biến đổi dòng điện  $I$  thành điện áp  $U_1$  tỉ lệ với nó:

$$U_1 = k_1 \cdot I$$

Mặt khác biến đổi điện áp rơi trên phụ tải thành điện áp  $U_2$  tỷ lệ với  $U$

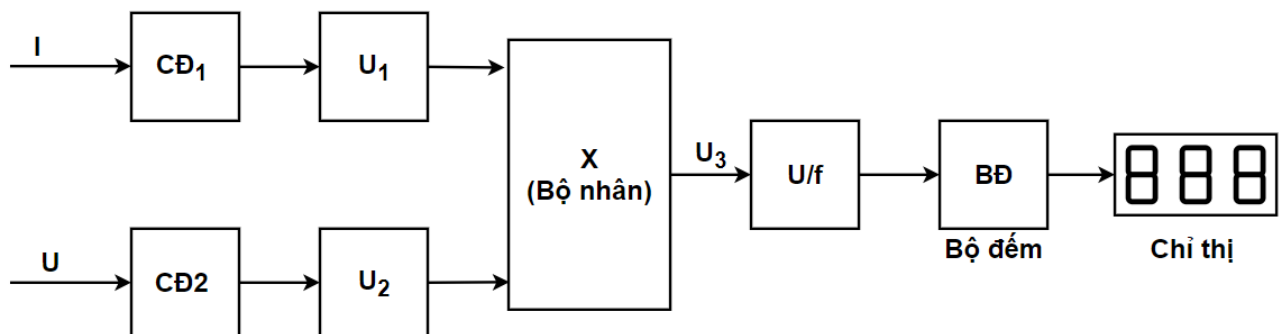
$$U_2 = k_2 \cdot U$$

Hai điện áp  $U_1$  và  $U_2$  được đưa qua bộ nhân điện tử (nhân analog) để có được điện áp đầu ra  $U_3$

$$U_3 = k_3 \cdot U_1 \cdot U_2 = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot U \cdot I = K \cdot P$$

Điện áp này sau khi qua bộ biến đổi điện áp – tần số (hoặc A/D) đưa vào bộ đếm. Số chỉ của cơ cấu chỉ thị số tỷ lệ với điện năng tiêu thụ của tải trong khoảng thời gian đo.

Tất cả các bộ biến đổi trên đều thực hiện bằng mạch điện tử.



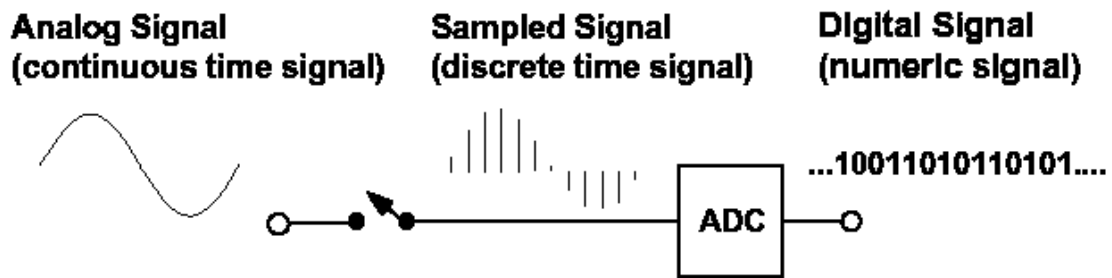
*Hình 2-1: Sơ đồ khối hoạt động của công tơ điện tử*

Nhược điểm của công tơ điện tử là khi mất điện chỉ thị số không lưu giữ được kết quả đo trong khoảng thời gian dài. Vì vậy để khắc phục nhược điểm trên ngày nay người ta thực hiện đo điện năng trên các mạch vi xử lý có bộ phận lưu giữ kết quả khi mất điện (chẳng hạn như lưu giá trị điện năng vào bộ nhớ EEPROM) hoặc phải thực hiện qua khâu trung gian để biến kết quả đo thể hiện trên các bộ chỉ thị cơ khí. Quá trình trên làm sơ đồ phức tạp và giá thành cao.

Công tơ điện tử có thể đạt tới cấp chính xác 0.5.

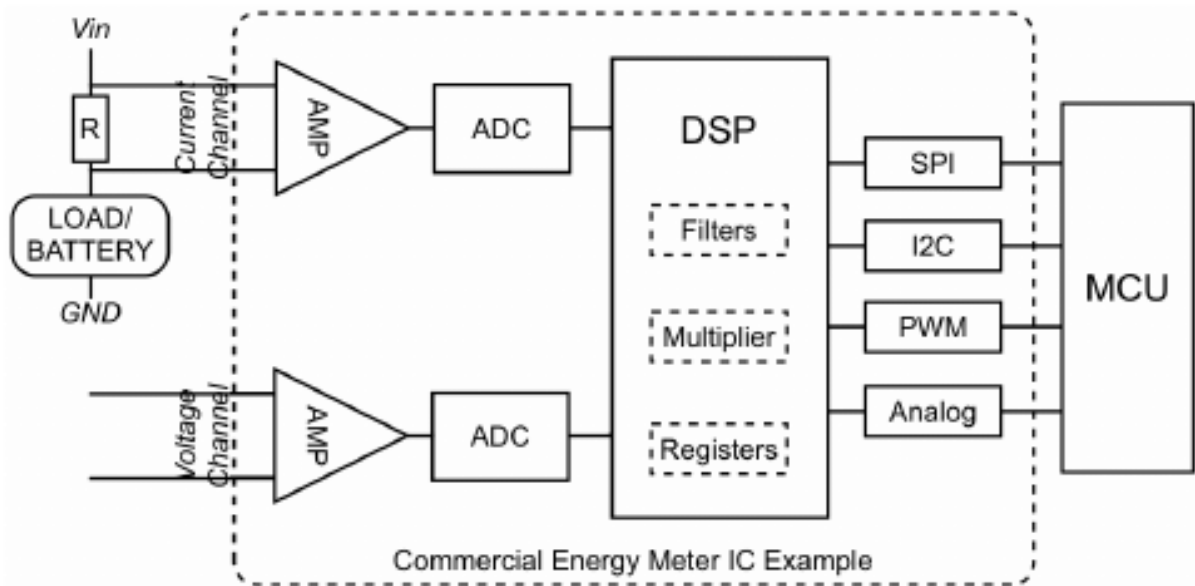
## 1.2 Công tơ điện tử sử dụng IC đo năng lượng

Từ nguyên lý trên cùng với sự phát triển của kỹ thuật số, các thiết bị đo điện năng điện tử hiện nay đã chế tạo loại IC chuyên dụng có khả năng đo các đại lượng điện bằng phương pháp số hóa các tín hiệu dòng và áp đo được qua bộ chuyển đổi ADC (Analog to Digital Converter) và đưa vào khối xử lý tín hiệu số DSP (Digital Signal Processing).



Hình 2-2: Lấy mẫu rời rạc và chuyển tín hiệu tương tự sang số

Khi số hóa, các tín hiệu tương tự liên tục sẽ được lấy mẫu thành tín hiệu rời rạc. Tín hiệu sau khi được lấy mẫu sẽ đi qua bộ chuyển đổi ADC trở thành tín hiệu số dưới dạng mã nhị phân hay mã Hex.



Hình 2-3: Kiến trúc mạch thông dụng của công tơ điện tử sử dụng IC đo năng lượng

Tín hiệu số sau khi qua bộ chuyển đổi ADC sẽ được đưa vào khối vi xử lý tín hiệu số DSP (bao gồm các bộ lọc, bộ nhân và các thanh ghi, ...) xử lý, tính toán cho ra kết quả các đại lượng cần đo, số liệu sau đo được lưu trong các thanh ghi hoặc được truyền ra để giao tiếp với các ngoại vi khác thông qua các chuẩn giao tiếp như SPI, I2C, ...

Với cấu trúc này ADC đã được tích hợp các chức năng DSP trên một chip, cho đầu ra là các đại lượng cần đo, người dùng chỉ cần đọc lưu giữ bằng bộ nhớ, truyền thông với MCU và đưa ra hiển thị theo yêu cầu. Với cấu trúc này, các ADC được chế tạo chuyên biệt nên độ chính xác cao, thuận tiện hơn khi sử dụng, phù hợp cho việc tạo ra công tơ điện tử với thiết kế nhỏ gọn, độ chính xác cao cũng như giá thành thấp.

## **2. Ý tưởng thiết kế đề tài**

### **2.1 Yêu cầu thiết kế**

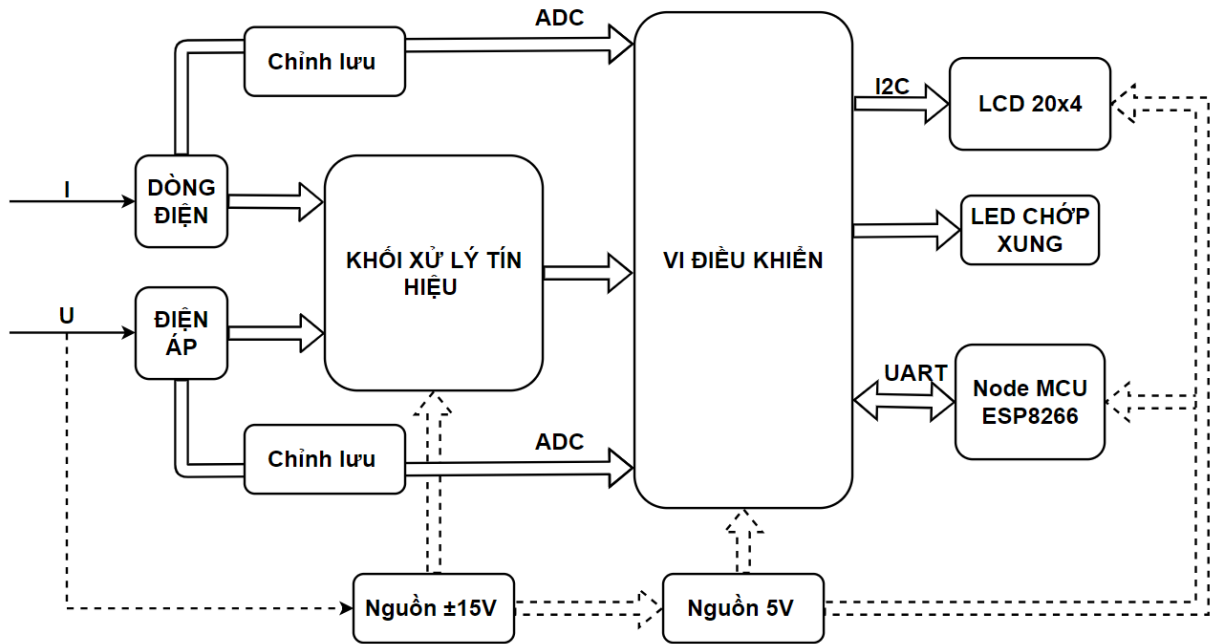
Dựa vào mục đích nghiên cứu và thiết kế thì yêu cầu của đề tài được đặt ra như sau:

- Thực hiện đo và hiển thị các đại lượng điện như số kWh, dòng điện và điện áp hiệu dụng, hệ số công suất lên màn hình LCD
- Đo điện áp sinh hoạt 220VAC~50Hz
- Dòng tải tối đa là 10A
- Sai số < 5%
- Hiển thị chớp đèn theo hệ số công tơ điện imp/kWh
- Kết hợp IoT gửi giá trị điện năng tiêu thụ lên trang web để quan sát.

### **2.2 Sơ đồ khối của thiết kế**

#### **2.2.1 Sơ đồ khối tổng quát**

Trên nguyên lý hoạt động của công tơ điện được trình bày như trên, sau khi nghiên cứu và tìm hiểu đã xây dựng được sơ đồ khối tổng quát gồm các khối như sau:



Hình 2-4: Sơ đồ khối tổng quan thiết kế

**Khối nguồn cung cấp:** Cung cấp nguồn điện hoạt động cho toàn bộ hệ thống, trực tiếp lấy từ lưới điện 220V, biến đổi thành nguồn tuyến tính với các mức điện áp  $\pm 15V$  và 5V. Mức điện áp  $\pm 15V$  để cung cấp cho các linh kiện trong Khối xử lý tín hiệu. Mức 5V để cung cấp cho các Khối vi điều khiển, Module ESP8266 và Khối hiển thị LCD 20x4.

**Khối dòng điện:** Trong thực tế, khối dòng điện sử dụng biến dòng để biến đổi thành tín hiệu dòng điện từ mạch tải tiêu thụ thành tín hiệu có điện áp tỷ lệ. Tuy nhiên, trong đề tài sử dụng một biến áp tự ngẫu và điện trở công suất như điện trở shunt với mục đích thay đổi điện áp dẫn đến thay đổi dòng điện thay vì thay đổi tải như trong thực tế. Khối gồm có 2 phần:

*Phần 1* đưa tín hiệu vào mạch khuếch đại để điều chỉnh tỷ lệ điện áp phù hợp sau đó đưa vào trong Khối xử lý tín hiệu để thực hiện nhân.

*Phần 2* đưa tín hiệu vào mạch chỉnh lưu bán kỳ âm sử dụng Opamp để đưa tín hiệu AC về dạng DC. Sau đó đưa vào kênh ADC của Khối vi điều khiển để đọc và hiển thị giá trị dòng điện hiệu dụng.

**Khối điện áp:** Khối điện áp sử dụng biến áp để hạ áp từ mạch tải tiêu thụ xuống mức điện áp phù hợp. Khối gồm có 2 phần:

*Phần 1* đưa tín hiệu vào mạch phân áp để điều chỉnh tỷ lệ điện áp phù hợp sau đó đưa vào trong Khối xử lý tín hiệu để thực hiện nhân.

*Phần 2* đưa tín hiệu vào mạch chỉnh lưu bán kỳ âm sử dụng Opamp để đưa tín hiệu AC về dạng DC. Sau đó đưa vào kênh ADC của Khối vi điều khiển để đọc và hiển thị giá trị điện áp hiệu dụng.

**Khối xử lý tín hiệu:** Tín hiệu điện từ khối điện áp và khối dòng điện được đưa vào khối xử lý tín hiệu để thực hiện phép nhân analog cho ra tín hiệu điện áp có giá trị tỉ lệ với công suất trung bình P. Tiếp tục chuyển đổi tín hiệu điện áp này thành tín hiệu tần số tương ứng để đưa vào Khối vi điều khiển để tính toán và hiển thị giá trị điện năng tiêu thụ trên mạch tải.

**Khối vi điều khiển:** Thực hiện các hoạt động đọc giá trị ADC của các đại lượng dòng điện, điện áp và giá trị tần số từ Khối xử lý tín hiệu để tính toán và hiển thị lên Khối LCD các đại lượng dòng điện, điện áp hiệu dụng, hệ số công suất và số điện năng tiêu thụ. Đồng thời cũng lưu giá trị điện năng tiêu thụ vào bộ nhớ FLASH phòng trường hợp mất điện. Từ hệ số công tơ điện tính toán được từ thiết kế, Khối vi điều khiển sẽ xuất tín hiệu điều khiển LED chớp với tần số tương ứng với hệ số công tơ điện imp/kWh. Bên cạnh đó, Khối vi điều khiển cũng giao tiếp với Module ESP8266 gửi dữ liệu lên web để quan sát.

**Khối Node MCU ESP8266:** Kết nối mạng với wifi và giao tiếp với Khối vi điều khiển thông qua UART, nhận dữ liệu và gửi lên trang web để quan sát.

**Khối hiển thị LCD 20x4:** Thực hiện chức năng hiển thị các đại lượng điện cần đo. Có kết hợp với Module chuyển đổi I2C để giao tiếp với Khối điều khiển đơn giản hơn.

**Đèn LED:** Được điều khiển bởi Khối vi điều khiển để chớp theo tần số của hệ số công tơ điện.

### 2.2.2 Sơ đồ khối của khối xử lý tín hiệu

Trong mạch điện xoay chiều một pha, các biểu thức của dòng điện, điện áp và công suất tức thời được trình bày ở chương trước:

$$i = \sqrt{2} I_{rms} \sin(\omega t + \varphi_i)$$

$$u = \sqrt{2} U_{rms} \sin(\omega t + \varphi_u)$$

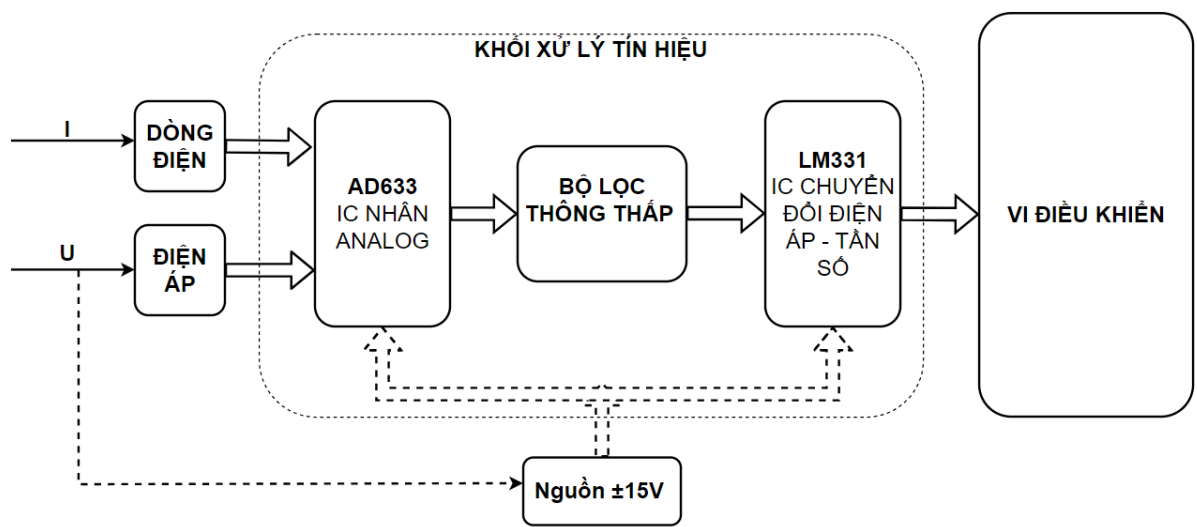


$$p = u \cdot i = U_{rms} I_{rms} \cos \varphi - U_{rms} I_{rms} \cos (2\omega t + \varphi_i + \varphi_u)$$

Trong khi đó công suất tiêu thụ xác định là giá trị trung bình của công suất trong 1 chu kỳ T.

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T u \cdot i \cdot dt = U_{rms} \cdot I_{rms} \cdot \cos \varphi$$

Từ đó có thể thấy biểu thức tín hiệu công suất trung bình tương đương với tín hiệu công suất tức thời khi lọc bỏ đi thành phần có tần số  $2\omega t$  và bằng  $U_{rms} \cdot I_{rms} \cdot \cos \varphi$ . Do đó, Khối xử lý tín hiệu được thiết kế gồm các khối như sau:



Hình 2-5: Sơ đồ khối chi tiết của khối xử lý tín hiệu

**IC nhân tín hiệu AD633:** IC thực hiện chức năng nhân analog hai tín hiệu điện áp tức thời và dòng điện tức thời, cho kết quả tín hiệu đầu ra là tín hiệu điện áp tỷ lệ với tín hiệu công suất tức thời.

**Bộ lọc thông thấp:** Thực hiện lọc thông thấp loại bỏ thành phần tín hiệu có tần số  $2\omega t$  của tín hiệu từ ngõ ra của AD633 để cho ra tín hiệu điện áp tỷ lệ với tín hiệu công suất trung bình.

**IC chuyển đổi điện áp – tần số LM331:** Chuyển đổi tín hiệu điện áp sau khi được lọc thông thấp thành tín hiệu có tần số tỷ lệ. Sau đó đưa tín hiệu tần số vào Khối vi điều khiển để thực hiện tính toán điện năng tiêu thụ.

### CHƯƠNG 3: THIẾT KẾ PHẦN CỨNG VÀ TÍNH TOÁN

#### 1. Khối xử lý tín hiệu

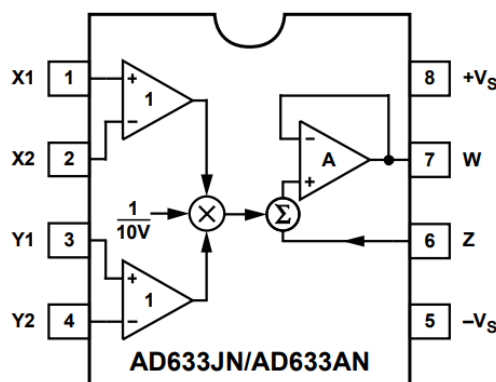
##### 1.1 IC nhân tín hiệu analog AD633

###### 1.1.1 Giới thiệu về IC AD633

AD633 là một IC được sản xuất bởi hãng Analog Devices hoạt động như một bộ nhân nhân tương tự, sử dụng phép nhân bốn góc phần tư (4 – quadrant multiplication), hoàn chỉnh về mặt chức năng. Nó bao gồm trở kháng cao, đầu vào X và Y vi sai và đầu vào tổng trở kháng cao (Z). Đầu vào Z cung cấp quyền truy cập vào bộ khuếch đại bộ đệm đầu ra, cho phép người dùng tính tổng đầu ra của hai hoặc nhiều hệ số nhân, tăng độ lợi của hệ số nhân, chuyển đổi điện áp đầu ra thành dòng điện và định cấu hình nhiều ứng dụng khác nhau.

- + Độ chính xác và độ ổn định được hiệu chuẩn bằng laser.
- + Sai số toàn phần trong khoảng 2% giá trị toàn thang.
- + Nguồn cung cấp  $\pm 15V$
- + Dòng tiêu thụ lớn nhất: 6mA
- + Phạm vi điện áp ngõ vào vi sai của X1,X2 và Y1,Y2 là  $\pm 10V$
- + Ngõ ra điện áp swing là  $\pm 11V$ .

Được ứng dụng thực hiện các phép nhân, chia, bình phương; điều chế/giải điều chế; tách sóng pha; điều khiển bộ khuếch đại điện áp/bộ suy giảm/bộ lọc và đo công suất.



Hình 3-1: Sơ đồ khối và các chân của AD633

AD633 bao gồm một lõi tuyến tính, một tham chiếu Zener ẩn, và một bộ khuếch đại đầu ra được kết nối với hệ số khuếch đại đơn với một chân Z tùy chỉnh cộng thêm vào. Điện áp đầu vào vi sai của X và Y được chuyển đổi thành các dòng vi sai bằng các bộ chuyển đổi từ điện áp thành dòng. Ngõ ra của các dòng này được nhân bởi “multiplying

core”. Tham chiếu Zener ảnh hưởng cung cấp một tỷ lệ tổng quát là 10 V. Bộ khuếch đại đầu ra cho biểu thức  $(X \times Y)/10 + Z$ . Bộ khuếch đại cộng chân Z cho phép người dùng cộng hai hoặc nhiều đầu ra của bộ nhân, chuyển đổi điện áp đầu ra thành dòng, và cấu hình các chức năng tính toán analog.

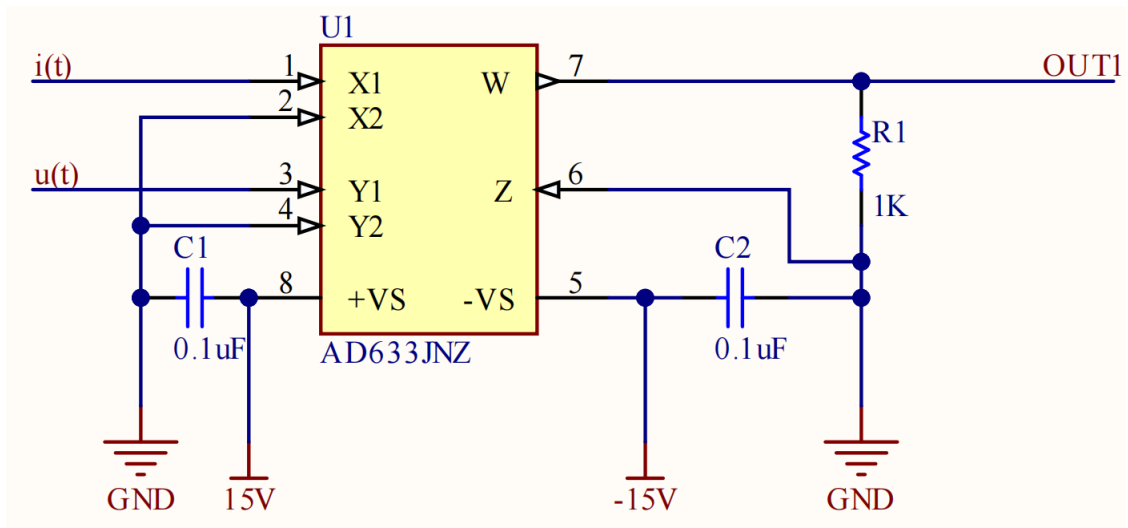
Từ đó sơ đồ khối cho thấy biểu thức chuyển đổi tổng quát là:

$$W = \frac{(X_1 - X_2) \times (Y_1 - Y_2)}{10} + Z$$

### 1.1.2 Tính toán và sơ đồ nguyên lý

Vì AD633 được thiết kế với chức năng hoàn chỉnh nên chỉ cần cấp nguồn và đưa tín hiệu điện áp tức thời từ Khối điện áp vào Kênh  $X_1, X_2$ ; tín hiệu dòng điện tức thời vào Kênh  $Y_1, Y_2$  đã có thể thực hiện phép nhân 2 tín hiệu trên cho ngõ ra W là tín hiệu của công suất tức thời chia cho hệ số tỷ lệ là 10. Chân Z tùy chỉnh được nối chung với đất vì không sử dụng. Ngõ vào  $X_1$  mang tín hiệu của dòng điện được đặt nhãn là  $i(t)$  và ngõ vào  $X_2$  mang tín hiệu của điện áp được đặt nhãn là  $u(t)$ . Điện trở  $1k\Omega$  được thêm vào ở ngõ ra W để hạn dòng.

Ngõ ra của AD633 được đặt nhãn là OUT1 và được nối tiếp tục sang bộ lọc thông thấp tích cực để tiếp tục xử lý.

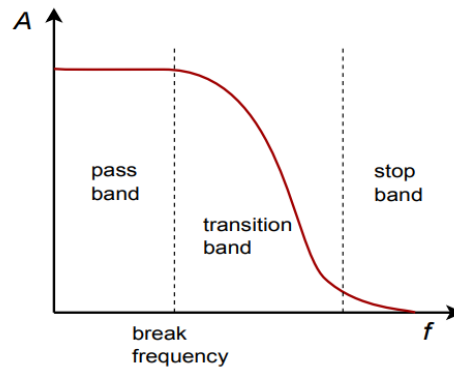


Hình 3-2: Sơ đồ nguyên lý của AD633

## 1.2 Bộ lọc thông thấp tích cực

### 1.2.1 Lý thuyết về bộ lọc thông thấp tích cực

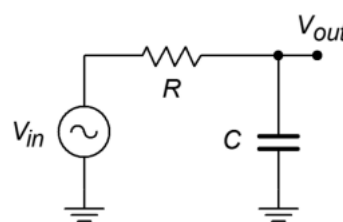
Bộ lọc thông thấp chỉ cho phép các tín hiệu tần số thấp đi qua, đồng thời triệt tiêu các thành phần tần số cao. Phản hồi của nó được thể hiện trong Hình



Hình 3-3: Các vùng của bộ lọc

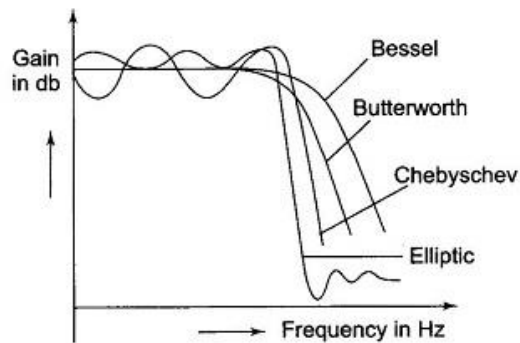
Trong biểu đồ, có ba vùng cơ bản. Vùng phẳng nơi tín hiệu đầu vào được phép đi qua được gọi là dải thông (pass band). Biên của dải thông được biểu thị bằng tần số cắt. Tần số cắt thường được định nghĩa là điểm tại đó đáp ứng giảm 3 dB so với giá trị bằng thông của nó. Vùng mà tín hiệu đầu vào bị triệt tiêu hoàn toàn được gọi là dải dừng (stop band). Phần giữa dải thông và dải chặn được gọi là dải chuyển tiếp.

Bộ lọc tích cực mang lại nhiều lợi thế so với bộ lọc RC. Trước hết, bộ lọc RC luôn luôn có mất mát tín hiệu nào đó ở dải thông trong khi ở bộ lọc tích cực độ lợi bằng thông sẽ bằng 0 dB. Thêm vào đó, bộ lọc tích cực có thể được thực hiện với tăng độ lợi cho tín hiệu theo mong muốn. Các bộ lọc hoạt động cũng cho phép cách ly giữa các tầng và kiểm soát trở kháng đầu vào và đầu ra. Điều này làm giảm bớt các vấn đề về tải giữa các giai đoạn và đơn giản hóa các thiết kế phức tạp. Nó cũng tạo ra kích thước linh kiện khiêm tốn. Một ưu điểm khác là các bộ lọc phức tạp có thể được thực hiện mà không cần sử dụng cuộn cảm. Điều này là mong muốn, vì cuộn cảm thực tế có xu hướng kém lý tưởng hơn nhiều so với điện trở và tụ điện thông thường và thường đắt hơn. Điểm mấu chốt là cách tiếp cận tích cực cho phép thiết kế nhanh chóng các bộ lọc ổn định, tiết kiệm trong nhiều ứng dụng.



Hình 3-4: Bộ lọc RC thụ động

Hình dạng của dải chuyển tiếp được xác định bởi lớp hoặc căn chỉnh của bộ lọc. Các thuật ngữ này đồng nghĩa và phản ánh hệ số giảm chấn của bộ lọc. Hệ số giảm chấn là nghịch đảo của  $Q$ , hệ số chất lượng. Ký hiệu hệ số giảm chấn là  $\alpha$ . Căn chỉnh đóng vai trò quan trọng trong việc xác định hình dạng của vùng chuyển tiếp và trong một số trường hợp, cả hình dạng dải thông hoặc dải chắn. Có nhiều kiểu căn chỉnh được sử dụng như Bessel, Butterworth, Chebyshev và Eliptic. Trong đó kiểu căn chỉnh phổ biến nhất là Butterworth. Butterworth được đặc trưng bởi biên độ và đáp ứng pha vừa phải. Nó thể hiện tốc độ cuộn nhanh nhất của bất kỳ bộ lọc đơn điệu nào (tức là độ dốc đơn hoặc trơn tru). Đây cũng là bộ lọc duy nhất có tần số giảm 3 dB bằng tần số tới hạn của nó ( $f_{3dB} = f_c$ ). Butterworth tạo ra một bộ lọc đa năng tuyệt vời và được sử dụng rộng rãi.



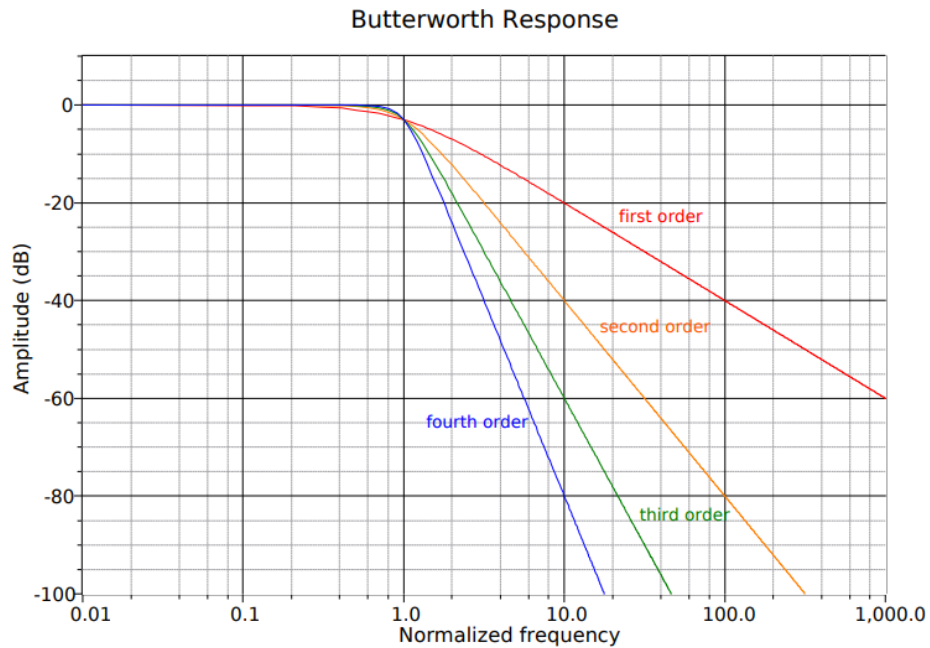
Hình 3-5: Dạng đáp ứng tần số của các kiểu bộ lọc

FILTER ORDER	Stage 1		Stage 2		Stage 3		Stage 4		Stage 5	
	FSF	Q	FSF	Q	FSF	Q	FSF	Q	FSF	Q
2	1.000	0.7071								
3	1.000	1.0000	1.000							
4	1.000	0.5412	1.000	1.3065						
5	1.000	0.6180	1.000	1.6181	1.000					
6	1.000	0.5177	1.000	0.7071	1.000	1.9320				
7	1.000	0.5549	1.000	0.8019	1.000	2.2472	1.000			
8	1.000	0.5098	1.000	0.6013	1.000	0.8999	1.000	2.5628		
9	1.000	0.5321	1.000	0.6527	1.000	1.0000	1.000	2.8802	1.000	
10	1.000	0.5062	1.000	0.5612	1.000	0.7071	1.000	1.1013	1.000	3.1969

Hình 3-6: Bảng hệ số  $Q$  ở các bậc của bộ lọc Butterworth

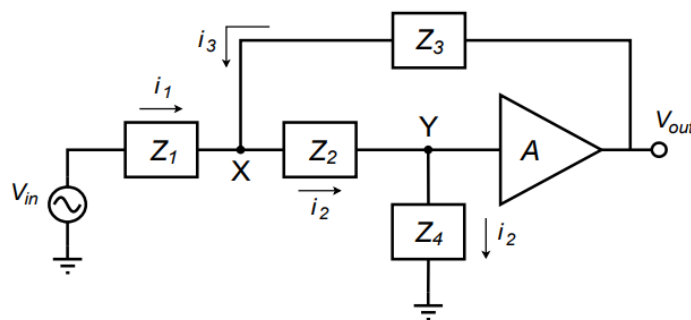
Tốc độ phản hồi của bộ lọc ở dải chuyển tiếp được xác định theo bậc của bộ lọc. Bậc của bộ lọc càng cao thì tốc độ roll-off của nó càng nhanh. Bậc của bộ lọc được đưa ra dưới dạng giá trị nguyên và được lấy từ hàm truyền của bộ lọc. Theo quan sát chung có thể đưa ra rằng tốc độ roll-off của bộ lọc sẽ đạt tới 6 dB trên mỗi quãng tám trên mỗi cực (20 dB mỗi decade trên mỗi cực). Do đó, bộ lọc bậc hai (tức là hai cực) sẽ hoạt động

với độ dốc 12 dB mỗi octave (40 dB mỗi decade) và bộ lọc bậc ba (tức là ba cực) cuối cùng sẽ hoạt động với độ dốc 18 dB mỗi octave (60 dB mỗi decade).



Hình 3-7: Ảnh hưởng của bậc bộ lọc đối với bộ lọc thông thấp Butterworth

Có nhiều cách có thể để tạo bộ lọc tích cực. Có lẽ các dạng phổ biến nhất để hiện thực hóa các bộ lọc thông cao và thông thấp đang hoạt động là các mô hình Nguồn điện áp điều khiển điện áp Sallen và Key (Voltage – Controlled Voltage Source. Đúng như tên gọi, các biểu mẫu Sallen và Key dựa trên VCVS, sử dụng phản hồi âm song song theo chuỗi. Mạch chung cho các mô hình này được thể hiện trong hình. Mạch này là phần hai cực (bậc hai) và có thể được cấu hình để lọc thông cao hoặc thông thấp. Khối khuếch đại sẽ sử dụng op amp, mặc dù có thể sử dụng bộ khuếch đại rời. Ngoài bộ khuếch đại, mạch còn có bốn trở kháng chung. Thông thường, mỗi phần tử là một điện trở hoặc một tụ điện. Việc lựa chọn loại thành phần sẽ xác định loại bộ lọc.



Hình 3-8: Bộ lọc bậc 2 VCVS

Thiết kế bộ lọc Bộ lọc thông thấp sẽ sử dụng điện trở cho hai phần tử đầu tiên và tụ điện cho phần tử thứ ba trở đi. Sử dụng toán tử  $s$  chúng ta tìm được  $Z_1 = R_1$ ,  $Z_2 = R_2$ ,  $Z_3 = 1/sC_1$ , và  $Z_4 = 1/sC_2$

$$\begin{aligned}\frac{V_{out}}{V_{in}} &= \frac{A}{\frac{Z_1}{Z_4} + \frac{Z_1}{Z_3}(1-A) + \frac{Z_1 Z_2}{Z_3 Z_4} + \frac{Z_2}{Z_4} + 1} \\ \frac{V_{out}}{V_{in}} &= \frac{A}{sR_1C_2 + sR_1C_1(1-A) + s^2R_1R_2C_1C_2 + sR_2C_2 + 1} \\ \frac{V_{out}}{V_{in}} &= \frac{A}{s^2R_1R_2C_1C_2 + s(R_1C_2 + R_2C_2 + R_1C_1(1-A)) + 1}\end{aligned}$$

Lũy thừa cao nhất của  $s$  trong mẫu số xác định số cực trong bộ lọc. Vì đây là số 2 nên bộ lọc phải là loại 2 cực (bậc hai).

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{A/R_1R_2C_1C_2}{s^2 + s\left(\frac{1}{R_2C_1} + \frac{1}{R_1C_1} + \frac{1}{R_2C_2}(1-A)\right) + \frac{1}{R_1R_2C_1C_2}}$$

Dạng tổng quát của một nhóm phản hồi bậc hai được đưa ra bởi:

$$G = \frac{A\omega^2}{s^2 + \alpha\omega s + \omega^2}$$

Trong đó  $A$  là độ lợi của hệ thống,  $\omega$  là tần số cộng hưởng tính bằng radian và  $\alpha$  là hệ số giảm chấn.

$$\begin{aligned}\omega^2 &= \frac{1}{R_1R_2C_1C_2} \\ \alpha\omega &= \frac{1}{R_2C_1} + \frac{1}{R_1C_1} + \frac{1}{R_2C_2}(1-A)\end{aligned}$$

Phương trình chuẩn hóa là:

$$G = \frac{A}{s^2 + \alpha s + 1}$$

Để xác định các biểu thức khuếch đại và pha, phương trình  $G$  phải được chia thành các thành phần thực và ảo. Bước đầu tiên là thay thế  $s$  bằng  $j\omega$ , sau đó nhóm các thành phần thực và ảo:

$$\begin{aligned}G &= \frac{A}{(j\omega)^2 + \alpha j\omega + 1} \\ G &= \frac{A}{-\omega^2 + \alpha j\omega + 1}\end{aligned}$$

$$G = \frac{A}{(1 - \omega^2) + \alpha j \omega}$$

Để tách cái này thành các thành phần thực và ảo riêng biệt, chúng ta phải nhân tử số và mẫu số với liên hợp phức của mẫu số,  $(1 - \frac{\omega^2}{\omega_c^2}) - \alpha j \frac{\omega}{\omega_c}$ .

$$G = \frac{A}{(1 - \omega^2) + \alpha j \omega} \frac{(1 - \omega^2) - \alpha j \omega}{(1 - \omega^2) - \alpha j \omega}$$

$$G = \frac{A((1 - \omega^2) - \alpha j \omega)}{(1 - \omega^2)^2 + \alpha^2 \omega^2}$$

$$G = \frac{A(1 - \omega^2)}{(1 - \omega^2)^2 + \alpha^2 \omega^2} - j \frac{A\alpha\omega}{(1 - \omega^2)^2 + \alpha^2 \omega^2}$$

Đối với độ lớn khuếch đại, Biên độ  $Mag = \sqrt{(2 \text{ thực} + 2 \text{ ảo})}$ .

$$Mag = \frac{A}{\sqrt{1 + \omega^2(\alpha^2 - 2) + \omega^4}}$$

Đối với đáp ứng pha,  $\theta = \tan^{-1}(\text{ảo}/\text{thực})$ .

$$\theta = -\arctan \frac{\alpha\omega}{1 - \omega^2}$$

### 1.2.2 Tính toán và sơ đồ nguyên lý

Nhiệm vụ của bộ lọc thông thấp tích cực này là lọc loại bỏ thành phần tần số  $2\omega t$  của tín hiệu ngõ ra từ AD633 và trong trường hợp tần số lưới điện sinh hoạt là 50Hz thì có thể nói cần thiết kế bộ lọc loại bỏ thành phần có tần số 100Hz. Tín hiệu công suất tức thời từ AD633 được chia cho hệ số 10 và biên độ tín hiệu sẽ nhỏ, vì vậy phải lựa chọn tần số cắt phù hợp và độ dốc (roll-off) vừa đủ để thành phần tần số 100Hz được triệt tiêu và không gây sai số nhiều cho ngõ ra bộ lọc.

Sau khi xem xét các yếu tố thì bộ lọc được thiết kế với các đặc điểm như sau:

- + Bộ lọc Butterworth bậc 2
- + Độ dốc (roll-off): -40dB/decade
- + Độ lợi khuếch đại là 1 (unity – gain)

Độ lợi khuếch đại  $A = 1$  và  $R_1 = R_2$ . Giả sử  $\omega = 1$  thì  $R_1 R_2 C_1 C_2 = 1$ , và do đó  $C_1 = 1/C_2$ .  $\alpha = \sqrt{2}$ .



Thay thế  $\omega$  bằng  $\frac{\omega}{\omega_c}$  với  $\omega$  là tần số tín hiệu đầu vào và  $\omega_c$  là tần số cắt của bộ lọc theo đơn vị radian. Biên độ của thành phần tần số 100Hz sau khi qua bộ lọc phải giảm nhỏ hơn 0.001 lần để lấy ngỏ ra 3 chữ số sau dấu phẩy, ví dụ tín hiệu có tần số 100Hz với biên độ 1V thì sau khi đi qua bộ lọc biên độ sẽ nhỏ hơn 0.001V. Chọn giá trị cụ thể là 0.0004

$$Mag = \frac{A}{\sqrt{1 + \frac{\omega^2}{\omega_c^2} (\alpha^2 - 2) + \frac{\omega^4}{\omega_c^4}}} = \frac{A}{\sqrt{1 + \frac{\omega^4}{\omega_c^4}}}$$

$$0.0004 = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{100}{f_c}\right)^4}} \Rightarrow f_c = 2Hz$$

Trong thực tế, tỷ lệ của các tụ điện sẽ thiết lập hệ số giảm chấn cho hệ thống

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{A}{s^2 + \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_1}\right)s + 1}$$

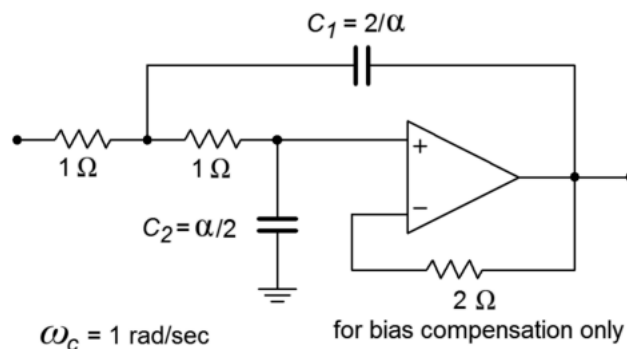
Hệ số giảm chấn bây giờ được đưa ra bởi:

$$\alpha = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_1}$$

$$\alpha = \frac{2}{C_1}$$

Mà  $C_1 = 1/C_2$

$$\Rightarrow C_2 = \frac{\alpha}{2}$$



Hình 3-9: Thiết kế bộ lọc thông thấp bậc 2 với độ lợi là 1

Vì bộ lọc Butterworth bậc 2 có  $\alpha = \sqrt{2}$  nên

$$C_1 = 2C_2$$

Do đó chọn giá trị tụ  $C_1 = 22\mu F$  và  $C_2 = 10\mu F$

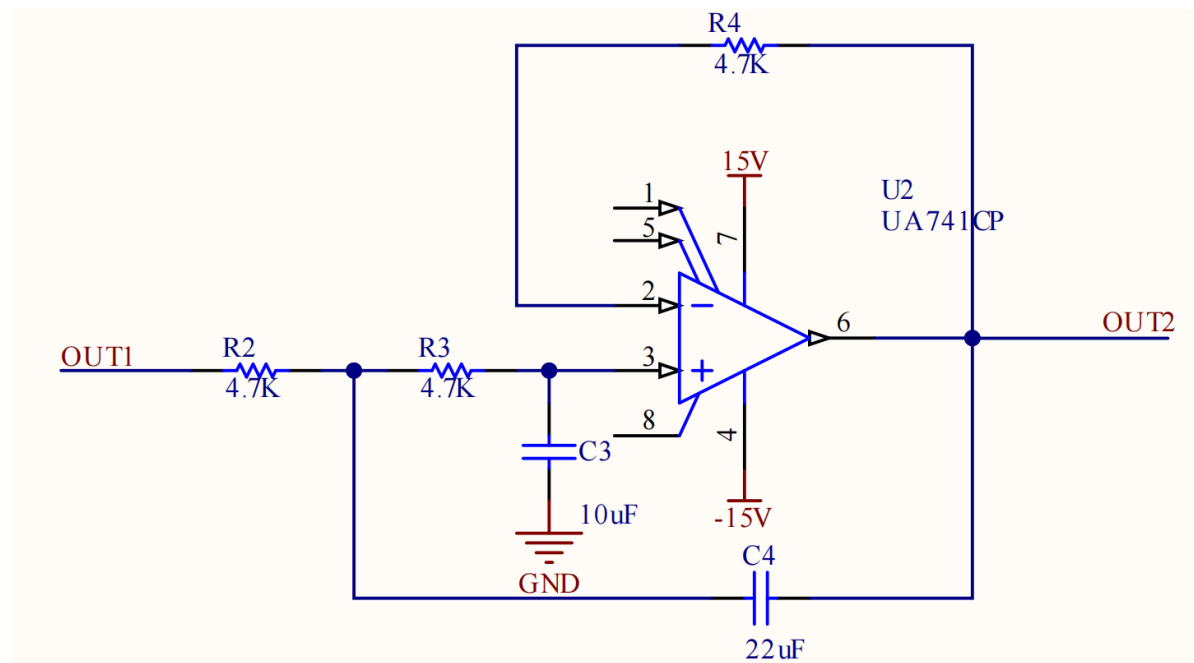
Từ phương trình của tần số cắt tính được giá trị của  $R_1, R_2$ :

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

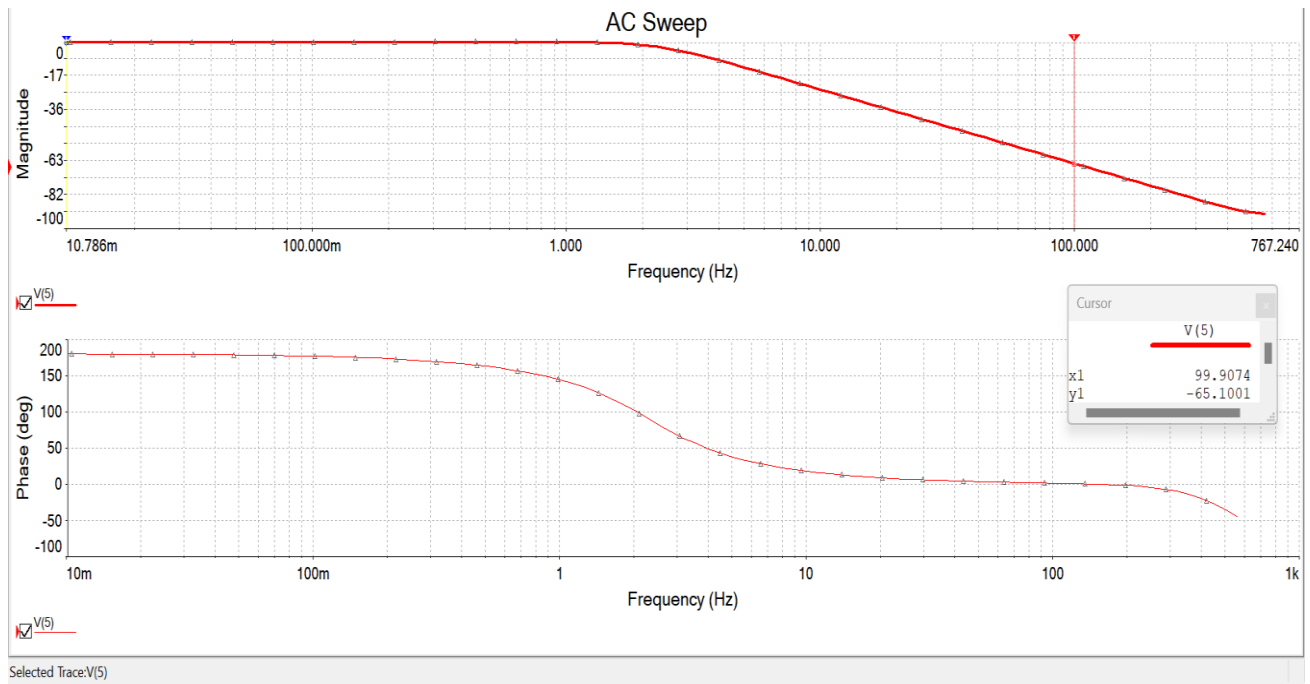
$$2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1^2 2.2 \times 10^{-14}}} \Rightarrow R_1 = 5.365k\Omega$$

Do đó chọn giá trị điện trở  $R_1 = R_2 = R_f = 4.7k\Omega$

Tín hiệu ngõ ra của LM331 được đặt nhãn là OUT2 sau khi được lọc thì tiếp tục được đưa đến ngõ vào của IC LM331 để chuyển đổi sang tín hiệu điện áp



Hình 3-10: Sơ đồ nguyên lý của bộ lọc thông thấp tích cực Butterworth



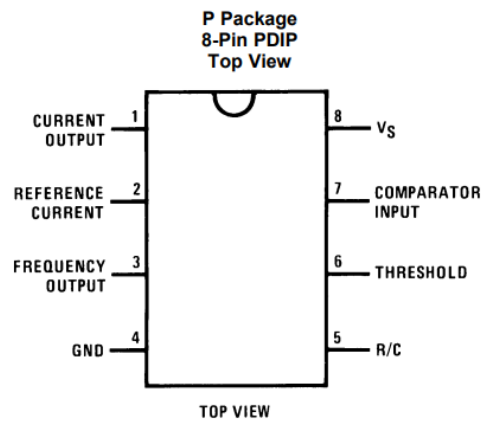
Hình 3-11: Giản đồ Bode của bộ lọc thông thấp (mô phỏng trên phần mềm Multisim)

Từ các thông số tính toán được trên, có thể mô phỏng được giản đồ Bode của bộ lọc có hình dạng như hình. Ở tần số 100Hz trực biên độ là -65.1dB, điều này có nghĩa là biên độ tín hiệu ở tần số 100Hz sẽ giảm 0.0005212 sau khi đi qua bộ lọc. Hệ số này gần bằng với yêu cầu thiết kế là 0.0004 và sai số có thể do giá trị điện trở và tụ được chọn.

### 1.3 IC chuyển đổi tín hiệu điện áp – tần số

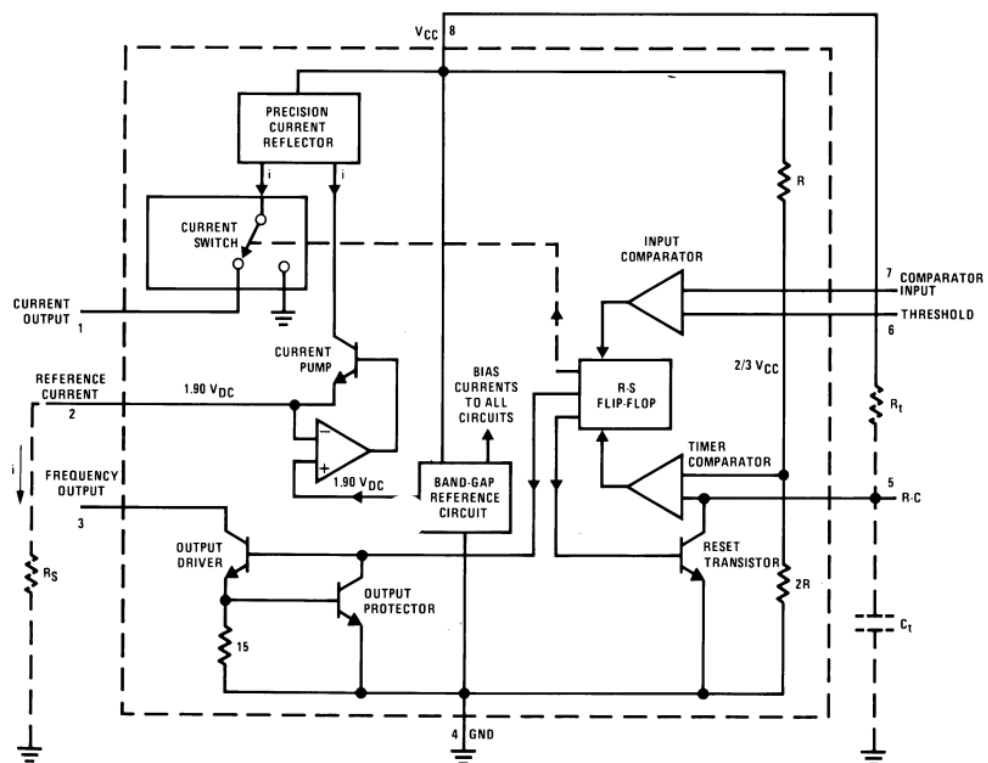
#### 1.3.1 Giới thiệu về IC LM331

LM331 thuộc họ LMx31 với chức năng chuyển đổi điện áp sang tần số được hãng Texas Instruments sản xuất, phù hợp sử dụng trong các mạch đơn giản, chi phí thấp để chuyển đổi tín hiệu tương tự sang số, chuyển đổi chính xác tần số sang điện áp, tích hợp, điều chế - giải điều chế và nhiều chức năng khác. Khi được sử dụng để chuyển đổi điện áp sang tần số thì ngõ ra LM331 cho ra một chuỗi xung có tần số tỷ lệ chính xác với điện áp đầu vào. Do đó, nó cung cấp tất cả các ưu điểm vốn có của kỹ thuật chuyển đổi điện áp sang tần số và dễ dàng áp dụng trong tất cả các ứng dụng chuyển đổi điện áp – tần số tiêu chuẩn.



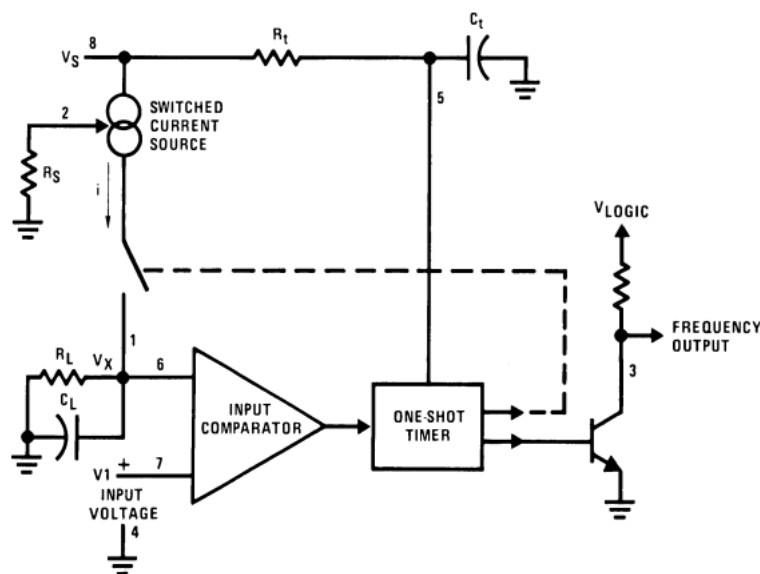
Hình 3-12: Sơ đồ chân của LM331

- + Tuyến tính tối đa 0.01%
- + Hoạt động với điện áp nguồn đơn 5V
- + Xung ngõ ra tương thích với tất cả các dạng Logic.
- + Ổn định nhiệt độ tốt: tối đa  $\pm 50\text{ppm}^\circ\text{C}$
- + Tiêu thụ năng lượng thấp: thường là 15mW ở điện áp 5V
- + Dải động rộng, tối thiểu 100 dB ở tần số toàn thang 10kHz
- + Dải tần số toàn thang rộng từ 1Hz đến 100kHz
- + Dòng tiêu thụ tối đa 8mA



Hình 3-13: Sơ đồ khối chức năng của LM331

Sơ đồ khối chức năng thể hiện mạch tham chiếu band gap cung cấp điện áp đầu ra 1.9VDC ổn định. Điện áp 1.9VDC này được điều chỉnh tốt trong phạm vi  $V_S$  từ 3.9V đến 40V. Nó cũng có hệ số nhiệt độ không đổi, thấp và thường thay đổi ít hơn  $\frac{1}{2}\%$  khi thay đổi nhiệt độ  $100^\circ\text{C}$ . Mạch bơm dòng điện giữ điện áp ở chân 2 ở mức 1.9 V và tạo ra dòng điện  $i = 1.9 \frac{V}{R_S}$  chạy qua. Với  $R_S=14\text{ k}$ ,  $i=135\text{ }\mu\text{A}$ . Bộ phản xạ dòng điện chính xác cung cấp dòng điện bằng  $i$  cho công tắc dòng điện. Công tắc dòng điện chuyển dòng điện sang chân 1 hoặc xuống đất, tùy thuộc vào trạng thái của flip-flop R-S. Chức năng định thời bao gồm một flip-flop R-S và bộ so sánh thời gian được kết nối với  $R_t C_t$  bên ngoài. Khi bộ so sánh đầu vào phát hiện điện áp ở chân 7 cao hơn chân 6, nó sẽ đặt flip-flop R-S lên để BẬT công tắc dòng điện và transistor điều khiển đầu ra. Khi điện áp ở chân 5 tăng lên  $\frac{2}{3} V_{CC}$ , bộ so sánh hện giờ sẽ khiến flip-flop R-S reset. Sau đó, transistor reset và công tắc dòng được TẮT. Tuy nhiên, nếu bộ so sánh đầu vào vẫn phát hiện điện áp trên chân 7 cao hơn chân 6 khi chân 5 cắt  $\frac{2}{3} V_{CC}$ , thì flip-flop sẽ không được reset và dòng điện ở chân 1 sẽ tiếp tục chạy, cố gắng tạo ra điện áp ở chân 6 cao hơn chân 7. Điều kiện này thường sẽ áp dụng trong điều kiện khởi động hoặc trong trường hợp điện áp quá tải ở đầu vào tín hiệu. Trong trường hợp quá tải này, tần số đầu ra sẽ bằng 0. Ngay sau khi tín hiệu được khôi phục về phạm vi hoạt động, tần số đầu ra sẽ được tiếp tục.

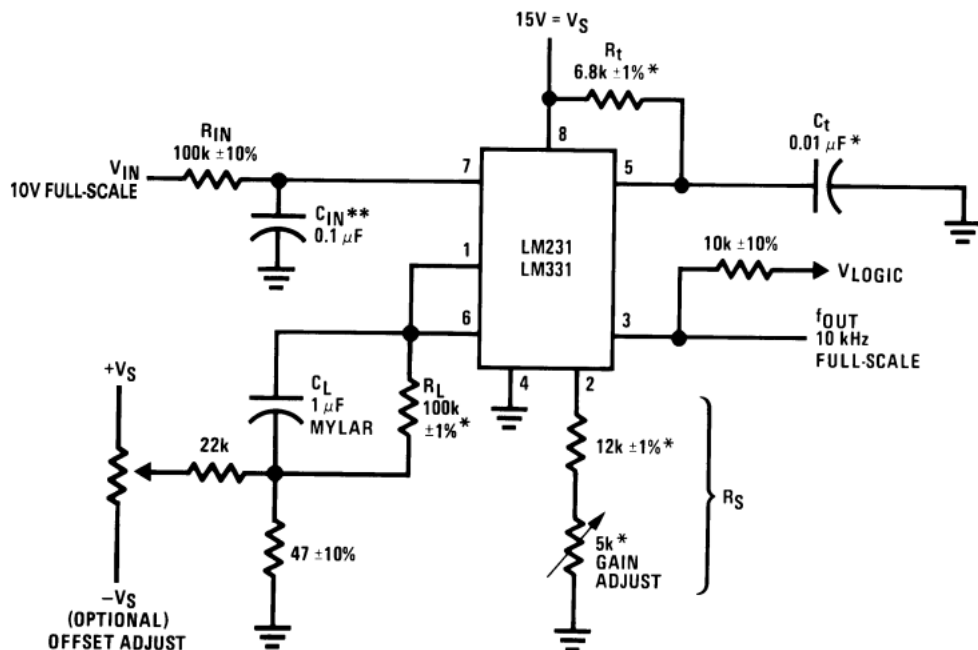


Hình 3-14: Sơ đồ khối đơn giản của mạch chuyển đổi V to F và các thành phần ngoại vi

Bộ chuyển đổi điện áp sang tần số đơn giản bao gồm sơ đồ khối đơn giản của LM331 và các điện trở và tụ điện khác nhau được kết nối với nó. Bộ so sánh điện áp so sánh

điện áp đầu vào dương  $V_1$  ở chân 7 với điện áp  $V_x$  ở chân 6. Nếu  $V_1$  lớn hơn, bộ so sánh sẽ kích hoạt bộ hẹn giờ 1 lần. Đầu ra của bộ định thời sẽ BẬT cả transistor đầu ra tần số và nguồn dòng điện chuyển mạch trong chu kỳ  $t = 1.1 R_t C_t$ . Trong chu kỳ này, dòng điện  $i$  sẽ chạy ra khỏi nguồn điện chuyển mạch và cung cấp một lượng điện tích cố định,  $Q = i \times t$ , vào tụ điện,  $C_L$ . Điều này thường sẽ sạc  $V_x$  lên mức cao hơn  $V_1$ . Khi kết thúc chu kỳ, dòng điện  $i$  sẽ TẮT và bộ hẹn giờ sẽ tự thiết lập lại. Bây giờ không có dòng điện chạy từ chân 1 và tụ  $C_L$  sẽ được phóng điện dần dần bằng  $R_L$  cho đến khi  $V_x$  giảm xuống mức  $V_1$ . Sau đó bộ so sánh sẽ kích hoạt bộ đếm thời gian và bắt đầu một chu kỳ khác. Dòng điện chạy vào  $C_L$  chính xác là  $I_{AVE} = i \times (1.1 \times R_t C_t) \times f$ , và dòng điện chạy ra  $C_L$  chính xác là  $\frac{V_x}{R_L} \approx \frac{V_{IN}}{R_L}$ . Nếu  $V_{IN}$  tăng gấp đôi thì tần số sẽ tăng gấp đôi để duy trì sự cân bằng này. Ngay cả một bộ chuyển đổi V-to-F đơn giản cũng có thể cung cấp tần số tỷ lệ chính xác với điện áp đầu vào của nó trên một dải tần số rộng.

### 1.3.2 Tính toán và sơ đồ nguyên lý



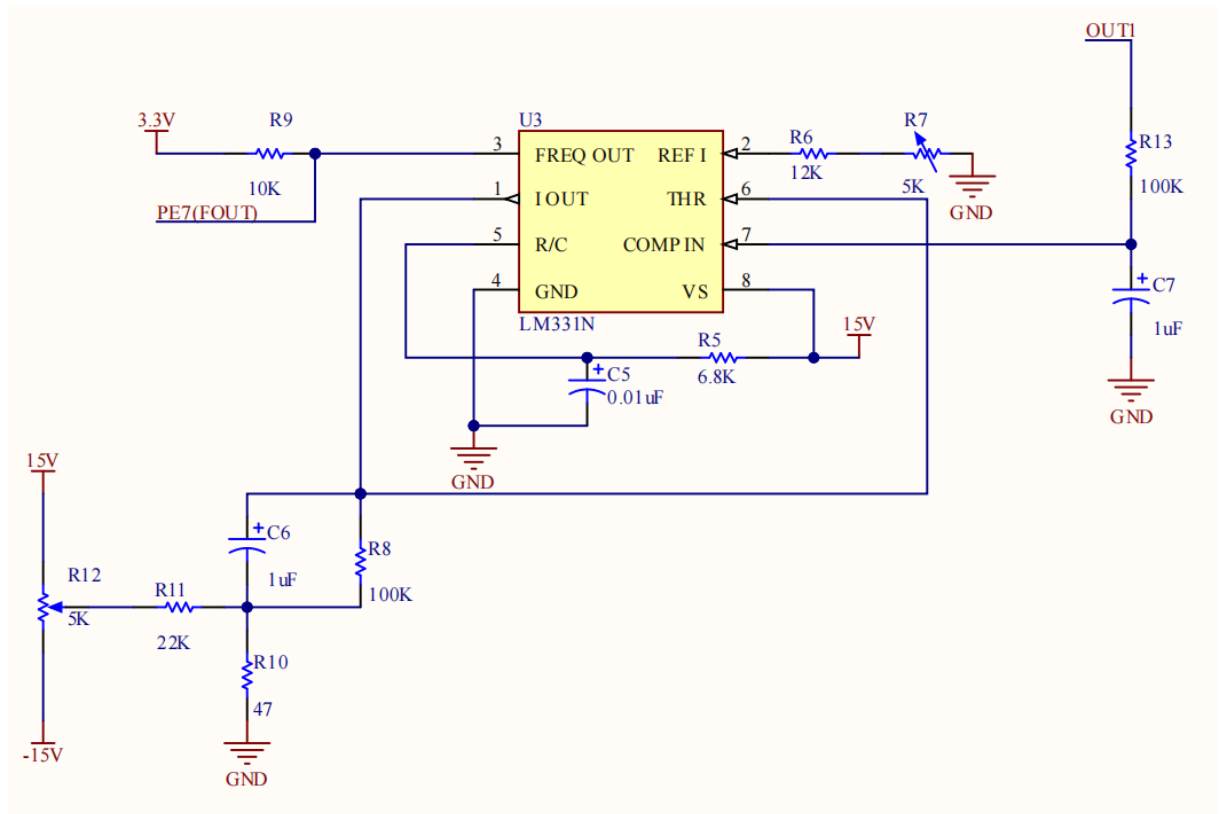
Hình 3-15: Mạch chuyển đổi V-To-F độc lập đơn giản với độ tuyến tính điển hình  $\pm 0,03\%$  ( $F = 10 \text{ Hz}$  đến  $11 \text{ kHz}$ )

Một tụ điện  $C_{IN}$  được thêm từ chân 7 xuống đất để hoạt động như một bộ lọc cho  $V_{IN}$ , việc sử dụng  $0.1 \mu\text{F}$  phù hợp cho ứng dụng này. Giá trị từ  $0.01 \mu\text{F}$  đến  $0.1 \mu\text{F}$  sẽ đủ trong hầu hết các trường hợp. Tuy nhiên, trong trường hợp cần lọc tốt hơn, có thể sử dụng tụ điện  $1 \mu\text{F}$ . Khi hằng số thời gian RC khớp với nhau ở chân 6 và chân 7, điện áp thay đổi ở  $V_{IN}$  sẽ gây ra thay đổi trong  $f_{OUT}$ . Nếu  $C_{IN}$  nhỏ hơn  $C_L$  nhiều, thay đổi ở tại  $V_{IN}$  có thể khiến  $f_{OUT}$  dừng lại trong giây lát. Tiếp theo, hủy bỏ dòng điện phân cực của

bộ so sánh bằng cách đặt  $R_{IN}$  thành  $100\text{ k}\Omega$  để khớp với  $R_L$ . Điều này sẽ giúp giảm thiểu lệch tần số. Để có kết quả tốt nhất, tất cả các bộ phận phải là bộ phận có hệ số nhiệt độ thấp ổn định, chẳng hạn như điện trở màng kim loại. Tụ điện phải có độ hấp thụ điện môi thấp; tùy thuộc vào đặc tính nhiệt độ mong muốn, gồm NPO, polystyrene, Teflon hoặc polypropylen là phù hợp nhất. Điện trở  $R_S$  ở chân 2 được tạo thành từ một điện trở cố định  $12\text{ k}\Omega$  cộng với một biến trở điều chỉnh độ lợi  $5\text{ k}\Omega$  (tốt nhất là gốm kim loại). Chức năng của việc điều chỉnh này là cắt bỏ dung sai khuếch đại của LM331 và dung sai của  $R_t$ ,  $R_L$  và  $C_t$ .

Một điện trở  $47\Omega$  mắc nối tiếp với tụ điện  $1\mu\text{F}$  ( $C_L$ ) tạo ra hiện tượng trễ, giúp bộ so sánh đầu vào mang lại độ tuyến tính tốt. Điều này dẫn đến hàm truyền

$$f_{out} = \frac{V_{IN}}{2.09} \frac{R_S}{R_L} \frac{1}{R_t C_t}$$



Hình 3-16: Sơ đồ nguyên lý của khối chuyển đổi điện áp - tần số của LM331

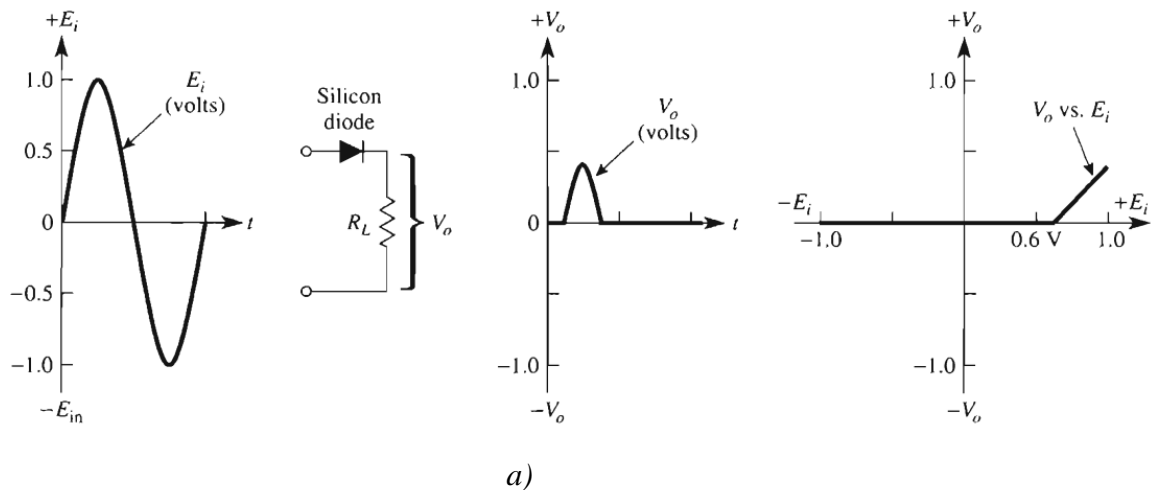
Trong ví dụ này, yêu cầu hệ thống là độ tuyến tính  $0.05\%$  trên dải tần đầu ra từ  $10\text{ Hz}$  đến  $4\text{ kHz}$  với dải điện áp đầu vào từ  $25\text{ mV}$  đến  $12.5\text{ V}$ . Điện áp nguồn khả dụng là  $15\text{ V}$ .

Vì MCU được sử dụng trong đề tài là STM32F407VET6 nên điện áp tối đa ở các chân I/O là 3.3V nên mức điện áp  $V_{\text{LOGIC}}$  được cấp là 3.3V. Ngõ ra của LM331 là tín hiệu tần số sẽ được đặt nhãn là PB1/TIM\_CH3N sẽ kết nối với ngõ vào chân I/O của MCU cùng tên để đo tần số và thực hiện tính toán lượng điện năng tiêu thụ.

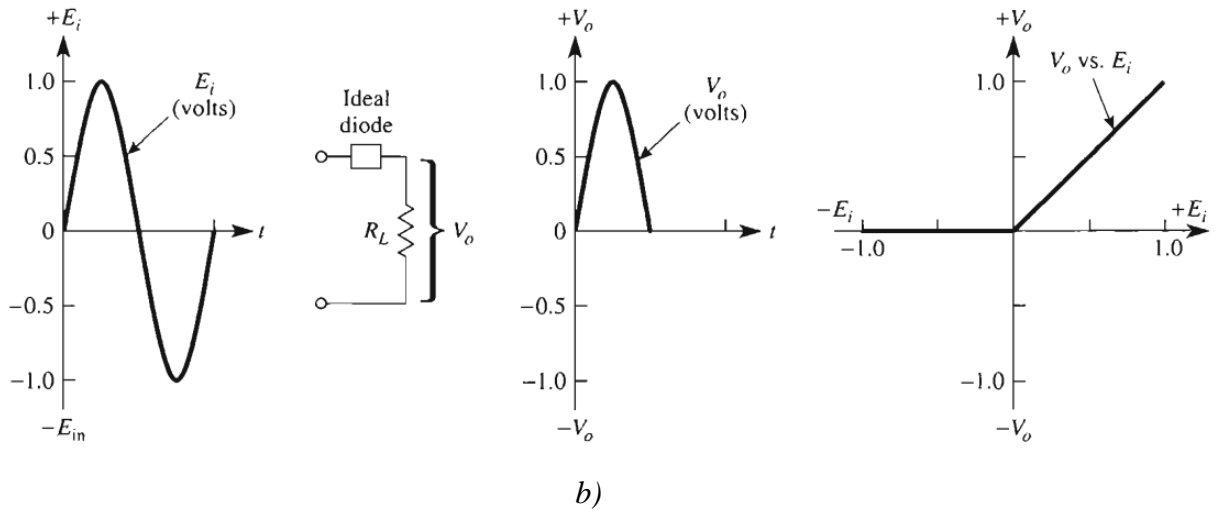
## 2. Khối đo dòng điện và khối đo điện áp

### 2.1 Lý thuyết về mạch chỉnh lưu chính xác nửa bán kỳ dùng Opamp

Diode thường được sử dụng để chỉnh lưu bán kỳ ngõ ra của bộ dao động. Tuy nhiên, việc sử dụng diode để chỉnh lưu có hạn chế chính là chúng không thể đáp ứng đối với tín hiệu điện áp có đỉnh dưới 0.6V, như trong Hình 7.1. Khi đó, không thể thực hiện chỉnh lưu vì diode cần 0.6 đến 0.7V để bật. Ngay cả khi sử dụng thiết bị germanium với điện áp giảm về phía trước là 0.3 V, một phần tín hiệu khá lớn sẽ bị mất. Không chỉ vậy, mạch còn thể hiện các trở kháng rất khác nhau đối với nguồn điều khiển. Ngay cả khi tín hiệu đủ lớn để tránh hiện tượng sụt điện áp chuyển tiếp thì trở kháng nguồn phải tương đối thấp. Thoạt nhìn có vẻ như không thể chỉnh sửa tín hiệu AC nhỏ với bất kỳ hy vọng chính xác nào.







Hình 3-17: a) Diode thực tế không thể chỉnh lưu điện áp AC nhỏ vì điện áp rơi trên diode là 0.6V

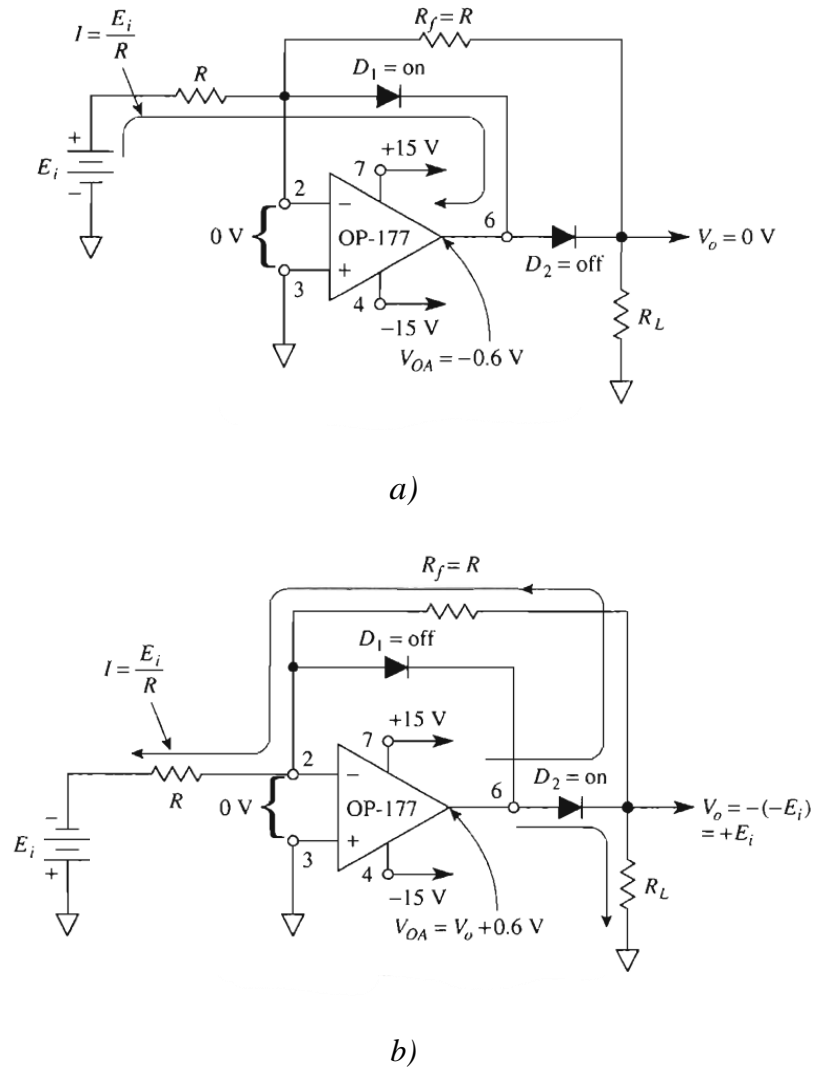
b) Mạch chỉnh lưu tuyến tính hay bán kỳ chính xác đều có thể chỉnh lưu chính xác tất cả tín hiệu AC không bị giới hạn bởi biên độ.

Để khắc phục nhược điểm này có thể sử dụng mạch dùng opamp và hai diode với khả năng chỉnh lưu tín hiệu đầu vào chỉ vài milivolt. Phân loại thành hai dạng mạch là *Mạch chỉnh lưu bán kỳ tuyến tính* và *Mạch chỉnh lưu toàn kỳ chính xác*.

Mạch chỉnh lưu bán kỳ tuyến tính cung cấp đầu ra phụ thuộc vào độ lớn và cực tính của điện áp đầu vào. Mạch chỉnh lưu bán kỳ tuyến tính còn được gọi là mạch chỉnh lưu bán kỳ chính xác và hoạt động như một diode lý tưởng. Mạch còn được ứng dụng để chuyển đổi tín hiệu từ AC sang DC, ứng dụng này cần thiết để điều chỉnh tín hiệu trước khi áp dụng vào ngõ vào của bộ vi điều khiển. Mạch chỉnh lưu bán kỳ tuyến tính chỉ truyền một nửa chu kỳ của tín hiệu và loại bỏ tín hiệu còn lại bằng cách giới hạn ngõ ra bằng 0. Nửa chu kỳ đầu vào được truyền được truyền đi có thể đảo hoặc không đảo, tùy thuộc vào việc lựa chọn điện trở và vị trí diode trong mạch opamp.

#### ❖ *Mạch chỉnh lưu bán kỳ tuyến tính đảo, ngõ ra dương*

Khi  $E_i$  dương trong hình 2a, diode  $D_1$  sẽ dẫn khiến điện áp ngõ ra của opamp  $V_{OA}$  chuyển sang âm do sự sụt giảm điện áp trên diode ( $\cong 0.6V$ ). Diode  $D_2$  khi này bị phân cực ngược nên điện áp ngõ ra của mạch là  $V_o$  bằng 0 vì dòng điện  $I$  chạy qua  $D_1$ , không có dòng chạy qua  $R_f$  vì vậy  $V_o = 0V$ . Tải được mô hình hóa bằng điện trở  $R_L$  và phải luôn có điện trở. Nếu tải là tụ điện, cuộn cảm, điện áp hoặc nguồn dòng thì  $V_o$  sẽ khác 0.



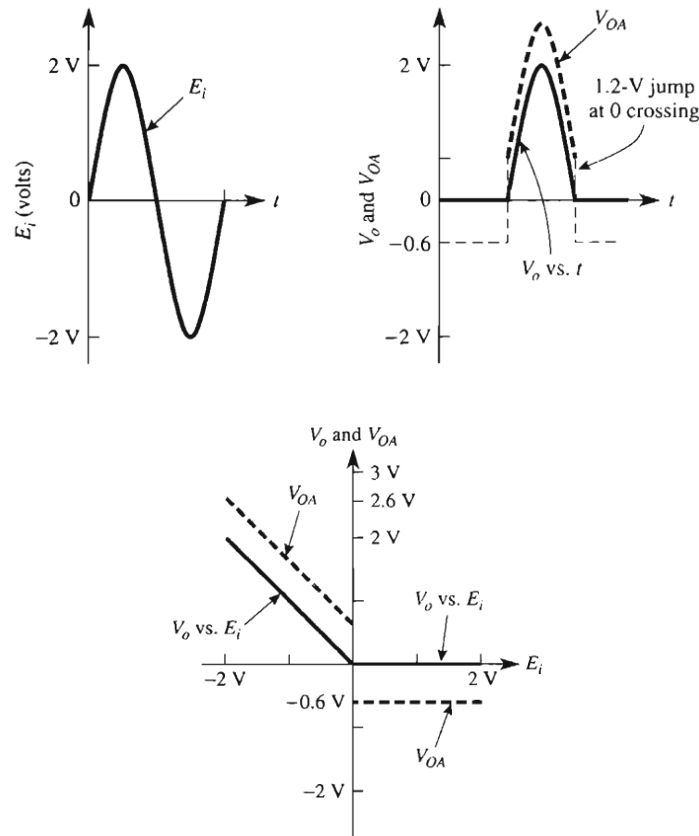
Hình 3-18: a) Ngõ ra  $V_o$  bằng 0 khi điện áp vào dương

b) Ngõ ra  $V_o$  là dương và bằng  $E_i$  khi điện áp vào âm

Khi ngõ vào  $E_i$  chuyển sang âm, ngõ ra opamp  $V_{OA}$  chuyển sang dương và khi này diode  $D_2$  dẫn. Mạch lúc này sẽ hoạt động như một bộ biến tần, vì  $R_f = R_i$  và  $V_o = -(-E_i) = +E_i$  và diode  $D_1$  bị phân cực ngược vì ngõ vào đảo có điện thế nổi đất. Dòng ngõ vào bằng  $E_i/R_i$  và có độ lợi khuếch đại là  $-R_f/R_i$ . Hệ số khuếch đại này chỉ áp dụng cho ngõ vào âm và  $V_o$  chỉ có thể dương hoặc bằng 0.

Hoạt động của mạch được tóm tắt bằng dạng sóng trong hình,  $V_o$  chỉ có thể dương khi phản hồi tuyến tính với ngõ vào âm. Một diode silicon bình thường hoặc thậm chí là hot – carrier diode cũng cần vài phần mười vôn để phân cực thuận. Bất kỳ tín hiệu điện áp nào dưới điện áp ngưỡng này đều không thể chỉnh lưu được. Tuy nhiên bằng cách kết nối diode trong vòng phản hồi của opamp, về cơ bản điện áp ngưỡng của diode sẽ bị loại bỏ. Ví dụ,  $E_i$  có điện áp là  $-0.1$  V, khi đó  $E_i$  và  $R_i$  chuyển đổi điện áp thấp này

thành dòng điện chạy qua  $D_2$ .  $V_{OA}$  sẽ bằng mức điện áp được yêu cầu để cung cấp độ sụt áp diode cần thiết cộng với độ sụt áp trên  $R_f$ . Do đó, điện áp ngõ vào ở thang milivolt cũng có thể được chỉnh lưu vì độ lệch chuẩn của diode phụ thuộc vào hoạt động phản hồi âm của opamp.



Hình 3-19: Ngõ ra, ngõ vào và đặc tính chuyển đổi ngõ ra dương lý tưởng của mạch chỉnh lưu bán kỳ đảo

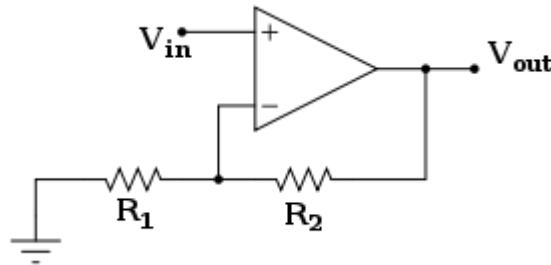
Cuối cùng, quan sát dạng sóng ở ngõ ra  $V_{OA}$  opamp cho thấy khi  $E_i$  vượt qua mức 0V (chuyển sang âm),  $V_{OA}$  chuyển nhanh từ -0.6V lên +0.6V khi nó chuyển từ cung cấp mức sụt áp cho  $D_2$  sang cho  $D_1$ . Có thể quan sát sự chuyển đổi này bộ vi sai để tìm điểm giao nhau bằng 0.

## 2.2 Khối đo dòng điện

Biến áp tự ngẫu mắc có tầm thay đổi từ 0-250V được đưa qua biến áp có tỷ lệ khoảng 250:1 và tiếp tục mắc với hai điện trở công suất song song có giá trị điện trở tương đương là  $0.05\Omega$  xem như điện trở shunt để đo dòng. Vì vậy, khi thay đổi điện áp và điện trở giữ nguyên thì giá trị dòng điện sẽ thay đổi (từ 0 đến 10A). Từ đó, sử dụng giá trị điện áp giữa 2 đầu điện trở là tín hiệu cho kênh dòng điện. Tín hiệu được tiếp tục được chia ra làm 2 nhánh vào 2 phần:

### 2.2.1 Phần 1 – Đưa vào khối xử lý tín hiệu

Thay đổi tín hiệu điện áp từ biến áp tự ngẫu có giá trị từ 0-125VAC sẽ tương ứng dòng điện cũng thay đổi tương ứng từ 0-10A và điện áp sau biến áp sẽ là 0-0.5VAC. Có thể thấy tín hiệu điện áp quá nhỏ để xử lý nên cần thêm một bộ khuếch đại không đảo để tăng tín hiệu lên. Chọn hệ số khuếch đại là 10, để tín hiệu ra có giá trị từ 0-5V.

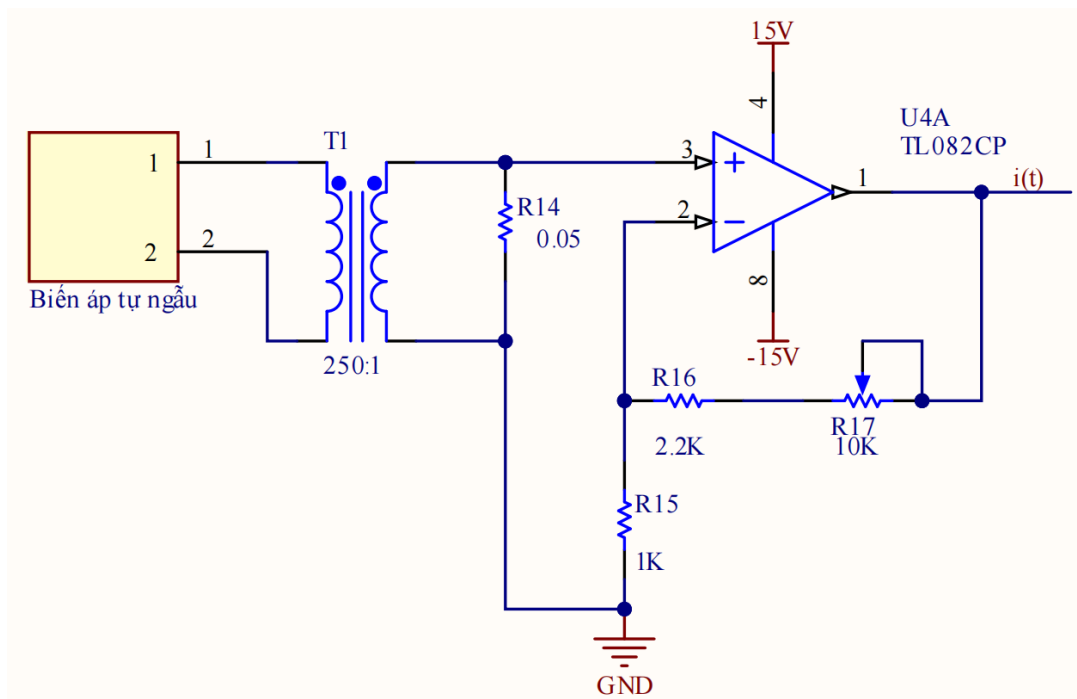


Hình 3-20: Mạch khuếch đại không đảo

$$A = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 10 \Rightarrow R_2 = 9R_1$$

Vậy chọn  $R_2 = 9k\Omega$  và suy ra được  $R_1 = 1k\Omega$ . Từ đó, chọn được giá trị điện áp thực tế là  $R_{16} = 2.2k\Omega$ ,  $R_{17} = 6.8k\Omega$  và  $R_{15} = 1k\Omega$ .

Tín hiệu sau khi được khuếch đại được đặt nhãn là  $i(t)$  sẽ rẽ làm 2 nhánh, 1 nhánh sẽ đi tiếp vào ngõ vào của AD633 để thực hiện nhân như phần trên đã trình bày, nhánh còn lại tiếp tục được đưa qua bộ chỉnh lưu bán kỳ và lọc để đưa vào MCU.



Hình 3-21: Sơ đồ nguyên lý khuếch đại tín hiệu của dòng điện

### 2.2.2 Phần 2 – Chỉnh lưu bán kỳ để MCU tính dòng hiệu dụng

Thiết kế sử dụng mạch chỉnh lưu bán kỳ ngõ ra dương và tụ lọc để đưa tín hiệu điện áp xoay chiều sau khi được khuếch đại thành tín hiệu một chiều để đưa vào MCU thực hiện chuyển đổi ADC và tính toán giá trị hiệu dụng của dòng điện và hiển thị lên LCD. Như lý thuyết đã được trình bày ở phần trên thì bán kỳ dương của tín hiệu sẽ cho ngõ ra bằng 0 và bán kỳ dương sẽ cho ngõ ra giá trị điện áp dương. Độ lợi khuếch đại sẽ bằng  $-R_f/R_i$ . Chọn giá trị  $R_{18} = R_{19} = 10k\Omega$  và độ lợi bằng 1.

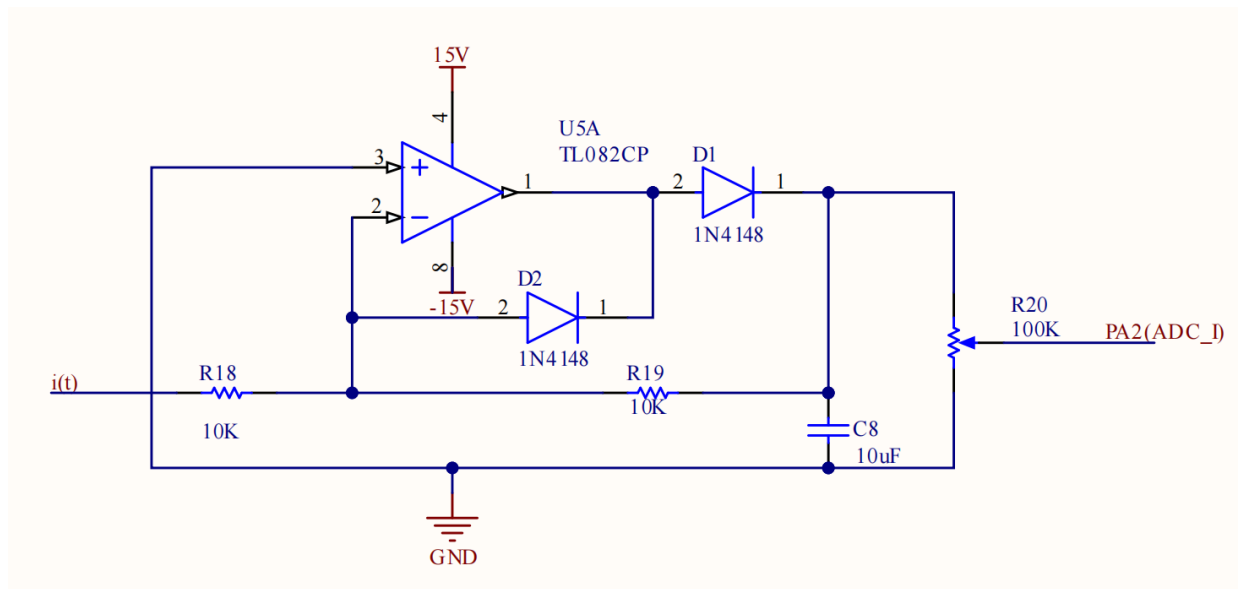
Vì điều khiển được lựa chọn sử dụng trong đề tài này là STM32F407VET6 nên điện áp cực đại ở chân I/O của MCU này là 3.3V. Vì vậy, cần phải điều chỉnh độ lợi để điện áp vào chân MCU đảm bảo nhỏ hơn 3.3V tránh gây hư hỏng. Vì vậy, mắc thêm 1 biến trở có giá trị  $100k\Omega$  để điều chỉnh giá trị điện áp cho phù hợp (chia áp tỷ lệ  $\frac{1}{2}$ ).

$C_8$  lọc gợn ngõ ra, khi ngõ vào bán kỳ dương,  $D_1$  off,  $C_8$  xả qua  $R_{20}$ . Chọn thời hằng

$$\tau = C_8 R_{20} \geq 5 \times 10ms = 50ms \rightarrow C_8 \geq \frac{50ms}{150k} = 0.33\mu C$$

Chọn  $C_1=10\mu F$  để tín hiệu được lọc phẳng hơn.

Tín hiệu sau khi được chỉnh lưu và lọc được đặt nhãn là PA1 sẽ kết nối trực tiếp với chân có tên tương tự của MCU để thực hiện tính toán giá trị dòng điện hiệu dụng.



Hình 3-22: Sơ đồ nguyên lý mạch chỉnh lưu bán kỳ đảo của tín hiệu dòng điện

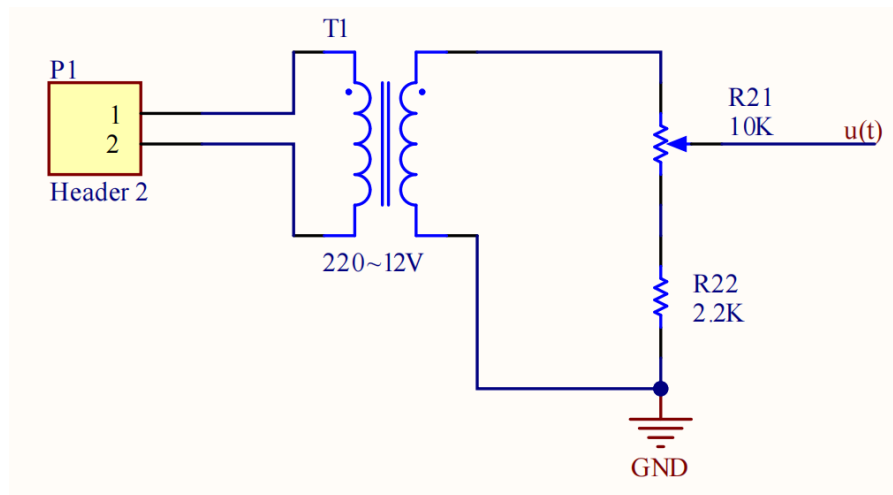
### 2.3 Khối đo điện áp

Tín hiệu điện áp từ lưới điện sinh hoạt được đưa qua biến áp 220V ~ 12V cho ngõ ra có điện áp 12VAC. Tương tự như Khối dòng điện, tín hiệu sau khi qua biến áp cũng được chia làm 2 nhánh vào 2 phần:

### 2.3.1 Phần 1 – Đưa vào khối xử lý tín hiệu

Tín hiệu 12V có biên độ là  $12\sqrt{2}$  nhưng điện áp tối đa của ngõ vào IC AD633 chỉ là 10V nên mắc thêm 2 điện trở để phân áp đưa về tỷ lệ phù hợp. Chọn tỷ lệ chia áp cho tín hiệu là 0.343.

Chọn  $R_{22} = 2.2k\Omega$  và  $R_{21}$  là biến trở 10k $\Omega$  điều chỉnh giá trị phù hợp với tỷ lệ chia áp. Tính theo giá trị điện trở vừa chọn được thì biên độ tối đa của tín hiệu sau khi chia áp là: 4.1V ( $R_{21} = 3.1k\Omega$ ).



Hình 3-23: Sơ đồ nguyên lý chiết áp tín hiệu điện áp

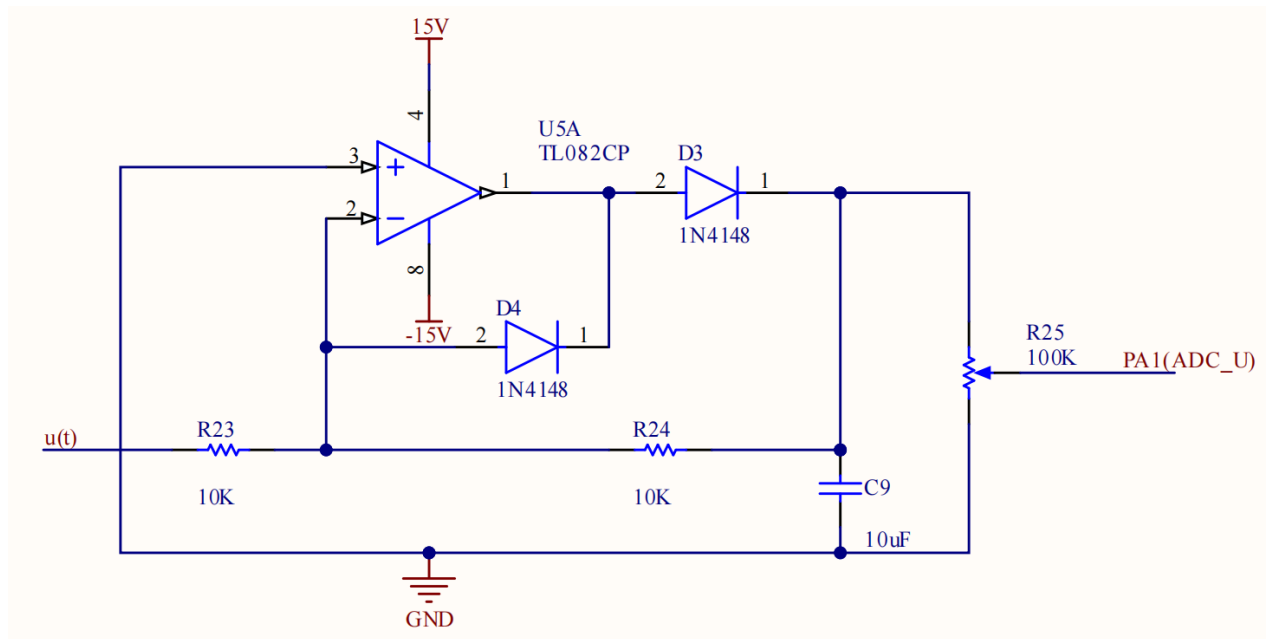
### 2.3.2 Phần 2 – Chính lưu bán kỳ để MCU tính điện áp hiệu dụng

Tương tự như Khối đo dòng điện, tín hiệu sau khi được phân áp đánh dấu là  $u(t)$  tiếp tục được đưa qua chỉnh lưu và lọc để đưa vào MCU đo điện áp hiệu dụng và hiển thị lên LCD. Chọn giá  $R_{23} = 10k\Omega$ ,  $R_{24} = 10k\Omega$  và mắc thêm 1 biến trở  $R_{25}$  có giá trị 100k $\Omega$  để điều chỉnh giá trị điện áp cho phù hợp, tỷ lệ chia áp là 0.5382.

$C_9$  lọc gọn ngõ ra, khi ngõ vào bán kỳ dương,  $D_3$  off,  $C_9$  xả qua  $R_{24}$ . Chọn thời hằng

$$\tau = C_9 R_{24} \geq 5 \times 10ms = 50ms \rightarrow C_9 \geq \frac{50ms}{150k} = 0.33\mu C$$

Chọn  $C_9 = 10\mu F$  để tín hiệu được lọc phẳng hơn.



Hình 3-24: Sơ đồ nguyên lý mạch chỉnh lưu bán kỳ đảo của tín hiệu điện áp

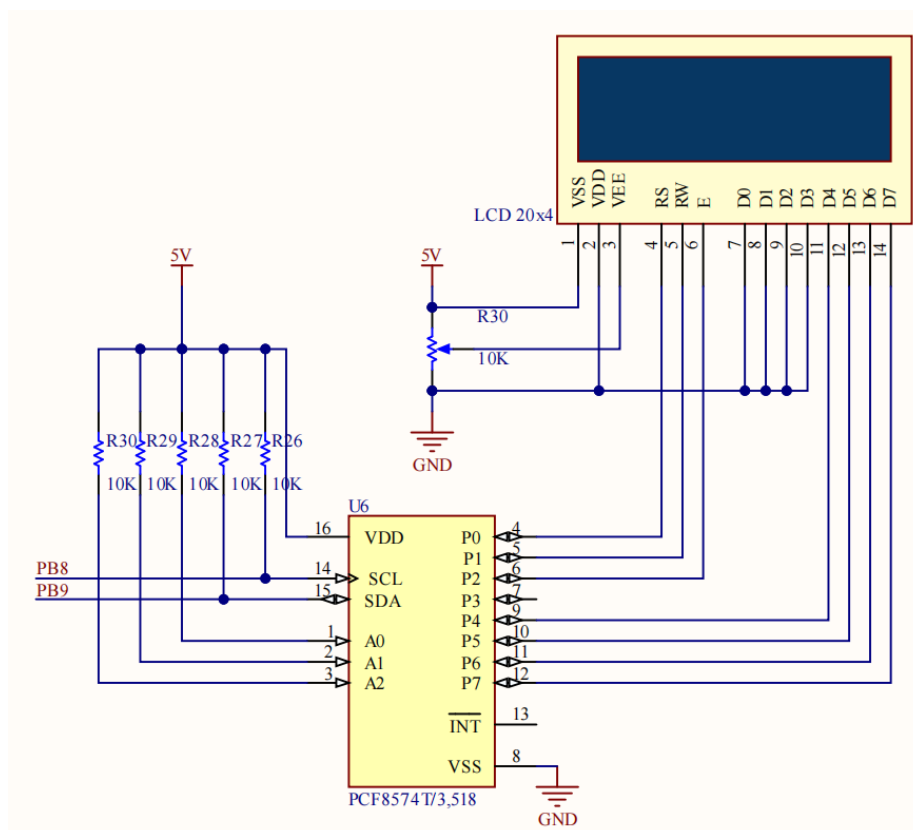
### 3. Khối hiển thị LCD

LCD SPLC780D Super Twisted Nematic (STN) 20 ký tự x 4 dòng màu xanh lam với bộ điều khiển tương đương SPLC780D tích hợp (còn được gọi là màn hình chữ và số). Giao diện được đơn giản hóa với giao tiếp 4 – bit hoặc 8 – bit và mã lập trình có sẵn rộng rãi cho nhiều bộ điều khiển và hệ thống khác nhau. Phù hợp sử dụng với các bộ vi điều khiển Arduino, ATMEL AVR hay PIC. Bao gồm đèn nền LED.

#### Chức năng các chân

- + VSS: tương đương với GND – cực âm
- + VDD: tương đương với VCC – cực dương (5V)
- + Constrast Voltage (VEE): điều khiển độ sáng màn hình
- + Register Select (RS): lựa chọn thanh ghi (RS=0 chọn thanh ghi lệnh, RS=1 chọn thanh ghi dữ liệu)
- + Read/Write (R/W): R/W=0 ghi dữ liệu, R/W=1 đọc dữ liệu.
- + Enable pin: Cho phép ghi vào LCD
- + D0 – D7: 8 chân dữ liệu, mỗi chân sẽ có giá trị HIGH hoặc LOW nếu đang ở chế độ đọc (read mode) và nó sẽ nhận giá trị HIGH hoặc LOW nếu đang ở chế độ ghi (write mode).

Trong thiết kế sử dụng kết hợp module giao tiếp I2C PCF8574 kết hợp với LCD 20x4 dùng để hiển thị các giá trị đại lượng cần đo, module I2C được hàn chân vào LCD giúp cho việc giao tiếp với khối MCU thuận tiện hơn, sử dụng ít dây kết nối hơn, giúp cho thiết kế đơn giản, ít rối mắt. Thay vì sử dụng tối thiểu 6 chân của vi điều khiển để kết nối với LCD (RS, EN, D7, D6, D5 và D4) thì với module chuyển đổi chỉ cần sử dụng 2 chân (SCL, SDA) để kết nối. Module chuyển đổi I2C hỗ trợ các loại LCD sử dụng driver HD44780 (LCD 1602, LCD 2004, ...), kết nối với vi điều khiển thông qua giao tiếp I2C, tương thích với hầu hết các vi điều khiển hiện nay và có điện áp hoạt động từ 2.5 – 6V.



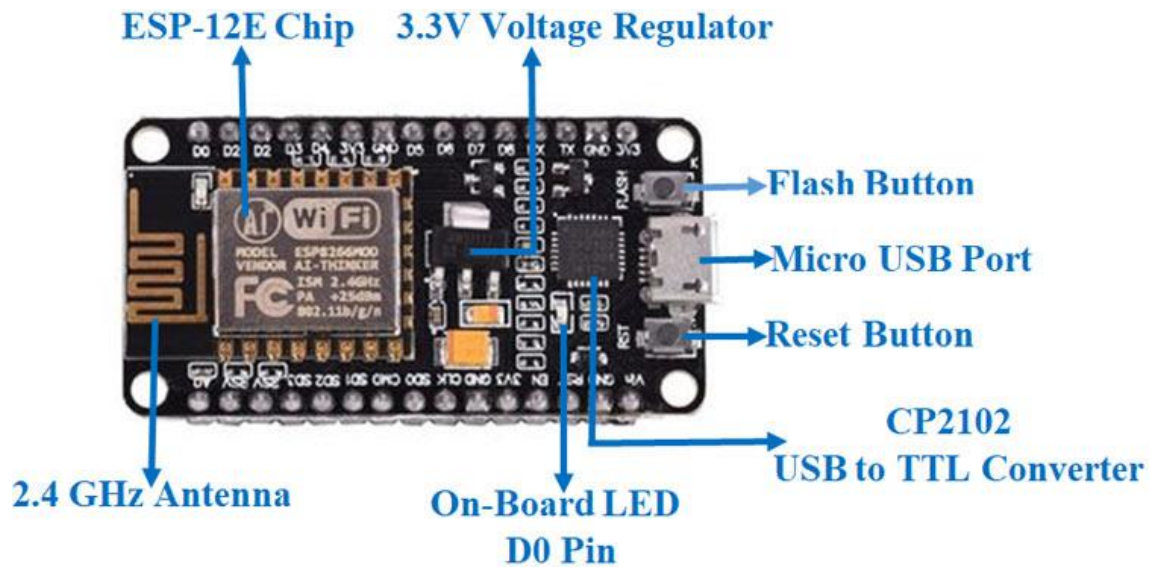
Hình 3-25: Sơ đồ nguyên lý khối LCD I2C

#### 4. Node MCU ESP8266

Board phát triển NodeMCU ESP8266 đi kèm với mô-đun ESP-12E chứa chip ESP8266 có bộ vi xử lý Tensilica Xtensa 32-bit LX106 RISC. Bộ vi xử lý này hỗ trợ RTOS và hoạt động ở tần số xung nhịp có thể điều chỉnh từ 80MHz đến 160 MHz. NodeMCU có 128 KB RAM và 4MB bộ nhớ Flash để lưu trữ dữ liệu và chương trình. Sức mạnh xử lý cao của nó với Wi-Fi / Bluetooth và các tính năng Điều hành Ngủ sâu tích hợp khiến nó trở nên lý tưởng cho các dự án IoT. NodeMCU có thể được cấp nguồn

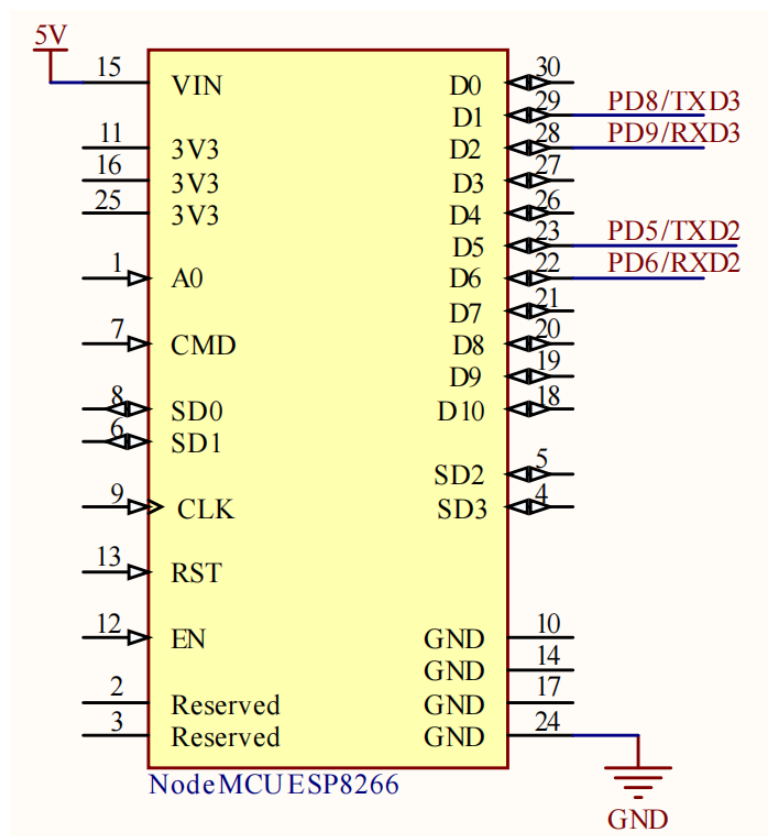


bằng giắc cắm Micro USB và chân  $V_{IN}$  (Chân nguồn cung cấp bên ngoài). Nó hỗ trợ giao diện UART, SPI và I2C... Các đặc điểm cơ bản



Hình 3-26: Node MCU ESP8266

- + Nguồn điện: chỉ +3.3V
- + Mức tiêu thụ dòng điện: 170mA
- + Bộ vi điều khiển: CPU RISC 32-bit Tensilica Xtensa LX106
- + Điện áp hoạt động: 3.3V
- + Điện áp đầu vào: 7-12V
- + Chân I / O kỹ thuật số (DIO): 16
- + Chân đầu vào tương tự (ADC): 1
- + UARTs: 1
- + SPI: 1
- + I2Cs: 1
- + Bộ nhớ Flash: 4 MB
- + SRAM: 64 KB
- + Tốc độ clock: 80 MHz
- + USB-TTL dựa trên CP2102 được bao gồm trên bo mạch, cho phép Plug n Play



Hình 3-27: Node MCU ESP8266

- **ThingSpeak**

Theo các nhà phát triển của ThingSpeak, "ThingSpeak là một ứng dụng và API Internet of Things (IoT) nguồn mở để lưu trữ và truy xuất dữ liệu sử dụng giao thức HTTP và MQTT qua Internet hoặc qua Mạng cục bộ. ThingSpeak cho phép tạo ứng dụng cảm biến, ghi nhật ký, ứng dụng theo dõi vị trí và mạng các cảm biến có cập nhật trạng thái lên máy chủ.

ThingSpeak ban đầu được ioBridge ra mắt vào năm 2010 như một dịch vụ hỗ trợ các ứng dụng IoT. ThingSpeak đã tích hợp hỗ trợ từ phần mềm điện toán số MATLAB của MathWorks cho phép người dùng ThingSpeak phân tích và trực quan hóa dữ liệu đã tải lên bằng Matlab mà không cần phải mua giấy phép Matlab từ Mathworks. ThingSpeak có mối quan hệ chặt chẽ với Mathworks, Inc. Trên thực tế, tất cả tài liệu của ThingSpeak được tích hợp vào trang tài liệu Matlab của Mathworks và thậm chí cho phép tài khoản người dùng Mathworks đã đăng ký làm thông tin đăng nhập hợp lệ trên trang web của ThingSpeak.

ThingSpeak đã phổ biến các bài viết trong các trang web “Maker” chuyên dụng như Instructables, Codeproject, và Channel 9.

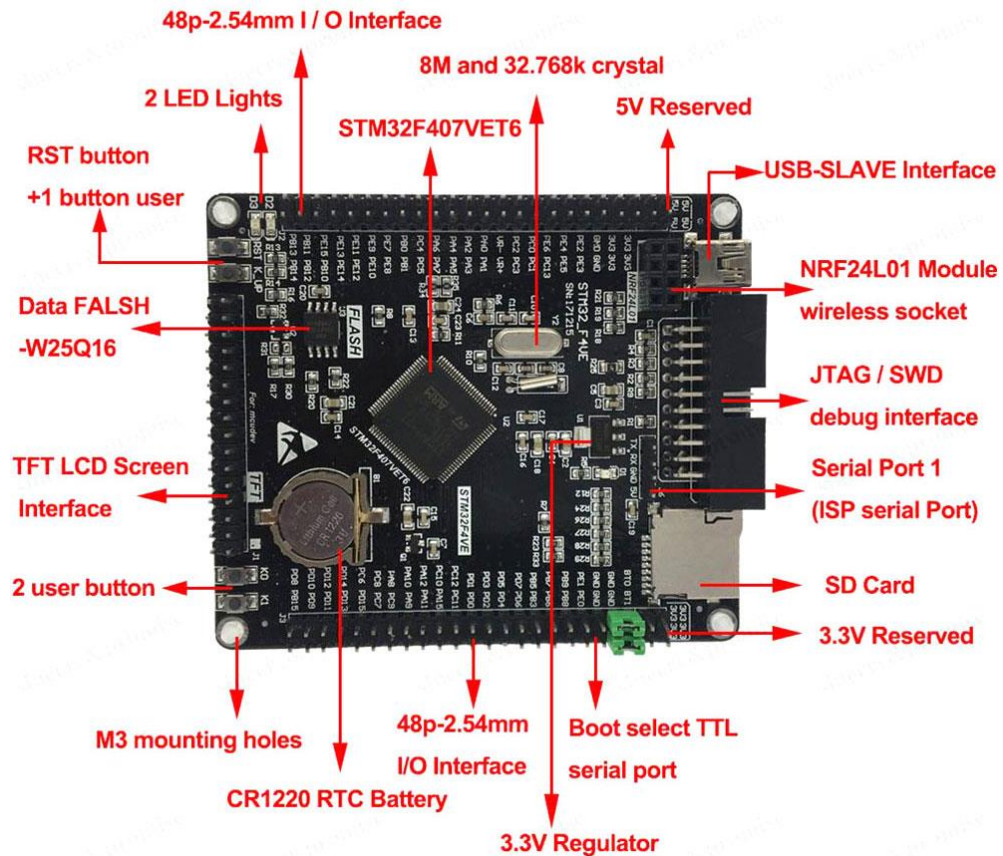


Hình 3-28: Giao diện trang web ThingSpeak

ThingSpeak hoạt động tương thích với các thiết bị như Aduino, Raspberry Pi, ESP8266, ESP32, ... Thế nên có thể sử dụng module ESP8266 gửi dữ liệu lên trang web ThingSpeak để vẽ biểu đồ theo thời gian thực.

## 5. Khối vi điều khiển trung tâm

STM32 là một trong những dòng chip phổ biến của ST với nhiều họ thông dụng như F0, F1, F2, F3, F4... Dòng STM32F407xx dựa trên lõi RISC 32bit Arm Cortex – M4 hiệu suất cao hoạt động ở tần số lên đến 168 MHz. Lõi Cortex – M4 có độ chính xác của Đơn vị dấu phẩy động (FPU) hỗ trợ tất cả các loại dữ liệu và hướng dẫn xử lý dữ liệu có độ chính xác đơn của ARM. STM32F407xx kết hợp bộ nhớ nhúng tốc độ cao (bộ nhớ Flash lên đến 1 Mbyte, SRAM lên đến 192 Kbyte), SRAM dự phòng lên đến 4 Kbyte và một loạt các I/O nâng cao và thiết bị ngoại vi được kết nối với hai APB bus, ba bus AHB và ma trận bus đa AHB 32 bit. Tất cả các thiết bị đều cung cấp ba ADC 12 – bit, hai DAC, RTC công suất thấp, mười hai bộ Timer 16 – bit đa dụng bao gồm hai bộ định thời PWM để điều khiển động cơ, hai bộ Timer 32 – bit đa năng.



Hình 3-29: KIT STM32F407VET6

Hình 3-1: KIT STM32F407VET6

Đề tài sử dụng KIT STM32F407VET được phát triển và thiết kế ra chân đầy đủ với các ngoại vi cơ bản và một số các tích hợp:

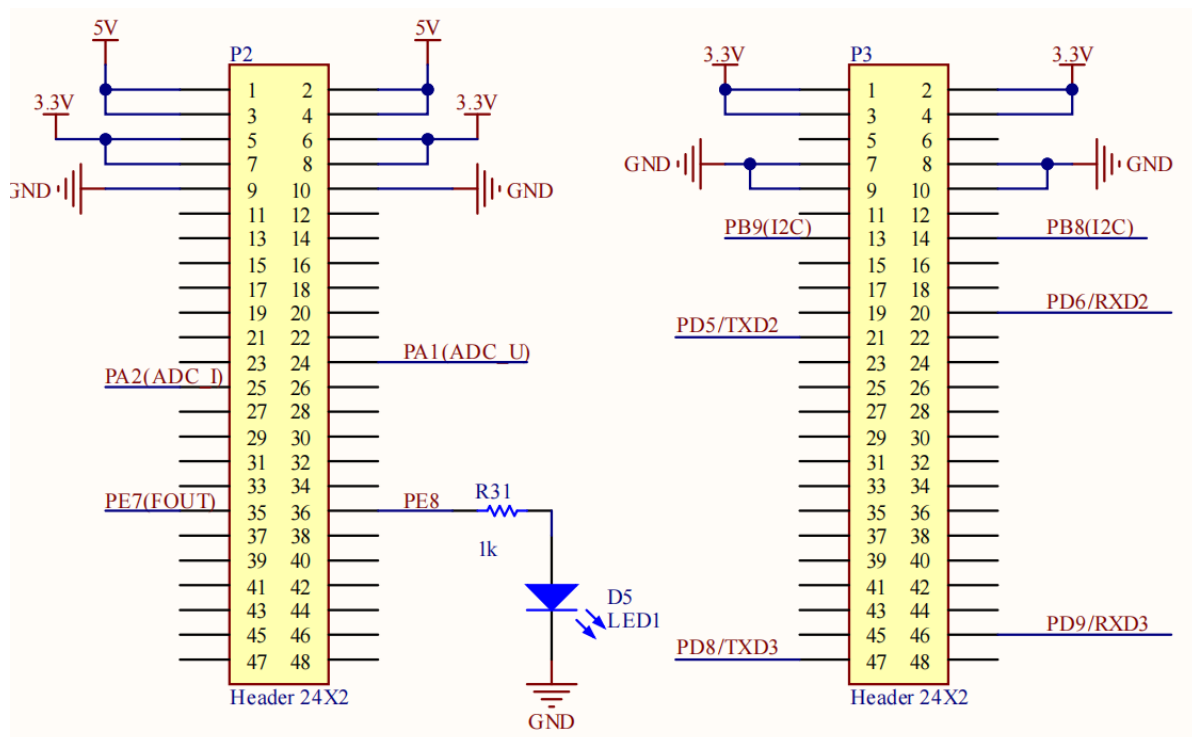
- + Nguồn cấp từ cổng Mini USB qua các IC nguồn chuyển thành 3.3V để cấp cho MCU.
- + Kit có IC ổn áp 3.3V cấp cho vi điều khiển cung cấp các chân nguồn 3.3V và 5V
- + Dải điện áp hoạt động nằm trong khoảng 1.8V đến 3.6V.
- + Nút Reset ngoài, 1 led báo nguồn, 2 led hiển thị trên chân PA6 và PA7.
- + Thạch anh chính 8Mhz.
- + Chuẩn nạp JTAG/SWD
- + Tích hợp cổng USB.
- + Tích hợp khe thẻ nhớ MicroSD.
- + Dòng tiêu thụ tối đa

Bởi vì KIT STM32F407VET6 được tích hợp IC nguồn AMS1117-3.3V chuyển đổi 5V thành 3.3V nên có thể cấp nguồn 5V trực tiếp vào KIT và đồng thời sử dụng điện áp

nguồn 3.3V để cấp cho  $V_{\text{LOGIC}}$  của mạch chuyển đổi điện áp sang tần số của LM331 và ESP8266-01.

Tín hiệu từ khối đo dòng điện và đo điện áp sau khi được chỉnh lưu và lọc để cho ra dạng tín hiệu DC thì lần kết nối với chân PA1 và PA0 của STM32F407VET6. Hai chân PA0 và PA1 đều là các chân ngõ vào analog và sử dụng hai bộ ADC 12 – bit để tính giá trị dòng điện và điện áp hiệu dụng của mạch tải tiêu thụ. Màn hình LCD 20x4 sử dụng module PCF8574 được kết nối với chân PB8 (SCL\_I2C) và PB9 (SDA\_I2C) để giao tiếp bằng I2C hiển thị các đại lượng đo điện đo được. Tín hiệu tần số sau khi đi qua khối xử lý tín hiệu được nối vào chân PB1/TIM1 để sử dụng Timer 16 – bit đo tần số tín hiệu và tính toán số kWh đã tiêu thụ để hiển thị lên LCD, đồng thời điều khiển cho LED D<sub>5</sub> ở chân PE4 chớp 1 lần tương ứng với 1Wh được tiêu thụ. Điện áp của đèn LED là 2V và dòng là 10mA, vì vậy có thể mắc thêm điện trở R<sub>31</sub> có giá trị 1kΩ

MCU đồng thời cũng thực hiện lưu trữ giá trị của năng lượng tiêu thụ vào bộ nhớ FLASH để phòng khi trường hợp mất điện. Giao tiếp với module ESP8266-01 qua UART ở chân PA9/TXD1 và PA10/RXD1 nhằm ứng dụng IoT gửi giá trị điện năng tiêu thụ được lên trang web để quan sát và quản lý. (Sơ đồ ra chân đầy đủ của KIT STM32F407VET6 ở phần phụ lục)



Hình 3-30: Sơ đồ nối chân của KIT STM32F407VET

## **CHƯƠNG 4: THIẾT KẾ PHẦN MỀM**

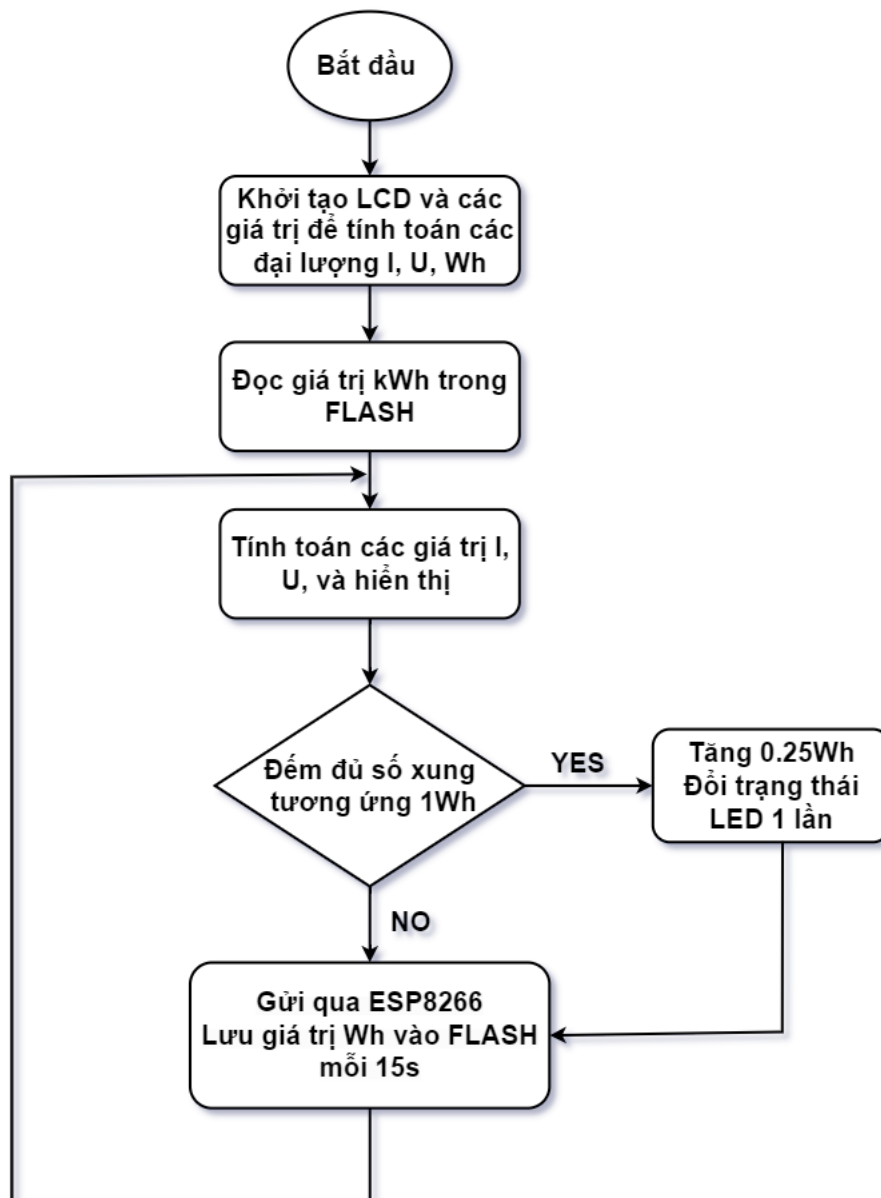
### **1. Yêu cầu thiết kế phần mềm**

Lưu đồ giải thuật được xây dựng phải thực hiện được các chức yêu cầu cụ thể sau:

- + Tính được giá trị hiệu dụng của các đại lượng dòng điện, điện áp.
- + Đếm số kWh tiêu thụ.
- + Hiển thị được các giá trị dòng điện, điện áp và số Wh lên LCD
- + Thực hiện chớp LED theo hệ số công tơ điện 4000imp/kWh
- + Lưu trữ giá trị vào bộ nhớ FLASH
- + Giao tiếp UART với Node MCU ESP8266 gửi số điện năng tiêu thụ Wh và giá trị dòng điện lên trang web ThingSpeak.

### **2. Lưu đồ giải thuật chương trình chính**





Hình 4-1: Lưu đồ giải thuật chương trình chính

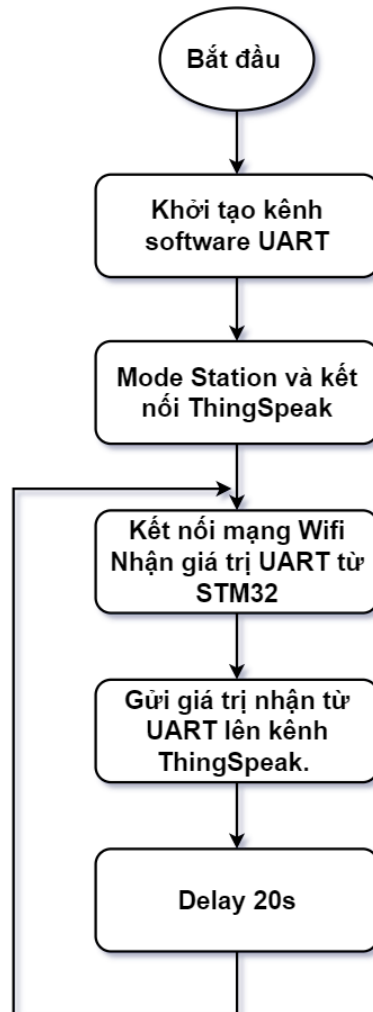
Khi được cấp nguồn vào, vi điều khiển sẽ thực hiện thiết lập các hệ số tính toán các giá trị điện áp, dòng điện, chỉ số kWh và đồng thời cũng sẽ khởi tạo màn hình LCD và các Timer để đếm số xung và delay 15s. Theo thiết kế phần cứng ở trên, để tính toán ADC của tín hiệu điện áp cần nhân thêm hệ số là 98.37 để hiển thị được giá trị điện áp hiệu dụng thực tế. ADC của tín hiệu dòng điện cũng được nhân thêm hệ số là 4 để hiển thị được giá trị điện áp hiệu dụng thực tế.

Sau khi thực hiện xong các lệnh khởi tạo, vi điều khiển sẽ đọc giá trị kWh được lưu trong bộ nhớ FLASH của vi điều khiển. Chương trình chính sẽ tiếp tục công việc hiển thị và đọc và tính toán ADC các giá trị dòng, áp. Khi này, nếu Timer đếm đủ số lượng

xung tương ứng với 0.25Wh thì sẽ lập tức ngắt để đảo trạng thái LED và tăng số Wh thêm 0.25 đơn vị. Vì vậy, chu kỳ LED sáng và tắt sẽ tương ứng với 0.5Wh.

Timer thứ 2 sẽ thực hiện ngắt để lưu dữ liệu vào giá trị Wh vào FLASH và gửi giá trị dòng điện và Wh đến ESP8266 thông qua UART để hiển thị lên web.

### 3. Lưu đồ giải thuật chương trình ESP8266



Hình 4-2: Lưu đồ giải thuật của ESP8266

Đầu tiên chương trình sẽ khởi tạo 2 kênh UART nhờ vào thư viện SoftwareSerial để giao tiếp với KIT STM32F407VET và khởi tạo ESP8266 ở mode Station, đồng thời khởi tạo kết nối đến ThingSpeak.

Sau khi khởi tạo các kết nối, chương trình thực hiện kết nối với mạng Wifi và lưu các giá trị nhận từ UART vào biến và gửi lên các kênh của ThingSpeak để hiển thị, tiếp tục lặp lại các công việc trên sau mỗi 15s.



## CHƯƠNG 5: KẾT QUẢ THỰC HIỆN

### 1. Kết quả thực hiện

Từ tín hiệu tần số của LM331 có thể suy ra số xung trong một giờ, từ đó có thể ứng tính được số lượng điện năng tiêu thụ kWh và dùng MCU điều khiển LED chớp xung theo hệ số công tơ điện. Hàng được in đậm xem như thiết bị có giá trị công suất tiêu thụ 1kW với hệ số  $\cos\varphi$  được xem như bằng 1, tải thuần trở. Tương ứng với đó, công suất bằng 1kW thì tần số LM331 sẽ là 952 Hz cũng đồng nghĩa với 952 xung/giây vậy trong vòng giờ liên tục thì sẽ có 3427200 xung. Có nghĩa là khi đếm được số lượng xung là 3427200 thì mạch tiêu thụ được 1kWh. Từ đó tính được 3427 xung tương ứng 1Wh, hay có thể gọi đây là hệ số xung/Wh.

Tuy nhiên hệ số xung/Wh này còn khá lớn nên có thể chia tiếp cho 4 để có được 857 xung tương ứng với 0.25Wh (lựa chọn hệ số công tơ điện là 4000imp/kWh) để dễ dàng thực hiện đếm hơn, có thể áp dụng điều này để dùng MCU điều khiển LED thay đổi trạng thái dựa trên hệ số công tơ điện trên. Vì phần mềm thiết kế sẽ thực hiện ngắt mỗi khi đếm đủ số xung nên trong phần ngắt đèn LED sẽ thay đổi trạng thái mỗi khi đếm được 0.25Wh.

Bảng 5-1: Giá trị tần số xung tương ứng với dòng và áp

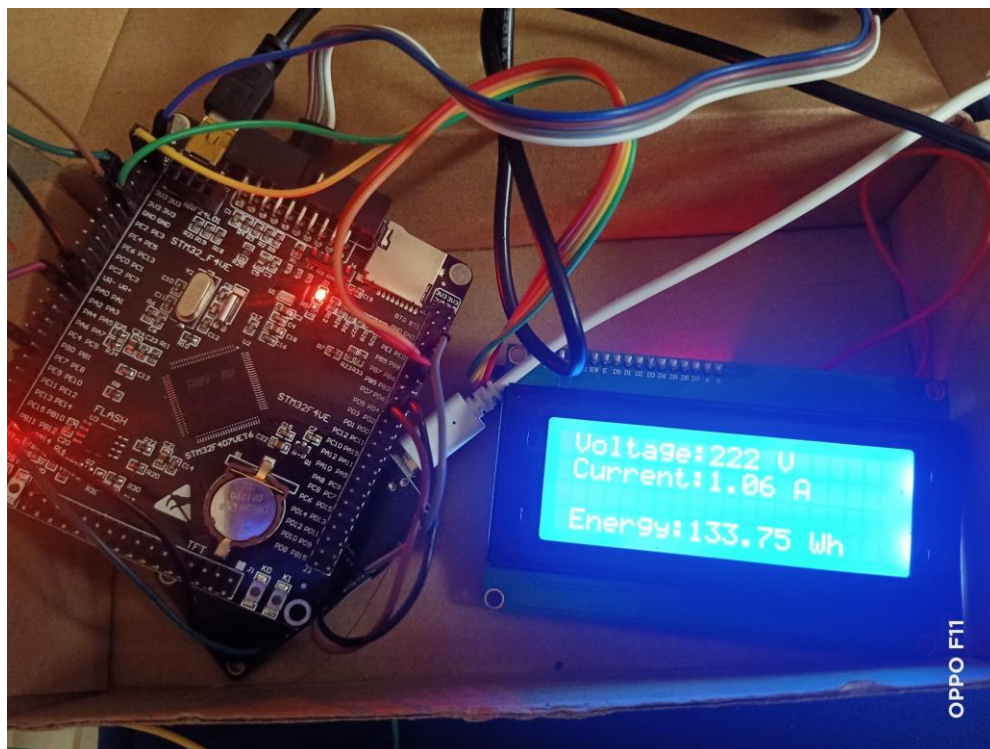
Điện áp hiệu dụng (V)	Dòng điện hiệu dụng (A)	X1(V) hiệu dụng	X2(V) hiệu dụng	Ngõ ra bộ lọc (tính toán)	Tần số LM331
220V	1	0.3	4.1	0.123	125
220V	2	0.9	4.1	0.369	376
220V	3	1.5	4.1	0.615	627
220V	4	2	4.1	0.82	837
<b>220V</b>	<b>4.545</b>	<b>2.3</b>	<b>4.1</b>	<b>0.943</b>	<b>952</b>
220V	5	2.5	4.1	1.025	1046
220V	6	3	4.1	1.23	1275
220V	7	3.5	4.1	1.435	1464
220V	8	4.1	4.1	1.681	1715
220V	9	4.6	4.1	1.886	1924
220V	10	5.2	4.1	2.132	2175

*Bảng 5-2: Giá trị tần số xung tương ứng với công suất tiêu thụ*

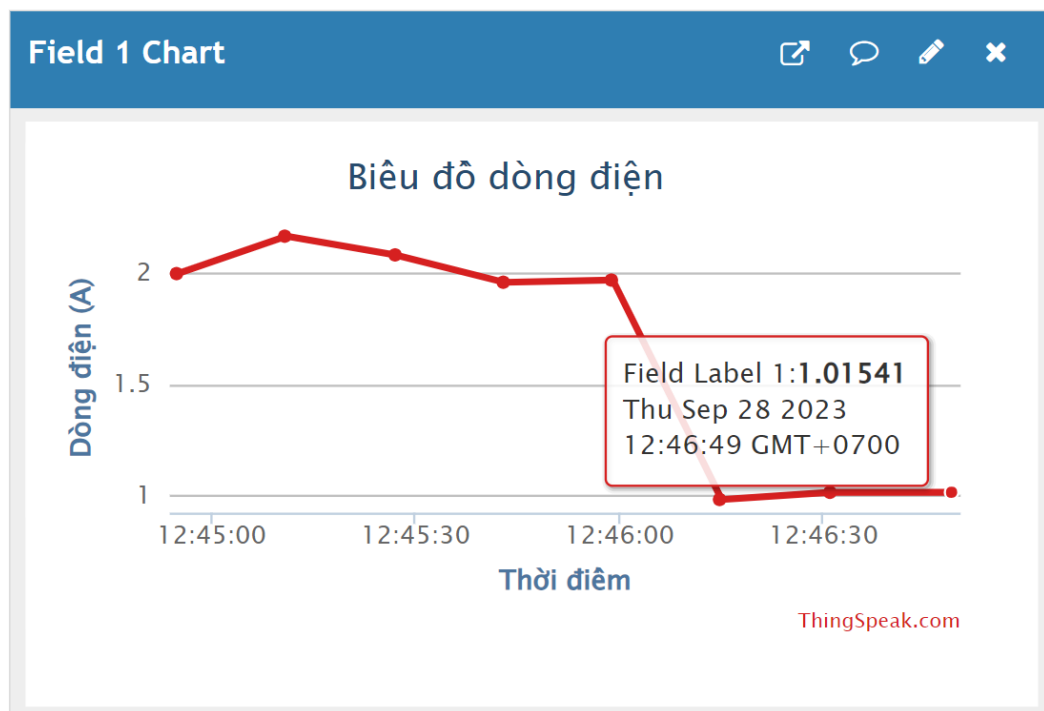
Điện áp hiệu dụng (V)	Dòng điện hiệu dụng (A)	Công suất (kW)	Ngõ ra AD633 (tính toán)	Tần số LM331 (trong 1 giờ)
220V	1	0.22	125	450000
220V	2	0.44	376	1353600
220V	3	0.66	627	2257200
220V	4	0.88	837	3013200
<b>220V</b>	<b>4.545</b>	0.9999	<b>952</b>	<b>3427200</b>
220V	5	1.1	1046	3765600
220V	6	1.32	1275	4590000
220V	7	1.54	1464	5270400
220V	8	1.76	1715	6174000
220V	9	1.98	1924	6926400
220V	10	2.2	2175	7830000



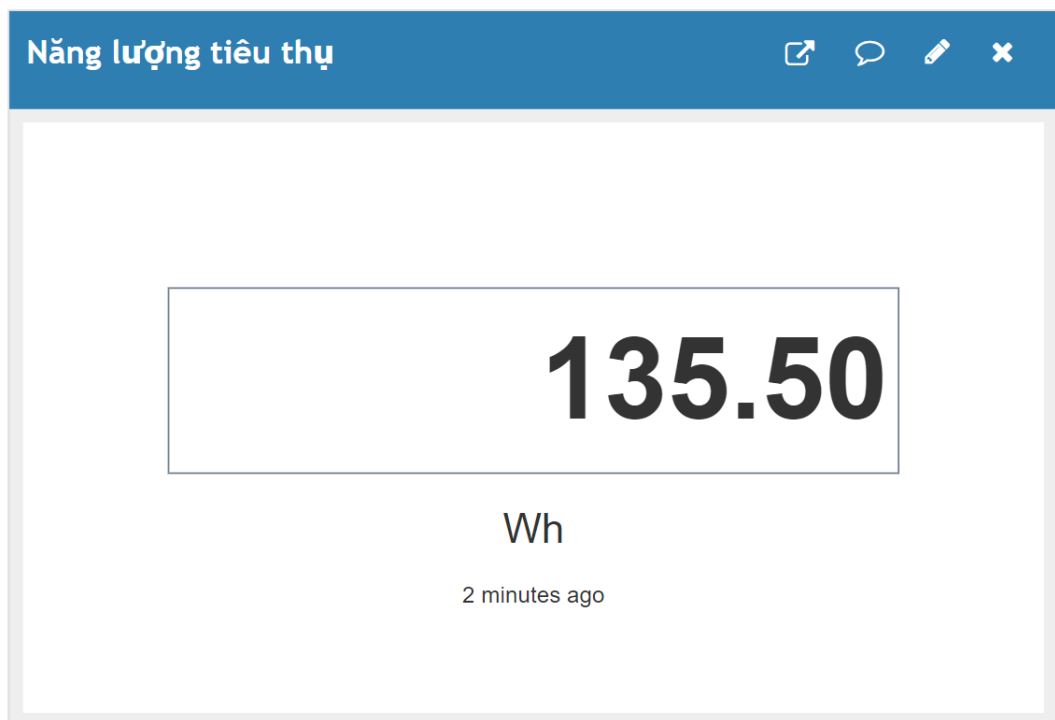
*Hình 5-1: Kết quả hiển thị với điện áp bằng 220V và dòng bằng 2.1A*



Hình 5-2: Kết quả hiển thị với điện áp bằng 220V và dòng bằng 1.01A



Hình 5-3: Biểu đồ dòng điện hiển thị trên ThingSpeak sau mỗi 20s



Hình 5-4: Giá trị Wh hiển thị trên ThingSpeak sau mỗi 20s

## 2. Sai số phép đo

### 2.1 Sai số phép đo dòng điện và điện áp

Bảng 5-3: Sai số dòng điện so với Ampe Kìm Kewtech

Giá trị dòng điện (Đọc từ Ampe Kìm Kewtech KT200) (A)	Giá trị dòng điện đo được (A)	Sai số
0.5	0.48	4%
1.01	1.06	1.98%
1.51	1.55	2.64%
2.02	2.06	1.98%
2.51	2.58	2.78%
3	3.08	2.66%
3.49	3.52	0.85%
4.03	4.05	0.49%
4.51	4.56	1.10%

Thay đổi điện áp của biến áp tự ngẫu dẫn đến dòng điện ở mạch cũng sẽ thay đổi, khi đó quan sát giá trị dòng điện đo được trên Ampe kìm Kewtech KT200 và kết quả thí công. Sai số <5% đúng với yêu cầu tuy nhiên kết quả sai số này còn quá lớn chưa đáp ứng được yêu cầu đo lường trong thực tế và cần thực hiện hiệu chỉnh trong định hướng phát triển.

*Bảng 5-4: Sai số điện áp so với Ampe Kìm Kewtech*

<b>Giá trị điện áp (Đọc từ Ampe Kìm Kewtech KT200) (V)</b>	<b>Giá trị điện áp đo được (V)</b>	<b>Sai số</b>
218.5	214	2.05%
222.5	219	1.57%
217.4	220	1.19%

So sánh điện áp nguồn khi đo bằng chức năng đo điện xoay chiều của Ampe kìm Kewtech KT200 so với kết quả thi công. Sai số <5% đúng với yêu cầu tuy nhiên kết quả sai số này còn khá lớn chưa đáp ứng được yêu cầu đo lường trong thực tế và cần thực hiện hiệu chỉnh trong định hướng phát triển.

## **2.2 Sai số phép đo năng lượng tiêu thụ**

Điều chỉnh dòng điện ở giá trị 1A và điện áp 220V để hệ thống tiến hành đo trong thời gian 30s.

Năng lượng tiêu thụ theo lý thuyết là 2.75Wh. Tuy nhiên số Wh đọc được trên thiết kế là 3.5Wh. Sai số này lớn và công tơ điện đang chạy nhanh hơn thực tế.

Lý do dẫn đến sai số trên là do nhiều dây dẫn khi thực hiện đếm số xung. Hướng khắc phục trong tương lai là hoàn thiện thiết kế mạch in và lấy mẫu nhiều lần giá trị tần số ở nhiều giá trị công suất khác nhau để chọn được hệ số xung/Wh phù hợp.

## KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

### 1. Kết luận

Trong khoảng thời gian nghiên cứu, tìm hiểu để thực hiện đồ án và cùng với đó là sự hướng dẫn tận tình của thầy Vũ Quang Thời thì em cũng đã hoàn thành được các nội dung:

- + Tìm hiểu hoạt động của điện kế điện tử dân dụng 1 pha.
- + Thiết kế phần cứng điện kế điện tử (Điện áp vào 220Vac và dòng tải tối đa là 10Aac).
- + Thiết kế phần mềm hiển thị giá trị dòng điện, điện áp hiệu dụng và chỉ số kWh tiêu thụ. Lưu trữ giá trị vào bộ nhớ FLASH phòng trường hợp mất điện.
- + Kết hợp IoT hiển thị giá trị dòng điện và Wh lên web.

Tuy nhiên, đồ án vẫn còn nhiều hạn chế chưa thể hiệu chỉnh sai số, tối ưu mức độ chính xác.

### 2. Hướng phát triển

Đề tài có thể phát triển hoàn thiện hơn để đưa ra sản phẩm hoàn chỉnh mang tính thực tiễn hơn trong tương lai:

- + Thực hiện hiệu chỉnh sai số, thi công mạch in hoàn chỉnh
- + Tính toán hiển thị giá trị tần số.
- + Mở rộng kết nối IoT, xây dựng webserver riêng cho hệ thống.
- + Thiết kế phần tính độ lệch pha, hệ số  $\cos \varphi$  cho hệ thống.
- + Điều chỉnh thiết kế sử dụng tải thực tế.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1] Vũ Quý Điềm (Chủ biên) – Phạm Văn Tuấn – Đỗ Lê Phú (2001), “*Giáo trình Cơ sở kỹ thuật đo lường điện tử*”, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- [2] Nguyễn Văn Hòa (Chủ biên) – Bùi Đăng Thanh – Hoàng Sỹ Hồng (2005), “*Giáo trình Đo lường điện và Cảm biến đo lường*”, Nhà xuất bản Giáo dục.
- [3] James M. Fiore (May 2021), “*Operational Amplifiers & Linear Integrated Circuits: Theory and Application*” (Third Edition).
- [4] Robert F. Coughlin – Frederick F. Driscoll (2001), “*Operational Amplifiers & Linear Integrated Circuits*” (6th Edition).
- [5] Analog Devices, “*Low cost Analog Multiplier – AD633*”,  
<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD633.pdf>
- [6] Texas Instruments, “*LMx31x Precision Voltage-to-Frequency Converters*”,  
<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm331.pdf?ts=1692534797742>
- [7] STM32F407VE, <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f407ve.html>

## PHỤ LỤC

### Bảng phụ lục 0-1: Các thông số kỹ thuật của AD633

#### SPECIFICATIONS

$T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{ V}$ ,  $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ .

Table 1.

Parameter	Conditions	AD633J, AD633A			Unit
		Min	Typ	Max	
TRANSFER FUNCTION		$W = \frac{(X1 - X2)(Y1 - Y2)}{10\text{ V}} + Z$			
MULTIPLIER PERFORMANCE					
Total Error	$-10\text{ V} \leq X, Y \leq +10\text{ V}$		$\pm 1$	$\pm 2^1$	% full scale
$T_{\text{MIN}}$ to $T_{\text{MAX}}$			$\pm 3$		% full scale
Scale Voltage Error	SF = 10.00 V nominal		$\pm 0.25\%$		% full scale
Supply Rejection	$V_S = \pm 14\text{ V}$ to $\pm 16\text{ V}$		$\pm 0.01$		% full scale
Nonlinearity, X	$X = \pm 10\text{ V}$ , $Y = +10\text{ V}$		$\pm 0.4$	$\pm 1^1$	% full scale
Nonlinearity, Y	$Y = \pm 10\text{ V}$ , $X = +10\text{ V}$		$\pm 0.1$	$\pm 0.4^1$	% full scale
X Feedthrough	Y nulled, $X = \pm 10\text{ V}$		$\pm 0.3$	$\pm 1^1$	% full scale
Y Feedthrough	X nulled, $Y = \pm 10\text{ V}$		$\pm 0.1$	$\pm 0.4^1$	% full scale
Output Offset Voltage <sup>2</sup>			$\pm 5$	$\pm 50^1$	mV
DYNAMICS					
Small Signal Bandwidth	$V_O = 0.1\text{ V rms}$		1		MHz
OUTPUT					
Output Voltage Swing		$\pm 11^1$			V
Short Circuit Current	$R_L = 0\ \Omega$		30	$40^1$	mA
INPUT AMPLIFIERS					
Signal Voltage Range	Differential	$\pm 10^1$			V
	Common mode	$\pm 10^1$			V
Offset Voltage (X, Y)			$\pm 5$	$\pm 30^1$	mV
CMRR (X, Y)	$V_{\text{CM}} = \pm 10\text{ V}$ , $f = 50\text{ Hz}$	$60^1$	80		dB
Bias Current (X, Y, Z)			0.8	$2.0^1$	$\mu\text{A}$
Differential Resistance			10		M $\Omega$
POWER SUPPLY					
Supply Voltage			$\pm 15$		V
Rated Performance					V
Operating Range		$\pm 8^1$		$\pm 18^1$	V
Supply Current	Quiescent		4	$6^1$	mA

<sup>1</sup> This specification was tested on all production units at electrical test. Results from those tests are used to calculate outgoing quality levels. All minimum and maximum specifications are guaranteed; however, only this specification was tested on all production units.

<sup>2</sup> Allow approximately 0.5 ms for settling following power on.

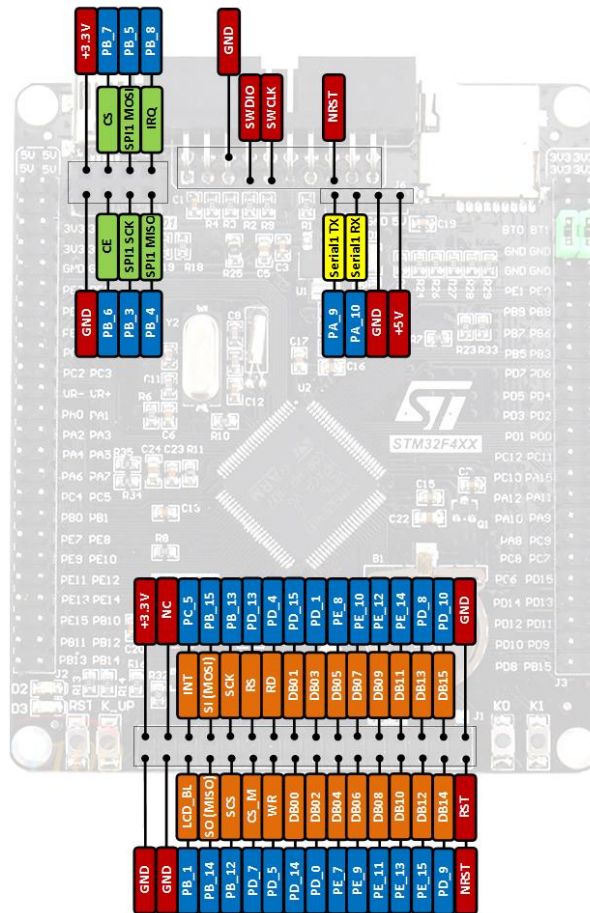


**Bảng phụ lục 0-2: Các thông số kỹ thuật của LM331****7.5 Electrical Characteristics**

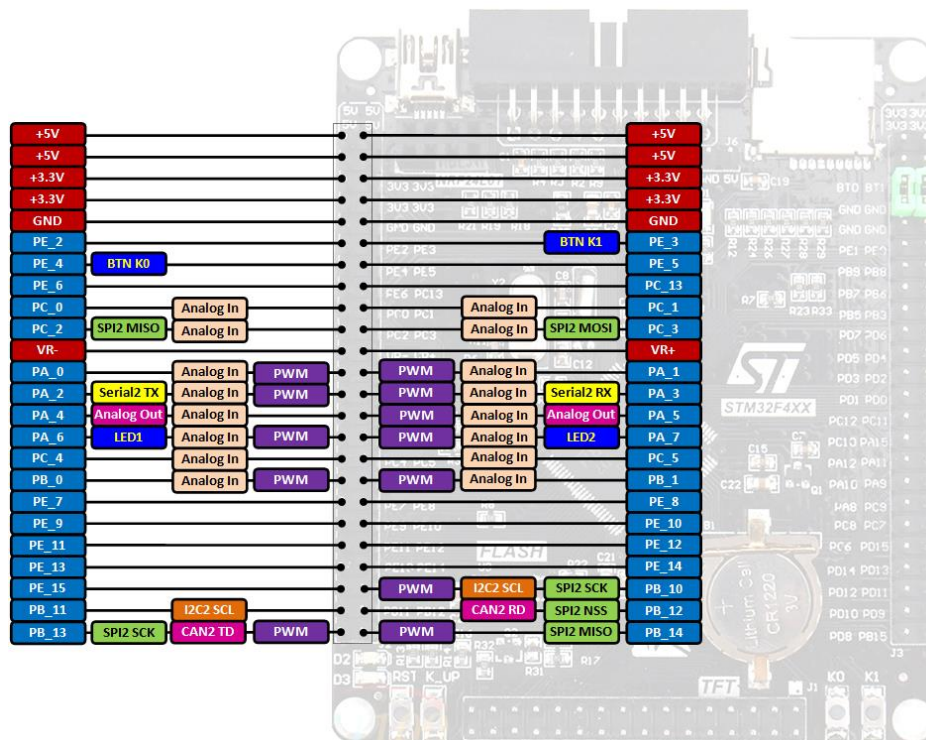
All specifications apply in the circuit of Figure 16, with  $4.0\text{ V} \leq V_S \leq 40\text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified.

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
VFC Non-Linearity <sup>(1)</sup>		$4.5\text{ V} \leq V_S \leq 20\text{ V}$		$\pm 0.003$	$\pm 0.01$	% Full-Scale
		$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$		$\pm 0.006$	$\pm 0.02$	% Full-Scale
VFC Non-Linearity in Circuit of Figure 14		$V_S = 15\text{ V}$ , $f = 10\text{ Hz to } 11\text{ kHz}$		$\pm 0.024$	$\pm 0.14$	% Full-Scale
Conversion Accuracy Scale Factor (Gain)	LM231, LM231A	$V_{\text{IN}} = -10\text{ V}$ , $R_S = 14\text{ k}\Omega$	0.95	1	1.05	kHz/V
	LM331, LM331A		0.9	1	1.1	kHz/V
Temperature Stability of Gain	LMx31	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$ $4.5\text{ V} \leq V_S \leq 20\text{ V}$		$\pm 30$	$\pm 150$	ppm/ $^\circ\text{C}$
	LMx31A			$\pm 20$	$\pm 50$	ppm/ $^\circ\text{C}$
Change of Gain with $V_S$		$4.5\text{ V} \leq V_S \leq 10\text{ V}$		0.01	0.1	%/V
		$10\text{ V} \leq V_S \leq 40\text{ V}$		0.006	0.06	%/V
Rated Full-Scale Frequency		$V_{\text{IN}} = -10\text{ V}$	10.0			kHz
Gain Stability vs. Time (1000 Hours)		$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$		$\pm 0.02$		% Full-Scale
Over Range (Beyond Full-Scale) Frequency		$V_{\text{IN}} = -11\text{ V}$	10%			
<b>INPUT COMPARATOR</b>						
Offset Voltage				$\pm 3$	$\pm 10$	mV
LM231/LM331		$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$		$\pm 4$	$\pm 14$	mV
LM231A/LM331A		$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$		$\pm 3$	$\pm 10$	mV
<b>SUPPLY CURRENT</b>						
LM231, LM231A		$V_S = 5\text{ V}$	2	3	4	mA
		$V_S = 40\text{ V}$	2.5	4	6	mA
LM331, LM331A		$V_S = 5\text{ V}$	1.5	3	6	mA
		$V_S = 40\text{ V}$	2	4	8	mA

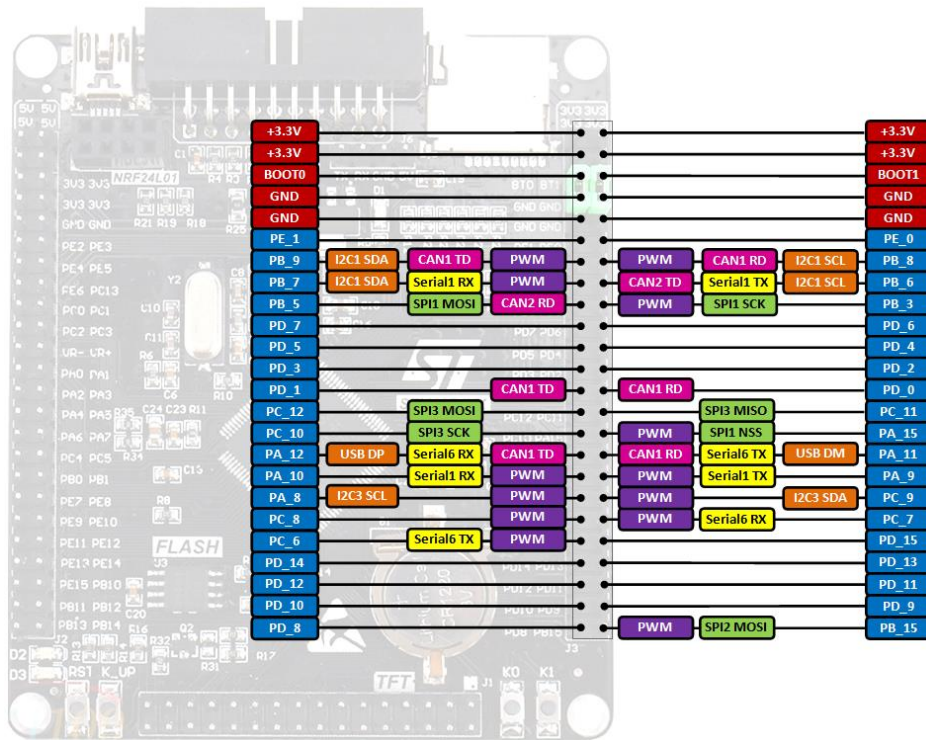
**Bảng phụ lục 0-3: Các chân ra của KIT STM32F407VET6**



a)



b)



c)

**Bảng phụ lục 0-4: Các chân ra của Node MCU ESP8266**

