



DOI:10.22144/ctujos.2023.178

MẠCH ĐO ĐIỆN ÁP CÁCH LY CHO THIẾT BỊ ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT

Lê Quốc Anh* và Nguyễn Hoàng Vũ

Khoa Kỹ thuật điện, Trường Bách Khoa, Trường Đại học Cần Thơ

*Tác giả liên hệ (Corresponding author): lequocanh@ctu.edu.vn

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 01/03/2023

Sửa bài (Revised): 06/04/2023

Duyệt đăng (Accepted): 14/04/2023

Title: Circuit of an isolation voltage sensor for power electronics devices

Author(s): Le Quoc Anh* and Nguyen Hoang Vu

Affiliation(s): Can Tho University

TÓM TẮT

Bài báo này mô tả mạch nguyên lý hoạt động và các đánh giá kết quả thí nghiệm của mạch đo điện áp cách ly sử dụng AMC3330 cho các thiết bị điện tử công suất. Mạch đo điện áp cách ly có khả năng cách ly điện áp cao ở mạch công suất trong các thiết bị điện tử công suất với thiết bị điều khiển, quan sát và người vận hành trong quá trình vận hành, nghiên cứu và phát triển. Mạch đo điện áp cách ly có thể truyền tín hiệu tương tự qua rào chắn cách ly với tốc độ cao. Bên cạnh đó, việc chỉ cần cấp một nguồn điện áp bên phía điện áp thấp cũng tạo điều kiện dễ dàng cho việc thiết kế và vận hành mạch cách ly điện áp sử dụng AMC3330. Các kết quả thí nghiệm chứng tỏ được giá trị của mạch đo điện áp cách ly trong các ứng dụng điện tử công suất với khả năng đáp ứng tín hiệu nhanh, chính xác và giá thành không quá cao.

Từ khóa: AMC3330, cảm biến cách ly, cảm biến điện áp, điện tử công suất

ABSTRACT

This paper describes the operation principle and evaluation of an isolated voltage sensor using AMC3330 for power electronics applications. The isolated voltage sensor can separate the high side voltage of the power electronics devices from the controller, monitor components and the operators during operation, research, and development. The isolated voltage sensor is able to transfer a high frequency analog signal through an isolation barrier. Additionally, a low voltage side single-power supply of the AMC3330 simplifies the design and operation of the isolated voltage sensor. The experimental results show the effectiveness of the isolated voltage sensor for power electronics applications with fast response, accurate results and inexpensive solution.

Keywords: AMC3330, isolated sensor, power electronics, voltage sensor

1. GIỚI THIỆU

Với sự phát triển vượt bậc của các linh kiện điện tử công suất như diode, thyristor, triac, GTO (gate turn-off thyristor), MOSFET (metal-oxide-semiconductor field-effect transistor), IGBT

(insulated-gate bipolar transistor), IGCT (integrated gate-commutated thyristor), trong vài thập kỷ vừa qua, các thiết bị điện tử công suất ngày càng đóng vai trò quan trọng trong cuộc sống hằng ngày cũng như trong hệ thống năng lượng. Các thiết bị điện tử công suất như bộ chuyển đổi năng lượng AC/DC,

DC/AC, DC/DC giữ vai trò chủ chốt trong các ứng dụng chuyển đổi nguồn năng lượng tái tạo, các bộ cấp nguồn dự phòng (UPS), điều khiển nhiệt và cường độ sáng, nung nóng kim loại, điện phân, hàn điện, hệ thống bù công suất phản kháng cho lưới điện (SVC và STATCOM), truyền tải điện xoay chiều linh hoạt (FACTS), lọc sóng hài chủ động (AHF), truyền tải điện một chiều cao áp (HVDC), hệ thống lưu trữ năng lượng và xe điện (Bose, 2014). Cùng với hiện trạng về việc giá năng lượng ngày một tăng do sự khan hiếm về năng lượng hóa thạch cũng như ảnh hưởng của sự ấm lên toàn cầu, vai trò của điện tử công suất và hệ thống điều khiển sẽ ngày càng đóng vai trò quan trọng trong mọi lĩnh vực đời sống (Bose, 2013, 2014).

Quá trình nghiên cứu các thiết bị điện tử công suất trong phòng thí nghiệm cần quan sát rất nhiều sóng tín hiệu khác nhau. Trong đó, các tín hiệu điện áp của các thiết bị điện tử công suất trong các ứng dụng dân dụng và công nghiệp thường vận hành ở mức điện áp từ vài trăm vôn đến vài kilo vôn (Potnuru, 2016). Điều này dẫn đến nguy cơ không an toàn điện đối với người vận hành và các thiết bị điều khiển, giám sát nếu không có cách ly khi điện áp an toàn đối với người vận hành là 50 V (TCVN 5699-1: 2010). Do đó, cách ly là yêu cầu cần thiết cho an toàn của người vận hành và thiết bị trong các ứng dụng điện tử công suất. Bên cạnh đó, các tín hiệu điện áp trong các thiết bị điện tử công suất cũng vận hành ở tần số khá cao (từ vài trăm Hz đến vài chục kHz) tùy thuộc vào tần số đóng ngắt của các linh kiện điện tử công suất. Vì vậy, các thiết bị cách ly cũng phải có khả năng vận hành ở tần số cao. Ngoài ra, trong một số điều kiện vận hành hay trong các trường hợp linh kiện bị lỗi thì tín hiệu điện áp không chỉ có giá trị cao hoặc thấp mà còn có thể nhận bất cứ giá trị nào trong khoảng giữa điện áp thấp và cao nên các thiết bị cách ly số không đáp ứng được yêu cầu trong việc quan sát các tín hiệu điện áp trong mạch điện tử công suất. Trong trường hợp này, tín hiệu cách ly tương tự cần được ứng dụng để giám sát và điều khiển các thiết bị điện tử công suất (Xiao et al., 2003; TeknoCEA, 2019).

Để nghiên cứu các thiết bị điện tử công suất, các phòng thí nghiệm thường sử dụng các cảm biến chuyên dụng để đo tín hiệu điện áp cách ly và có tần số đáp ứng rất cao như thiết bị đo điện áp vi sai cách ly (Teledyne LeCroy, 2023) hay cảm biến Hall (LEM 2023, Ghosh & Maiti, 2012). Vấn đề của các thiết bị này là giá thành khá cao (Mouser Electronics, 2023). Trong công nghiệp, các opamp cách ly quang thường được sử dụng để đảm bảo vấn đề về chi phí. Tuy nhiên, các opamp cách ly quang

này thường có tốc độ đáp ứng và độ phân giải không được cao (IXYS, 2013).

Các dạng sóng tín hiệu với giá trị biên độ và tần số cao cần được giám sát trong quá trình nghiên cứu và phát triển các thiết bị điện tử công suất nhằm nắm bắt được các công nghệ mới về ứng dụng năng lượng tái tạo cũng như tiết kiệm năng lượng của thế giới. Bên cạnh đó, việc giám sát, tìm kiếm lỗi thiết bị trong quá trình thiết kế, vận hành các thiết bị điện tử công suất cũng cần đến việc quan sát các tín hiệu điện áp này theo thời gian thực. Việc tiếp cận các tín hiệu này với chi phí hợp lý cần được giải quyết để các phòng thí nghiệm, viện nghiên cứu và trường đại học ở Việt Nam có thể tiếp cận, tự chủ các công nghệ về phần cứng của các thiết bị điện tử công suất. Do đó, bài báo này đánh giá mạch đo điện áp cách ly ứng dụng AMC3330 trong các ứng dụng điện tử công suất.

Tuy nhiên, điện áp ngõ ra của AMC3330 là tín hiệu vi sai nên không phù hợp để quan sát trên các máy hiện sóng hay các vi điều khiển thông thường không hỗ trợ đọc tín hiệu vi sai. Do đó, mạch chuyên đổi tín hiệu vi sai ngõ ra của AMC3330 thành tín hiệu điện áp có thể quan sát được trên máy hiện sóng cũng như có thể đọc được từ các vi điều khiển phổ biến trong các ứng dụng điện tử công suất cần được thiết kế để kết hợp với AMC3330 trong quá trình vận hành.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Các giải pháp cách ly tín hiệu tương tự cổ điển

2.1.1. Cảm biến hiệu ứng Hall

Một kỹ thuật được sử dụng rộng rãi để quan sát các tín hiệu điện áp cách ly trong các phòng thí nghiệm và trong các ứng dụng công nghiệp là cảm biến dựa trên hiệu ứng Hall. Cảm biến dựa trên hiệu ứng Hall cung cấp mức độ an toàn cao do có cách ly giữa tín hiệu cần đo ở ngõ vào và tín hiệu ngõ ra (Ghosh & Maiti, 2012). Hiệu ứng Hall có thể được hiểu đơn giản là khi dây dẫn đặt trong một từ trường vuông góc, từ trường sẽ tác động lực Lorentz lên các điện tích đang di chuyển trong dây dẫn và có khuynh hướng đẩy chúng sang một bên của dây dẫn. Sự tích tụ các điện tích ở một bên dây dẫn sẽ làm xuất hiện điện áp giữa hai mặt của dây. Điện áp này có độ lớn tỉ lệ thuận và tuyến tính với cường độ từ trường hay cường độ dòng điện ngõ vào. Nếu ngõ vào điện áp được nối với cảm biến hiệu ứng Hall qua một điện trở thì điện áp này tỉ lệ với dòng điện qua cảm biến, hay nói cách khác, điện áp ở ngõ vào tỉ lệ thuận và

tuyến tính với điện áp ngõ ra sinh ra bởi hiệu ứng Hall (Ghosh & Maiti, 2012).

Một số cảm biến hiệu ứng Hall vòng hở có các thiết bị điện tử giúp bù đắp độ lệch do sự thay đổi nhiệt độ của môi trường. Chúng có yêu cầu công suất thấp và có thể được sử dụng để đo cả tín hiệu AC và DC. Tuy nhiên, với cấu hình vòng hở, các cảm biến hiệu ứng Hall vòng hở trở nên không lý tưởng do sai số khuếch đại và ảnh hưởng của nhiệt độ có thể ảnh hưởng đến độ chính xác của phép đo. Bên cạnh đó, phần lõi của cảm biến có thể bị bão hòa từ và độ nhạy của cảm biến sẽ thay đổi theo sự thay đổi nhiệt độ của môi trường. Như vậy, ở phía đầu ra sẽ xuất hiện những lỗi phụ thuộc vào điều kiện vận hành. Do đó, cảm biến hiệu ứng Hall vòng hở được dùng trong các ứng dụng có yêu cầu nhất định về chất lượng.

Cảm biến hiệu ứng Hall vòng kín có thể được sử dụng để đo cả tín hiệu AC và DC, cảm biến sử dụng cuộn dây hồi tiếp tín hiệu về tạo nên một “vòng lặp kín” cho phép giảm các tác động của sai số khuếch đại. Vì thế, không giống như cảm biến hiệu ứng Hall vòng hở, cảm biến hiệu ứng Hall vòng kín không bị ảnh hưởng bởi độ nhạy của cảm biến. Do đó, cấu hình vòng kín mang lại độ chính xác cao hơn đồng thời ít bị bão hòa từ vì mật độ từ thông bên trong lõi là rất nhỏ. Tuy nhiên, tính ổn định là một nhược điểm của cảm biến hiệu ứng Hall vòng kín. Một hệ thống không ổn định có thể được biểu hiện thông qua độ vọt lố với sự thay đổi nhanh chóng của tín hiệu đầu vào. Để làm cho một hệ thống vòng kín hoạt động ổn định, băng thông của hệ thống cần được giới hạn. Tuy nhiên, việc giảm băng thông của hệ thống có thể làm tăng thời gian phản hồi và làm cho hệ thống không thể đáp ứng kịp thời với những thay đổi nhanh chóng của tín hiệu đầu vào (Petruk et al., 2014). Cảm biến hiệu ứng Hall vòng kín được ứng dụng trong những công việc đòi hỏi độ chính xác cao và khả năng chống bão hòa cao trong môi trường có nhiệt độ khắc nghiệt hoặc nhiễu điện từ.

Một vấn đề của cảm biến hiệu ứng Hall là giá thành và tốc độ đáp ứng. Các cảm biến hiệu ứng Hall có tốc độ cao thường có giá thành rất cao. Điều này làm khó khăn cho việc ứng dụng, nghiên cứu các thiết bị điện tử công suất ở nước ta.

2.1.2. Bộ khuếch đại cách ly quang tuyến tính

Bộ khuếch đại cách ly là một bộ khuếch đại không có bất kỳ tiếp xúc dẫn điện nào giữa các phần đầu vào và đầu ra của mạch điện thông qua một rào chắn cách ly. Nó có khả năng bảo vệ thiết bị khi xảy ra sự cố. Bộ khuếch đại cách ly thường được sử dụng

khi hai hoặc nhiều mạch điện phải giao tiếp nhưng chúng lại hoạt động ở những mức điện thế khác nhau. Đây là một phương pháp hiệu quả để ngăn dòng điện không mong muốn chạy giữa hai thiết bị. Chúng cũng được sử dụng để đảm bảo an toàn cho mạch điện và con người (IXYS, 2013).

Về cơ bản, bộ khuếch đại cách ly là thiết bị khuếch đại sự khác biệt về điện áp giữa hai tín hiệu đầu vào. Cũng giống như bộ khuếch đại không cách ly truyền thống, bộ khuếch đại cách ly có tín hiệu tương tự ở đầu vào và tín hiệu tương tự ở đầu ra. Tín hiệu ở phía đầu ra tỉ lệ với tín hiệu ở phía đầu vào. Độ lợi của bộ khuếch đại được cố định và thiết lập bằng các điện trở (IXYS, 2013).

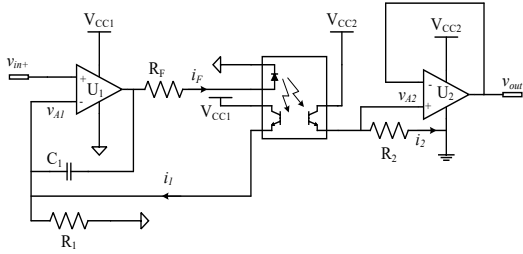
Một vấn đề thực tế quan trọng của các mạch khuếch đại cách ly chính là cách cung cấp nguồn điện cần thiết cho bộ khuếch đại cách ly hoặc bộ chuyển đổi tương tự - tín hiệu số (ADC). Mạch này yêu cầu hai bộ nguồn cung cấp, một bộ nguồn cấp ở phía điện áp/công suất cao và một bộ nguồn cấp ở phía điện áp/công suất thấp. Điều này làm tăng mức độ phức tạp trong thiết kế và cũng như không đáp ứng mục tiêu tối ưu về chi phí thiết bị lẫn diện tích của mạch in của sản phẩm (IXYS, 2013; Dimitrov et al., 2019).

2.1.3. Mạch ứng dụng khuếch đại cách ly quang tuyến tính LOC110

Khuếch đại cách ly quang là một phần tử bán dẫn thực hiện truyền tín hiệu giữa hai phần mạch cách ly với nhau về điện thông qua ánh sáng. Đây là thiết bị được sử dụng phổ biến trong các sản phẩm công nghiệp do chi phí đầu tư thấp và chất lượng truyền tín hiệu chấp nhận được. Khuếch đại cách ly quang có cấu tạo gồm hai phần: phần phát và phần nhận. Phần phát thường là một diode phát quang nằm ở phía đầu vào, có nhiệm vụ nhận tín hiệu, sau đó chuyển tín hiệu thành ánh sáng. Phần nhận là linh kiện phát hiện ánh sáng nằm trong bộ ghép quang, có thể là một transistor quang, quang trở, phototransistor. Bộ phận này làm nhiệm vụ nhận ánh sáng từ phần phát và chuyển đổi ánh sáng ấy thành tín hiệu điện. Khuếch đại cách ly quang sẽ giúp cho hai phần của mạch được cách ly về điện nếu điện áp chênh lệch giữa hai phần không vượt quá ngưỡng cách ly của nhà sản xuất.

Khuếch đại cách ly quang tuyến tính LOC110 được ứng dụng trong mạch chuyển đổi cách ly tín hiệu tương tự như Hình 1 (IXYS, 2013; Dimitrov et al., 2019). Mạch yêu cầu hai nguồn cung cấp cách ly nhau là V_{CC1} và V_{CC2} . Khi tín hiệu điện áp ngõ vào $v_{in+} = 0 V$ thì $i_F = 0 mA$. Khi v_{in+} tăng dần thì đầu

ra của opamp U_1 bắt đầu tăng đến giá trị điện áp v , khi đó dòng i_F tăng lên và LED phát tín hiệu ánh sáng. Tín hiệu ánh sáng này tác động vào cực nền của hai transistor quang. Khi đó, xuất hiện dòng điện i_1 đi qua điện trở R_1 và một hiệu điện thế v_{A1} xuất hiện ở đầu vào đảo của opamp U_1 . Khi $v_{A1} = v_{in+}$ thì dòng điện i_F không tăng thêm được nữa và lúc này mạch ở trạng thái ổn định. Nếu v_{in+} thay đổi, giá trị điện áp v_{A1} sẽ thay đổi để đáp ứng lại thay đổi của điện áp v_{in+} . Đồng thời, transistor quang thứ hai cũng dẫn điện làm xuất hiện dòng điện i_2 tỉ lệ với lượng ánh sáng của LED. Giá trị dòng điện i_2 tuyến tính với giá trị dòng điện i_1 vì cũng nhận năng lượng từ LED. Thông qua opamp, giá trị điện áp đầu ra của opamp U_2 có cùng giá trị với điện áp tại cổng vào đảo của opamp v_{A2} và có thể được thể hiện như sau:



Hình 1. Mạch cách ly quang sử dụng LOC110

$$v_{A2} = R_2 i_2 \quad (1)$$

Khi đó, điện áp ngõ ra của mạch v_{out} và điện áp ngõ vào có mối liên hệ

$$v_{out} = K_3 \frac{R_2}{R_1} v_{in+} \quad (2)$$

với K_3 là độ lợi của opamp cách ly quang LOC110.

2.2. Mạch khuếch đại cách ly ứng dụng AMC3330

2.2.1. IC khuếch đại cách ly AMC3330

Khuếch đại cách ly AMC3330 là một bộ khuếch đại cách ly chính xác với ngõ ra được ngăn cách với ngõ vào bởi rào chắn điện dung silicon-dioxide (SiO_2) có khả năng chống nhiễu cao. Rào chắn SiO_2 đã được chứng nhận bởi khả năng cách ly điện áp lên đến 7000 V theo tiêu chuẩn UL1577 và IEC60747-5-2 (Texas Instruments, 2020).

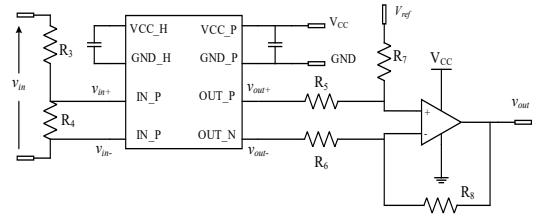
Để sử dụng trong các ứng dụng đo độ phân giải cao, đầu vào của AMC3330 được tối ưu hóa để kết nối trực tiếp với điện trở shunt hoặc các nguồn tín hiệu ở mức thấp khác. Với trở kháng đầu vào cao và bộ chuyển đổi DC/DC cách ly bên trong linh kiện, AMC3330 cho phép thiết bị hoạt động chỉ với một nguồn cấp ở phía điện áp/công suất thấp. Điều này

đơn giản hóa quá trình thiết kế và lắp ráp mạch cũng như tiết giảm chi phí chế tạo mạch đo điện áp cách ly. Điện áp đầu vào vi sai có thể đo được điện áp xoay chiều với giá trị có phần dương và phần âm. Điều này không giới hạn ứng dụng mạch đo điện áp cách ly sử dụng AMC3330 ở mạch đo điện áp DC mà có thể đo được các tín hiệu điện áp AC (Maniar et al., 2022).

Một mạch chuyển đổi tín hiệu vi sai thành tín hiệu đơn cực được thiết kế để chuyển đổi tín hiệu ngõ ra của IC AMC3330 thành tín hiệu điện áp dao động từ 0 đến 3 V phù hợp với các máy hiện sóng và vi điều khiển phổ biến trong các thiết bị điện tử công suất.

2.2.2. Mạch khuếch đại cách ly ứng dụng AMC3330

Mạch khuếch đại cách ly ứng dụng AMC3330 cho thiết bị điện tử công suất được mô tả ở Hình 2. Điện áp cần quan sát được chuyển đổi thành tín hiệu trong khoảng từ -1 đến 1 V như yêu cầu tín hiệu đầu vào của AMC3330 qua mạch phân áp với mối liên hệ



Hình 2. Mạch khuếch đại cách ly sử dụng AMC3330

$$\frac{R_4}{R_3 + R_4} = \frac{|v_{in+} - v_{in-}|}{v_{in}} = \frac{1}{v_{in}} \quad (3)$$

với v_{in+} và v_{in-} là tín hiệu vào đảo và không đảo của AMC3330, còn v_{in} là tín hiệu cần đo.

Điện áp rơi trên điện trở R_4 tỉ lệ với điện áp vào v_{in} . Do đó, từ giá trị điện áp đo được trên điện trở R_4 , giá trị điện áp v_{in} cần đo có thể được xác định. Năng lượng cần cấp nguồn cho phần mạch đo ở điện áp cao được cấp từ AMC3330, nên mạch đo điện áp cách ly này không cần thiết kế nguồn cấp riêng cho phần mạch điện áp cao.

Giá trị điện áp trên điện trở R_4 ở phía cao áp được truyền sang điện áp vi sai ngõ ra của AMC3330 với độ lợi là 2 và có giá trị điện áp chung V_{cm} (common-mode voltage) là 1,44 V.

$$V_{cm} = \frac{v_{out+} + v_{out-}}{2} = 1,44 \text{ V} \quad (4)$$

$$v_{out+} - v_{out-} = 2(v_{in+} - v_{in-}) \quad (5)$$

với v_{out+} và v_{out-} là điện áp ngõ ra dương và âm vì sai của AMC3330.

Điện áp vì sai ngõ ra của AMC3330 qua mạch khuếch đại vì sai với opamp và điện áp trung bình được thiết kế với giá trị $V_{ref} = 1,5 V$. Nếu $R_5 = R_6$ và $R_7 = R_8$, giá trị điện áp ngõ ra v_{out} và ngõ vào của opamp có mối liên hệ (Green et al., 2019).

$$v_{out} = \frac{R_7}{R_5}(v_{out+} - v_{out-}) + V_{ref} \quad (6)$$

Do đó, mối liên hệ giữa điện áp ngõ vào so với điện áp ngõ ra là

$$v_{out} = \frac{2R_7R_4}{R_5(R_3+R_4)}v_{in} + V_{ref} \quad (7)$$

Điện áp ngõ ra v_{out} tỉ lệ tuyến tính với điện áp ngõ vào v_{in} . Nên tín hiệu điện áp v_{out} thể hiện dạng sóng tín hiệu điện áp v_{in} cần giám sát. Đồng thời, tín hiệu ngõ ra được thiết kế để dao động trong khoảng từ 0 đến 3 V để phù hợp với đại đa số các vi điều khiển trong thiết bị điện tử công suất cũng như máy hiện sóng. Mạch đo điện áp cách ly sử dụng AMC3330 có thể hoạt động chỉ với một nguồn cấp 5 V công suất thấp như điện áp từ cổng USB.

Điện áp lớn nhất của mạch có thể đo được phụ thuộc vào hai giá trị điện trở R_3 và R_4 trong mạch phân áp. Đồng thời, giá trị này không vượt quá giá trị điện áp cách ly giới hạn của AMC3330 là 1.200 V AC hoặc 1.700 V DC. Sai số của mạch đo phụ thuộc vào sai số của các linh kiện cấu hình nên mạch đo cũng như các sai số của AMC3330 và opamp được sử dụng. Hầu hết sai số có thể loại bỏ bằng cách hiệu chỉnh mạch đo sau khi lắp ráp, trừ sai số của hệ số khuếch đại và sự phi tuyến của AMC3330, lần lượt là 0,2% và 0,02% (Texas Instruments, 2020).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Mạch đo điện áp cách ly sử dụng LOC110 như Hình 3 đại diện cho thiết bị được sử dụng trong các sản phẩm công nghiệp được lắp ráp để kiểm tra và đối chứng (IXYS, 2013; Dimitrov et al., 2019). Mạch đo điện áp cách ly ứng dụng AMC3330 với kích thước 2,5 cm x 7 cm như Hình 4 được thiết kế và lắp ráp để đánh giá khả năng vận hành của mạch đo điện áp cách ly. Giá trị các linh kiện và hệ số khuếch đại của từng mạch được liệt kê trong Bảng 1 và Bảng 2 với khả năng đo điện áp 100 V ở ngõ vào của mạch đo điện áp cách ly sử dụng AMC3330. Hai mạch đo điện áp cách ly được kiểm tra với các tín hiệu sóng răng cưa, sóng tam giác, sóng vuông và

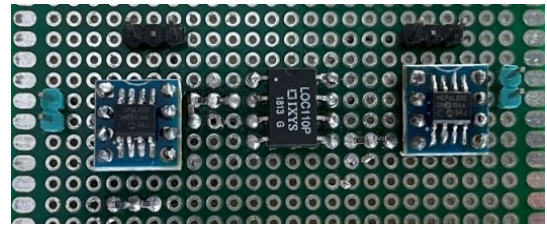
sóng sin ở tần số 10 kHz và biên độ phù hợp cho từng mạch.

Bảng 1. Thông số mạch cách ly quang sử dụng LOC110

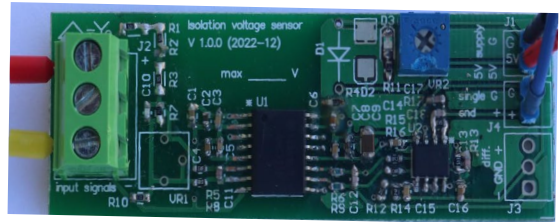
Đại lượng	Giá trị
R_1	33,3 kΩ
R_2	66,7 kΩ
v_{out}/v_{in+}	2

Bảng 2. Thông số mạch cách ly sử dụng AMC3330

Đại lượng	Giá trị
R_3	1 MΩ
R_4	10 kΩ
R_5, R_6	68 kΩ
R_7, R_8	51 kΩ
V_{ref}	1,5 V
$v_{out}/(v_{in+} - v_{in-})$	1,5
v_{out}/v_{in}	0,01485



Hình 3. Mạch đo điện áp cách ly quang sử dụng LOC110



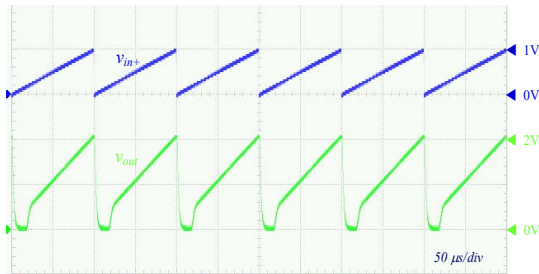
Hình 4. Mạch đo điện áp cách ly sử dụng AMC3330 với kích thước 7 cm x 2,5 cm

3.1. Kết quả mạch đo điện áp sử dụng cách ly quang LOC110

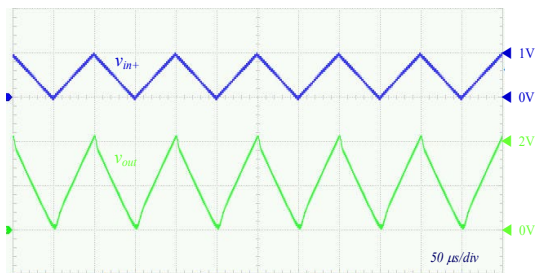
Hình 5 mô tả tín hiệu dạng sóng răng cưa đầu vào v_{in+} và tín hiệu điện áp ngõ ra v_{out} của mạch đo điện áp cách ly quang sử dụng LOC110. Tín hiệu sóng ngõ vào của opamp U_1 có biên độ 1 V và tần số 10 kHz. Dạng sóng điện áp ngõ ra v_{out} có tần số 10 kHz như sóng ngõ vào v_{in} và biên độ 2 V do độ lợi thiết kế của mạch cách ly. Đồng thời, pha tín hiệu ngõ ra gần như đồng pha với tín hiệu ngõ vào với độ trễ pha chỉ vài micro giây. Phần tín hiệu ngõ ra ở vùng điện áp thấp bị méo dạng so với tín hiệu ngõ

vào do cách ly quang bị sai lệch trong vùng điện áp thấp. Trong vùng điện áp ngõ vào thấp, cường độ ánh sáng của LED trong vùng này yếu nên gây ra sai số giữa tín hiệu ngõ ra so với tín hiệu ngõ vào.

Hình 6 mô tả kết quả vận hành của mạch cách ly quang LOC110 đối với tín hiệu sóng tam giác. Tín hiệu điện áp ngõ vào có biên độ 1 V và tần số 10 kHz. Qua mạch cách ly điện áp LOC110, tín hiệu điện áp ngõ ra v_{out} cũng là dạng sóng điện áp hình tam giác với tần số 10 kHz. Biên độ điện áp ngõ ra dao động trong khoảng 0 - 2 V tương ứng với độ lợi của mạch thiết kế. Tuy nhiên, dạng sóng ngõ ra bị biến dạng ở đoạn điện áp thấp (gần 0 V) và điện áp cao (gần 2 V) do ảnh hưởng của LOC110. Tín hiệu ở đầu ra ghi nhận có thời gian trễ khoảng vài micro giây so với tín hiệu điện áp ngõ vào. Do tín hiệu ngõ vào có tần số tương đối cao 10 kHz nên thời gian nạp xả của tụ điện trong mạch kiểm chứng chưa đáp ứng kịp thời ngay khi tần số tín hiệu thay đổi.



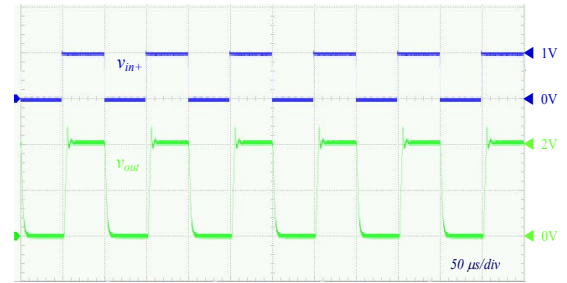
Hình 5. Kết quả mạch đo điện áp sử dụng LOC110 đối với tín hiệu sóng răng cưa



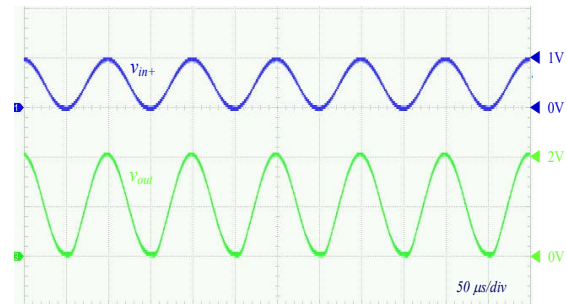
Hình 6. Kết quả mạch đo điện áp sử dụng LOC110 đối với tín hiệu sóng tam giác

Đáp ứng của mạch đo điện áp sử dụng LOC110 đối với tín hiệu sóng vuông được thể hiện trong Hình 7. Tín hiệu điện áp ngõ vào có dạng sóng vuông với biên độ 1 V và tần số 10 kHz. Khi đó, tín hiệu điện áp ngõ ra có dạng sóng vuông nhưng hơi bị biến dạng do ảnh hưởng của cách ly quang LOC110. Tín hiệu điện áp ngõ ra v_{out} vừa có độ trễ vừa bị vọt ló trong khoảng điện áp cao nên mạch sử dụng cách ly quang LOC110 rất khó đồng thời giảm ảnh hưởng của hai yếu điểm.

Mạch đo điện áp cách ly LOC110 được kiểm tra với tín hiệu điện áp ngõ vào hình sin dao động trong khoảng 0 đến 1 V và tần số 10 kHz. Tín hiệu ngõ ra là tín hiệu hình sin với được khuếch đại và dao động trong khoảng 0 - 2 V như Hình 8. Dạng sóng điện áp ngõ ra gần giống dạng sóng với tín hiệu ngõ vào. Tuy nhiên, ở gần điện áp 0 V, tín hiệu điện áp ngõ ra hơi bị méo dạng do ảnh hưởng của cách ly quang LOC110.



Hình 7. Kết quả mạch đo điện áp sử dụng LOC110 đối với tín hiệu sóng vuông



Hình 8. Kết quả mạch đo điện áp sử dụng LOC110 đối với tín hiệu sóng sin

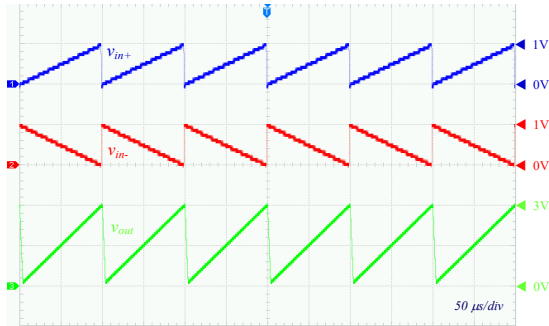
3.2. Kết quả mạch đo điện áp sử dụng AMC3330

Mạch đo điện áp cách ly sử dụng AMC3330 được kiểm chứng với tín hiệu ngõ vào là sóng răng cưa tần số 10 kHz. Tín hiệu ngõ vào AMC3330 gồm hai tín hiệu vi sai v_{in+} và v_{in-} để tín hiệu ngõ vào dao động cả phần dương và phần âm so với điểm GND ở phần điện áp cao. Khi đó tín hiệu vi sai ngõ vào của AMC3330 được biểu hiện trong công thức (8)

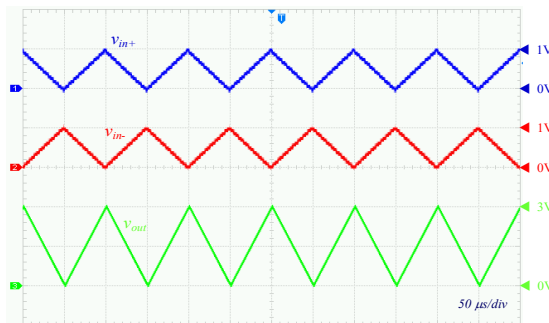
$$v_{in+} - v_{in-} \in [-1 V; 1 V] \quad (8).$$

Khi đó, điện áp ngõ ra của mạch đo điện áp cách ly dao động từ 0 đến 3 V như thiết kế với độ trễ rất thấp. So với kết quả của mạch sử dụng LOC110 ở Hình 5, mạch sử dụng AMC3330 không có khu vực bị méo dạng và lệch pha không đáng kể nên đảm bảo việc thể hiện được đúng tín hiệu điện áp cần quan sát.

Tín hiệu sóng tam giác với tần số 10 kHz cũng được sử dụng để kiểm tra khả năng hoạt động của mạch như Hình 10. Tín hiệu điện áp ngõ vào dương v_{in+} và tín hiệu điện áp ngõ ra v_{out} giống nhau và cùng pha nên thể hiện được khả năng hoạt động tốt của mạch đo điện áp cách ly sử dụng AMC3330 đối với các tín hiệu sóng tam giác.



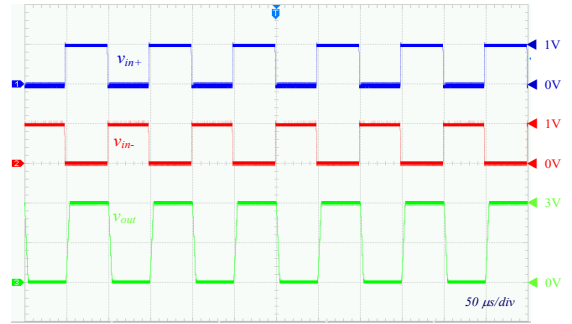
Hình 9. Kết quả mạch đo điện áp sử dụng AMC3330 đối với tín hiệu sóng răng cưa



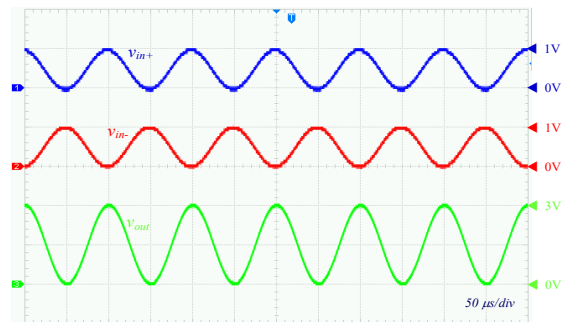
Hình 10. Kết quả mạch đo điện áp sử dụng AMC3330 đối với tín hiệu sóng tam giác

Hình 11 trình bày kết quả của mạch đo điện áp cách ly sử dụng AMC3330 đối với tín hiệu sóng vuông. Tín hiệu điện áp ngõ vào có biên độ từ -1 đến 1 V và tần số 10 kHz. Qua mạch cách ly, tín hiệu điện áp ngõ ra v_{out} cũng là dạng sóng vuông có tần số 10 kHz. Do độ lợi của mạch thiết kế, biên độ điện áp ngõ ra dao động từ 0 đến 3 V. Dạng sóng tín hiệu ngõ ra gần như giữ nguyên hình dạng của tín hiệu ngõ vào.

Với dạng sóng tín hiệu hình sin tần số 10 kHz, đáp ứng của mạch đo điện áp cách ly sử dụng AMC3330 rất tốt như thể hiện ở Hình 12. Dạng sóng tín hiệu ngõ ra hoàn toàn khớp với tín hiệu dạng sóng ngõ vào. Tần số tín hiệu được giữ nguyên trong khi độ trễ của góc pha gần như không đáng kể.



Hình 11. Kết quả mạch đo điện áp sử dụng AMC3330 đối với tín hiệu sóng vuông



Hình 12. Kết quả mạch đo điện áp sử dụng AMC3330 đối với tín hiệu sóng sin

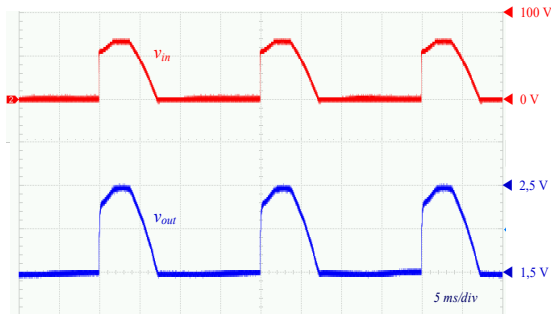
3.3. Thử nghiệm đo điện áp của mạch điện tử công suất

Thử nghiệm mạch đo điện áp cách ly sử dụng AMC3330 đã thiết kế với các thiết bị điện tử công suất. Tín hiệu điện áp ngõ ra của mạch chỉnh lưu tia một pha có điều khiển là tín hiệu cần quan sát v_{in} và tín hiệu điện áp ngõ ra của mạch khuếch đại cách ly ứng dụng AMC3330 đã thiết kế v_{out} được biểu diễn như trong Hình 13. Tín hiệu điện áp được thể hiện dưới dạng một phần sóng sin của ngõ ra mạch chỉnh lưu tia một pha có điều khiển.

Dạng sóng tín hiệu điện áp ngõ ra của mạch chỉnh lưu tia một pha có điều khiển là tín hiệu cần quan sát v_{in} . Tín hiệu điện áp ngõ vào của mạch chỉnh lưu là điện áp hình sin có giá trị $V_{rms} = 49 V$ hay biên độ 69,3 V, tín hiệu điện áp ngõ ra của mạch chỉnh lưu là một phần dạng sóng sin ở bán kỳ dương khi có xung kích.

Dạng sóng tín hiệu điện áp của mạch khuếch đại cách ly sử dụng AMC3330, v_{out} được thể hiện trong Hình 13. Thông qua mạch phân áp, tín hiệu điện áp cần quan sát được giảm xuống còn khoảng -1 đến 1 V phù hợp với AMC3330. Tín hiệu điện áp ở ngõ ra v_{out} mạch khuếch đại cách ly đã thiết kế cho giá trị biên độ khoảng 2,55 V tương ứng với hệ số khuếch đại thiết kế. Dạng sóng của điện áp cần quan sát và

tín hiệu ngõ ra của mạch khuếch đại cách ly giống nhau. Tín hiệu ngõ ra của bộ khuếch đại cách ly cùng pha với tín hiệu sóng cần quan sát nên tín hiệu ngõ ra của mạch khuếch đại cách ly đại diện chính xác cho tín hiệu cần quan sát. Kết quả cho thấy tín hiệu tương tự ở ngõ vào của mạch đo điện áp cách ly được truyền tốc độ cao qua rào chắn cách ly sang mạch điện áp thấp mà không gây ra độ trễ nào đáng kể như thể hiện trong Hình 13.



Hình 13. Tín hiệu mạch khuếch đại cách ly

a. Tín hiệu điện áp ngõ ra của mạch chỉnh lưu tia một pha có điều khiển, b. Tín hiệu điện áp ngõ ra của mạch khuếch đại cách ly đã thiết kế

3.4. Đánh giá kết quả thực nghiệm

Qua các kết quả kiểm chứng từ Hình 5 đến Hình 8, mạch cách ly quang sử dụng LOC110 có khả năng chuyển đổi tín hiệu tương tự từ mạch cao áp sang mạch thấp áp với khả năng cách ly. Tuy nhiên, tín hiệu điện áp ngõ ra hơi bị méo dạng ở tần số cao, đặc biệt ở khu vực điện áp thấp. Đồng thời, do thiết kế của mạch ở Hình 1 chỉ có thể chuyển đổi tín hiệu điện áp dương so với điểm GND cao áp. Mạch cách ly này cần hai nguồn điện áp cách ly V_{CC1} và V_{CC2} nên cần thêm yêu cầu về không gian và chi phí cho việc thiết kế mạch.

Các kết quả vận hành của mạch cách ly sử dụng AMC3330 ở Hình 9 đến Hình 13 đã thể hiện rõ đáp ứng tốt đối với các tín hiệu sóng răng cưa, sóng tam giác, sóng vuông và sóng sin ở tần số 10 kHz và biên độ -1 đến 1 V như trong tuyên bố của nhà sản xuất. Dạng sóng tín hiệu và pha của tín hiệu được đảm bảo trong quá trình chuyển đổi qua rào chắn cách ly. Do đó, mạch cách ly sử dụng AMC3330 có thể được ứng dụng để chuyển đổi cách ly các tín hiệu tương tự từ mạch công suất có điện áp cao sang mạch điều khiển, quan sát để đảm bảo an toàn cho người vận hành, thiết bị điều khiển, thiết bị quan sát. Do tín hiệu ở ngõ ra chỉ hoạt động ở điện áp 5 V và được cách ly hoàn toàn với tín hiệu điện áp cao ở ngõ vào nên mạch này rất an toàn cho người vận hành và thiết bị quan sát tín hiệu. Bên cạnh đó, việc chỉ cần

cấp một nguồn điện áp thấp phía thấp áp nên việc vận hành mạch đo điện áp cách ly rất đơn giản. Có thể lấy nguồn từ cổng USB của máy hiện sóng hoặc nguồn điện áp thấp từ vi điều khiển thời gian thực.

Chi phí tương đối để chế tạo các mạch đo điện áp cách ly bằng cách ly quang LOC110, cảm biến hiệu ứng Hall vòng kín LEM LV25-P và AMC3330 được liệt kê trong Bảng 3. Giá thành chế tạo mạch đo điện áp cách ly dựa trên LOC110 thấp nhất nhưng chất lượng tín hiệu và tốc độ đáp ứng thấp. Tốc độ đáp ứng của LEM LV25-P và AMC3330 là xấp xỉ nhau nhưng chi phí chế tạo mạch sử dụng LEM LV25-P cao hơn khoảng 7 lần so với chi phí chế tạo mạch sử dụng AMC3330. Bên cạnh đó, giá thành của các thiết bị đo điện áp cách ly CT2593-1, AP031, và HVD3102A cũng được liệt kê với giá rất cao do các thiết bị đo cách ly này có thể quan sát được tín hiệu hàng MHz. Tuy nhiên, các ứng dụng điện tử công suất thông thường chỉ cần quan sát tín hiệu ở mức khoảng 10 kHz nên mạch đo điện áp sử dụng AMC3330 là phù hợp với chi phí chấp nhận được.

Bảng 3. So sánh tương đối giá các mạch đo điện áp cách ly trên thị trường

Mạch đo điện áp cách ly sử dụng	Tốc độ đáp ứng	Giá thành (VN đồng)
LOC110	thấp	330.000
LEM LV25-P	trung bình	3.645.000
AMC3330	trung bình	500.000
CT2593-1	cao	10.240.000
AP031	cao	17.190.000
HVD3102A	cao	58.215.000

4. KẾT LUẬN

Mạch đo điện áp cách ly sử dụng AMC3330 thể hiện được khả năng chuyển đổi cách ly tín hiệu tương tự từ điện áp cao sang điện áp thấp mà vẫn duy trì được hình dạng và góc pha của tín hiệu. Mạch đo điện áp cách ly sử dụng AMC3330 có vai trò quan trọng trong việc nghiên cứu và phát triển các thiết bị điện tử công suất khi cung cấp khả năng quan sát các tín hiệu trong thiết bị điện tử công suất mà vẫn đảm bảo an toàn cho người vận hành và thiết bị. Mạch đo điện áp cách ly vận hành đơn giản do chỉ cần cấp một nguồn điện áp thấp không cần cách ly ở phía thấp áp. Do đó, mạch đo điện áp cách ly sử dụng AMC3330 là thiết bị có chi phí đầu tư thấp và chất lượng cao trong tầm quan sát tín hiệu vài chục kHz trở xuống.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Cần Thơ, Mã số: T2022-11.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Bose, B. K. (2013). Global energy scenario and impact of power electronics in 21st century. *IEEE Trans. on Ind. Elect.* 60, 2638-2651. <https://doi.org/10.1109/TIE.2012.2203771>
- Bose, B. K. (2014). Energy, global warming and impact of power electronics in the present century. *Power electronics for renewable energy systems, transportation and industrial applications*, Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118755525.ch1>
- Dimitrov, B., Collier, G., & Cruden, A. (2019). Design and experimental verification of voltage measurement circuits based on linear optocouplers with galvanic isolation for battery management systems, *World Electric Vehicle Journal*, 59(10), 1-19. <https://doi.org/10.3390/wevj10040059>
- Ghosh, P., & Maiti, A. (2012). Instantaneous power measurement using Hall sensor. *International journal of scientific and research publications*. 2(8).
- Green, T., Semig, P., & Wells, C. (2019). *Analog engineer's circuit cookbook: amplifiers*, Texas Instruments Incorporated.
- IXYS. (2013). *LOC Series linear optocouplers (AN-107)*. [https://www.ixysic.com/home/pdfs.nsf/www/AN-107.pdf/\\$file/AN-107.pdf](https://www.ixysic.com/home/pdfs.nsf/www/AN-107.pdf/$file/AN-107.pdf). (truy cập: 04/06/2022).
- LEM. *DVC 1000-P | DVC-P | Isolation Amplifier* [Online]. <https://www.lem.com/en/product-list/dvc-1000p> (truy cập: 03/04/2023).
- Maniar, K., Mappus, S., Merkin, T., Triano, A., & Trowbridge, L., (2022). *Addressing high-voltage design challenges with reliable and affordable isolation technologies*, Texas Instruments Incorporated.
- Mouser Electronics. (2023). *Electronic component distributor*. <https://www.mouser.com/>
- Petruk, O., Szewczyk, R., Ciuk, T., Strupiński, W., Salach, J., Nowicki, M., Pasternak, I., Winiarski, W., & Trzcinka, K.. (2014). Sensitivity and offset voltage testing in the Hall-effect sensors made of graphene. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 267. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05353-0_60
- Potnuru, D., K., A. M., & Ch., S. (2016) Design and implementation methodology for rapid control prototyping of closed loop speed control for BLDC motor. *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 5(1), 99-111. <https://doi.org/10.1016/j.jesit.2016.12.005>
- TeknoCEA. (2019). *1000 V isolated voltage sensor..* https://www.poweralia.com/cdnassets/pdf/poweralia-semicolon-SC-CDA02-1000V_v2_TechnicalReference_R2_2019_11.pdf.
- Teledyne LeCroy. (2023). *High Voltage Differential Probes*. <https://teledynelecroy.com/probes/high-voltage-differential-probes>
- Texas Instruments. (2020). *AMC3330 datasheet (No. SBASA344)*. <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/amc3330.pdf> (truy cập: 05/06/2022).
- Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 5699-1:2010 (IEC 60335-1:2010) về thiết bị điện gia dụng và thiết bị điện tương tự - An toàn - Phần 1: Yêu cầu chung.
- Xiao, C., Zhao, L., Asada, T., Odendaal, W. G., & van Wyk, J. D. (2003). An overview of integratable current sensor technologies, *38th IAS Annual Meeting on Conference Record of the Industry Applications Conference.*, 1251-1258.