

DESIGN AND CONSTRUCTION OF THE MULTI MICROCONTROLLER BASED NUMERICAL UNDERVOTAGE PROTECTION RELAY

Nguyen Thi Huong

TNU - University of Technology

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Received: 14/10/2021</p> <p>Revised: 10/01/2022</p> <p>Published: 11/02/2022</p>	<p>This paper presents a design and construction of the multimicrocontroller based numerical undervoltage protection relays, applied in industry and household electrical appliances. In addition, the relay also serves the teaching of electrical engineering and automation majors in engineering schools thanks to its ability to connect to a PC to change the relay's parameters via software. The hardware of the relay is designed using two Atmega16 microcontrollers, which is a popular microcontroller on the market. To improve the accuracy of the relay, the software for the relay is designed based on the interrupts of the microcontroller, which uses the external interrupts to change the value of the setting voltage and delay time of the relay, the ADC interrupt to read the protected grid voltage. In addition, another important solution that contributes to improve the accuracy of the relay used in this paper is the linearization method for each segment to overcome the nonlinear nature of the potential transformer. Experiments for the designed and built numerical undervoltage protection relay was conducted to evaluate and confirm the quality of the relay.</p>
<p>KEYWORDS</p> <p>Numerical relay</p> <p>Undervoltage protection</p> <p>Multi microcontroller</p> <p>Atmega16 microcontroller</p> <p>CodeVisionAvr Compiler</p>	

THIẾT KẾ XÂY DỰNG RƠ LE BẢO VỆ THẤP ÁP KỸ THUẬT SỐ SỬ DỤNG HỆ ĐA VI ĐIỀU KHIỂN

Nguyễn Thị Hương

Trường Đại học kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
<p>Ngày nhận bài: 14/10/2021</p> <p>Ngày hoàn thiện: 10/01/2022</p> <p>Ngày đăng: 11/02/2022</p>	<p>Bài báo trình bày việc thiết kế xây dựng rơ le bảo vệ thấp áp kỹ thuật số sử dụng hệ đa vi điều khiển sử dụng trong công nghiệp và dân dụng. Ngoài ra, rơ le thiết kế còn phục vụ công tác giảng dạy cho chuyên ngành kỹ thuật điện và tự động hóa trong các trường khối kỹ thuật nhờ tính năng kết nối được với máy tính PC để thay đổi các thông số của rơ le thông qua phần mềm. Phần cứng của rơ le thiết kế sử dụng hai vi điều khiển Atmega16, là loại vi điều khiển phổ biến trên thị trường. Để nâng cao độ chính xác của rơ le, phần mềm cho rơ le được thiết kế dựa trên các ngắt của vi điều khiển, trong đó có sử dụng các ngắt ngoài để thay đổi giá trị điện áp đặt và thời gian đặt của rơ le, ngắt ADC để đọc điện áp lưới cần bảo vệ. Ngoài ra, một giải pháp quan trọng nữa góp phần nâng cao độ chính xác của rơ le được sử dụng trong bài báo là phương pháp tuyến tính hóa từng đoạn để khắc phục bản chất phi tuyến của máy biến điện áp đầu vào. Các thí nghiệm đối với rơ le kỹ thuật số bảo vệ thấp áp đã thiết kế xây dựng được tiến hành nhằm đánh giá, khẳng định chất lượng của rơ le.</p>
<p>TỪ KHÓA</p> <p>Rơ le kỹ thuật số</p> <p>Bảo vệ thấp áp</p> <p>Hệ đa vi điều khiển</p> <p>Vi điều khiển Atmega16</p> <p>Trình biên dịch CodeVisionAvr</p>	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.5171>

Email: huongktpm@tnut.edu.vn

<http://jst.tnu.edu.vn>

11

Email: jst@tnu.edu.vn

1. Giới thiệu

Sự cố giảm thấp điện áp là một sự cố nghiêm trọng trong vận hành lưới điện và các thiết bị điện, nó có thể xảy ra khi đóng tải công suất lớn vào lưới điện, khi cắt các tải điện dung (tụ bù, các mạch nạp ác quy), khi sự cố ngắn mạch lưới, khi mất cân bằng tải giữa các pha [1]. Khi xảy ra thấp áp quá mức cho phép có thể dẫn đến tăng dòng điện trong các động cơ, gây tổn hao nhiệt lớn, mô men động cơ giảm mạnh dẫn đến động cơ dừng hoạt động [2]. Sự dao động điện áp cũng ảnh hưởng tới độ sáng của các thiết bị chiếu sáng và các thiết bị điều khiển bán dẫn [1]. Để bảo vệ sự cố này, các rơ le bảo vệ thấp áp được sử dụng [3]-[6]. Với sự phát triển mạnh mẽ của kỹ thuật vi xử lý; vi điều khiển; các rơ le kỹ thuật số, trong đó có rơ le kỹ thuật số bảo vệ thấp áp ra đời và hiện nay đang được nhiều hãng nổi tiếng trên thế giới chế tạo như hãng Siemens, Mitsubishi Electric, Schneider Electric, ABB,... Các hãng này chủ yếu sử dụng chip chuyên dụng có bản quyền của riêng mình và giá thành khá cao. Để phù hợp với các nước đang phát triển như Việt Nam, trên thế giới đã có nhiều công trình nghiên cứu về rơ le, trong đó có rơ le bảo vệ thấp áp sử dụng vi điều khiển (VĐK) Arduino giá rẻ đã được công bố trong [1], [7], [8] để bảo vệ máy biến áp. Ở Việt Nam, hiện nay đã có một số công trình nghiên cứu trong nước [9], [10] về loại rơ le này. Tuy nhiên cho đến nay vẫn chưa có hãng thiết bị điện trong nước nào công bố về việc sản xuất rơ le bảo vệ kỹ thuật số nói chung và rơ le kỹ thuật số bảo vệ điện áp giảm thấp nói riêng. Vì vậy việc nghiên cứu thiết kế xây dựng loại rơ le này nhằm hướng tới tạo ra sản phẩm trong nước nhằm giảm giá thành, giảm gánh nặng nhập khẩu cho quốc gia. Ngoài ra, sản phẩm có mã nguồn mở được lập trình bằng ngôn ngữ C, kết nối được với máy tính cho phép thay đổi các tham số của rơ le, dạng đặc tính bảo vệ của rơ le, giao tiếp với rơ le. Với những đặc điểm vừa nêu, sản phẩm còn là thiết bị thí nghiệm, thực hành hữu ích cho các sinh viên, học sinh chuyên ngành kỹ thuật điện và tự động hóa của các trường khối kỹ thuật.

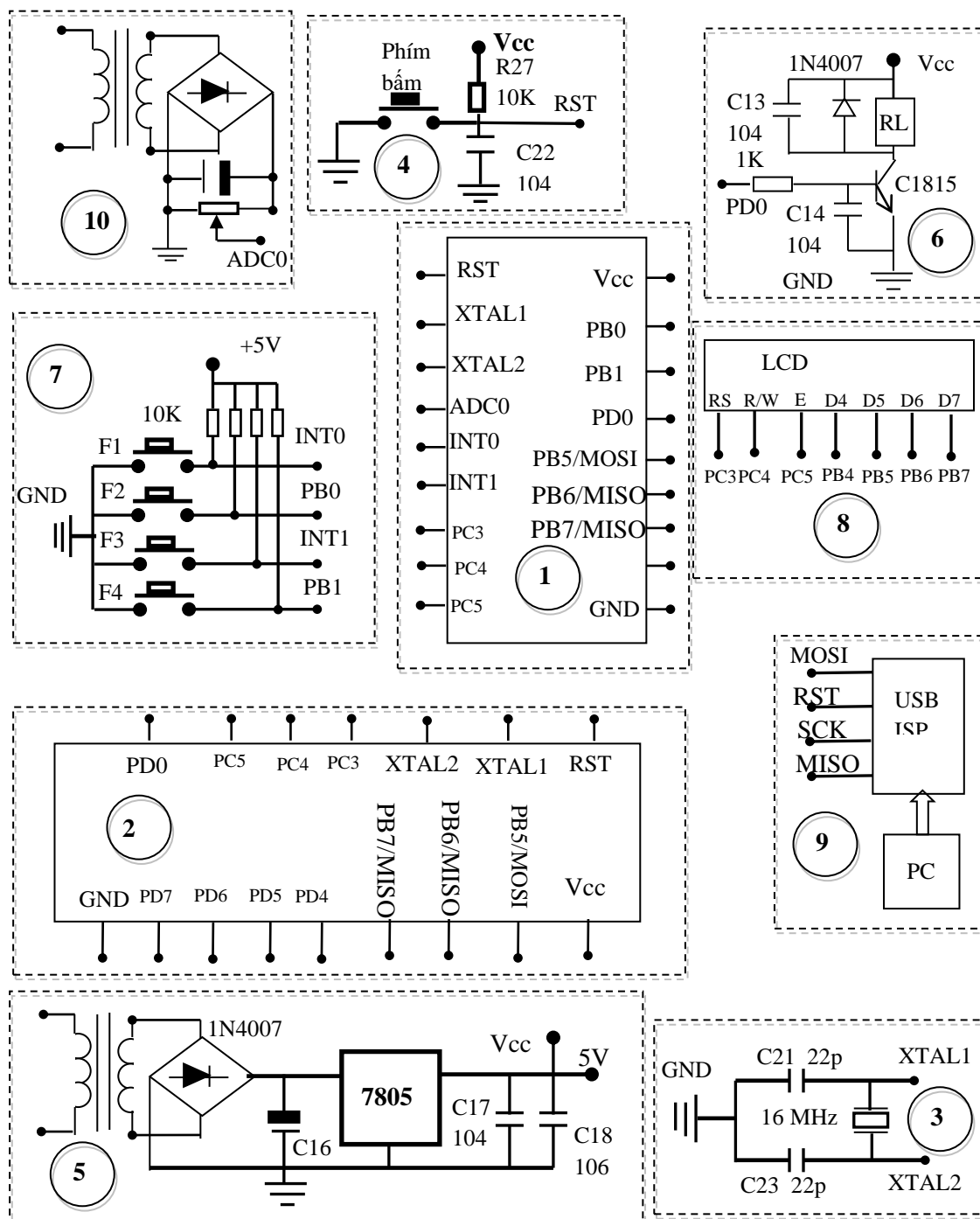
Để thiết kế, xây dựng rơ le kỹ thuật số có độ chính xác cao, phần cứng rơ le sử dụng hệ đa VĐK gồm hai VĐK hoạt động song song với nhau, trong đó một đóng vai trò là VĐK chủ, một đóng vai trò là VĐK tớ (phụ). Phần mềm sử dụng các ngắt ngoài, ngắt chuyển đổi tương tự số (ADC) và sử dụng phương pháp tuyến tính hóa từng đoạn đặc tính vào ra phi tuyến của máy biến điện áp đầu vào. Sau khi thiết kế và xây dựng rơ le kỹ thuật số bảo vệ thấp áp, rơ le được thí nghiệm nhằm khẳng định chất lượng của rơ le.

2. Thiết kế và xây dựng phần cứng cho rơ le kỹ thuật số bảo vệ thấp áp kỹ thuật số

Sơ đồ nguyên lý của rơ le kỹ thuật số bảo vệ thấp áp được chỉ ra ở hình 1. Trong sơ đồ nguyên lý của rơ le kỹ thuật số có các khối cơ bản được lựa chọn và thiết kế như sau:

- Khối vi điều khiển chính (1): Với tính phổ biến và giá thành rẻ, đồng thời đáp ứng được yêu cầu về chức năng đặt ra của rơ le thiết kế, nghiên cứu lựa chọn VĐK Atmega 16 do hãng Atmel (Mỹ) sản xuất [8]. Bộ VĐK chính có nhiệm vụ thiết lập trạng thái ban đầu cho rơ le, đọc điện áp lưới, tuyến tính hóa tín hiệu vào, thay đổi các tham số rơ le, so sánh điện áp lưới và điện áp đặt, phát tín hiệu cho bộ VĐK phụ cũng như RESET về trạng thái chờ của VĐK phụ.

- Khối VĐK phụ (2): có nhiệm vụ chờ tín hiệu phát ra từ bộ VĐK chính khi điện áp lưới sụt dưới mức cho phép. Khi nhận được tín hiệu từ VĐK chính, VĐK phụ sẽ tạo thời gian trễ và sau đó phát tín hiệu tới khối khuếch đại đầu ra để mở hoặc đóng các tiếp điểm đầu ra của rơ le. Nếu đang trong quá trình tạo thời gian trễ mà VĐK chính phát hiện điện áp lưới đã trở về giá trị bình thường, thì VĐK chính sẽ phát tín hiệu tới chân RESET của VĐK phụ để ra lệnh VĐK phụ dừng tạo thời gian trễ và trở về chế độ chờ như ban đầu. Với cách thiết kế này, rơ le tránh được sự tác động nhầm do sự sụt áp thoáng qua, ví dụ khi có nhiều động cơ cùng khởi động, các dao động điện áp khi đóng cắt tải, các sự cố ngắn mạch thoáng qua,...



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý của rơ le bảo vệ thấp áp kỹ thuật số

- Mạch dao động thạch anh (3): Căn cứ vào tần số xung nhịp cho phép của Atmega16, nghiên cứu chọn thạch anh 16MHz nối với 2 chân XTAL1 và XTAL2 của VĐK, đồng thời 2 chân này được nối đất thông qua 2 tụ gốm C21, C22 có trị số 22pF.

- Thiết kế mạch RESET (4): Mạch Reset nối vào chân RST của VĐK để khởi động cứng lại mọi hoạt động của hệ thống. Mạch RESET gồm phím bấm được nối với mức 0 V mỗi khi bấm và

mức 5V qua điện trở kéo ngoài R27 có giá trị 10 k Ω , để dập các xung tần cao dùng C22 là tụ gốm 104.

- Thiết kế khối nguồn (5): Vì Atmega16 và các phần tử khác trong rơ le yêu cầu nguồn cung cấp là 5V có độ ổn định cao, nên nghiên cứu lựa chọn IC ổn áp 7805 cùng mạch chỉnh lưu cầu sử dụng 4 Diod 1N4007, tụ lọc phân cực C16 (100 μ F, 16V), máy biến áp nguồn 450VA, 220V/9V và các tụ gốm C17 (104) , C18 (106).

- Thiết kế khối khuếch đại đầu ra (6): Làm nhiệm vụ khuếch đại tín hiệu ra từ VĐK để cấp điện cho rơ le điện từ trung gian đầu ra loại HUIKE HK4100F – DC5V (3A/220V xoay chiều -6 chân) qua transistor khuếch đại C1815.

- Thiết kế mạch phím đơn (7): Mạch phím đơn có nhiệm vụ thay đổi điện áp đặt, thay đổi thời gian đặt cho rơ le. Phím F1 được nối vào chân ngắt ngoài INT0 cùng với phím F2 nối vào chân PB.0 của VĐK chính để tăng giảm điện áp đặt của rơ le. Phím F3 được nối vào chân ngắt ngoài INT1 cùng với phím F4 nối vào chân PB.1 của VĐK chính để tăng giảm thời gian đặt của rơ le. Các phím này được nối với 0V của nguồn và nối với mức 5V của nguồn qua các điện trở kéo ngoài có giá trị 10 k Ω . Thời gian đặt có thể thay đổi từ 0 đến 60 s.

- Thiết kế khối hiển thị LCD (8): Chọn thiết bị hiển thị LCD loại 16x02.

- Lựa chọn mạch nạp chương trình, đồng thời cũng là mạch ghép nối giữa máy tính và rơ le (9): Để ghép nối với máy tính nhằm nạp mã chương trình cho rơ le, nghiên cứu lựa chọn mạch nạp USB ISP của Công ty Cổ phần Công nghệ và sản xuất Minh Hà. Các chân của mạch nạp được nối với chân MOSI, RST, SCK, MISO của VĐK và được cấp bởi nguồn điện áp một chiều 5V đã qua IC ổn áp.

- Lựa chọn máy biến điện áp đầu vào (10): Máy biến điện áp đầu vào có nhiệm vụ đo lường điện áp lưới cần bảo vệ và cách ly bộ VĐK với điện áp cao của lưới điện. Vì vậy, yêu cầu của máy biến điện áp đầu vào là phải đo chính xác điện áp lưới, tạo điện áp cách ly và có trị số phù hợp với mức điện áp cho phép đưa vào các chân của bộ VĐK. Với bộ VĐK Atmega16, điện áp đưa vào các chân đầu vào tương tự ADC là từ 0 đến 5V một chiều, do đó ta chọn máy biến điện áp có đầu ra là 5V xoay chiều. Qua bộ chỉnh lưu cầu một pha, điện áp một chiều đầu ra bộ chỉnh lưu cầu một pha là $0,9 \times 5 = 4,5V$. Giá trị này nằm trong giới hạn cho phép của các đầu vào ADC của VĐK. Tùy thuộc vào cấp điện áp lưới cần bảo vệ mà ta chọn điện áp phía cao áp của máy biến điện áp. Trong phạm vi bài báo này, tác giả thiết kế rơ le bảo vệ cho lưới hạ áp 380 V xoay chiều, nên chọn máy biến điện áp có sẵn trên thị trường có thông số sau: điện áp sơ cấp định mức là 380 V xoay chiều; điện áp thứ cấp định mức là 5 V xoay chiều; công suất 450 VA.

3. Thiết kế phần mềm

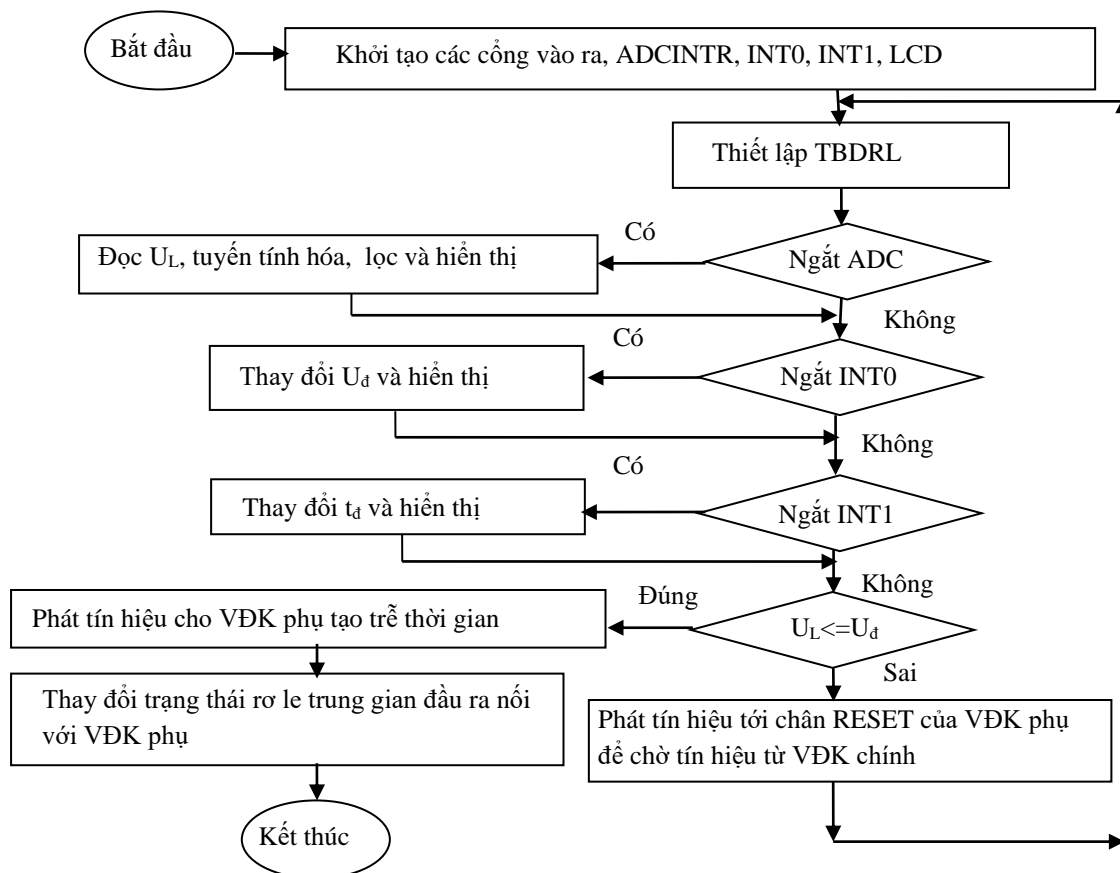
Để viết chương trình phần mềm cho rơ le, bài báo sử dụng trình biên dịch trên cơ sở sử dụng ngôn ngữ lập trình C, CodeVisionAVR, là môi trường phát triển tích hợp và bộ tạo chương trình tự động được thiết kế cho họ các VĐK AVR của Atmel [9]. Bên cạnh đó, tác giả viết thêm các module chương trình đặc thù căn cứ vào chức năng của rơ le.

3.1. Lưu đồ thuật toán

Lưu đồ thuật toán của rơ le được chỉ ra ở hình 2. Trong đó: U_d là trị hiệu dụng điện áp đặt; t_d – là thời gian đặt; U_L – là điện áp lưới; INT0, INT1 – là các ngắt ngoài của VĐK; ADC là chuyển đổi tương tự - số của VĐK; TBDRL – là trạng thái ban đầu của rơ le; LCD là màn hình hiển thị tinh thể lỏng. Hoạt động của lưu đồ thuật toán như sau:

Khi cấp nguồn cho rơ le, phần mềm trong rơ le sẽ khởi tạo các cổng vào/ra cho VĐK (chính và phụ); cụ thể, các cổng của khối ADC (PORTA) của VĐK chính là cổng vào, các cổng nối với bàn phím (INT0, INT1, PB0, PB1 của VĐK chính) là cổng vào, các cổng nối với màn hình hiển thị tinh thể lỏng LCD là các cổng ra cho cả 2 VĐK (các cổng PC.3, PC.4, PC.5, PB.4, PB.5, PB.6, PB.7), các cổng PD4, PD5, PD6 của VĐK phụ là cổng vào để nhận tín hiệu từ VĐK chính và các cổng PD4, PD5, PD6, PD7 của VĐK chính là cổng ra để phát tín hiệu tới các cổng vào và

chân RST của VĐK phụ. Tiếp theo, phần mềm khởi tạo khối chuyển đổi tương tự số để kích hoạt khối ADC trong VĐK chính hoạt động ở chế độ ngắt nhằm đọc điện áp lưới tương tự lấy từ đầu ra của máy biến áp cách ly mỗi khi bộ ADC chuyển đổi xong.



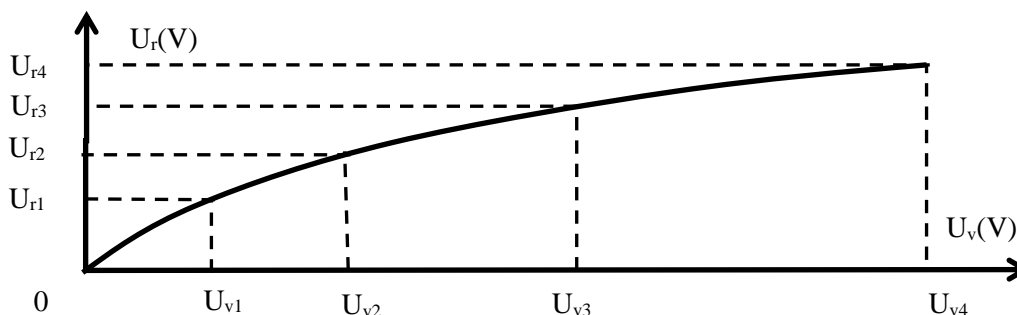
Hình 2. Lưu đồ thuật toán của rơ le

Do tính chất phi tuyến của máy biến điện áp đầu vào, điện áp ra thứ cấp không tỉ lệ thuận với điện áp lưới, nên phải thực hiện tuyến tính hóa từng đoạn quan hệ giữa điện áp ra thứ cấp đưa vào vi điều khiển và điện áp lưới thông qua phần mềm, đồng thời phần mềm cũng thực hiện hiển thị điện áp lưới. Quá trình này được thực hiện song song với chương trình chính. Tiếp theo là sử dụng phím bấm F1 nối vào chân INT0 để tạo ngắt ngoài sườn lên, kết hợp với phím F2 nhằm tăng giảm điện áp đặt cho rơ le, khi ấn phím F1 một lần, thì thay đổi điện áp đặt 10 đơn vị tương ứng với 4 V. Sở dĩ như vậy là vì bộ ADC của Atmega16 là bộ ADC 10 bit, với điện áp vào lớn nhất 5 V thì bộ ADC chuyển đổi thành giá trị là 1023 đơn vị. Để đảm bảo khả năng chịu quá áp, với hệ số quá áp thiết kế là 1.053, mức quá áp cho phép theo thiết kế là $1.053 \times 380 = 400$ V (điện áp định mức là 380 V lấy từ sơ cấp của máy biến điện áp đầu vào rơ le và nối trực tiếp với điện áp lưới cần bảo vệ), dùng biến trở của bộ tiền xử lý để chỉnh sao cho khi điện áp lưới bằng giá trị lớn nhất cho phép là 400 V thì điện áp đầu vào ADV là 5 V một chiều, ứng với giá trị đầu ra của ADC là 1000 đơn vị (nhỏ hơn giá trị cực đại cho phép là 1023). Với cách hiệu chỉnh như thế, cứ 4 V điện áp lưới tương ứng với 10 đơn vị ở đầu ra ADC. Tiếp theo, sử dụng phím F3 để tạo ngắt ngoài sườn lên INT1, kết hợp với phím F4 để thay đổi thời gian đặt với bước thay đổi 0,01s, cho phép thay đổi từ 0 đến 60s. Sau đó, VĐK chính sẽ so sánh U_L và U_d , nếu $U_L \leq U_d$ thì phát tín hiệu cho VĐK phụ tạo thời gian duy trì và thay đổi trạng thái rơ le đầu ra, ngược lại thì đưa tín hiệu tới

chân Reset của VDK phụ để VDK phụ trở về trạng thái chờ. Việc sử dụng VDK phụ để quản lý phân đầu ra nhằm tránh rơ le tác động nhầm khi có hiện tượng sụt áp thoáng qua trong lưới điện, ví dụ khi đóng, cắt tải, khi các động cơ khởi động, hoặc sự cố ngắt mạch thoáng qua.

3.2. Tuyến tính hóa từng đoạn đặc tính của máy biến điện áp đầu vào

Một yêu cầu quan trọng của máy biến điện áp đầu vào trong rơ le là tín hiệu điện áp đưa vào VDK phải tỉ lệ tuyến tính với điện áp cần bảo vệ. Tuy nhiên, do bản chất phi tuyến của mạch từ máy biến điện áp đầu vào, đặc tính này là phi tuyến (đường cong) như hình 3.



Hình 3. Tuyến tính hóa từng đoạn đặc tính ra - vào của máy biến điện áp đầu vào

Sau khi thí nghiệm để lấy được đặc tính vào ra, đặc tính được chia thành các đoạn sao cho mỗi đoạn đó có thể coi là đoạn thẳng, tỉ số biến đổi điện áp của các đoạn khác nhau sẽ khác nhau. Tỉ số biến đổi điện áp ở đoạn thứ i được xác định như sau:

$$k_i = (U_{vi} - U_{vi-1}) / (U_{ri} - U_{ri-1}) \quad (1)$$

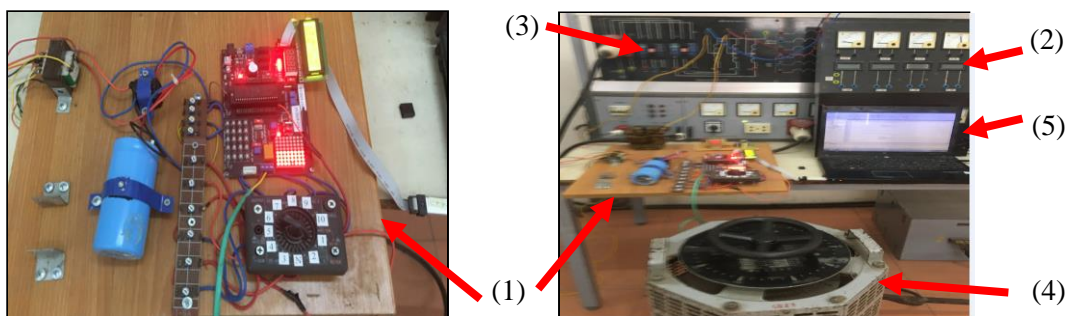
Từ điện áp mà vi điều khiển đọc được, nếu điện áp nằm trong khoảng lớn hơn U_{ri-1} và nhỏ hơn hoặc bằng U_{ri} thì điện áp vào (điện áp lưới cần bảo vệ) được xác định như sau:

$$U_v = U_{vi-1} + (U_r - U_{ri-1})k_i \quad (2)$$

4. Kiểm tra thử nghiệm, đánh giá rơ le

4.1. Hệ thống kiểm tra, thử nghiệm

Hệ thống kiểm tra, thử nghiệm rơ le như hình 4. Trong hình 4, (1) là rơ le bảo vệ thấp áp kỹ thuật số; (2) là khối đồng hồ đo điện áp lưới, là các đồng hồ Voltmet không thuộc rơ le; (3) là khối nguồn bên ngoài có thể điều chỉnh được điện áp thông qua máy biến áp tự ngẫu; (4), (5) là máy tính ghép nối với rơ le.



Hình 4. Rơ le và hệ thống kiểm tra, thử nghiệm rơ le

4.2. Nội dung kiểm tra và thử nghiệm

4.2.1. Cài đặt điện áp đặt và thời gian đặt cho rơ le

Cài đặt điện áp đặt và thời gian đặt cho rơ le được thực hiện thông qua bàn phím và quan sát hiển thị trên màn hình LCD.

4.2.2. Xác định điện áp tác động U_{td} , điện áp trở về U_{tv} và hệ số k_{tv} của rơ le khi điện áp lưới giảm đi 10%, 15%, 20%, ứng với $U_{đặt} = 342, 323, 304$ V

Kết quả thí nghiệm được ghi ở bảng 1.

Bảng 1. Kết quả thí nghiệm xác định điện áp tác động U_{td} , điện áp trở về U_{tv} và hệ số k_{tv} của rơ le ứng với $U_{đặt} = 342, 323, 304$ V

$U_{đặt}(V)$	$U_{td}(V)$	$U_{tv}(V)$	$K_{tv}=U_{tv}/U_{td}$
342	342	344	1,005
323	323	325	1,006
304	304	306	1,007

Nhận xét: Từ bảng 1 cho thấy, rơ le đã thay đổi được điện áp đặt, giá trị điện áp tác động bằng giá trị điện áp đặt, hệ số trở về cao (từ 1,005 đến 1,007). Điều này khẳng định độ nhạy rơ le cao, đáp ứng được tiêu chuẩn của châu Âu [11].

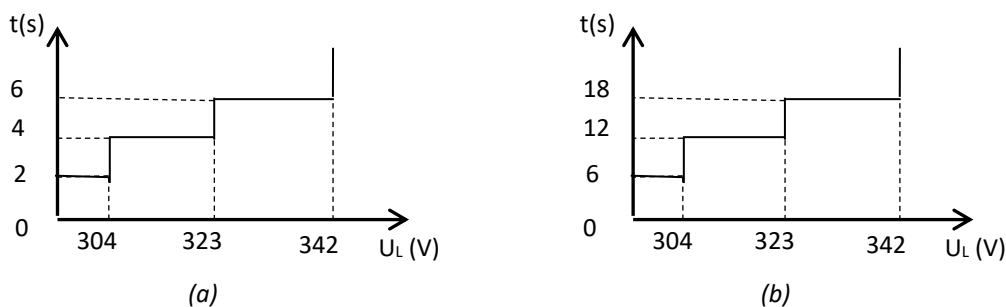
4.2.3. Xây dựng đặc tính bảo vệ có thời gian tác động độc lập thay đổi được thời gian tác động của rơ le

Theo thiết kế, khoảng giá trị của các mức điện áp tác động và thời gian trễ tương ứng được quy định như sau: Thời gian trễ là t_d khi $U_L \leq 304$ V; thời gian trễ là $2t_{td}$ khi $304 < U_L \leq 323$ V; thời gian trễ là $3t_{td}$ khi $323 < U_L \leq 342$ V. Bảng 2 là kết quả thí nghiệm với $t_d = 2$ (s) và $t_d = 6$ (s).

Bảng 2. Kết quả thí nghiệm với $t_d = 2$ (s) và $t_d = 6$ (s)

t_d (s)	2			6		
U_L (V)	≤ 304	$304 < U_L \leq 323$	$323 < U_L \leq 342$	≤ 304	$304 < U_L \leq 323$	$323 < U_L \leq 342$
t_{td} (s)	2	4	6	6	12	18

Từ kết quả thí nghiệm bảng 2, ta vẽ được đặc tính bảo vệ thời gian độc lập như hình 5.



Hình 5. Đặc tính bảo vệ: (a) với $t_d = 2$ s và (b) với $t_d = 6$ s

Nhận xét: Kết quả thí nghiệm ở bảng 2 và các đặc tính bảo vệ ở hình 5 cho thấy thời gian tác động đúng bằng thời gian đặt thiết kế ứng với các khoảng điện áp khác nhau, dạng đặc tính bảo vệ ở hình 5 đúng với dạng đặc tính bảo vệ theo thiết kế.

4.3. Đánh giá khả năng làm việc của rơ le

Qua các kết quả thí nghiệm thu được ta thấy, rơ le đã làm việc tốt trong phạm vi điện áp cần bảo vệ dưới 380 V, hệ số k_{tv} lớn phản ánh độ nhạy của rơ le cao, đặc tính bảo vệ thu được có dạng như yêu cầu thiết kế theo tiêu chuẩn châu Âu [11], thời gian đặt cho phép thay đổi từ 0 đến 60s.

5. Kết luận

Qua các kết quả thí nghiệm và đánh giá ở trên, nghiên cứu khẳng định đã thiết kế và xây dựng được rơ le bảo vệ thấp áp kỹ thuật số với điện áp định mức làm việc 380 V, với khả năng quá tải cho phép lên tới 400 V, thay đổi và hiển thị được giá trị điện áp đặt với bước thay đổi 4 V, hiển thị được điện áp lưới, thay đổi và hiển thị thời gian đặt với bước thay đổi 0,01s, kết nối được với máy tính, có dạng đặc tính bảo vệ độc lập theo tiêu chuẩn châu Âu. Việc thay đổi các tham số, dạng đặc tính cũng có thể được thực hiện thông qua máy tính PC và chương trình trên máy tính. Với các thông số và tính năng của rơ le, rơ le có thể được sử dụng bảo vệ thấp áp cho các lưới điện 380 V trong công nghiệp và sinh hoạt. Ngoài ra, rơ le thiết kế và xây dựng còn là thiết bị thực hành, thí nghiệm cho chuyên ngành kỹ thuật điện và tự động hóa trong các trường khối kỹ thuật nhờ tính năng kết nối với máy tính PC và mã nguồn mở của rơ le.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] M. F. Kotb, M. El-Saadawi, and E. H. El-Desouky, "Design of Over/Under Voltage Protection Relay using Arduino Uno for FREEDM System," *European Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 2, no. 7, pp. 1-6, 2018.
- [2] P. Manish, C. Antara, and S. Snigdha, "Hardware Implementation of Over Voltage and Under Voltage Protection," *International Journal of Innovation Research in Electric*, vol. 3, no. 6, pp. 140-146, 2015.
- [3] S. Prabakaran and S. M. Venkatesan, "Analysis of 3 phase Induction Motor Protection Using Numerical Relay," *International Journal of Engineering and Techniques*, vol. 4, no. 2, pp. 513-519, 2018.
- [4] A. Huang, "FREEDM System - A Vision for the Future Grid," *IEEE Power and Energy Society General Meeting, Providence, USA, July 2010*, pp. 1-4, 25-29.
- [5] O. Vodyakho, "Solid-State Fault Isolation Devices: Application to Future Power Electronics-Based Distribution Systems," *IET Electric Power Application*, vol. 5, no. 6, pp. 521-528, 2011.
- [6] M. F. Kotb, M. El-Saadawi, and E. H. El-Desouky, "Protection Coordination Optimization for Future Renewable Electric Energy Delivery and Management (FREEDM) System," *Journal of Electrical Engineering JEE, USA*, vol. 6, no. 01, pp. 161 -176, 2018.
- [7] R. Arpit, S. Jeet, and D. Anuradha, "Simulation of Power Transformer Protection Using Microcontroller Relay," *International Journal of Scientific Engineering and Technology*, vol. 4, no. 6, pp. 352-355, 2015.
- [8] N. Adil and A. Naveed, "Protection of distribution transformer using Arduino Platform," *Science International Journal*, vol. 27, no. 1, pp. 403-406, 2015.
- [9] H. Q. Nguyen, "Inverse time overcurrent protection numerical relay," (in Vietnamese), *TNU Journal of Science and Technology*, vol. 137, no. 07, pp. 112-120, 2015.
- [10] X. T. Cao and T. H. Nguyen, "Design, construction of digital over voltage protection relay with independent time characteristics for teaching at the department of electrical engineering at university of technology – Thai Nguyen university," (in Vietnamese), *TNU Journal of Science and Technology*, vol. 225, no. 06, pp. 505-512, 2020.
- [11] Siprotech team, "Numerical Voltage, Frequency and OverFlux Protection Relay SIPROTECT 7RW600 v3.0," Siemens AG, 2001. [Online]. Available: <http://www.electricalmanuals.net/index.php/manuals1/manuals/protective-relays/siemens/7rw600>. [Accessed October 12, 2021].