



## NGHIÊN CỨU, THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO THIẾT BỊ ĐO, HIỆU CHUẨN MÁY THỬ CÁCH ĐIỆN DẦU

Nguyễn Văn Đưa<sup>1</sup>, Nguyễn Hoàng Long<sup>1</sup>, Phạm Đình Kha<sup>1</sup>, Lê Duy Tùng<sup>1</sup>,  
Lê Quốc Tuấn<sup>1</sup>, Đỗ Anh Tuấn<sup>2</sup>, Cao Xuân Thảo<sup>3</sup>, Đỗ Trọng Tấn<sup>1</sup>

1 Trung tâm Công nghệ Vi điện tử và Tin học, Viện Ứng dụng Công nghệ

2 Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

3 Viện Đo lường Việt Nam, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng

Ngày tòa soạn nhận được bài báo: 02/08/2019

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 26/08/2019

Ngày bài báo được duyệt đăng: 09/09/2019

### Tóm tắt:

*Bài báo trình bày về nghiên cứu, thiết kế chế tạo thiết bị đo điện áp trong dải từ 0 đến 80 kV. Thiết bị được thiết kế gồm 03 thành phần chính: hệ thống cơ khí kết nối với máy thử cách điện dầu, khối xử lý mạch đo và bộ tính toán xử lý trung tâm. Trong đó, khối xử lý mạch đo sử dụng hệ phân áp trở kết hợp với thiết kế vỏ hộp bằng vật liệu Teflon đảm bảo cách điện. Kết quả thử nghiệm cho thấy, thiết kế cơ khí vỏ hộp đảm bảo cách điện khi điện áp thử nghiệm lên đến 80kVrms, sai số của thiết bị là 0.458% giá trị đọc.*

**Từ khóa:** thiết bị đo điện áp, máy thử cách điện dầu, hệ phân áp trở, Teflon.

### 1. Đặt vấn đề

Cách điện dầu là một trong những phương pháp được ứng dụng rộng rãi trong các hệ thống điện cao áp. Các thiết bị cách điện bằng dầu giúp đảm bảo độ an toàn vận hành và thuận tiện cho việc bảo trì. Chính vì vậy, việc xác định chính xác điện thế đánh thủng của dầu có vai trò hết sức quan trọng trong việc thiết kế, chế tạo các thiết bị điện cao áp sau này. Rất nhiều công ty đã đưa ra các sản phẩm để giải quyết vấn đề trên, tiêu biểu là: BAUR Co., Megger Co., Kharkov EnergoPribor Co. Ltd, Huazheng Electric Manufacturing Co., .... đồng thời, các hãng sản xuất thiết bị thử cách điện dầu cũng cung cấp một số thiết bị đo hiệu chuẩn thiết bị riêng. Mỗi hãng, mỗi thiết bị đều đưa ra đầu cực kết nối và khoảng cách kết nối với bộ thử là khác nhau [9], [11]. Thực tế này gây khó khăn trong việc hiệu chuẩn các thiết bị thử cách điện máy biến áp dầu đa năng tại các Trung tâm đo kiểm, hiệu chuẩn.

Các phương pháp đo điện áp cao thường được sử dụng là: biến áp đo lường, phân áp tụ [1], [2], [3] và phân áp trở [4], [5], [6]. Trong đó, sử dụng biến áp đo lường có nhược điểm là kích thước thiết bị lớn, không phù hợp với không gian đo của buồng thử trong máy đo cách điện dầu máy biến áp. Phương pháp phân áp bằng tụ cho kết quả chính xác cao hơn phương pháp phân áp trở, tuy nhiên nó tồn tại nhược điểm là kích thước tụ lớn và chi phí giá

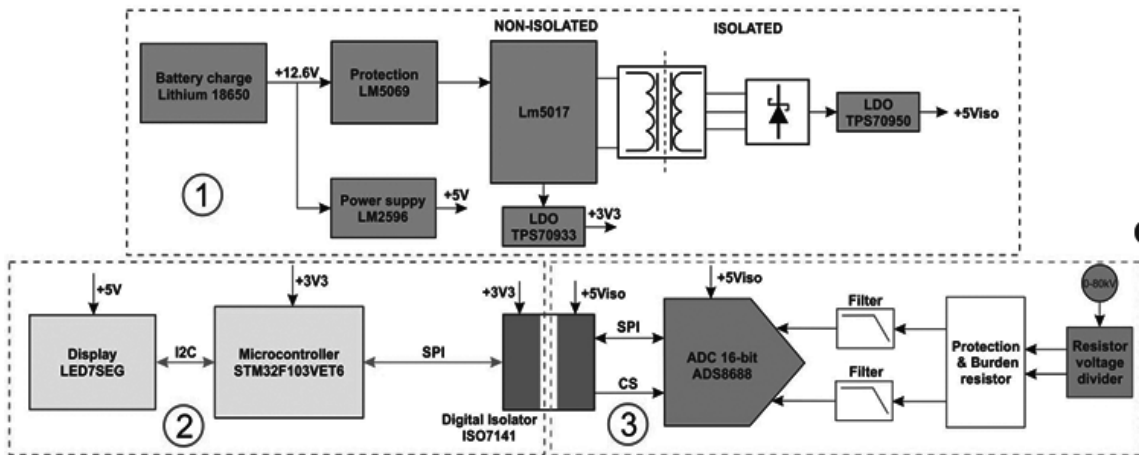
thành cao. Do đó, trong bài báo này, phương pháp phân áp trở được lựa chọn giúp việc thiết kế đơn giản hơn, giá thành thấp hơn và dễ dàng trong thiết kế vỏ cơ khí để đảm bảo cách điện trong môi trường điện áp cao.

Để đảm bảo cách điện, một số phương pháp hiện nay đang sử dụng hộp kín chứa dầu cách điện. Theo [1] độ cách điện trong dầu là 20kV/cm. Ưu điểm của phương pháp là dầu vừa giúp cách điện cũng như làm mát cho hệ thống phân áp bằng điện trở [10]. Tuy nhiên, việc khó thiết kế, gá lắp điện trở, thiết kế hộp và không sử dụng được cho hệ phân áp tụ là một trong những nhược điểm của phương pháp.

Từ những phân tích trên, nhóm tác giả đề xuất ra mô hình thiết bị đo, hiệu chuẩn máy thử cách điện dầu đa năng. Thiết bị có thiết kế cơ khí linh hoạt, sử dụng vật liệu teflon có độ cách điện cao (15kV/mm), dễ dàng gia công chế tạo. Thiết bị có thể sử dụng cho nhiều hệ máy thử cách điện dầu với các loại đầu cực khác nhau và chiều dài điện cực khác nhau. Chiều dài điện cực có thể kết nối là từ 210mm đến 230mm. Kết quả thử nghiệm cho thấy thiết kế cơ khí đảm bảo an toàn điện, giá trị đo được từ 0 đến 80kVrms và có sai số lớn nhất là 0.5% giá trị đọc.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Sơ đồ khối thiết bị

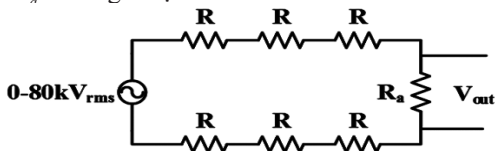


Hình 1. Sơ đồ khối tổng quan của thiết bị

Hình 1 thể hiện sơ đồ khối của thiết bị đo lường điện áp đánh thủng dầu đa năng. Nguyên lý hoạt động của thiết bị: Điện áp đầu ra của máy thử cách điện dầu được đi qua khối xử lý tín hiệu đo gồm mạch phân áp trở có chức năng hạ áp từ 0 – 80kV<sub>RMS</sub> xuống 0 – 5V<sub>RMS</sub>, sau đó đưa qua bộ bảo vệ trở, bộ lọc trước khi đưa vào bộ ADC 16 bit ADS8688. Vi xử lý trung tâm giao tiếp với khối ADC thông qua chuẩn truyền thông SPI, dữ liệu sau đó được tính toán và hiển thị lên màn hình LED.

• Thiết kế phần phân áp trở

Nhóm tác giả đã đưa ra thiết kế sơ đồ mạch phân áp trở như hình 2 [12], [13]. Trong đó, điện trở R thường được lựa chọn lớn hơn rất nhiều lần so với điện trở R<sub>a</sub> và có giá trị cỡ vài trăm MΩ.



Hình 2. Sơ đồ mạch phân áp trở

Từ sơ đồ thiết kế Hình 2 ta có:

$$K = \frac{V_{in}}{V_{out}} = \frac{6R + R_a}{R_a} = 1 + 6 \frac{R}{R_a} \quad (1)$$

Hệ số K là tỉ số chia điện áp giữa đầu vào và đầu ra của bộ phân áp trở.

Trong thiết kế này, điện trở được chọn của hãng MOX, đây là dòng điện trở được thiết kế chuyên dụng trong các mạch đo lường cao áp bởi đã loại bỏ được thành phần cảm, có độ trôi nhiệt độ thấp, độ ổn định cao và hoạt động ở điện áp cao [7]. Để đảm bảo đầu ra V<sub>out</sub> < 5V, ta chọn G = 1GΩ, R<sub>a</sub> = 300kΩ. Trong đó điện trở giá trị lớn (R) được

chọn là loại MOX94021007FVE của hãng MOX, đây là dòng điện trở được thiết kế chuyên dụng trong các mạch đo lường cao áp bởi đã loại bỏ được thành phần cảm, có độ trôi nhiệt độ thấp 50ppm/°C, độ ổn định cao, sai số 1%, hoạt động ở điện áp cao lên đến 30kV và công suất 11.7W [7].

Điện trở giá trị thấp (R<sub>a</sub>) được lựa chọn là loại PTF56300K00BZEK của Vishay. Điện trở có độ trôi nhiệt độ của điện trở thấp với 5ppm/°C, sai số 1% và khả năng chống nhiễu tốt.

• Thiết kế phần mạch chuẩn hóa đo lường

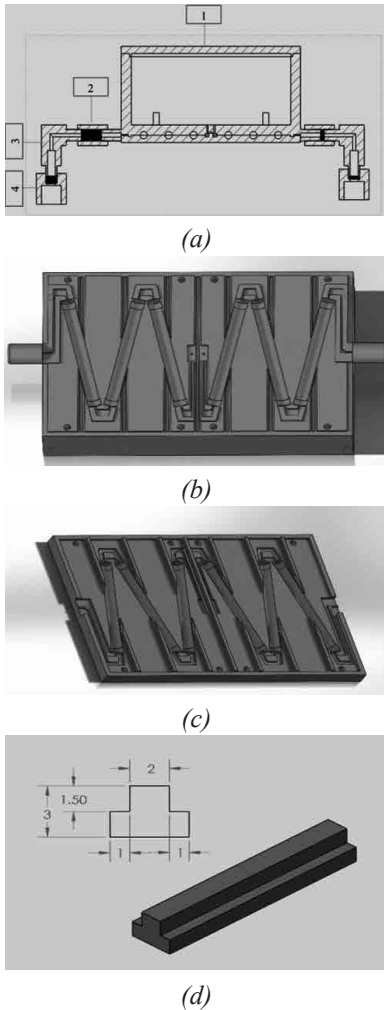
Tín hiệu sau khi qua mạch phân áp sẽ được đưa qua mạch chuẩn hóa đo lường (Hình 1, khối 3). Trong thiết kế này, tín hiệu được đưa qua mạch phối hợp trở kháng, mạch lọc RC và bảo vệ ESD, EFT cho mỗi kênh đầu vào giúp giảm nhiễu ngoài tác động đồng thời bảo vệ quá áp đầu vào ADC [8]. Lọc tương tự thông thấp giúp giới hạn phổ tín hiệu ngõ vào, giảm hiện tượng chồng lấn phổ. Tín hiệu sau đó được đưa vào ADC ADS8688 16-bit, 500ksps, dải điện áp đọc có thể cấu hình được bằng phần mềm: ±10.24 V, ±5.12 V, ±2.56 V. Sử dụng điện áp tham chiếu nội nên độ chính xác cao. Khối xử lý tín hiệu đo và khối xử lý trung tâm được cách ly thông qua IC cách ly số tốc độ cao ISO7141.

• Thiết kế phần hiển thị và vi xử lý trung tâm

Trong thiết kế này, vi điều khiển STM32F103VET6 được lựa chọn làm vi xử lý trung tâm để đọc và tính toán dữ liệu điện áp trả về từ ADC. STM32F103VET6 là dòng chip ARM Cortex-M3 32-bit của hãng STMicrochip, có tốc độ xử lý lên đến 72 MHz, bộ nhớ Flash lên đến 512 Kbytes và bộ nhớ SRAM lên đến 64 Kbytes. Hồ

trợ các giao thức truyền thông SPI, I2C, UART. Để hiển thị kết quả điện áp đo được, nhóm tác giả lựa chọn module hiển thị bao gồm 8 LED 7 thanh.

**2.2. Thiết kế cơ khí vỏ hộp**

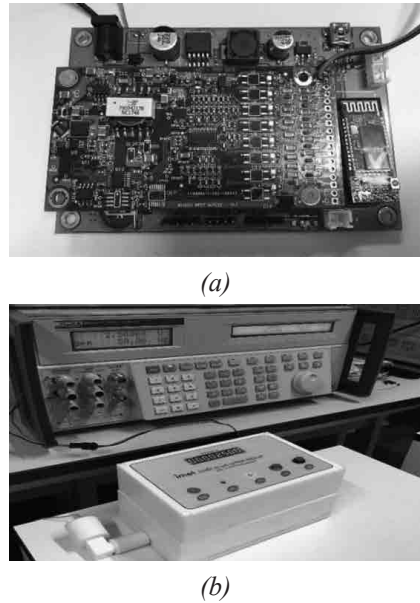


Hình 3. Bố trí thiết kế cơ khí thiết kế hộp; (a) thiết kế 2D vỏ hộp, (b)-(c) lần lượt là thiết kế 3D mặt trước và mặt sau vỏ hộp phân áp trở, (d) thiết kế gờ kết nối cách điện

Yêu cầu trong thiết kế phải đảm bảo được cách điện giữa các trở phân áp, tránh hiện tượng phóng điện xảy ra. Do đó, thiết kế hộp phải đảm bảo độ kín, khít. Hình 3a thể hiện bản vẽ thiết kế 2D của thiết bị. Trong đó, thiết bị gồm 4 thành phần chính: (1) bộ phân áp và bộ xử lý trung tâm, (2) bộ cút nối dài giúp thay đổi chiều dài bộ đo, (3) cút nối chữ L và (4) đầu connector. Đầu connector (4) được thiết kế riêng biệt để phù hợp với từng thiết bị.

**3. Kết quả và thảo luận**

**3.1. Thử nghiệm đánh giá sai số khối đo lường điện áp**



Hình 4. (a) Mạch điện khối đo lường điện áp, (b) hình ảnh thử nghiệm thực tế

Hệ đo được lắp đặt như Hình 4, sử dụng máy phát nguồn chuẩn FLUKE522A 61/2 digit để phát nguồn cho bộ đo điện áp. Thử nghiệm lần lượt với các giá trị chuẩn từ 0.5V đến 5Vrms với bước nhảy là 0.5V. Kết quả được hiển thị ở bảng.

Bảng 1. Kết quả đánh giá sai số khối đo lường điện áp

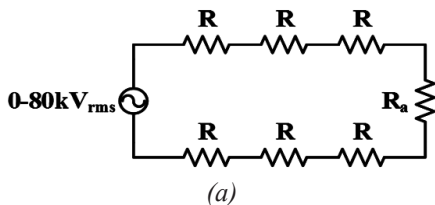
TT	Giá trị chuẩn (V)	Giá trị đọc (V)					Giá trị trung bình	Sai số (%)
		Lần 1	Lần 2	Lần 3	Lần 4	Lần 5		
1	0,5	0,501	0,501	0,502	0,501	0,502	0,5014	0,2800
2	1	1,001	1,001	1,001	1,001	1,002	1,0012	0,1200
3	1,5	1,501	1,501	1,501	1,502	1,501	1,5012	0,0800
4	2	2,001	2,001	2,001	2,002	2,002	2,0014	0,0700
5	2,5	2,501	2,502	2,502	2,502	2,502	2,5018	0,0720
6	3	3,003	3,002	3,002	3,004	3,003	3,0028	0,0933
7	3,5	3,503	3,503	3,503	3,502	3,502	3,5026	0,0743

8	4	4,005	4,004	4,005	4,004	4,005	4,0046	0,1150
9	4,5	4,506	4,506	4,505	4,505	4,506	4,5056	0,1244
10	5	5,007	5,006	5,007	5,006	5,007	5,0066	0,1320

Từ bảng kết quả trên ta thấy, kết quả trả về có sai số thấp, sai số lớn nhất là 0.28% giá trị đọc.

### 3.1. Thử nghiệm cách điện khối phân áp điện trở

Do làm việc trong điện áp cao từ 0 đến 80kVrms do đó vấn đề đảm bảo an toàn cách điện trong thiết bị cần được quan tâm. Nhóm thực hiện đã tiến hành thử nghiệm độ an toàn cách điện với khối phân áp trở được thiết kế. Hệ thống thử nghiệm bao gồm thiết bị tạo cao áp AC Phenix 6CP100/50-7.5. Thử cấp điện áp tại các mức điện áp 1kV, 10kV, 30kV, 50kV, 80kV và 100kV trong thời gian 60s. Kết quả thử nghiệm cho thấy không có hiện tượng phóng điện xảy ra. Qua đó, chứng minh được việc thiết kế cơ khí đảm bảo cách điện hoàn toàn. đạt được yêu cầu đề ra.



(b)

Hình 5. (a) Sơ đồ mạch điện thử nghiệm, (b) Hình ảnh thử nghiệm thực tế

### 3.3. Thử nghiệm toàn bộ hệ thống



Hình 6. Hình ảnh thử nghiệm thực tế

Hệ thống thử nghiệm bao gồm thiết bị tạo cao áp AC Phenix 6CP100/50-7.5, thiết bị đo cao áp VITREX 4700 Precision HV Meter và bộ thiết bị hiệu chỉnh máy thử cách điện dầu. Thử cấp điện áp tại các mức điện áp 5kV, 10kV, 20kV, 30kV, 40kV, 50kV, 60kV, 70kV, 80kV, 90kV trong thời gian 10s. Kết quả thử nghiệm như bảng sau:

Bảng 2. Kết quả thử nghiệm toàn hệ thống

TT	Giá trị chuẩn (V)	Giá trị đọc (V)					Giá trị trung bình	Sai số (%)
		Lần 1	Lần 2	Lần 3	Lần 4	Lần 5		
1	0,5	0,501	0,501	0,502	0,501	0,502	0,5014	0,2800
2	1	1,001	1,001	1,001	1,001	1,002	1,0012	0,1200
3	1,5	1,501	1,501	1,501	1,502	1,501	1,5012	0,0800
4	2	2,001	2,001	2,001	2,002	2,002	2,0014	0,0700
5	2,5	2,501	2,502	2,502	2,502	2,502	2,5018	0,0720
6	3	3,003	3,002	3,002	3,004	3,003	3,0028	0,0933
7	3,5	3,503	3,503	3,503	3,502	3,502	3,5026	0,0743
8	4	4,005	4,004	4,005	4,004	4,005	4,0046	0,1150
9	4,5	4,506	4,506	4,505	4,505	4,506	4,5056	0,1244
10	5	5,007	5,006	5,007	5,006	5,007	5,0066	0,1320

Từ bảng kết quả trên, ta thấy, trong dải từ 5kV-80kV, thiết bị đảm bảo sai số <0,5% giá trị đọc, với sai số lớn nhất ở 40kV là 0,4585%.

#### 4. Kết luận

Bài báo đưa ra nghiên cứu, thiết kế chế tạo và các phép đo thử nghiệm đối với thiết bị đo điện áp trong dải từ 0 đến 80kV đảm bảo sai số <0,5% giá trị đọc, đồng thời vật liệu chế tạo thiết bị đảm bảo an toàn cách điện ở dải điện áp hoạt động. Tuy nhiên, thiết bị chưa có chức năng truyền dữ liệu không dây

và chưa tối ưu được thiết kế cơ khí vỏ hộp. Nhóm sẽ tập trung hoàn thiện sản phẩm và phát triển thêm tính năng truyền thông không dây trong các phiên bản tiếp theo của sản phẩm.

#### Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Dự án đầy mạnh đổi mới sáng tạo thông qua nghiên cứu, khoa học và công nghệ (FIRST) theo thỏa thuận tài trợ số 13/FIRST/2a/IMET.

#### Tài liệu tham khảo

- [1]. Z. Y. B. C. A. Jing T, "Design of a novel oil tester calibrator based on capacitive dividing mechanisms," in *IEEE conference publication*, 1999.
- [2]. W. A. E. a. G. N. Oetzel, "Capacitance voltage divider for highvoltage pulse measurement," *Review of Scientific Instruments* 52.4, 1981, pp. 604-606..
- [3]. X. Y. X. J. D. C. Shesha Jayaram, "High-Divider-Ratio Fast-Response Capacitive Dividers for High-Voltage Pulse Measurements," *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2000, p. 3.
- [4]. A. P. B Racz, "Fast high-voltage resistive pulse divider," IOPScience.Ltd, 1992.
- [5]. z. Y. Lee, "Subnanosecond highvoltage twostage resistive divider," IOPScience.Ltd, 1983.
- [6]. J. S. a. F. C. L. Ming Xu, "Voltage Divider and its Application in the Two-stage Power Architecture," in *Twenty-First Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*, 2006. APEC'06.. IEEE, 2006.
- [7]. Ohmite, "Datasheet of Super Mox series".
- [8]. Đ. h. G. t. v. tài, *Bài giảng Xử lý số tín hiệu*, 2010.
- [9]. L. C. Z. L. Q. Y. M. J. L. Y. Pan Yang, "Calibration method of insulation oil tester based on the electric calculation for electrode structure," in *IEEE 12th International Conference on Electronic Measurement & Instruments*, 2015.
- [10]. W. W. C. L. Y. &. W. Y. Chen, "Feature information extraction of air-gap discharge in oil-paper insulation and its process partition.," in *Diangong Jishu Xuebao (Transactions of China Electrotechnical Society)*, 2011.
- [11]. Z. L, "Research on key technologies of calibrating insulating oil dielectric strength tester," Tianjing Uni, 2012.
- [12]. M. Misakian, *High Voltage Divider and Resistor Calibrations*, 1985.
- [13]. J. C. C. G. O. David J. Rincón, "Design and characterization of a high voltage resistor divider at 60 Hz," *Actas de Ingeniería*, 2017.

### RESEARCH, DESIGN AND MANUFACTURE OF THE OIL TEST SET CALIBRATION METER

#### Abstract:

*This paper presents research, design and manufacture of the voltage measuring device in the range from 0 to 80kV. The device consists of 03 main components: a mechanical system connected to the insulation oil tester, a measurement circuit processing block and a central processing unit. In particular, the measurement circuit processing block uses a resistive voltage divider system combined with box made of Teflon material to ensure insulation. The test result show that the mechanical design of the box ensures insulation when the test voltage is up to 80kVrms, the error of the device is 0.458% of the reading.*

**Keywords:** *voltage measuring device, insulation oil tester, resistive voltage divider, Teflon.*