

NGHIÊN CỨU CÔNG TƠ ĐIỆN HAI CHIỀU ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ IoT

RESEARCH ON TWO-WAY POWER METERS USING IoT TECHNOLOGY

Trần Sinh Biên^{1,*}, Nguyễn Văn Tiến¹

TÓM TẮT

Bài báo trình bày về công tơ điện hai chiều ứng dụng công nghệ IoT. Mô hình hệ thống bao gồm bộ đo năng lượng tiêu thụ, máy chủ Blynk và máy tính hoặc điện thoại thông minh. Bộ đo năng lượng sẽ căn cứ vào giá trị dòng điện, điện áp, góc lệch pha và thời gian sử dụng để tính toán được giá trị năng lượng tiêu thụ của phụ tải. Các giá trị dòng điện, điện áp, công suất, tần số, góc lệch pha và điện năng tiêu thụ được hiển thị trên LCD. Ngoài ra dữ liệu về điện năng tiêu thụ cũng được gửi tới một module Wi-Fi để kết nối tới máy chủ Blynk. Khi kết nối với internet, thiết bị đo điện năng sẽ gửi dữ liệu tới máy chủ Blynk. Nhờ có máy chủ Blynk, người dùng khi muốn theo dõi thông tin về các chỉ số tiêu thụ điện chỉ cần thiết bị kết nối internet như máy tính, điện thoại là có thể xem được. Mô hình công tơ điện hai chiều đã được xây dựng và hoạt động ổn định.

Từ khóa: Công tơ, công nghệ IoT, máy chủ Blynk.

ABSTRACT

The article presents about two-way energy meter applying IoT technology. The system model includes an energy meter, a Blynk server, and a computer or smartphone. The energy meter will base on the value of current, voltage, phase difference and use time to calculate the value of energy consumed by the load. Current, voltage, power, frequency, phase difference and power consumption values are displayed on the LCD. In addition, power consumption data is also sent to a Wi-Fi module for connection to the Blynk server. When connected to the internet, the energy meter sends data to the Blynk server. Thanks to Blynk server, when users want to monitor information about power consumption indicators, they only need an internet-connected device such as a computer or phone to view it. The two-way electric meter model has been built and operates stably.

Keywords: An energy meter, IoT technology, Blynk server.

¹Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email: transinhbien@vimar.edu.vn

Ngày nhận bài: 25/3/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 26/4/2022

Ngày chấp nhận đăng: 27/6/2022

1. GIỚI THIỆU

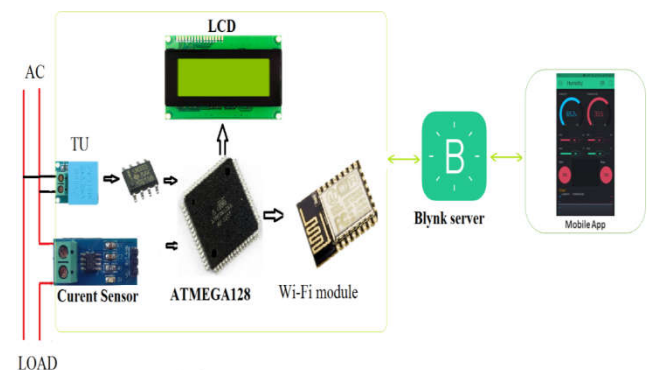
Công tơ điện hai chiều ứng dụng công nghệ IoT mang lại nhiều tiện ích cho khách hàng. Thông qua App cài đặt trên điện thoại thông minh, khách hàng có thể theo dõi được tình hình sử dụng điện hàng tháng và chủ động được việc điều chỉnh sử dụng điện phù hợp, mang lại hiệu quả sử dụng điện cao nhất.

Trước đây việc sử dụng điện hoàn toàn phụ thuộc vào điện lưới quốc gia thì với giải pháp điện mặt trời hòa lưới khách hàng, hộ gia đình không chỉ tiết kiệm chi phí mà còn có thể bán lượng điện thừa cho điện lực Việt Nam.

Ngoài ra, việc sử dụng công tơ điện hai chiều ứng dụng công nghệ IoT mang lại nhiều tiện ích cho khách hàng như vào bất kỳ lúc nào và ở đâu, khách hàng thông qua App cài đặt trên điện thoại thông minh, đều có thể theo dõi được tình hình sử dụng điện, điện năng tiêu thụ, hóa đơn tiền điện hàng tháng của nhà mình. Nhờ vậy, khách hàng hoàn toàn chủ động được việc điều chỉnh sử dụng điện phù hợp, mang lại hiệu quả sử dụng điện cao nhất. Đồng thời, chỉ số công tơ hai chiều theo định kỳ được cung cấp trực tiếp đến khách hàng thông qua App trên điện thoại.

2. SƠ ĐỒ KHỐI HỆ THỐNG ĐO ĐIỆN NĂNG

Sơ đồ khối hệ thống đo điện năng như trong hình 1.



Hình 1. Sơ đồ khối hệ thống đo điện năng

Mô hình hệ thống đo điện năng bao gồm bộ đo năng lượng tiêu thụ, máy chủ Blynk và máy tính hoặc điện thoại thông minh.

Bộ đo điện năng sẽ căn cứ vào giá trị dòng điện, điện áp, góc lệch pha và thời gian sử dụng để tính toán được giá trị năng lượng tiêu thụ của phụ tải. Các giá trị dòng điện, điện áp, công suất, tần số, góc lệch pha và điện năng tiêu thụ được hiển thị trên LCD (Liquid Crystal Display). Ngoài ra dữ liệu về điện năng tiêu thụ cũng được gửi tới một module Wi-Fi để kết nối tới máy chủ Blynk (Blynk server). Khi kết nối với internet, thiết bị đo điện năng sẽ gửi dữ liệu tới một máy chủ Blynk server. Nhờ có Blynk server mà khi

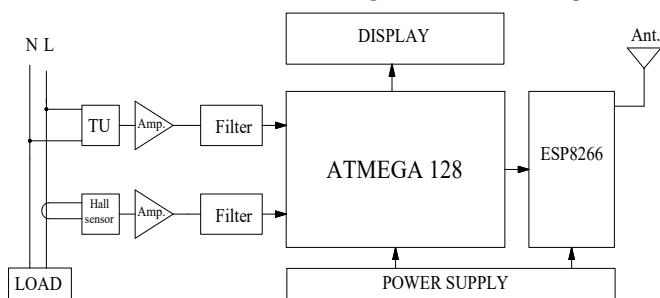
người sử dụng muốn giám sát thông tin về chỉ số điện năng tiêu thụ thì chỉ cần một thiết bị có khả năng kết nối internet như máy tính, điện thoại là có thể xem được [1, 2].

3. MÔ TẢ CÁC THÀNH PHẦN TRONG HỆ THỐNG

3.1. Bộ đo điện năng tiêu thụ

3.1.1. Sơ đồ khối

Sơ đồ khối của bộ đo điện năng tiêu thụ như trong hình 2.



Hình 2. Sơ đồ khối bộ đo điện năng tiêu thụ

Bộ đo điện năng tiêu thụ bao gồm:

Hall sensor: Cảm biến dòng điện;

TU: Biến áp đo lường;

ATMEGA 128: Vi điều khiển thực hiện các thuật toán đo lường và hiển thị;

ESP8266: Module giao tiếp không dây;

Amp: Bộ khuếch đại điện áp;

Display: Màn hình hiển thị;

Power Supply: Nguồn cấp cho thiết bị.

Điện áp lưới và dòng điện tải được đưa qua biến áp TU và cảm biến dòng để biến đổi thành điện áp cỡ mV và thông qua khâu khuếch đại để tạo thành điện áp 0 ÷ 5V phù hợp với ADC (Analog to Digital Converter) của vi điều khiển.

Bộ đo điện năng sử dụng vi điều khiển ATMEGA128 để tính toán dòng điện, điện áp, công suất, tần số, năng lượng tiêu thụ và hiển thị trên LCD, đồng thời đưa dữ liệu tới Blynk server thông qua module giao tiếp không dây ESP8266.

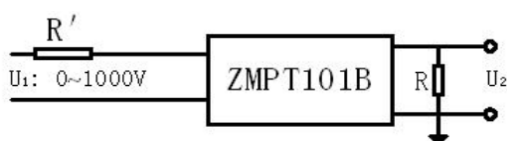
3.1.2. Biến áp TU

Trong bộ đo điện năng sử dụng module biến áp đo lường ZMPT101B.

Module biến áp đo lường ZMPT101B [3] được sử dụng để đo điện áp AC có khả năng đo tối đa 1000VAC với biến trở tinh chỉnh giá trị Analog đầu ra.

Thông số kỹ thuật biến áp ZMPT101B: Nguồn: 5 ~ 30VDC; Điện áp vào tối đa: 1000VAC; Dòng điện sơ cấp và thứ cấp: 2mA.

Sơ đồ kết nối module biến áp đo lường với tín hiệu điện áp trên hình 3.



Hình 3. Sơ đồ kết nối module biến áp đo lường

Dòng điện đầu vào/ra cho phép của ZMPT101B là 2mA. Điện áp cực đại của lưới là $U_1 = 310V$. Để đảm bảo an toàn cho cuộn dây của biến áp, chọn dòng điện chạy qua sơ cấp là $I_1 = 0,35mA$. Do vậy điện trở đầu vào được tính như sau:

$$R' = \frac{U_1}{I_1} = \frac{310}{0,00035} = 0,88.10^6 \Omega$$

Chuẩn hóa giá trị điện trở $R' = 0,82M\Omega$

Điện áp đầu ra của biến áp chọn 0,03V, do vậy điện trở sơ bên phía sơ cấp được tính như sau:

$$R = \frac{U_2}{I_2} = \frac{0,03}{0,00035} = 85\Omega$$

Chuẩn hóa giá trị điện trở $R = 100\Omega$.

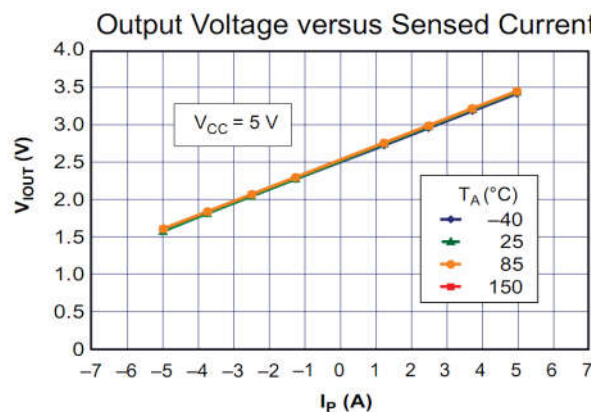
3.1.3. Cảm biến dòng điện ACS 712

Trong hệ thống sử dụng phương pháp đo dòng điện để tính toán công suất tiêu thụ của các thiết bị điện.

Cảm biến dòng điện ACS712 (Hall Effect Current Sensor) dựa trên hiệu ứng Hall để đo dòng điện AC/DC, cảm biến có kích thước nhỏ gọn, dễ kết nối, giá trị trả ra là điện áp Analog tuyến tính theo cường độ dòng điện cần đo nên rất dễ kết nối và lập trình với vi điều khiển, thích hợp với các ứng dụng cần đo dòng AC/DC với độ chính xác cao.

Đo dòng điện AC: khi cấp nguồn 5VDC cho module khi chưa có dòng I_p (chưa có tải) thì $V_{out} = 2,5VDC$, khi có dòng xoay chiều I_p (dòng AC) điện áp V_{out} có độ lớn tuyến tính với dòng điện AC từ 0 ÷ 5VDC tương ứng với dòng xoay chiều $- I_{PMAX} \div I_{PMAX}$. Ví dụ, với loại ACS 712-5A V_{out} sẽ tuyến tính với dòng điện AC từ 0 ÷ 5VDC tương ứng với dòng xoay chiều tương ứng với dòng tương ứng với -5A đến 5A.

Đặc tính đầu ra của cảm biến ACS 712-5A như trên hình 4.



Hình 4. Đặc tính đầu ra của cảm biến ACS712

Cảm biến dòng điện ACS 712 có một số loại khác nhau như: ACS 712-5A, ACS 712-20A và ACS 712-30A có thể đo dòng điện lớn nhất lần lượt là: 5A, 20A và 30A tương ứng. Trong mô hình hệ thống đo điện năng nhóm tác giả sử dụng loại cảm biến dòng điện ACS 712-5A phù hợp với công suất lớn nhất là 1,1kVA.

Thông số kỹ thuật ACS712-5A: Trở kháng vào 1,2mΩ; Điện áp hoạt động 5V; Độ nhạy đầu ra 66 - 185mV/A; Nhiễu tín hiệu đầu ra nhỏ; Độ trễ tín hiệu đầu ra và đầu vào là 5us; Sai số 1,5% ở 25°C.

3.1.4. Vi điều khiển ATMEGA128

ATmega128 là vi điều khiển 8 bit dựa trên kiến trúc RISC. Với khả năng thực hiện mỗi lệnh trong vòng một chu kỳ xung Clock. ATmega128 có thể đạt được tốc độ 1 MIPS trên mỗi MHz (1 triệu lệnh/s/MHz).

ATmega128 có các đặc điểm sau: 128kB bộ nhớ Flash với khả năng đọc trong khi ghi, 512Byte bộ nhớ EEPROM, 1kB bộ nhớ SRAM, 32 thanh ghi chức năng chung, 32 đường vào ra chung, 3 bộ định thời/bộ đếm, ngắt nội và ngắt ngoại, UART, giao tiếp nối tiếp 2 dây, 8 kênh ADC 10 bit,...

3.1.5. Module giao tiếp không dây ESP8266

Module giao tiếp không dây được sử dụng trong mô hình là ESP8266 có các thông số chính như sau: Chip: ESP8266EX; WiFi: 2.4GHz hỗ trợ chuẩn 802.11b/g/n; Giao tiếp: Cable Micro USB; Tích hợp giao thức TCP/IP; Số chân I/O: 11 (tất cả các chân I/O đều có Interrupt/PWM/I2C/One-wire, trừ chân D0).

Để truyền thông tin từ vi điều khiển tới module ESP8266, trong mô hình sử dụng cổng truyền thông nối tiếp (UART). Ưu điểm của truyền thông nối tiếp là chỉ cần 2 dây cho giao tiếp giữa vi điều khiển tới module ESP8266: TXD và RXD (hình 5).

3.1.6. Module hiển thị

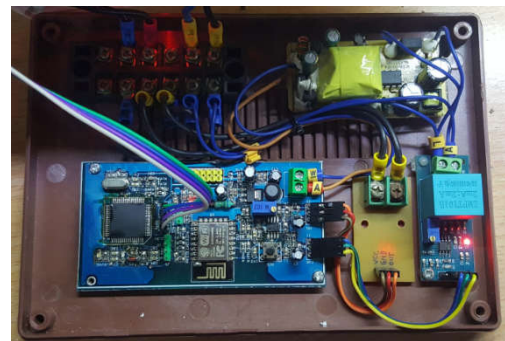
LCD (Liquid Crystal Display) được sử dụng trong rất nhiều các ứng dụng của vi điều khiển. LCD có rất nhiều ưu điểm so với các dạng hiển thị khác. Nó có khả năng hiển thị kí tự đa dạng, trực quan (chữ, số và kí tự đồ họa), dễ dàng đưa vào mạch ứng dụng theo nhiều giao thức giao tiếp khác nhau, tốn rất ít tài nguyên hệ thống và giá thành rẻ.

Thông số kỹ thuật LCD: Điện áp hoạt động: 5V; Hiển thị tối đa 20 tự trên 4 dòng.

Sơ đồ nguyên lý bộ đo điện năng tiêu thụ trên hình 5.



a) Bên ngoài thiết bị đo điện năng

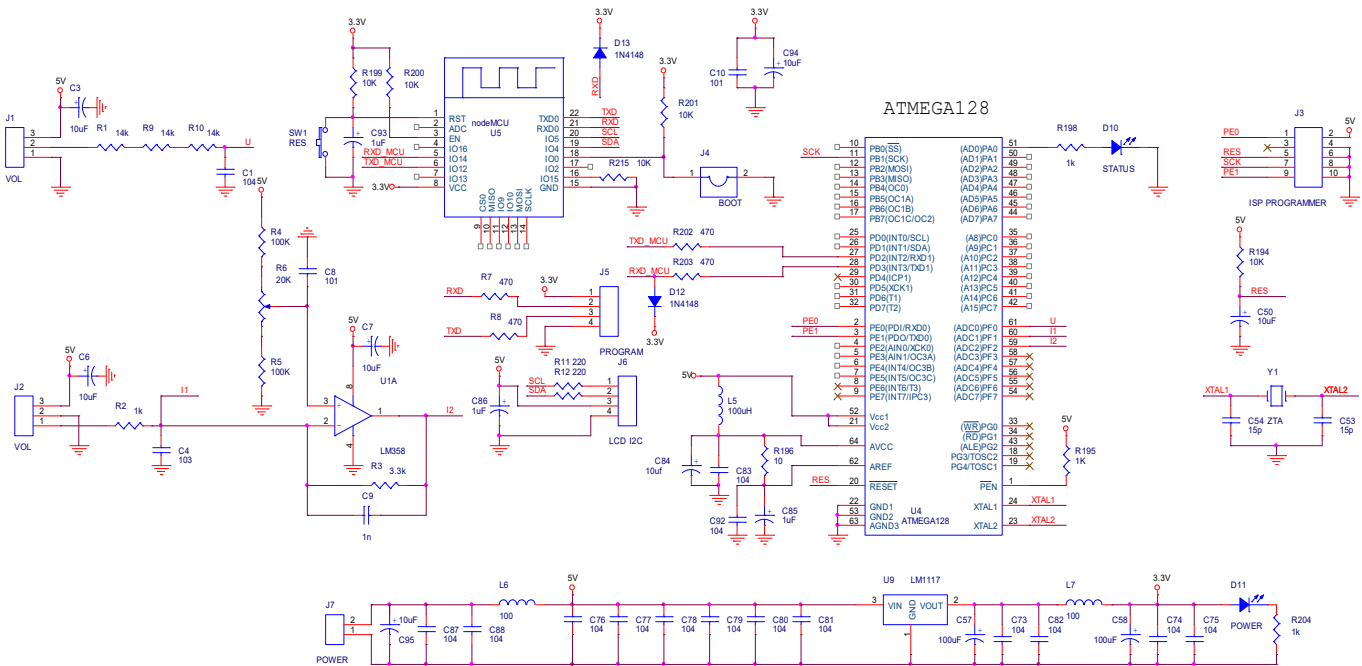


b) Bên trong bộ đo điện năng

Hình 6. Hình ảnh bộ đo điện năng tiêu thụ

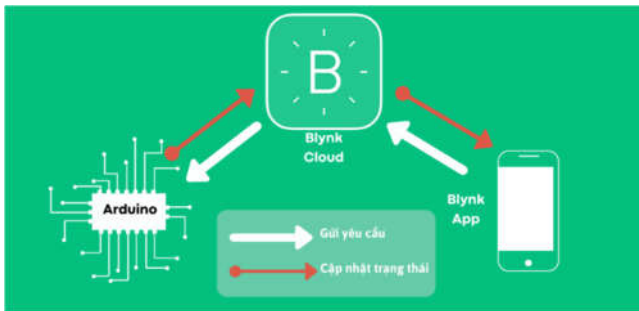
3.2. Trạm chủ Blynk

Trong đề tài sử dụng công cụ Blynk để xây dựng giao diện giám sát các thông số điện năng trên điện thoại.



Hình 5. Sơ đồ nguyên lý bộ đo điện năng tiêu thụ

Blynk được thiết kế cho công nghệ IoT (Internet of Thing): có thể điều khiển phần cứng từ xa, hiển thị dữ liệu cảm biến và lưu trữ dữ liệu. Có ba thành phần chính trong nền tảng được mô tả như trên hình 7.



Hình 7. Các thành phần trong hệ thống Blynk

Blynk App: Cho phép tạo giao diện cho các dự án bằng cách sử dụng các widget khác nhau.

Blynk Cloud: Chịu trách nhiệm về tất cả các giao tiếp giữa điện thoại thông minh và phần cứng. Có thể sử dụng Blynk Cloud hoặc chạy cục bộ máy chủ Blynk riêng của mình.

Thư viện Blynk - dành cho tất cả các nền tảng phần cứng phổ biến - cho phép giao tiếp với máy chủ và xử lý tất cả các lệnh đến và lệnh đi.

Arduino: Thiết bị arduino chịu trách nhiệm giám sát và điều khiển các thiết bị, thiết bị này yêu cầu phải kết nối mạng trong mô hình sử dụng ESP8266.

4. CHƯƠNG TRÌNH VÀ THUẬT TOÁN ĐIỀU KHIỂN

4.1. Phần mềm lập trình

4.1.1. Phần mềm Arduino IDE lập trình cho ESP8266

Arduino IDE là một phần mềm soạn thảo chương trình, viết code để nạp vào bo mạch Arduino và ESP8266 một cách nhanh chóng, dễ dàng và hoàn toàn miễn phí.

Điểm mạnh của Arduino IDE tích hợp với hơn 700 thư viện, được viết và chia sẻ bởi nhà phát hành Arduino Software và thành viên trong cộng đồng Arduino. Mọi người có thể tận dụng chúng cho dự án của riêng mình mà không cần phải bỏ ra bất kỳ chi phí nào.

4.1.2. Phần mềm lập trình cho ATMEGA128

Để lập trình cho ATMEGA128, trong bài báo sử dụng phần mềm CodeVisionAVR.

CodeVisionAVR là một môi trường phát triển tích hợp phần mềm cho vi điều khiển Atmel AVR. Nó cung cấp sự hỗ trợ rộng rãi cho các thiết bị AVR và tạo ra một đoạn mã nhỏ gọn và hiệu quả.

4.1.3. Phần mềm lập trình ứng dụng trên điện thoại

Trong mô hình cần sử dụng một giao diện để giám sát các thông số điện năng, ta cần một giao diện để người dùng có thể dễ dàng theo dõi và điều khiển các thiết bị trong hệ thống. Để xây dựng được giao diện ta sẽ sử dụng Blynk app.

Blynk một ứng dụng trên điện thoại, cho phép người dùng có thể tự mình tạo ra giao diện và điều khiển các thiết bị theo ý thích của cá nhân.

Giao diện xây dựng hoàn chỉnh như hình 8.

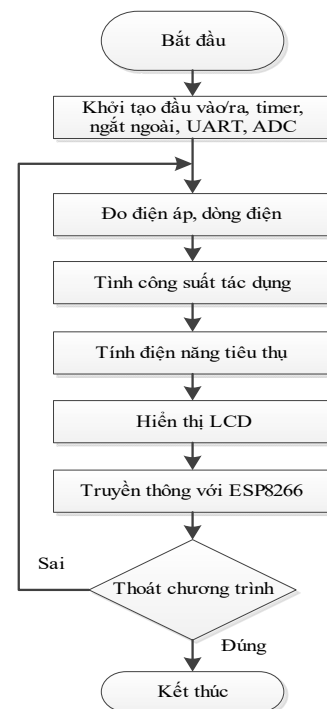


Hình 8. Giao diện giám sát điện năng tiêu thụ trên điện thoại

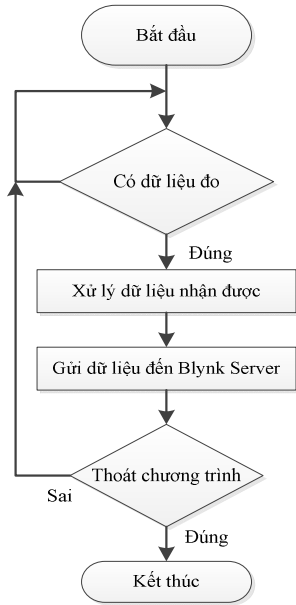
4.2. Thuật toán chương trình bộ đo điện năng tiêu thụ

Chương trình bắt đầu bằng việc khởi tạo các đầu vào ra, khởi tạo ngắt ngoài và bộ định thời (timer) phục vụ cho đo tần số, khởi tạo ADC để đo dòng và áp lưới, và khởi tạo cổng truyền thông nối tiếp (UART) để truyền thông với module Wi-Fi.

Sau khi khởi tạo vào ra, chương trình sẽ tính toán điện áp, dòng điện, công suất tác dụng và điện năng tiêu thụ rồi hiển thị lên LCD. Các giá trị đo được gửi tới module ESP8266 để gửi tới Blynk Server.



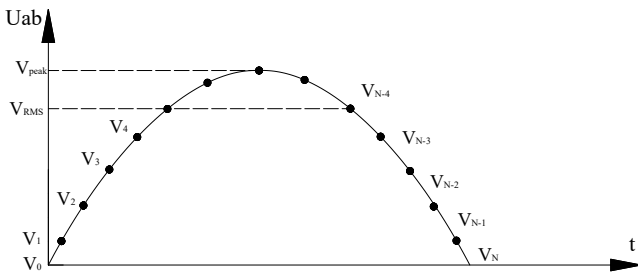
a) Chương trình chính



b) Chương gửi dữ liệu tới Blynk server

Hình 9. Lưu đồ thuật toán chương trình bộ đo điện năng tiêu thụ

Đo điện áp, dòng điện, công suất dựa trên việc lấy mẫu liên tục tín hiệu dòng và áp, sử dụng phương pháp RMS (Root Mean Square). Điện áp đầu vào dạng hình sin có hai nửa đối xứng ta chỉ cần đo trong 1/2 chu kỳ đủ. Bộ biến đổi ADC sẽ thực hiện lấy N mẫu trong 1/2 chu kỳ như hình 10.



Hình 10. Đo điện áp hiệu dụng của lưới điện

Điện áp hiệu dụng được xác định theo công thức [6, 7]:

$$V_{RMS} = \sqrt{2} V_{peak} = \sqrt{\frac{V_0^2 + V_1^2 + \dots + V_N^2}{N}} \quad (1)$$

trong đó:

- N: tổng số mẫu đã đo bằng ADC.

- V_i ($i = 0 \div N$): là các giá trị điện áp đo (các mẫu). V_i được xác định trên cơ sở giá trị số đọc được từ ADC theo công thức (2).

$$V_i = \frac{n_i}{4095} \cdot V_{REF} \quad (2)$$

trong đó:

- V_{REF} : điện áp tham chiếu của ADC ($V_{REF}=3,3V$).

- n_i : giá trị số 12bit trả về từ ADC.

Từ (1) và (2) ta xác định được điện áp hiệu dụng đưa tới đầu vào của ADC.

$$V_{ADC} = 0,000732 \sqrt{\frac{n_0^2 + n_1^2 + \dots + n_N^2}{N}}$$

Điện áp máy phát được xác định dựa trên điện áp ADC, tỉ số biến áp và tỉ lệ cầu phân áp đầu vào.

$$U_{RMS} = K_1 \cdot V_{ADC}$$

trong đó:

- K_1 : tỉ số biến áp, $K_1 = 310/3,3 = 94$

$$U_{RMS} = 0,0689 \sqrt{\frac{n_0^2 + n_1^2 + \dots + n_N^2}{N}}$$

Phương pháp tính toán giá trị dòng điện được thực hiện tương tự như với đo điện áp.

Công suất tác dụng là công suất được truyền cho tải và không quay trở lại trong một thời gian xác định. Vì vậy công suất tác dụng là giá trị trung bình của tích dòng điện và điện áp trong một chu kỳ. Công thức của công suất tác dụng là [8]:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v(t)i(t)dt \quad (3)$$

trong đó: $u(t)$ và $i(t)$ là giá trị tức thời của điện áp và dòng điện. Công thức (3) có thể tính xấp xỉ bởi (4):

$$P = \frac{1}{T} \sum_0^N v_k i_k \quad (4)$$

Công suất tác dụng hiệu dụng P_{RMS} được xác định trên cơ sở giá trị điện áp và dòng điện hiệu dụng.

$$P_{RMS} = U_{RMS} I_{RMS} \quad (5)$$

Điện năng tiêu thụ được tính bằng công thức sau với t là thời gian sử dụng:

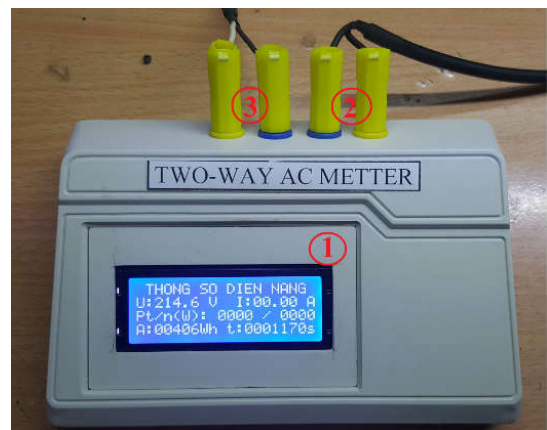
$$Q = P \cdot t \quad (6)$$

Sau khi tính toán được các giá trị dòng, áp, công suất, điện năng, tần số sẽ được hiển thị trên LCD và gửi tới module Wi-Fi.

5. THỬ NGHIỆM THIẾT BỊ ĐO ĐIỆN NĂNG

5.1. Thiết bị phục vụ cho thử nghiệm

Thiết bị đo điện năng đã chế tạo hoàn chỉnh được cho trên hình 11.



Hình 11. Hình ảnh công tơ điện hai chiều đã chế tạo

(1) Màn hình hiển thị thông số của thiết bị đo; (2) Đầu vào thiết bị đo; (3) Đầu ra tải.

Thông số kỹ thuật chính của công tơ điện hai chiều trong bảng 1.

Bảng 1. Thông số chính của công tơ điện hai chiều đã chế tạo

Tính năng	Giá trị
Điện áp đầu vào	200 ÷ 260VAC
Dòng điện	0 ÷ 20A
Đo công suất	Thuận / Ngược
Phương pháp đo	RMS

Các thiết bị phục vụ cho thử nghiệm bao gồm:

- 01 ampe kim đo dòng điện tải MT87 để so sánh;
- 01 vôn kế đo điện áp trên tải SANWA CD800a để so sánh;
- Bộ nghịch lưu bán lưởi GTI600W để tạo ra công suất trả lưởi.

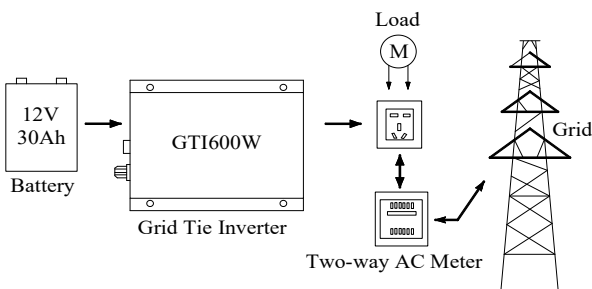
Thông số kỹ thuật MT87: DC voltage: 600V, ± 1,0%; AC voltage: 450V, ± 1,2%; AC current: 20-200-400A, ± 2,0%.

Thông số kỹ thuật SANWA CD800a: DCV: 400m/4/40/400/600V - 0,1mV/ +0,7%; ACV: 4/40/400/600V - 0.001V/+1,6%.

Thông số kỹ thuật GTI600W: Điện áp đầu vào: 11 ÷ 32V; Dải điện áp lưởi: 190 ÷ 260VAC; Tần số làm việc: 50Hz ± 1%; Sóng hài: < 5%; Công suất: 600W.

5.2. Mô hình thử nghiệm

Cấu trúc mô hình thử nghiệm như trên hình 12. Bộ nghịch lưu nối lưởi GTI600W tạo công suất trả lưởi lấy nguồn từ bộ acqy 12V/30A. Bộ đo công suất 2 chiều (Two-way AC Meter) kết nối giữa tải (Load) và lưởi điện (Grid).



Hình 12. Cấu trúc mô hình thử nghiệm

Hình ảnh thực tế thử nghiệm như trên hình 13.



Hình 13. Hình ảnh thực tế thử nghiệm

- (1) Bộ acqy 12V/30A; (2) Bộ nghịch lưu nối lưởi; (3) Công tơ điện hai chiều;
- (4) Ampe kế; (5) Vôn kế; (6) Kết nối lưởi; (7) Kết nối tải;
- (8) Điện thoại cài ứng dụng giám sát thông số.

Tải thử nghiệm là tải R và RL như hình 14. Thông số tải như sau:

- Tải R: hệ số $\cos\varphi = 1$, công suất 650W;
- Tải RL: hệ số $\cos\varphi = 0,6$, công suất 50W.



Hình 14. Tải thử nghiệm

Một số hình ảnh thử nghiệm như trên hình 15, kết quả thử nghiệm cho trong bảng 2 và 3.



a) Kết quả đo công suất thuận trên thiết bị và trên điện thoại với tải R-L



b) Kết quả đo công suất thuận trên thiết bị và trên điện thoại với tải R



c) Kết quả đo công suất trả lưởi

Hình 15. Một số kết quả thực nghiệm

Nhận xét:

Trên hình 15a, ta thấy các thông số như điện áp, dòng điện được đo thiết bị đã chế tạo và các thiết bị đo dùng để so sánh (thiết bị đo kiểm chuẩn).

Sai số tuyệt đối đo dòng điện:

$$\Delta I = I_{ĐO} - I_{TH} = 0,27 - 0,23 = 0,04 \text{ (A)};$$

Sai số tương đối đo dòng điện:

$$\gamma I = \frac{|\Delta I|}{I_{TH}} = \frac{0,04}{0,23} \cdot 100\% = 17,4\%$$

Sai số tuyệt đối đo điện áp:

$$\Delta U = U_{DO} - U_{TH} = 213,7 - 219,9 = -6,2 \text{ (V)};$$

Sai số tương đối điện áp:

$$\gamma U = \frac{|\Delta U|}{U_{TH}} = \frac{6,2}{219,9} \cdot 100\% = 2,8\%$$

Với tải RL, sai số đo dòng điện của mô hình thiết bị đã chế tạo là khá lớn, cần phải hiệu chỉnh.

Trên hình 15b, ta thấy các thông số như điện áp, dòng điện được đo thiết bị đã chế tạo và các thiết bị đo dùng để so sánh (thiết bị đo kiểm chuẩn).

Sai số tuyệt đối đo dòng điện:

$$\Delta I = I_{DO} - I_{TH} = 3,11 - 3,10 = 0,01 \text{ (A)};$$

Sai số tương đối đo dòng điện:

$$\gamma I = \frac{|\Delta I|}{I_{TH}} = \frac{0,01}{3,10} \cdot 100\% = 0,32\%$$

Sai số tuyệt đối đo điện áp:

$$\Delta U = U_{DO} - U_{TH} = 213,7 - 219,9 = -6,2 \text{ (V)};$$

Sai số tương đối điện áp:

$$\gamma U = \frac{|\Delta U|}{U_{TH}} = \frac{6,2}{219,9} \cdot 100\% = 2,8\%$$

Với tải R, sai số sai số đo dòng điện của mô hình thiết bị đã chế tạo là khá nhỏ; còn sai số đo điện áp có thể hiệu chỉnh.

Trên hình 15c, ta thấy các thông số như điện áp, dòng điện, công suất thuận (công suất tiêu thụ), công suất ngược (công suất trả lưới) và điện năng tiêu thụ đã được gửi tới điện thoại thông minh thông qua máy chủ Blynk server.

Bảng 2. Kết quả thử nghiệm đo công suất thuận với tải R và RL

Loại tải	Lần 1 (W)	Lần 2 (W)	Lần 3 (W)	Lần 4 (W)
R	665	660	661	657
RL	55	54	52	53

Nhận xét:

Trong bảng 2, với tải R:

Sai số tuyệt đối lớn nhất (so với giá trị định mức của tải):

$$\Delta P_{MAX} = P_{DO} - P = 15 \text{ (W)};$$

Sai số tương đối lớn nhất:

$$\gamma P = \frac{|\Delta P_{MAX}|}{P} = \frac{15}{650} \cdot 100\% = 2,3\%$$

Như vậy, đối với tải thuần trở R (tải R), sai số tương đối lớn nhất của mô hình công tơ điện hai chiều là 2,3%.

Trong bảng 2, với tải RL:

Sai số tuyệt đối lớn nhất (so với giá trị định mức của tải):

$$\Delta P_{MAX} = P_{DO} - P = 5 \text{ (W)};$$

Sai số tương đối lớn nhất:

$$\gamma P = \frac{|\Delta P_{MAX}|}{P} = \frac{5}{50} \cdot 100\% = 10\%$$

Đối với tải có cả thành phần thuần trở R và cảm kháng L (tải RL), sai số tương đối lớn nhất của mô hình công tơ điện hai chiều là 10%, là khá lớn, cần phải hiệu chỉnh.

Bảng 3. Kết quả thử nghiệm độ chính xác phép đo công suất ngược với tải RL

Thiết bị đo	Lần 1 (W)	Lần 2 (W)	Lần 3 (W)	Lần 4 (W)
Thiết bị chuẩn (ampe kim MT87 và vôn kế SANWA CD800a)	45	50	40	65
Công tơ điện hai chiều	44	52	42	64

Nhận xét:

Trong bảng 3, tùy từng thời điểm khác nhau mà công suất công suất ngược (công suất trả lưới) thay đổi khác nhau.

Sai số tuyệt đối lớn nhất khi đo công suất ngược (công suất trả lưới):

$$\Delta P_{MAX} = P_{DO} - P_{THỰC} = 2 \text{ (W)};$$

Sai số tương đối lớn nhất khi đo công suất ngược (công suất trả lưới):

$$\gamma P = \frac{|\Delta P_{MAX}|}{P_{THỰC}} = \frac{2}{40} \cdot 100\% = 5\%$$

6. KẾT LUẬN

Nhóm tác giả đã xây dựng thành công mô hình công tơ điện hai chiều ứng dụng công nghệ IoT. Mô hình công tơ điện hai chiều hoạt động ổn định. Đối với tải thuần trở R, sai số tương đối lớn nhất của mô hình công tơ điện hai chiều là 2,3% với giải tín hiệu đo phổ biến. Đối với tải có cả thành phần thuần trở R và cảm kháng L (tải RL), sai số tương đối lớn nhất của mô hình công tơ điện hai chiều là 10%. Sai số tương đối lớn nhất khi đo công suất ngược (công suất trả lưới) là 5%.

Những kết quả nghiên cứu trong bài báo là cơ sở để hoàn thiện và triển khai ứng dụng công tơ điện hai chiều trong thực tiễn.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: DT21-22.41.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bui Van Minh, Duong Thanh Long, Pham Quang Huy, 2020. *Lap trinh dieu khien xa voi ESP8266, ESP32 va Arduino*. Youth Publishing House, Hanoi.
- [2]. Nguyen Tat Bao Thien, Pham Quang Huy, 2019. *Arduino va lap trinh IoT*. Youth Publishing House, Hanoi.
- [3]. <https://innovatorsguru.com/zmpt101b/ AC Voltage Sensor>.
- [4]. <https://www.micro-transformer.com/pcb-mounting-current-transformer-ZMCT103C.html>
- [5]. <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors-stm32f103c8.html>
- [6]. T. M. Chung, H. Daniyal, 2006. *ARDUINO based power meter using instantaneous power calculation method*. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences.
- [7]. Erkan Yuce, Shahram Minaei, Sezai Tokat, 2007. *Root-Mean-Square Measurement of Distinct Voltage Signals*. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 56, pp. 2782 - 2787.
- [8]. Akagi, Y. Kanazawa, A. Nabae, 1983. *Generalized Theory of the Instantaneous Reactive Power in Three-Phase Circuits*. IPEC'83 - Int. Power Electronics Conf., Tokyo, Japan, pp. 1375-1386.

AUTHORS INFORMATION

Tran Sinh Bien, Nguyen Van Tien

Faculty of Electrical - Electronic Engineering, Vietnam Maritime University