

Ứng dụng kiến trúc mở Arduino trong thiết kế thiết bị giám sát điện năng không dây

Applying Arduino open-source architecture in designing a wireless energy meter

Thiều Minh Đức⁽¹⁾, Nguyễn Hoàng Nam^(1,2), Bùi Đăng Thành^(1,2), Nguyễn Huy Phương⁽¹⁾,
Trịnh Công Đồng⁽²⁾

⁽¹⁾ Viện Điện – Đại học Bách Khoa Hà Nội

⁽²⁾ Viện Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa – Đại học Bách Khoa Hà Nội

e-Mail: nam.nguyenhoang@hust.edu.vn

Tóm tắt

Những thay đổi trong lĩnh vực giám sát không dây Điện - Điện tử đang tập trung vào xây dựng các thiết bị đo không dây, giám sát và điều khiển từ xa. Hiện nay kiến trúc phần cứng mở cũng như mã nguồn mở đang được các hãng hướng tới đặc biệt là kiến trúc mở Arduino. Phổ biến nhất hiện nay là các bo mạch Arduino với cấu trúc chip ATmega328p. Hướng tới việc đo và giám sát điện năng tiêu thụ nhằm tiết kiệm một cách tối ưu năng lượng cho người sử dụng cũng như giám sát đô thị tại cho nhà cung cấp, một nghiên cứu đã được phát triển trên nền kiến trúc phần cứng mã nguồn mở cho một thiết bị đo và giám sát tình hình tiêu thụ điện năng. Mỗi thiết bị đo là một điểm đo nằm trong mạng cảm biến không dây - Wireless Sensor Network gồm có mạch đo, vi điều khiển nhân ATmega328p giữ nhiệm vụ tính toán và điều khiển, truyền phát không dây chuẩn Zigbee theo cấu trúc mạng kiểu lưới Mesh. Các thông số đo được gồm có điện áp xoay chiều hiệu dụng, dòng điện xoay chiều hiệu dụng, công suất tiêu thụ thực tế, mức điện năng tiêu thụ kWh, hệ số $\cos\phi$ và số tiền điện sử dụng theo tháng.

Từ khóa: điện năng tiêu thụ, mạng cảm biến không dây, IoTs, mạng Zigbee, bo mạch Arduino

Abstract

The changes in the field of wireless monitoring in domain Electric - Electronic is focused on the construction of wireless instrumentation, monitoring and remote control. Currently open-hardware and open-software architecture as well as being target by chip-vendors, in particular Arduino open-source architecture. And the most popular today is the Arduino board with ATmega328p chip. Towards the measurement, monitoring and control of power consumption to save energy for the users and as well as load-graph monitor for the suppliers in an optimal way, a study was developed based on open-source architecture for a monitoring the consumption power. Each measuring device is a measurement point in a wireless sensor networks. It consists of measuring circuit; ATmega328p chip for computation and control, Zigbee standard for wireless communication with a Mesh structure network. The measured

parameters include the effective AC voltage, effective AC current, practical consumption power, the power consumption in kWh, $\cos\phi$ coefficient and the amount of electricity per month.

Keywords: Energy consumption, Wireless Sensor Network, Internet of Things, Zigbee, Arduino

Ký hiệu

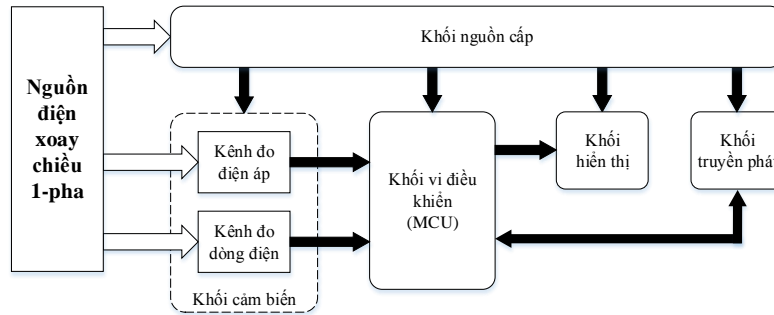
Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
U_{rms}	V	điện áp hiệu dụng
I_{rms}	A	dòng điện hiệu dụng
P_{rms}	W	công suất hiệu dụng
P_{app}	W	công suất biểu kiến
$\cos\phi$		hệ số công suất
E	kWh	sản lượng điện năng tiêu thụ
M	VND	số tiền điện tương ứng với sản lượng điện năng tiêu thụ

Chữ viết tắt

MCU	Micro-Controller Unit
ADC	Analog-Digital Converter
IC	Integrated Circuit
IoT	Internet of Things
WSN	Wireless Sensor Network

1. Giới thiệu

Ngày nay, sự phát triển của các thiết bị đo năng lượng điện tử đã đem lại những hiệu quả cao hơn rõ rệt trong đo lường so với các thiết bị đo trước đây. Các thiết bị đo năng lượng điện tử nhìn chung có hai ưu điểm chính nổi bật so với các thiết bị đo kết cấu cơ điện truyền thống đó là: cải thiện độ chính xác và mở rộng các chức năng. Hiện tại, công nghệ vi điều khiển cho phép ta xây dựng được các thiết bị đo vừa có giá cả cạnh tranh so với các thiết bị đo truyền thống vừa đạt được độ chính xác cao (thiết bị có thể đạt cấp chính xác 1, sai số $\pm 1\%$ hoặc thấp hơn). Bên cạnh đó, vi điều khiển có thể cho phép các nhà thiết kế bổ sung thêm các chức năng khác vào thiết bị đo như truyền phát dữ liệu không dây, cảnh báo mất lưới, lưu trữ dữ liệu... Thiết bị đo và giám sát điện năng không dây mà nhóm nghiên cứu hướng tới xây dựng có sơ đồ khối được thể hiện như **H.1** dưới đây.



H. 1 Sơ đồ khối thiết bị đo và giám sát điện năng không dây

Cấu tạo thiết bị bao gồm 5 khối. Thiết bị sẽ sử dụng nguồn điện xoay chiều một pha lấy trực tiếp từ lưới điện dân dụng. Khối nguồn biến đổi dòng điện xoay chiều thành dòng điện 1 chiều với các mức điện áp ổn định cấp cho các linh kiện trong thiết bị hoạt động. Khối MCU (Micro-Controller Unit) là khối xử lý trung tâm được xây dựng dựa trên phần cứng mở Arduino xử lý tín hiệu đo cung cấp bởi khối cảm biến, tính toán đưa ra kết quả đo để lưu trữ và hiển thị và truyền phát thông qua khối hiển thị và khối truyền phát.

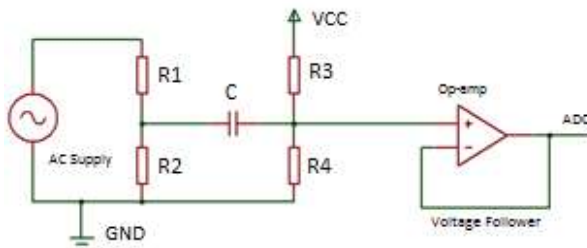
Tại thời điểm viết bài báo này, nhóm nghiên cứu đã xây dựng được hai thiết bị (phiên bản 1) và đang tiến hành thử nghiệm, đánh giá thiết bị.

2. Thiết kế thiết bị giám sát không dây

Để có thể tính toán được hầu hết các đại lượng điện năng, trước hết, ta cần phải xây dựng phương pháp đo hai đại lượng cơ bản và rất quan trọng là điện áp xoay chiều, dòng điện xoay chiều. Trước hết, để đo đại lượng điện áp hiệu dụng xoay chiều, sau quá trình nghiên cứu, nhóm tác giả lựa chọn phương pháp đo sử dụng điện trở phân áp bởi những ưu điểm của phương pháp như giá thành rẻ, nguyên lý đo đơn giản, mạch đo nhỏ gọn nhưng có thể đạt được độ chính xác cao.

2.1 Thiết kế mạch đo điện áp xoay chiều hiệu dụng một pha

Thiết bị được thiết kế để sử dụng trong lưới điện sinh hoạt dân dụng với kiểu đấu dây của thiết bị là 1 pha hai dây (1 dây pha + 1 dây trung tính). Lưới điện 1 pha có điện áp danh định là 220V, dải điện áp hoạt động của thiết bị phải từ 80% đến 115% giá trị điện áp danh định [1] do đó dải điện áp hoạt động của thiết bị sẽ từ 176V đến 253V.



H. 2 Sơ đồ nguyên lý mạch đo điện áp xoay chiều hiệu dụng

Thông số điện trở R_1, R_2 của mạch điện trở chia áp phải đảm bảo điện áp đầu ra có biên độ lớn nhất nằm trong dải từ 0 - 2V. Điện trở R_1 được lựa chọn có trị số cao để đảm bảo an toàn cho mạch đo. Giá trị điện áp sau phần điện trở chia áp được tính bằng công thức dưới đây [2]:

$$U_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{rms} \quad (1)$$

Trong đó: U_{out} là giá trị điện áp ra sau chia áp; U_{rms} là giá trị điện áp xoay chiều hiệu dụng 1 pha cần đo; R_1, R_2 là giá trị điện trở của phần điện trở chia áp.

Tín hiệu xoay chiều đi vào vi điều khiển cần phải được lọc bỏ thành phần điện áp 1 chiều (DC) gây sai lệch điểm gốc tọa độ ban đầu bằng khâu lọc thông cao. Mạch lọc thông cao được tạo ra bởi hai thành phần tụ C và điện trở R_4 . Tần số cắt của mạch lọc thông cao được tính theo công thức [2]:

$$f_{3dB} = \frac{1}{2 \cdot p' \cdot R' \cdot C} \quad (2)$$

Trong đó: f_{3dB} là tần số cắt của mạch lọc thông cao; C, R là giá trị của tụ điện và điện trở của mạch lọc thông cao.

Sau khâu lọc, tín hiệu đo được nâng lên một mức điện áp DC (tạo offset) trước khi đưa vào bộ chuyển đổi ADC của vi điều khiển do bộ chuyển đổi ADC của vi điều khiển Atmega328p chỉ hoạt động trong dải điện áp 0 - V_{cc} . Mức điện áp cộng thêm U_{offset} được tính theo công thức (3) [3]:

$$U_{offset} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot U_{Vcc} \quad (3)$$

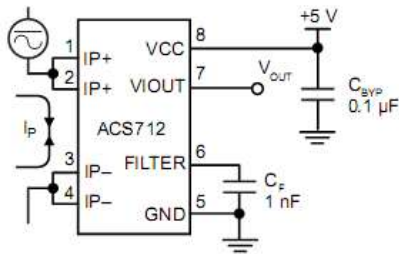
Trong đó: U_{Vcc} là hiệu điện thế hoạt động của bộ ADC vi điều khiển; R_3, R_4 là giá trị của tụ điện và điện trở của mạch lọc thông cao.

Cần lựa chọn giá trị điện trở R_3, R_4 để tạo ra điện áp offset cần thiết cộng thêm vào tín hiệu đo nhưng vẫn phải đảm bảo biên độ mới của tín hiệu đo nằm trong dải điện áp hoạt động của bộ ADC vi điều khiển (từ 0 - V_{cc}). Cuối cùng, tín hiệu đo được đưa qua mạch lặp điện áp không đảo (Non-inverting Voltage Follower) sử dụng một Op-Amp (LM358) làm tăng trở kháng cho phần mạch đo trước khi đi vào ADC, giảm tổn

hao năng lượng, bảo vệ an toàn cho các linh kiện phía sau (H.2).

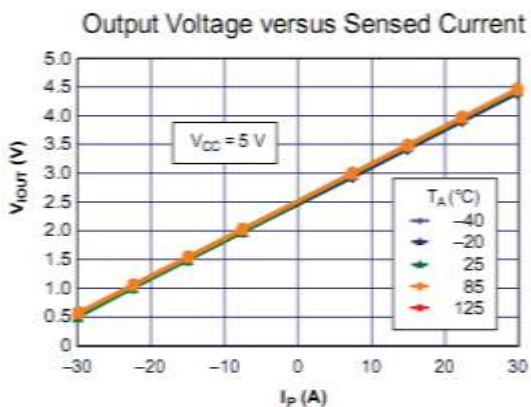
2.2 Thiết kế mạch đo dòng điện xoay chiều hiệu dụng

Giá trị cường độ dòng điện được đo và tính toán sử dụng IC ACS712 của hãng Allegro. Với IC này, giá trị dòng tối đa mà thiết bị có thể đo được là 30A. ACS712 là cảm biến dòng tuyến tính, hoạt động dựa trên hiệu ứng Hall, rất phổ biến trên thị trường do hãng Allegro sản xuất. ACS712 sử dụng nguồn cấp từ 4.5 - 5.5VDC, cấp chính xác 1.5% ở 25°C [4]. Cảm biến Hall ACS712 được hãng sản xuất đưa ra thị trường ba phiên bản với giới hạn dòng đo được khác nhau là 5A, 20A và 30A. Để có mở rộng thang đo tối đa, phiên bản cảm biến ACS712ELCTR-30A-T có dải đo lớn nhất từ 0 - 30A được lựa chọn trong thiết kế mạch đo dòng của thiết bị. Sơ đồ nguyên lý mạch đo dòng được biểu diễn như trong H.3 dưới đây.



H.3 Sơ đồ nguyên lý mạch đo dòng điện hiệu dụng

Dựa theo hiệu ứng Hall, mỗi giá trị dòng điện chạy qua IC ACS712 đều tạo ra một giá trị điện áp tương ứng theo quan hệ tuyến tính. Giá trị điện áp đó sẽ được xuất ra chân Vout của ACS712 và đi vào bộ ADC của vi điều khiển. Quan hệ tuyến tính giữa độ nhạy của ACS712 và giá trị điện áp tham chiếu Vcc được thể hiện như trong H.4.



H.4 Quan hệ tuyến tính giữa dòng điện đầu vào và điện áp đầu ra của ACS712

Tín hiệu điện áp được ACS712 tạo ra tương ứng với giá trị dòng điện đầu vào cũng được tự động nâng lên mức điện áp $U_{offset} = U_{Vcc}/2$ để tín hiệu đo dao động hoàn toàn trong dải điện áp 0-Vcc phù hợp với nhiều loại vi điều khiển có bộ ADC chỉ hoạt động trong dải

điện áp từ 0-Vcc, và theo tài liệu kỹ thuật của ACS712 thì giá trị điện áp Vcc chỉ được cho phép trong khoảng từ 4.5 - 5.5V [4].

2.3 Thuật toán đo điện áp và dòng điện hiệu dụng

Do tín hiệu điện áp khi đưa vào vi điều khiển đã được cộng thêm một mức áp offset, như đã trình bày, để phù hợp với dải điện áp hoạt động của bộ ADC của vi điều khiển nên khi lấy mẫu, ta cần lọc bỏ điện áp DC offset trong tín hiệu. Để thực hiện việc này, ta sử dụng phương pháp lọc số mô phỏng hoạt động của bộ lọc thông cao (High Pass Filter), thuộc kiểu bộ lọc đáp ứng xung vô hạn IIR (Infinite Impulse Response). Phương pháp này sẽ được áp dụng trong cả quá trình lấy mẫu đo điện áp và dòng điện xoay chiều. Hàm truyền của phương pháp lọc số mô phỏng đáp ứng của bộ lọc thông cao được thể hiện trong công thức (4) dưới đây.

$$y_n = a y_{n-1} + a x_n - a x_{n-1} \quad (4)$$

Trong đó: x_n là giá trị đầu vào thứ n ; x_{n-1} là giá trị đầu vào thứ $n-1$; y_n là giá trị đầu ra tương ứng thứ n ; y_{n-1} là giá trị đầu ra tương ứng thứ $n-1$; a là hệ số tỉ lệ được lựa chọn cho hàm truyền.

Các mẫu điện áp được đọc vi điều khiển đọc vào sẽ được sử dụng để tính toán ra giá trị điện áp tức thời của dòng điện tương ứng dựa vào các công thức chuyển đổi số-tương tự của bộ ADC vi điều khiển và tỉ lệ phân áp của mạch đo. Giá trị điện áp xoay chiều hiệu dụng được định nghĩa bằng căn bậc hai của trung bình bình phương các giá trị điện áp tức thời được lấy định kỳ trong một khoảng thời gian nhất định. Ta có công thức tính điện áp hiệu dụng (5) [3].

$$U_{rms} = G_{calibU} \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} u^2(n)}{N}} \quad (5)$$

Trong đó: U_{rms} là giá trị điện áp xoay chiều hiệu dụng một pha cần đo; u là giá trị điện áp tức thời được đọc tại thời điểm lấy mẫu thứ n ; G_{calibU} là hệ số tỉ lệ mở rộng; N là tổng số lần lấy mẫu điện áp tức thời u .

Cũng giống như thuật toán đo điện áp, tín hiệu điện áp tương ứng với trị số dòng điện tức thời khi được đọc vào vi điều khiển đã được nâng lên một mức áp offset, do đó, ta cần lọc bỏ phần điện áp 1 chiều này đi sử dụng phương pháp lọc số như đã trình bày ở phần trước. Các mẫu điện áp được đọc vi điều khiển đọc vào cũng sẽ được sử dụng để tính toán ra trị số dòng điện tức thời tương ứng dựa vào các công thức chuyển đổi số-tương tự và các hệ số tỉ lệ của mạch đo sử dụng cảm biến ACS712. Từ các giá trị tức thời, giá trị dòng điện hiệu dụng cũng được tính toán tương tự giá trị điện áp hiệu dụng theo công thức (6).

$$I_{rms} = G_{calibI} \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} i^2(n)}{N}} \quad (6)$$

Trong đó: I_{rms} là giá trị dòng điện xoay chiều hiệu dụng cần đo; i là giá trị dòng điện tức thời được đọc tại thời điểm lấy mẫu thứ n ; G_{calibI} là hệ số tỉ lệ mở rộng; N là tổng số lần lấy mẫu điện áp tức thời i . Hệ

số G_{calibU} và G_{calibI} có thể được sử dụng để hiệu chỉnh lại giá trị đo. Phương pháp hiệu chỉnh sẽ được giới thiệu trong phần sau của bài báo.

2.4 Thuật toán tính công suất và sản lượng điện tiêu thụ

Tại mỗi thời điểm lấy mẫu điện áp tức thời $u(n)$ và dòng điện tức thời $i(n)$, ta có thể tính được công suất tiêu thụ thực tế của tải bằng công thức (7) [3]:

$$P_{rms} = G_p \cdot \frac{\sum_{n=1}^N [u(n) \cdot i(n)]}{N} \quad (7)$$

Trong đó: P_{rms} là công suất tiêu thụ thực tế; u, i là giá trị điện áp và dòng điện tức thời lấy mẫu tại thời điểm n ; G_p là hệ số tính toán công suất, trong đó, $G_p = G_{calibU} \cdot G_{calibI}$; N là tổng số lần lấy mẫu đo.

Để tính được hệ số công suất, trước hết ta cần tính giá trị công suất biểu kiến. Giá trị này được tính theo công thức (8) [3] dưới đây:

$$P_{app} = U_{rms} \cdot I_{rms} \quad (8)$$

Trong đó: P_{app} là giá trị công suất biểu kiến; U_{rms} là giá trị điện áp xoay chiều hiệu dụng đo được; I_{rms} là giá trị dòng điện xoay chiều hiệu dụng đo được.

Từ đó ta tính được hệ số $\cos \varphi$ theo công thức (9) [3]:

$$\cos \varphi = \frac{P_{rms}}{P_{app}} \quad (9)$$

Trong đó: $\cos \varphi$ là hệ số công suất; P_{app} là giá trị công suất biểu kiến; P_{rms} là giá trị công suất thực tế. Mức điện năng tiêu thụ theo kWh được tính theo công thức (10):

$$E = G_E \cdot P_{rms} \cdot t \quad (10)$$

Trong đó: E là sản lượng điện năng tiêu thụ (đơn vị tính kWh); G_E là hệ số tính toán mở rộng; P_{rms} là giá trị công suất thực tế mà tải tiêu thụ (kWh); t là thời gian tải tiêu thụ công suất P_{rms} , tính theo đơn vị giờ.

Từ số liệu mức điện năng tiêu thụ, số tiền điện phải trả trong một tháng được tính toán dựa theo biểu giá bán lẻ điện sinh hoạt được Bộ Công Thương ban hành theo Quyết định 2256/QĐ-BCT [5] áp dụng từ ngày 16/3/2015. Do biểu giá điện sinh hoạt được tính theo giá cấp bậc thang từ thấp đến cao tương ứng với sản lượng điện năng tiêu thụ nên đối với mỗi một cấp, ta có thể tính số tiền điện tương ứng theo công thức (11).

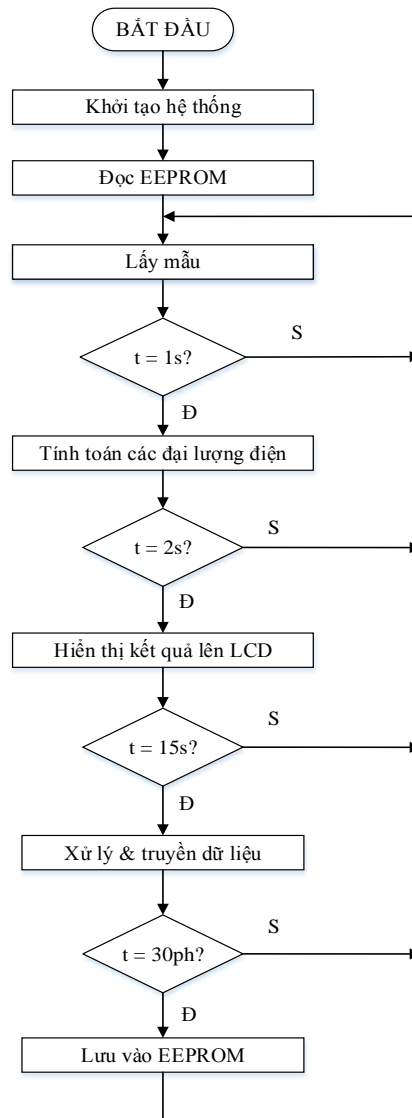
$$M = E \cdot C_m \quad (11)$$

Trong đó: M là số tiền điện phải trả (VNĐ); C_m là hệ số tính tiền điện theo cấp bậc; E là sản lượng điện tiêu thụ (kWh).

2.5 Lưu đồ thuật toán chương trình chính

Vi điều khiển của thiết bị được cài đặt để lấy mẫu tín hiệu điện áp và dòng điện ở tần số 2000Hz. Qua quá trình thử nghiệm, nhóm nghiên cứu nhận thấy tần số này là phù hợp với thiết kế của thiết bị đo sử dụng vi

điều khiển. **H.5** dưới đây thể hiện lưu đồ thuật toán chương trình nhúng của thiết bị.



H.5 Lưu đồ thuật toán chương trình chính của thiết bị

2.6 Xây dựng khối xử lý trung tâm

Khối xử lý trung tâm của thiết bị đo được xây dựng dựa trên nền tảng phần cứng mã nguồn mở Arduino, sử dụng vi điều khiển ATmega328p của hãng Atmel. Atmega328p thuộc dòng vi điều khiển 8-bit khá quen thuộc, dễ dàng lập trình, có khả năng xử lý, tính toán tốt, có cấu trúc tiết kiệm điện năng, giá thành không cao nên phù hợp để xây dựng các thiết bị đo giá rẻ, nhỏ gọn nhưng đáp ứng được các yêu cầu thiết kế. Thiết kế phần cứng của Arduino được phân phối dưới dạng Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 License [1] trên website chính thức của Arduino.

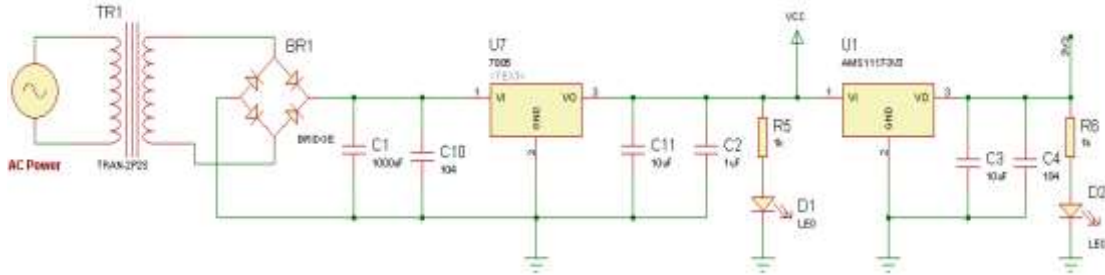
2.7 Thiết kế khối nguồn

Thiết bị được cấp nguồn trực tiếp từ lưới điện sinh hoạt với dải điện áp hoạt động từ 176V - 253VAC. Do vậy, để đảm bảo an toàn, cũng như tạo được mức điện áp phù hợp để cấp cho các linh kiện hoạt động

tốt, ta lựa chọn phương án thiết kế mạch nguồn sử dụng biến áp cách ly loại hàn trên mạch cho mạch nguồn thiết bị.

Khi cấp nguồn xoay chiều vào mạch nguồn, biến áp sẽ tạo ra dòng điện có điện áp 9V xoay chiều, dòng điện này sẽ được cho đi qua cầu diode chỉnh lưu để chỉnh lưu dòng điện xoay thành dòng điện một chiều đưa vào IC nguồn được lựa chọn để tạo ra mức điện

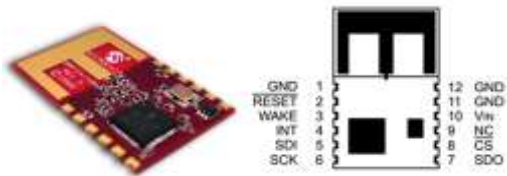
áp mong muốn. Tính toán mức tiêu thụ điện năng của các linh kiện trong thiết bị, nhóm nghiên cứu lựa chọn IC nguồn LM7805 để tạo nguồn ổn áp với mức điện áp 5V và IC nguồn AMS1117-3V3 để tạo nguồn ổn áp 3.3V. Các IC nguồn này đều khá thông dụng và đơn giản trong lắp đặt, hoạt động tương đối ổn định. Sơ đồ nguyên lý khối nguồn của thiết bị được thể hiện trong H.6 dưới đây.



H. 6 Sơ đồ nguyên lý khối nguồn cấp của thiết bị

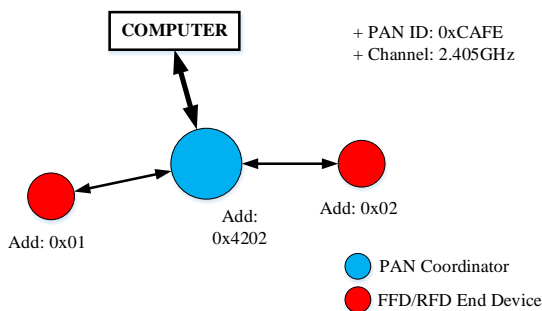
2.8 Xây dựng khối truyền thông không dây chuẩn Zigbee

Khối truyền phát không dây ở cả hai phiên bản thiết bị đều sử dụng module truyền phát RF MRF24J40MA của hãng Microchip. MRF24J40MA là module công suất thấp, hỗ trợ mạng cảm biến không dây theo chuẩn Zigbee/IEEE 802.15.4 ở dải tần 2.4GHz và phạm vi bán kính khoảng 120m ở điều kiện không vật cản [6].



H. 7 Module MRF24J40MA

Mô hình mạng WSN trong H.8 mà nhóm nghiên cứu mới xây dựng được là kiểu mạng hình sao (Star) đơn giản. Mô hình mạng hiện tại bao gồm một thiết bị điều phối mạng (Coordinator) được gán địa chỉ là 0 và hai thiết bị cuối (End Device) là hai thiết bị đo và giám sát điện năng không dây phiên bản 1a và 1b được gán địa chỉ lần lượt là 0x01 và 0x02.



H. 8 Mô hình mạng đã xây dựng được

Coordinator kết nối với máy tính và liên tục nhận các dữ liệu đo lường từ các node thành viên rồi xử lý và lưu dữ liệu vào máy tính. Các node mạng đều được kích hoạt sử dụng thuật toán CSMA-CA không gán khe thời gian khi truyền dữ liệu để tránh xung đột và có khả năng nghỉ (Sleep Mode) để tiết kiệm năng lượng theo chuẩn Zigbee/IEEE 802.15.4. Hiện tại, mô hình mạng hình sao do nhóm nghiên cứu xây dựng chưa có khả năng bảo mật dữ liệu khi truyền phát.

3. Hiệu chỉnh và thử nghiệm

3.1 Hiệu chỉnh thiết bị đo và giám sát điện năng không dây

Các thiết bị cần phải được hiệu chỉnh để đạt được độ chính xác mong muốn. Phương pháp hiệu chỉnh được sử dụng để hiệu chỉnh thiết bị có tên là: phương pháp hiệu chỉnh vòng khép kín (Closed Loop Calibration) [7]. Nguyên lý chung của phương pháp là ta so sánh kết quả đo của thiết bị với một thiết bị có độ chính xác cao đặt làm thiết bị tham chiếu. Sai số được tính toán dựa theo các giá trị đo được bởi thiết bị tham chiếu. Phương pháp này có thể được thực hiện để hiệu chỉnh các đại lượng:

- Điện áp xoay chiều hiệu dụng
- Dòng điện xoay chiều hiệu dụng
- Công suất thực tế tiêu thụ
- Công suất phản kháng
- Công suất biểu kiến
- Sản lượng điện năng tiêu thụ

Các đại lượng trên có thể được hiệu chỉnh độc lập, tùy nhiên tùy điều kiện khác nhau, ta không nhất thiết phải hiệu chỉnh toàn bộ các đại lượng đã liệt kê. Độ chính xác của phương pháp hiệu chỉnh này phần lớn dựa trên cấp chính xác của thiết bị dùng trong tham chiếu.

Trước khi hiệu chỉnh, ta cần phải để thiết bị cần hiệu chỉnh hoạt động trong một khoảng thời gian để cho thiết bị ổn định, sau đó mới tiến hành hiệu chỉnh. Với phương pháp hiệu chỉnh vòng khép kín, sai số (tính theo %) của các giá trị đo được bởi thiết bị được tính dựa trên các giá trị đo được đặt làm chuẩn bởi thiết bị tham chiếu. Sai số của các đại lượng đo được tính theo công thức tính sai số tương đối (12).

$$E\% = \frac{X_{read} - X_{ref}}{X_{ref}} \cdot 100 \quad (12)$$

Trong đó: $E\%$ là sai số tính theo % giữa giá trị đo được và giá trị tham chiếu; X_{read} là giá trị đọc từ thiết bị cần hiệu chỉnh; X_{ref} là giá trị đọc từ thiết bị tham chiếu.

Giá trị $E\%$ này được dùng để tính hệ số hiệu chỉnh G_{calib} cho từng đại lượng theo công thức (13) [7].

$$G_{calib} = \frac{G_i}{\frac{E\%}{100} + 1} \quad (13)$$

Trong đó: G_{calib} là hệ số hiệu chỉnh; G_i là hệ số quy đổi ban đầu của các mạch đo trong thiết bị (G_i của mỗi đại lượng điện năng cần tính là khác nhau); $E\%$ là sai số tính theo % giữa giá trị đo được và giá trị tham chiếu. Quá trình hiệu chỉnh sẽ cho ra kết quả là hệ số hiệu chỉnh trung bình của 5 lần đo liên tiếp trên cùng một bộ giá trị điện áp và dòng điện của nguồn xoay chiều 1 pha.

Đối với thiết bị đo và giám sát điện năng không dây, do điều kiện thiết bị tham chiếu (ở đây là đồng hồ đa năng Wavetek HD115B do hãng Wavetek Meterman - Hoa Kỳ sản xuất) và điều kiện nguồn tham chiếu, nhóm nghiên cứu chỉ tiến hành hiệu chỉnh hai đại lượng: điện áp xoay chiều hiệu dụng (U_{rms}) và cường độ dòng điện xoay chiều hiệu dụng (I_{rms}), nên ta sẽ tính được hai giá trị sai số là lần lượt là $E_U\%$ và $E_I\%$, do đó ta cũng sẽ có được hai hệ số hiệu chỉnh cho U_{rms} là G_{calibU} và G_{calibI} . Sai số ta mong muốn đạt được là $\pm 1\%$ đối với phép đo điện áp và dòng điện hiệu dụng. Tính toán được các hệ số hiệu chỉnh G_{calibU} và G_{calibI} , ta sẽ gán các giá trị này vào các biến đại diện cho hệ số hiệu chỉnh đã khai báo trong chương trình nhúng và nạp lại chương trình nhúng cho thiết bị đo.

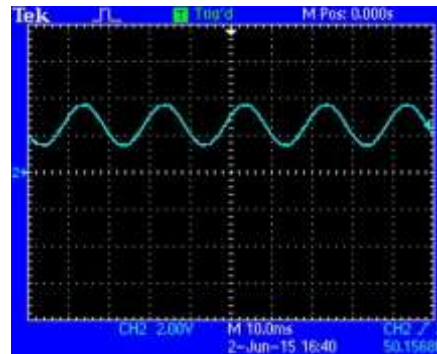
3.2 Thử nghiệm thiết bị

Nhóm nghiên cứu hiện đã xây dựng được hai thiết bị đo và giám sát điện năng không dây. Phiên bản 1b chỉ có một vài cải tiến nhỏ về sơ đồ đấu nối dây vào/ra so với phiên bản 1a (H.9).



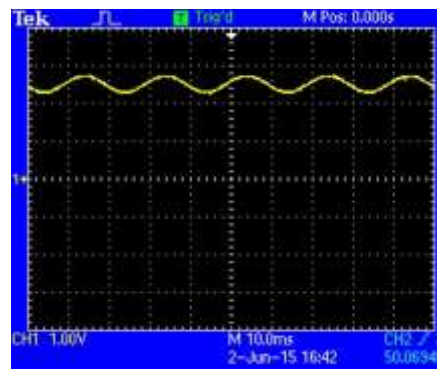
H.9 Thiết bị đo và giám sát điện năng không dây phiên bản 1a (a) và phiên bản 1b (b)

Sử dụng dao động ký điện tử để quan sát dạng tín hiệu được xuất ra sau khối cảm biến điện áp và dòng điện, ta bước đầu đánh giá được khả năng xử lý tín hiệu đo của khối cảm biến.



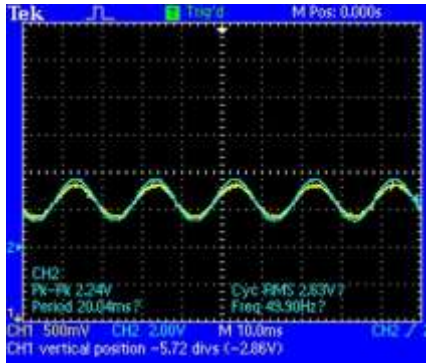
H.10 Dạng tín hiệu xuất ra từ mạch đo điện áp

Theo dõi đồ thị H.10, ta có thể thấy, tín hiệu điện áp từ mạch đo có dạng hình sin tương đối chuẩn, ít nhiễu. Tín hiệu được nâng mức offset lên khoảng 2.5V đúng theo thiết kế trước khi đi vào bộ ADC của vi điều khiển.



H.11 Dạng tín hiệu xuất ra từ mạch đo dòng điện với tải thuần trở

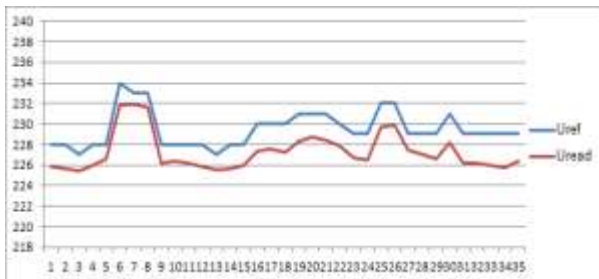
Quan sát dạng tín hiệu H.11, ta cũng có thể thấy rằng tín hiệu điện áp tương ứng với giá trị dòng vào đo ACS712 tạo ra có đồ thị dạng hình sin tương đối mượt và ít nhiễu tác động lên tín hiệu.



H. 12 So sánh sự lệch pha giữa tín hiệu điện áp và dòng điện qua tải thuần trở

Ta có thể thấy từ đồ thị H.12, tín hiệu điện áp và dòng điện không lệch pha nhau khi sử dụng thiết bị để đo dòng qua tải thuần trở. Như vậy, giá trị hệ số công suất $\cos\phi = 0.99$ do thiết bị đo và tính toán là chấp nhận được.

Ta tiến hành hiệu chỉnh thiết bị theo phương pháp như đã trình bày trong Mục 3.1. Sau hiệu chỉnh, ta thử nghiệm đo các đại lượng điện áp hiệu dụng, cường độ dòng điện hiệu dụng sau khi hiệu chỉnh và xây dựng được đồ thị so sánh giữa điện áp đọc từ thiết bị và thiết bị tham chiếu (H.13). Từ đồ thị, ta thấy được sai số tương đối trong phép đo điện áp đã giảm xuống còn khoảng 1% so với giá trị đo của thiết bị tham chiếu. Ở đây, hệ số G_{calibU} được tính toán dựa theo kết quả đo của 5 lần gần nhất.

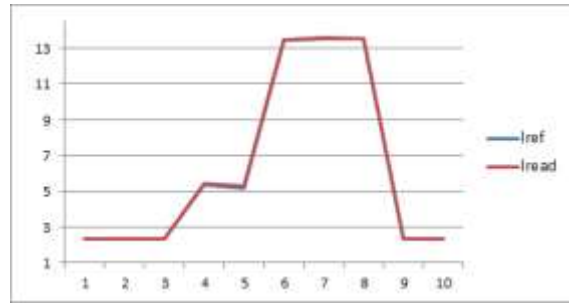


H. 13 Đồ thị so sánh giá trị điện áp đo được với thiết bị tham chiếu sau hiệu chỉnh

Tiến hành hiệu chỉnh tương tự cho phép đo cường độ dòng điện hiệu dụng. Ta cũng có được đồ thị so sánh cường độ dòng điện hiệu dụng với kết quả đo bởi thiết bị tham chiếu trong H.14 bên dưới.



H. 14 So sánh giá trị dòng điện đo được với thiết bị tham chiếu sau hiệu chỉnh



H. 15 Đồ thị so sánh giá trị dòng điện đo được với thiết bị tham chiếu sau hiệu chỉnh

Qua quá trình thử nghiệm, thiết bị đo có sai số tương đối trong phép đo điện áp là khoảng $\pm 5.62\%$, sau khi hiệu chỉnh, sai số tương đối trong phép đo giảm xuống còn $\pm 1\%$. Đối với phép đo dòng điện, khi chưa hiệu chỉnh, sai số tương đối của phép đo khoảng $\pm 3.99\%$, sau khi hiệu chỉnh, sai số tương đối phép đo cũng đạt khoảng $\pm 1\%$.

Thiết bị đã được lắp đặt thử nghiệm trong phòng thí nghiệm và giá trị sản lượng điện năng tiêu thụ hiện nhóm nghiên cứu đang theo dõi.

4. Kết luận

Kết quả thử nghiệm cho thấy thiết bị hoạt động tương đối ổn định và đạt được cơ bản những yêu cầu mà nhóm nghiên cứu đã đặt ra. Sai số trong phép đo điện áp và dòng điện hiệu dụng ở mức $\pm 1\%$. Tuy nhiên, thiết bị cũng vẫn còn những nhược điểm như chưa có khả năng lưu trữ dữ liệu đo trong trường hợp mất điện lưới, số liệu đo được chưa thực sự ổn định, mạng cảm biến không dây xây dựng cho thiết bị còn đơn giản. Trong thời gian tới, nhóm nghiên cứu sẽ cố gắng phát triển tiếp thiết bị để giải quyết những vấn đề còn tồn đọng trên, bên cạnh đó là cải tiến thêm chức năng cho thiết bị như hỗ trợ nhiều hơn các chuẩn truyền thông khác.

5. Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin cảm ơn Sở Khoa học và Công nghệ Hà Nội đã hỗ trợ hoạt động nghiên cứu này trong đề tài “Nghiên cứu, thiết kế và chế tạo hệ thống các thiết bị đo và giám sát năng lượng thông minh không dây cho lưới điện thông minh, 01C-02/06-2014-2”.

Tài liệu tham khảo

- [1] <http://www.arduino.cc/>, truy nhập cuối cùng ngày 27/8/2015.
- [2] Tập đoàn Điện lực Việt Nam, Quy định yêu cầu kỹ thuật của công tơ điện tử sử dụng trong Tập đoàn Điện lực Việt Nam, 10/2014.
- [3] Atmel Corporation, Atmel AVR465: Single-Phase Power/Energy Meter with Tamper Detection [Application note], 8/2013.
- [4] Allegro MicroSystems, LLC; Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor Datasheet, 2013.

- [5] Bộ Công Thương nước CHXHCN Việt Nam, *Quyết định số 2256/QĐ-BCT*, 12/3/2015.
- [6] Microchip Technology, Inc; *MRF24J40MA Data Sheet 2.4GHz IEEE Std. 802.15.4™ RF Transceiver Module*, 2008.
- [7] Microchip Technology, Inc; *PIC18F87J72 Single-Phase Energy Meter Calibration User's Guide*, 2011.



Nguyễn Hoàng Nam nhận bằng Kỹ sư Điện tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội (HUST) năm 2002, bằng Thạc sỹ về *Thiết bị đo và Vi điện tử* tại Trường Đại học Hendri Poincaré, cộng hòa Pháp năm 2004, và nhận bằng Tiến sỹ *Vi điều tử và Điện tử Nano* tại Trường đại Học Bách khoa Grenoble, cộng hòa Pháp năm 2009. Tiến sỹ Nguyễn Hoàng Nam tham gia giảng dạy tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội (HUST) từ năm 2010 đến nay. Hiện anh đang là Giảng viên thuộc Bộ môn Kỹ thuật đo và Tin học công nghiệp (3I), viện Điện. Đồng thời anh cũng là nghiên cứu viên tại viện Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa (ICEA). Hướng nghiên cứu chính là các hệ thống đo thông minh, các hệ thống nhúng và hệ thống năng lượng tái tạo.



Nguyễn Huy Phương sinh năm 1975. Anh nhận bằng Tiến sỹ năm 2000 của trường Đại học Năng lượng Mátxcova, Liên bang Nga (Moscow Power Engineering Institute), về *nghiên cứu phương pháp điều khiển nâng cao đối tượng nhiệt trong nhà máy nhiệt điện*. Năm 2002, anh bắt đầu làm giảng viên tại trường Đại học Bách khoa Hà Nội (HUST) tham gia giảng dạy các môn Kỹ thuật lập trình, Tự động hóa quá trình sản xuất, Điều khiển quá trình. Hiện anh là Viện trưởng Viện Điện, HUST. Hướng nghiên cứu chính là các phương pháp điều khiển, tích hợp hệ thống điều khiển đối tượng công nghiệp.



Thiệu Minh Đức sinh năm 1993. Hiện là Cử nhân ngành Điều khiển và Tự động hóa, viện Điện, trường Đại học Bách khoa Hà Nội (HUST). Hiện Thiệu Minh Đức đang tiếp tục lấy bằng Kỹ sư chuyên ngành Kỹ thuật Đo và Tin học Công nghiệp (3I) tại viện Điện, trường Đại học Bách khoa Hà Nội.



Bùi Đăng Thành sinh năm 1976. Anh nhận bằng thạc sỹ về *Đo lường và các hệ thống điều khiển* của trường Đại học Bách Khoa Hà Nội (HUST) năm 2002. Từ năm

2001 đến 2007 anh là giảng viên của Bộ môn Kỹ thuật Đo và Tin học Công nghiệp (3I), HUST. Anh nhận bằng Tiến sỹ về *Điện tử - Tự động hóa* của trường Ecole Normale Supérieure de Cachan, cộng hòa Pháp năm 2011. Hiện anh là giảng viên, nghiên cứu viên của 3I, HUST. Hướng nghiên cứu chính là thiết kế và thực hiện các hệ thống đo lường, điều khiển, các hệ thống nhúng và hệ thống mạng công nghiệp.



Trịnh Công Đồng sinh năm 1980. Anh nhận bằng thạc sỹ về *Điện tử - Viễn thông* của trường Đại học Mở - Hà Nội năm 2011. Từ năm 2007 đến 2014 anh là cán bộ quản lý của phòng Thiết bị Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Hiện anh đang là cán bộ của *Viện Kỹ thuật điều khiển & Tự động hóa* của trường Đại học Bách Khoa Hà Nội. Hướng nghiên cứu chính là thiết kế và thực hiện các hệ thống mạch điều khiển, các hệ thống nhúng và hệ thống mạng công nghiệp.