

การใช้เครื่องมือวัด สำหรับการวิเคราะห์กำลังไฟฟ้า ที่แม่นยำสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

โดย ชนะ เยี่ยงกมลสิงห์
อุปนายกฝ่ายวิชาการสมาคมยานยนต์ไฟฟ้าไทย



ที่มา
[https://
bit.ly/2F0VJJz](https://bit.ly/2F0VJJz)

การพัฒนายานยนต์ไฟฟ้าในระดับสูง โดยเฉพาะระบบไฟฟ้า เช่น ระบบขับเคลื่อน ระบบการอัดประจุไฟฟ้า ระบบ DC-DC อินเวอร์เตอร์ ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น จำเป็นต้องใช้เครื่องมือวัดที่มีความละเอียดและแม่นยำสูง ถูกต้อง และทำงานด้วยความเร็วสูง เพื่อเก็บข้อมูลและเฝ้าดูพฤติกรรมของอุปกรณ์ต่างๆ ของยานยนต์ไฟฟ้าให้ถูกต้องแม่นยำและรวดเร็ว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเข้าใจถึงพื้นฐานและนิยามสำหรับเครื่องมือวัดเพื่อการวิเคราะห์ที่แม่นยำและถูกต้อง ซึ่งในบทความนี้จะกล่าวถึงพื้นฐานและความสำคัญของเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าความละเอียดสูง การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าด้วยเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า

ควบคู่กับการวัดกำลังทางไฟฟ้าด้วยเครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้า (Power Analyzer) ไปจนถึงการประยุกต์ใช้งานเครื่องมือวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนา ยานยนต์ไฟฟ้า

การวัด (measurement) คือ การแสดงค่าแนวโน้มของตัวแปรบางตัวที่เป็นปริมาณทางกายภาพ ค่าหรือแนวโน้มนี้ได้จากอุปกรณ์หรือเครื่องมือวัด โดยทั่วไปแล้วการวัดปริมาณทางไฟฟ้าเกี่ยวข้องกับยานยนต์ไฟฟ้า ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ฯลฯ ซึ่งค่าเหล่านี้จะสัมพันธ์กับระยะเวลาในช่วงการวัด คุณลักษณะที่สำคัญในการเลือกเครื่องมือวัดมีเกณฑ์การพิจารณาดังต่อไปนี้ (1)(2)

ความแม่นยำ (accuracy) และความเที่ยงตรง (precision) ของการวัด ความถูกต้อง หรือความแม่นยำ (accuracy) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถของเครื่องมือวัด (instrument) ในการอ่านค่าหรือแสดงค่าที่วัดได้เข้าใกล้ค่าจริง

โดยการคำนวณค่าความถูกต้อง/ความแม่นยำใช้สมการ

$$\% \text{ Accuracy} = 100 - \% \text{ Error}$$

โดยที่ความผิดพลาดสัมพัทธ์ (Relative Error) = $\frac{x_{\text{mea}} - x_t}{x_t}$, $\% \text{ Error} = \text{Relative error} \times 100$

เมื่อ x_{mea} คือ ค่าที่ได้จากการวัด (measure value) และ x_t คือ ค่าจริง (true value)

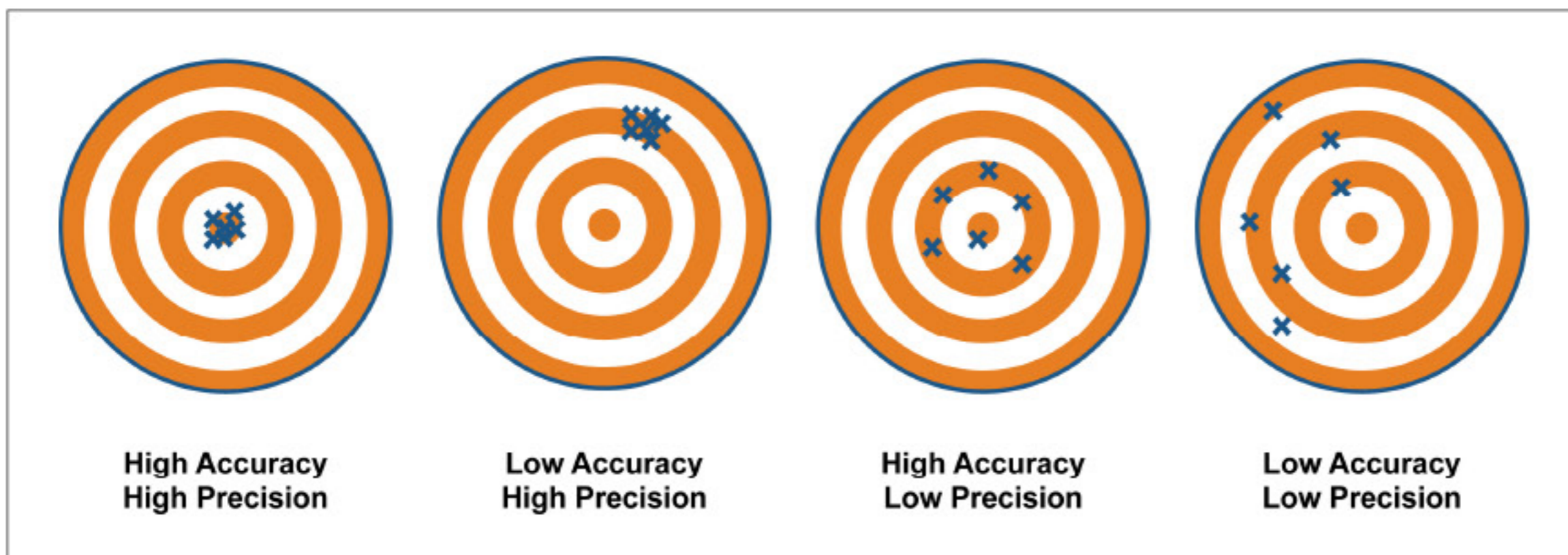
แน่นอนกับระบบการวัดเพื่อสังเกตดูค่าเอาต์พุตของระบบการวัด เครื่องมือวัดที่แสดงผลไม่ถูกต้องอาจเกิดจากไม่ได้ผ่านกระบวนการของการเปรียบเทียบมาตรฐาน

ความไวแบบสถิตย์ (Static Sensitivity)

เป็นการตอบสนองระหว่างปริมาณอินพุตกับเอาต์พุตของเครื่องมือวัด โดยแสดงเป็นกราฟความชันเปรียบเทียบระหว่างค่าอินพุตที่เป็นค่าจริงในแนวแกน x กับเอาต์พุตที่วัดได้ในแนวแกน y

ความไวแบบพลวัต (Dynamic Sensitivity)

เป็นการตอบสนองระหว่างปริมาณอินพุตกับเอาต์พุตของเครื่องมือวัด โดยจะมีการใช้งาน



การเปรียบเทียบ
ความแม่นยำ
accuracy
และความเที่ยงตรง
(precision)

ตัวอย่างเช่น ถ้าค่าแรงดันไฟฟ้าที่แท้จริงคือ 200 V เมื่อนำมิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้ามาวัดสามารถอ่านค่าได้ 204 205 203 203 และ 205 V แสดงว่าเครื่องมือวัดนี้มีค่าความแม่นยำเท่ากับ 97.5% หรือมีค่าความคลาดเคลื่อน (Error) เท่ากับ 2.5%

การวัดซ้ำ (Repeatability) ในการวัดค่าของตัวแปรที่สนใจซ้ำๆ หลายๆ ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยค่าที่วัดได้ควรมีค่าเดียวกันหรือค่าที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด เครื่องมือวัดในบางรุ่น เมื่อสภาพอุณหภูมิใช้งานเปลี่ยนแปลงไปก็ทำให้ผลการวัดคลาดเคลื่อนได้

การสอบเทียบมาตรฐาน (calibration) เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอินพุตของระบบการวัดกับค่าเอาต์พุตของระบบวัดที่เกิดขึ้นเทียบกับมาตรฐานของระบบการวัด การเทียบมาตรฐานคือการป้อนค่าอินพุตที่รู้ค่า

ในช่วงความถี่ (frequency) และช่วงการตอบสนองความถี่ (frequency response) ที่แตกต่างกัน การใช้งานในช่วงความถี่หรือช่วงแอมพลิจูดที่สูงขึ้น จำเป็นต้องใช้เครื่องมือวัดที่มีการตอบสนองแบนวิธ (Bandwidth) สูงเพื่อลดความผิดพลาดจากการวัด

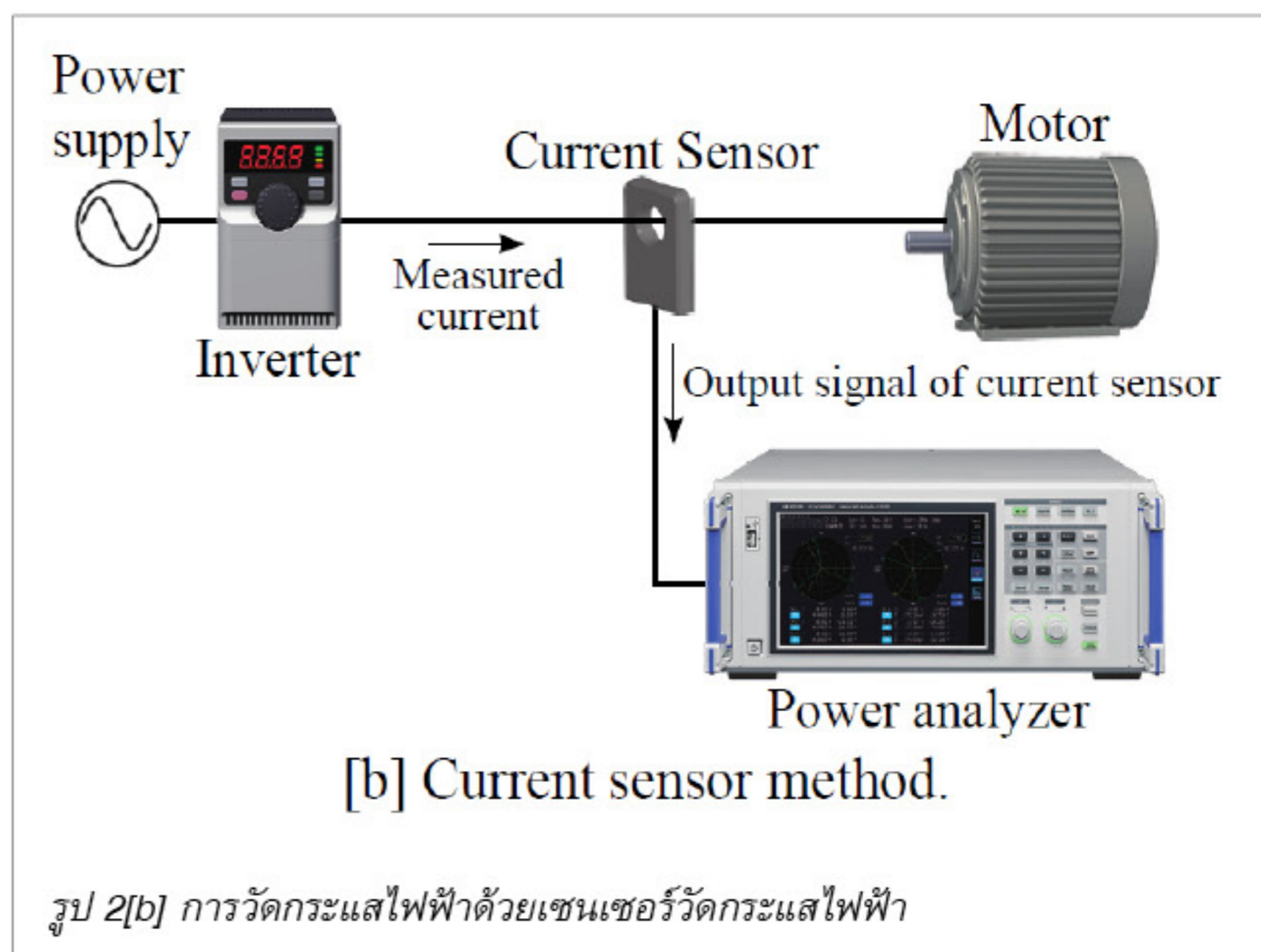
ความผิดพลาดในกระบวนการวัดแบ่งเป็นสองประเภท

1 ความผิดพลาดของระบบหรือความผิดพลาดไบแอส ได้แก่ ความผิดพลาดจากการสอบเทียบ, ความผิดพลาดจากภาวะ, ความผิดพลาดเนื่องจากเครื่องมือเอง และขีดจำกัดความละเอียดของระบบ

2 ความผิดพลาดความเที่ยงหรือความผิดพลาดแบบสุ่ม ได้แก่ ความผิดพลาดของผู้ใช้, ความผิดพลาดเนื่องจากอุปกรณ์ถูกรบกวน,

ความผิดพลาดเนื่องจากสภาพแวดล้อมระหว่างที่ทำการวัดไม่คงที่ และความผิดพลาด เนื่องจากความไวของระบบไม่พอ

เครื่องมือวัดที่ประสิทธิภาพต่ำจะมีความแม่นยำ, ความเที่ยงตรง, การวัดซ้ำ, การสอบเทียบมาตรฐาน, ความไวแบบสถิตย์, ความไวแบบพลวัตที่มีค่าต่ำ ทำให้ผลที่ได้จากการวัดมีความผิดพลาดมาก และยังไม่สามารถแสดงสิ่งต่างๆ ที่ปรากฏในระบบยานยนต์ไฟฟ้าได้อย่างละเอียด เพื่อนำไปเก็บผลการทดสอบและวิเคราะห์ในระดับสูงต่อไป เครื่องมือวัดที่มีคุณภาพสูงจะเหมาะสำหรับการเก็บผลเพื่อการวิเคราะห์อย่างละเอียดได้ดีกว่ามาก



การวัดพื้นฐานในการวิเคราะห์ระบบยานยนต์ไฟฟ้า

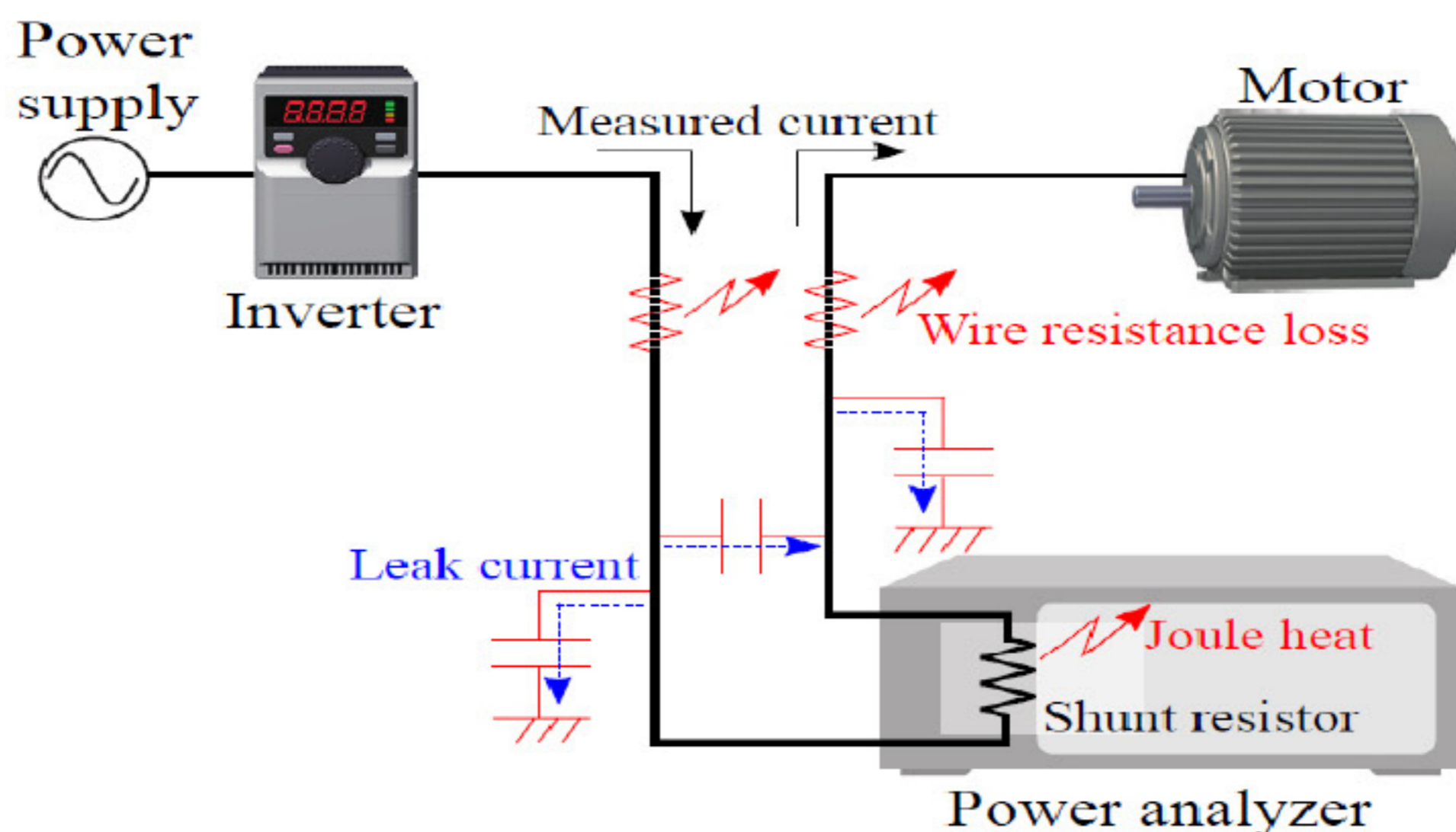
การประยุกต์ใช้งานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังหลายๆ อย่าง ต้องการการวัดกำลังไฟแรงดันที่มีความแม่นยำสูง (ทั้งกระแสและแรงดันไฟฟ้า) เช่นการวัดประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์และมอเตอร์, ประสิทธิภาพของชาร์จเจอร์ และการสูญเสียของระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลัง การวัดแรงดันไฟฟ้ามักจะไม่ค่อยมีปัญหาเท่าไรนัก เพราะเป็นการวัดทางตรง หากเครื่องมือวัดมีความต้านทานภายในที่สูงมาก จะมีความแม่นยำที่มากกว่า แต่หากเป็นการวัดกระแสไฟฟ้า มีข้อ

ที่จะต้องพิจารณาหลายอย่างเพื่อการวัดที่มีความแม่นยำ ซึ่งจะอธิบายเป็นลำดับต่อไป [3][4]

1 การวัดกระแสไฟฟ้า

การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าทำได้โดยการวัดกระแสไฟฟ้าและวัดแรงดันไฟฟ้า แล้วนำค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ามาคูณกัน $P=V \cdot I$ โดยทั่วไปแล้วทำได้สองวิธีคือการวัดกระแสไฟฟ้าด้วยการวัดโดยตรง ตามรูป 2[a] และการวัดด้วยเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า ตามรูป 2[b] เนื้อหาต่อไปนี้จะอธิบายถึงรายละเอียดของคุณลักษณะของการวัดทั้งสองแบบ

รูป 2[a] การวัดกระแสไฟฟ้าด้วยการวัดโดยตรงด้วย R shunt



1.1 วิธีการวัดกระแสไฟฟ้าโดยตรง (Direct Connection Method)

การวัดทางตรงทำได้โดยการต่อตัวต้านทาน (R shunt) เมื่อมีกระแสไหลผ่านจะเกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม และคำนวณหากระแสไฟฟ้าตามสมการ $I = \frac{V}{R}$ วิธีการวัดแบบนี้มีข้อเสียคือ ต้องมีการตัดต่อวงจรเพื่อนำตัวต้านทานเข้าเข้าไปต่อ และมีความสูญเสียเนื่องจากความร้อน ดังรูปที่ 3 และหากมีกระแสสูงมากๆ ความร้อนจะสูงมากและพลังงานสูญเสียจะยิ่งเกิดขึ้นมากตามสมการ $P = I^2 R$ ซึ่งเห็นได้ชัดว่าหากยิ่งกระแสไฟฟ้าของโหลดสูงมากยิ่งขึ้น กำลังสูญเสียก็จะเพิ่มมากขึ้นเป็นขนาดของกระแสยกกำลังสอง ทำให้การวัดเกิดความผิดพลาดจากตัวเครื่องมือวัดด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ความต้านทานที่มีค่าน้อยๆ เพื่อลดกำลังสูญเสีย ในทางปฏิบัติวิธีการนี้ใช้วัดกระแสไฟฟ้าไม่ควรเกิน 50A และไม่ควรรู้สึกความร้อนสูงเกินกว่า 50 C

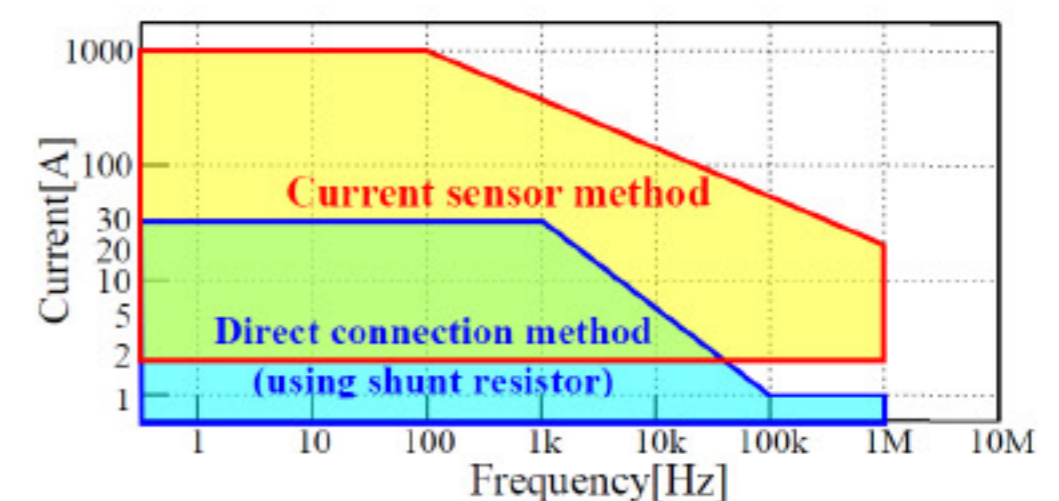
1.2 วิธีการใช้เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า (Current Sensor Method)

เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าใช้หลักการของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่รอบตัวนำตามกฎมือขวาของเฟรมมิ่งและเปลี่ยนมาเป็นแรงดันไฟฟ้า ตามรูปที่ 4 การใช้เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าคือวิธีการวัดกระแสไฟฟ้าด้วยการต่อเซนเซอร์กับเครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าและเซนเซอร์จะ

ส่งสัญญาณข้อมูลเข้าเครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้า โดยไม่ต้องมีการใช้ R Shunt ทำให้ไม่เกิดพลังงานความร้อนสูญเสียขึ้น การวัดด้วยการใช้เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า เหมาะกับการวัดกระแสไฟฟ้าที่มีค่ามากกว่า 50A โดยลักษณะของเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า เป็นดังรูปที่ 4 สามารถใช้คล้องกับสายไฟโดยไม่ต้องตัดต่อวงจร แล้วใช้เซนเซอร์คล้องไปกับสายไฟที่ต้องการวัดกระแสไฟฟ้า ขนาดเซนเซอร์มีให้เลือกหลายชนิดขึ้นอยู่กับความแม่นยำ ความไวในการวัด และขนาดของกระแสสูงสุดที่ใช้วัด



รูปที่ 4 เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าแบบต่างๆ โดยการคล้องเซนเซอร์เข้ากับสายตัวนำที่ต้องการวัดกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบช่วงของการวัดกระแสไฟฟ้าที่มีความละเอียดสูงด้วยการวัดด้วยเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า และการวัดกระแสไฟฟ้าด้วยการวัดโดยตรง (R Shunt)

จากรูปที่ 5 เป็นการเปรียบเทียบการวัดกระแสไฟฟ้าด้วยการวัดโดยตรงและการวัดด้วยเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า ในทางปฏิบัติการใช้วิธีการวัดโดยตรงจะใช้ในช่วงเพียง 30-50 A แต่

รูปที่ 3
ความสูญเสีย
ทางความร้อน
จากการวัดโดยตรง

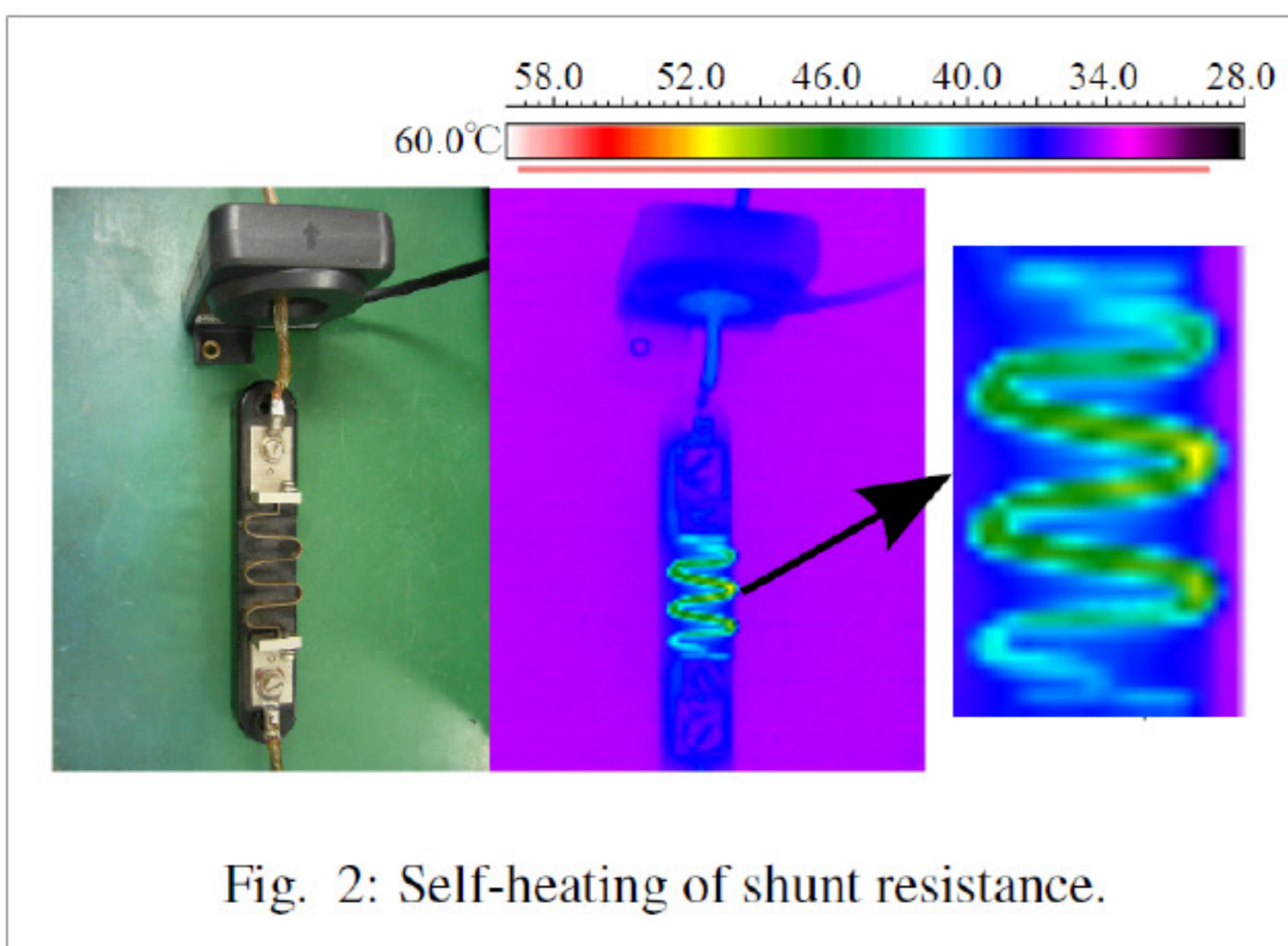


Fig. 2: Self-heating of shunt resistance.



การวัดด้วยเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าจะต้องมีขนาดตั้งแต่ 2 A ขึ้นไป จนถึงขนาด 1,000 A หรือมากกว่า แล้วแต่ขนาดของเซนเซอร์ เช่น ถังรถยนต์ไฟฟ้าใช้มอเตอร์ขนาด 10 kW ขนาดแรงดันไฟฟ้า 50 V กระแสไฟฟ้าอาจสูงถึง 200 A ช่วงความถี่สำหรับเครื่องมือวัดจะมีค่าประจุไฟฟ้าแฝงเล็กน้อยทำให้วัดความถี่ได้สูงถึง 1MHz ในการวัดอาจมีการใช้งานเกินนอกช่วงนี้ยังสามารถใช้วัดได้ แต่ความถูกต้องจะเปลี่ยนไปเนื่องจากมีค่าประจุแฝง เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าที่ดีควรมีช่วงความถี่การใช้งานกว้าง

การวัดกำลังไฟฟ้าแบบแม่นยำสูง โดยใช้วิธีการเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากสมการ $P=V \cdot I$ แต่การวัดที่ต้องการความละเอียดสูงจะต้องพิจารณาปัจจัยต่อไปนี้เพิ่มเติม

1. พิกัดการใช้งานของกระแสไฟฟ้าของเซนเซอร์
2. ความถี่ในการใช้งานที่เหมาะสมของเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าซึ่งความถี่ในการใช้งานจะต้องอยู่ในช่วงการใช้งานของเซนเซอร์
3. เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้ายังต้องมีความแม่นยำและความผิดพลาดน้อย ตลอดช่วงความถี่ในการใช้งาน
4. ทุกองค์ประกอบของเซนเซอร์และระบบ เช่น สัญญาณรบกวน (Noise) คุณลักษณะ

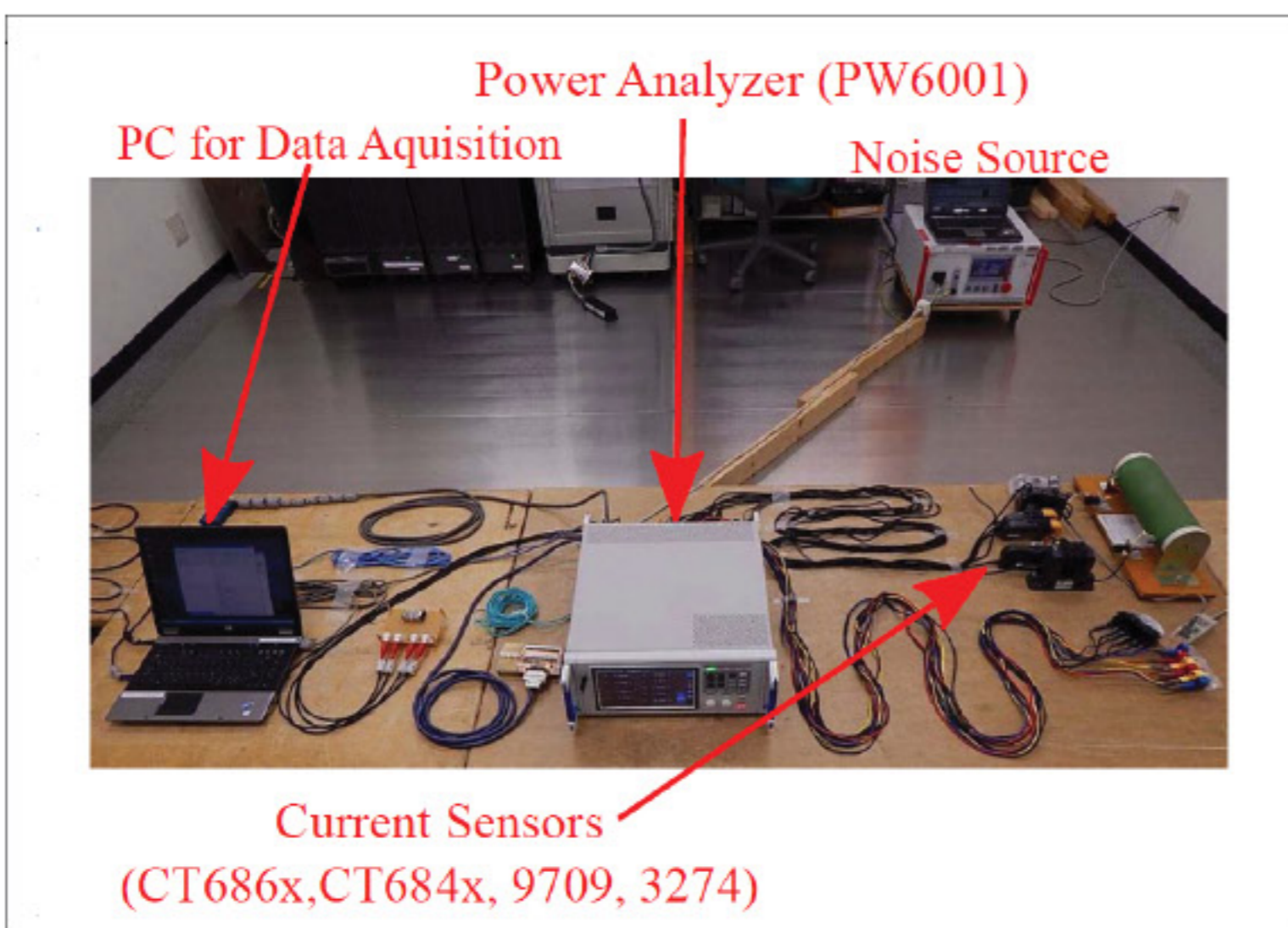
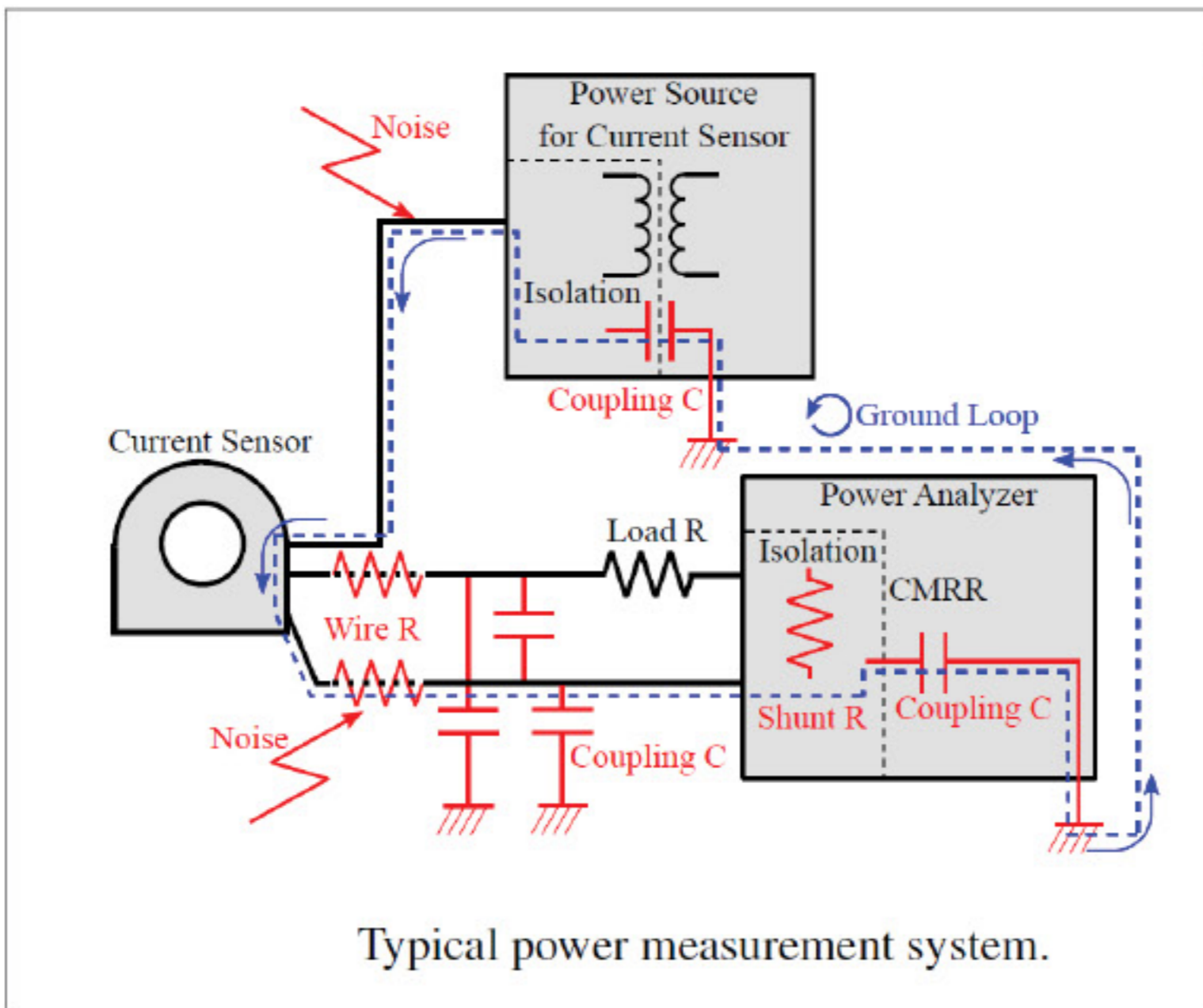
การตอบสนองต่ออุณหภูมิการใช้งาน (Temperature characteristics) ผลของการจัดวางตัวนำ (Conductor position effects) ผลของสนามแม่เหล็กภายนอก (External magnetic field effects) ผลของความเป็นแม่เหล็ก (Magnetization effects) ผลของการใช้แรงดันไฟฟ้าร่วมกัน (Common mode voltage effect) ควรกำหนดให้มีค่าต่ำในการวัดและการทำงาน ข้อควรระวังในการใช้เซนเซอร์วัดกระแสคือขนาดของกระแสไฟฟ้าที่วัดและความแม่นยำของการวัดในแต่ละเฟส เซนเซอร์ส่วนใหญ่ในการใช้งานในช่วง 0-50/60 Hz หากต้องการใช้ในช่วงความถี่อื่นจะต้องเป็นเซนเซอร์พิเศษในการใช้งานเฉพาะวัตถุประสงค์ สิ่งที่สำคัญที่สุดคือการวัดกระแสที่ต้องการความแม่นยำสูงจะต้องใช้เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าและเครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าที่มีสมรรถนะสูง

ระบบการวัดกำลังที่เหมาะสมที่สุด รวมถึงเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า

สิ่งที่สำคัญที่สุดในการวัดกระแสไฟฟ้าแบบความแม่นยำสูงคือ การทำให้ระบบวัดมีค่าเหมาะสมรวมถึงเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าด้วย ถ้าเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าตรวจจับค่ากระแสไฟฟ้าด้วยระดับความแม่นยำสูงแต่เอาท์พุทของเซนเซอร์อาจลดลงก่อนจะเข้าถึงเครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าได้ รูปที่ 4 แสดงถึงวงจรสมมูลของระบบการวัดกำลังไฟฟ้าแบบทั่วไปรวมถึงเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า โดยทั่วไปแล้วจะใช้เอาท์พุทเป็นกระแสไฟฟ้าจากเซนเซอร์มากกว่าที่จะเป็นเอาท์พุทเป็นแรงดันไฟฟ้าจากเซนเซอร์ เพื่อให้แน่ใจว่ากระแสเอาท์พุทของเซนเซอร์สามารถส่งไปถึงเครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้างดต่อไปนี้

- 1) เซนเซอร์จะต้องใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีคุณภาพดี และมีการต่อสายดินที่เหมาะสม
- 2) ค่าตัวเก็บประจุของสายเคเบิลระหว่างตัวนำกับสายดินควรมีค่าต่ำ และค่าความต้านทานสัญญาณรบกวน (Noise resistance) ของสายเคเบิลควรมีค่าสูง

รูปที่ 6
วงจรมุมมุด
ของระบบวัด
กำลังไฟฟ้าทั่วไป



รูปที่ 7
การทดสอบภูมิคุ้มกัน
(Immunity Test)
การใช้งานของ
ระบบวัดกำลัง HIOKI

คุณลักษณะของเครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าที่ดีควรมีลักษณะดังนี้

1) ใช้เซนเซอร์วัดกระแสที่มีเอาต์พุตเป็นแรงดันไฟฟ้า เพื่อการวัดที่แม่นยำตลอด

3) กระแสอินพุตของเครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าต้องมีการตอบสนองความถี่ที่ดี คุณลักษณะความเป็นพหุนิยมสูงและความรบกวนต่ำ (Common mode rejection ratio: CMRR สูง และกระแสรบกวนต่ำ) และเครื่องมือวัดจะต้องมีความต้านทานสัญญาณรบกวนสูง และต้องต่อสายดินให้เหมาะสม

ช่วงของความถี่ในการวัดใช้งาน

2) กระแสอินพุตของเครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าถูกออกแบบให้ใช้กับเซนเซอร์ที่มีเอาต์พุตเป็นแรงดันไฟฟ้า และจะต้องออกแบบให้ทั้งกระแสอินพุตของเครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าและเอาต์พุตเซนเซอร์ที่เป็นแรงดันไฟฟ้าเหมาะสมเข้ากันได้ดีที่สุด

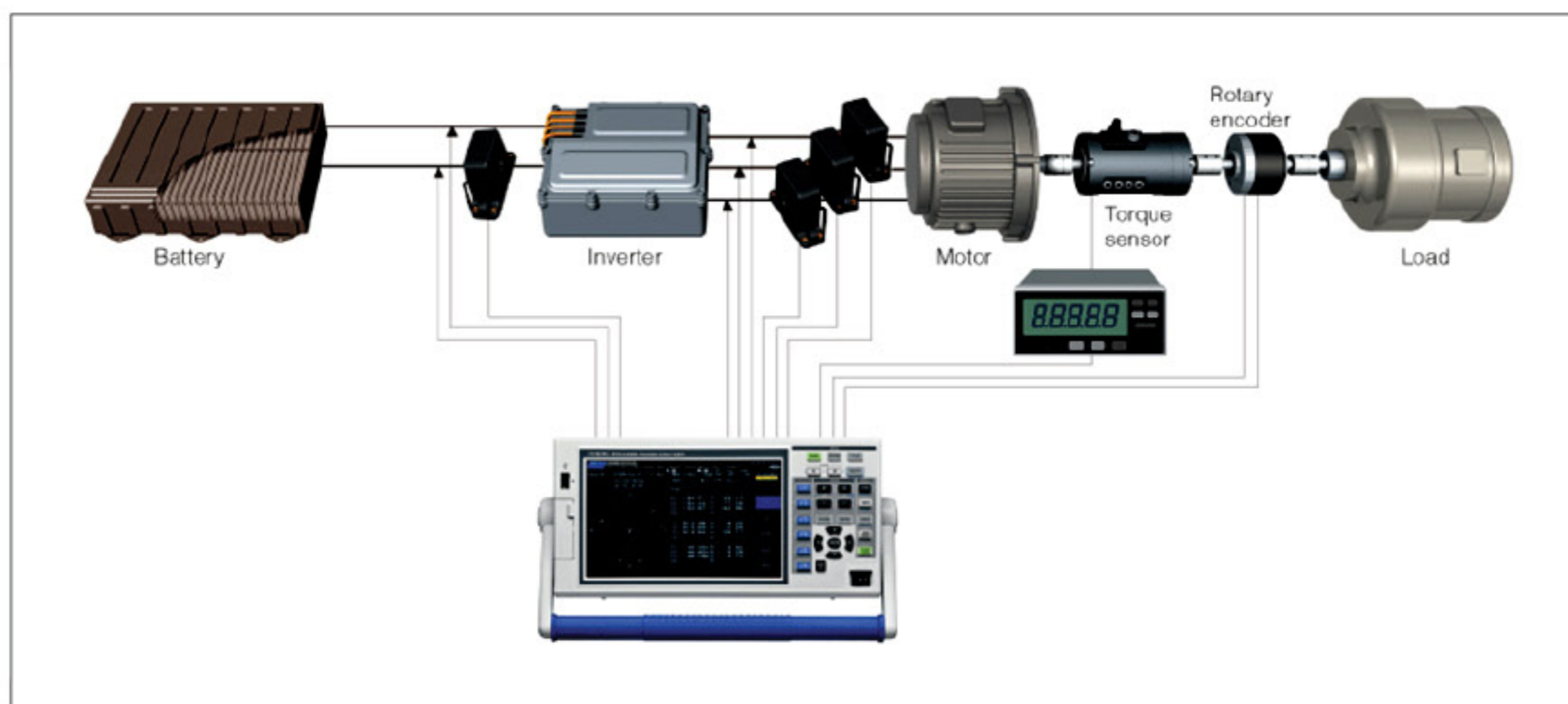
3) เครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าที่มีแหล่งจ่ายไฟในตัว ที่ใช้ขั้วเซนเซอร์ ต้องมีคุณภาพที่ดี เพื่อให้มีความแม่นยำสูง สายดินของเครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าและสายดินของเซนเซอร์ควรแยกออกจากกัน และออกแบบให้เหมาะสมเพื่อป้องกันการเกิดกราวด์ลูป

4) ควรใช้สายสัญญาณที่มีการชีลด์เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน เครื่องมือวัดของผู้ผลิตบางรายถูกออกแบบให้มีการปรับอัตราขยายของเซนเซอร์ให้ปรับค่าได้เพื่อชดเชยแรงดันตกคร่อมภายในสาย ในทางปฏิบัติเครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าจะถูกทำการทดสอบเทียบกับการทดสอบภูมิคุ้มกันต่อสัญญาณรบกวนดังแสดงในรูปที่ 7

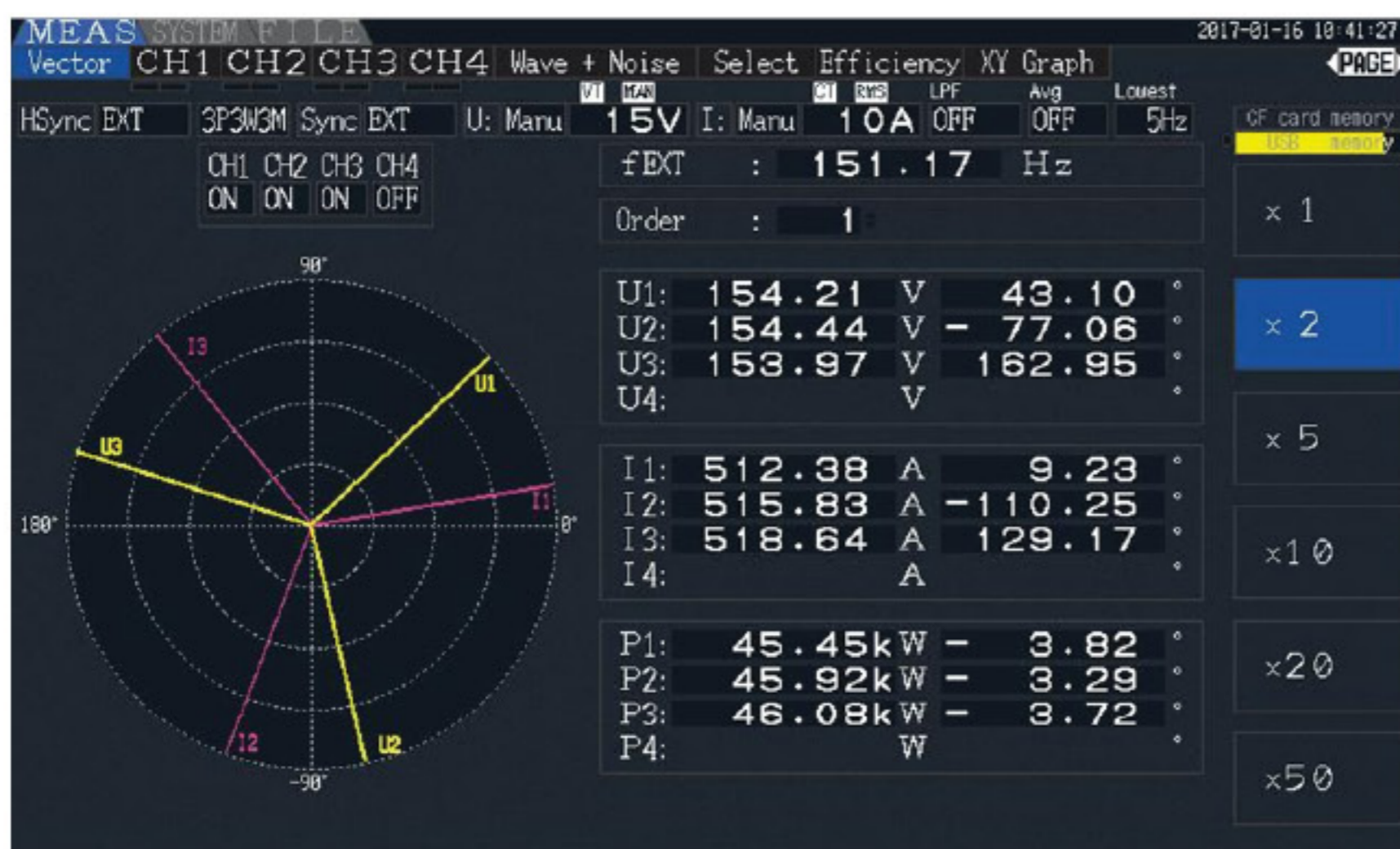
การประยุกต์ใช้งานเครื่องมือวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าร่วมกับเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้าประกอบด้วย ชุดแบตเตอรี่ อินเวอร์เตอร์ มอเตอร์ และอาจจะมีเซนเซอร์วัดแรงบิดและความเร็วรอบของโพล โดยรูปที่ 8 แสดงถึงการวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่และอินพุตของมอเตอร์ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าร่วมกับเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า ค่าที่ได้จะถูกเก็บบันทึกเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ภายหลัง เช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า เฟส สัญญาณรบกวน พลังงานที่ใช้ ประสิทธิภาพของชุดควบคุม ประสิทธิภาพของมอเตอร์ คุณภาพ

รูปที่ 8
การวัดระบบไฟฟ้า
ของยานยนต์ไฟฟ้า
ด้วยเครื่องมือ
วิเคราะห์กำลังไฟฟ้า



รูปที่ 9
คุณภาพทางไฟฟ้า
จากการวัดเวกเตอร์
ทางไฟฟ้า
ของมอเตอร์ไฟฟ้า

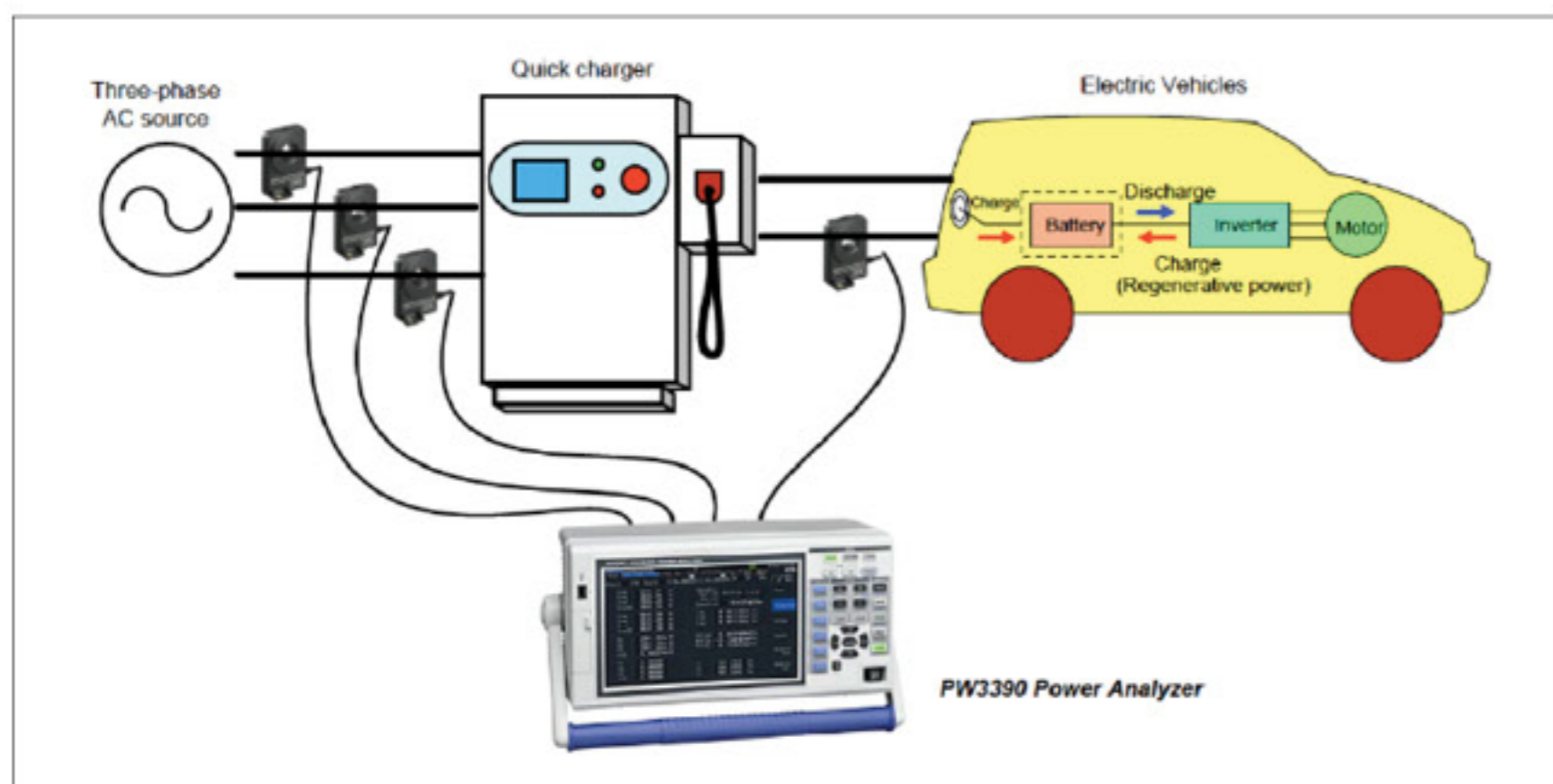


ของระบบไฟฟ้า ฯลฯ [5] ด้วยความละเอียดสูง และสามารถนำข้อมูลกลับมาวิเคราะห์แบบเวลาจริง (Real time) ในรูปที่ 10 แสดงถึงเวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ และการวัดฮาร์โมนิกของ PWM (Pulse width modulation) ที่เกิดขึ้นจากชุดควบคุมและยังสามารถนำไปวิเคราะห์และปรับปรุงการออกแบบชุดควบคุม และรูปที่ 11 เป็นการวัดประสิทธิภาพของเครื่องประจุไฟฟ้าแบบรวดเร็ว

สรุป

การวัดกำลังไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้าที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์จำเป็นต้องใช้เครื่องมือวิเคราะห์กำลังร่วมกับเซนเซอร์วัดกระแสที่มีความแม่นยำสูง หากเครื่องมือวัดสามารถทำงานด้วยความเร็วสูง จะสามารถเก็บข้อมูลของปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้น ทั้งจากเครื่องอัดประจุไฟฟ้า แบตเตอรี่ อินเวอร์เตอร์ คอนเวอร์เตอร์ และมอเตอร์ เพื่อนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ไปพัฒนาปรับปรุงชุดอุปกรณ์ของยานยนต์ไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้นได้อีกด้วย

รูปที่ 10
การวัดประสิทธิภาพ
ของเครื่องประจุไฟฟ้า
แบบรวดเร็ว



อ้างอิง

- (1) การวัดและเครื่องมือวัด, สมนึก บุญพาไสว, สำนักพิมพ์ ท็อป จำกัด, 2545
- (2) เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ในงานอุตสาหกรรม, วิศรุต ศรีรัตนะ, บริษัท ซีอีดียูเคชั่น จำกัด, 2554
- (3) https://www.hioki.com/en/products/detail/?product_key=6413 เข้าถึงวันที่ 12 ธันวาคม 2561
- (4) Technical Article; Current Measurement Methods that Deliver High Precision Power Analysis in the Field of Power Electronics; Hajime Yoda, Hiroki Kobayashi, and Shinya Takiguchi, HIOKI EE. Corporation 2016
- (5) <http://blog.ebikr.com/posts/2500> เข้าถึงวันที่ 12 ธันวาคม 2561