

จัดทำฉบับภาษาไทยจาก

Fluke Application Note: Understanding specifications for precision multimeters

©2006 Fluke Corporation. All rights reserved. Printed in U.S.A. 1/2006 2547797 A-EN-N Rev A

จัดทำและสงวนลิขสิทธิ์ฉบับภาษาไทย(2007) โดย บริษัท เมเซอร์โทรนิคส์ จำกัด

การทำความเข้าใจข้อกำหนดจำเพาะ สำหรับ มัลติมิเตอร์ความเที่ยงตรงสูง



ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (DMM) เป็นเครื่องมือหลักในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เราใช้ไม่ว่าจะโดยส่วนตัวหรือในงานอาชีพก็ตาม ต่างก็ถูกสร้างหรือซ่อมบำรุงด้วยการใช้มัลติมิเตอร์แทบทั้งสิ้น

การใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ในลักษณะที่ต่างกัน ก็ต้องการความใส่ใจในข้อกำหนดจำเพาะ ด้วยระดับที่มากน้อยต่างกันด้วย ช่างเทคนิคที่ทำการตรวจสอบ logic power supply สามารถใช้ดิจิตอล-มัลติมิเตอร์แบบตั้งโต๊ะได้อย่างเชื่อมั่นในการทดสอบแหล่งจ่ายไฟว่ายังคงอยู่ใน 2-3 เปอร์เซ็นต์ของ 5 โวลต์หรือไม่ อย่างไรก็ตามถ้าหากงานที่ต้องทำเป็นการทดสอบวงจรที่สำคัญวิกฤติ การตรวจสอบชิ้นส่วนที่แม่นยำ การปรับแต่งอย่างละเอียดในกระบวนการผลิต การทดสอบความเป็นไปตามข้อกำหนดกับมาตรฐานอุตสาหกรรม หรือการวัดที่กระทำภายนอกสภาวะแวดล้อมที่ถูกควบคุมของห้องปฏิบัติการแล้ว ท่านก็มีความจำเป็นที่จะต้องทำการประเมินข้อกำหนดจำเพาะของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ที่ท่านจะนำไปใช้อย่างถี่ถ้วน

ความเข้าใจในข้อกำหนดจำเพาะอย่างทะลุปรุโปร่งเป็นสิ่งจำเป็นเมื่อท่านทำการประเมินความเหมาะสมของมัลติมีเตอร์สำหรับนำไปใช้ในงานเฉพาะอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือเมื่อท่านต้องการความเชื่อมั่นว่าค่าที่อ่านได้ของท่านสะท้อนถึงค่าจริงอย่างถูกต้องที่สุด เอกสารฉบับนี้จะให้แนวคิดบางประการ เบื้องหลังข้อกำหนดจำเพาะและใบแจ้งข้อกำหนดจำเพาะ ของดิจิตอลมัลติมีเตอร์ เอกสารนี้ให้นิยามของหลายๆ ปัจจัยของข้อกำหนดจำเพาะของดิจิตอลมัลติมีเตอร์และให้คำแนะนำในการนำสิ่งเหล่านั้นไปประยุกต์ใช้อย่างเหมาะสม

ข้อกำหนดจำเพาะและใบแจ้งข้อกำหนดจำเพาะ

ทุกๆครั้งที่เราทำการวัดด้วยมิเตอร์ใดๆก็ตาม เรากำลังพินิจในใจว่าขอให้ค่าที่อ่านได้โดยเครื่องมือนี้เป็นค่า “จริง” โขลคที่มันเป็นการพินิจที่ค่อนข้างปลอดภัยมากเพราะมัลติมีเตอร์ที่มีคุณภาพส่วนใหญ่จะให้ค่าที่อ่านที่สอดคล้องกับความเป็นจริง ข้อกำหนดจำเพาะจะบอกทั้งปริมาณของความเชื่อมั่นของการที่จะได้ค่าที่อ่านได้ที่ถูกต้อง และความเสี่ยงของการที่จะเห็น ค่าที่อ่านได้ไม่ถูกต้อง

เอกสารข้อกำหนดจำเพาะคือ คำอธิบายที่ถูกเขียนไว้อย่างชัดเจนในการแสดงสมรรถนะของเครื่องมือ เอกสารนี้ควรจะบอกปริมาณความสามารถของเครื่องมืออย่างมีวัตถุประสงค์ภายใต้เงื่อนไขของการทำงานที่กำหนดไว้อย่างชัดเจน

จากคำนิยามที่เป็นทางการข้างต้น เราสามารถเขียนคุณลักษณะของข้อกำหนดจำเพาะที่ดีได้ดังนี้

- ความสมบูรณ์- ครอบคลุมองค์ประกอบใดๆ ที่มีผลต่อความไม่แน่นอน รวมทั้งขีดจำกัดของการทำงาน เช่น ความชื้น ระดับความสูง หรือความสั่นสะเทือน
- ความชัดเจน- ใช้ความพยายามเป็นอย่างสูงในการที่จะทำให้ข้อกำหนดจำเพาะมีความตรงไปตรงมา
- วัตถุประสงค์- ไม่มีความพยายามที่จะชักนำให้เกิดความเข้าใจผิดเพื่อประโยชน์ในการส่งเสริมการขาย

ข้อกำหนดจำเพาะที่เขียนมาอย่างดีควรจะรักษาระดับของความซื่อสัตย์และความเป็นกลางไว้ เช่นเดียวกันกับ บันทึกการตรวจโรค หรือใบแจ้งยอดธนาคาร ผู้ผลิตจะต้องยืนอย่างมั่นคงอยู่เบื้องหลังข้อกำหนดจำเพาะของตนและ ท่านก็ควรจะหวังได้อย่างเต็มที่ว่าข้อมูลที่ท่านได้รับนั้นเป็นข้อมูลที่ถูกต้องและสมบูรณ์

ในใบแจ้งข้อกำหนดจำเพาะ ท่านควรที่จะเห็นข้อกำหนดจำเพาะของความไม่แน่นอนของการวัด และตัวแปรที่มีผลต่อความไม่แน่นอนของการวัด ท่านจะเห็นขีดจำกัดของสภาวะแวดล้อมที่ยังคงทำให้ข้อกำหนดจำเพาะของความไม่แน่นอนของเครื่องมือยังคงเป็นจริงอยู่ สิ่งเหล่านี้จะแจ้งไว้เป็นค่าที่เป็น

จำนวนตัวเลข (เช่น ความชื้น) หรืออ้างอิงไปยังมาตรฐานสากล (ช็อก และความสั่นสะเทือน) คราวนี้เรามาดูกันอย่างใกล้ชิดว่าเราจะประมาณความไม่แน่นอนของการวัดกันอย่างไร

ข้อกำหนดจำเพาะของความไม่แน่นอนมาจากไหน?

หน้าที่หลักของข้อกำหนดจำเพาะของดิจิตอลมัลติมิเตอร์คือ การกำหนดความไม่แน่นอนของการวัดสำหรับอินพุตใดๆ ภายในพิสัย (range) การทำงานของเครื่องมือ ข้อกำหนดจำเพาะจะตอบคำถามที่ว่า “ค่าที่อ่านบนมิเตอร์เข้าใกล้ค่าเป็นจริงที่อินพุตของมิเตอร์เท่าใด?”

ผู้ผลิตมิเตอร์ทั้งหลายกำลังพนันความมีชื่อเสียงของเขาเหล่านั้นว่าเครื่องมือที่พวกเขาผลิตกันขึ้นมานั้นส่วนใหญ่กำลังจะมีพฤติกรรมอย่างไรตลอดช่วงของวงรอบการสอบเทียบ (วงรอบการสอบเทียบทุกๆ ไป คือ หนึ่งปี) ในขณะที่วิศวกรเครื่องมือวัด และนักมาตรวิทยาต่างก็ใช้ห้องปฏิบัติการในการทดสอบและประยุกต์ใช้วิชาสถิติในการกำหนดข้อกำหนดจำเพาะของเครื่องมือ

ข้อกำหนดจำเพาะของดิจิตอลมัลติมิเตอร์มีไว้สำหรับเฉพาะรุ่น หรือเฉพาะแบบ ไม่ใช่สำหรับเครื่องมือรุ่นหรือแบบใดก็ได้ เครื่องมือเครื่องหนึ่งๆ ในรุ่นที่ได้รับการออกแบบมาเฉพาะควรจะทำงานได้เป็นอย่างดีภายในข้อกำหนดจำเพาะที่ระบุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่จุดเริ่มต้นของวงรอบการสอบเทียบ ข้อกำหนดจำเพาะของเครื่องมือแต่ละรุ่น มีพื้นฐานมาจากการทดสอบตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ และการวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บได้จากเครื่องมือเหล่านั้นที่มีจำนวนมากพอ

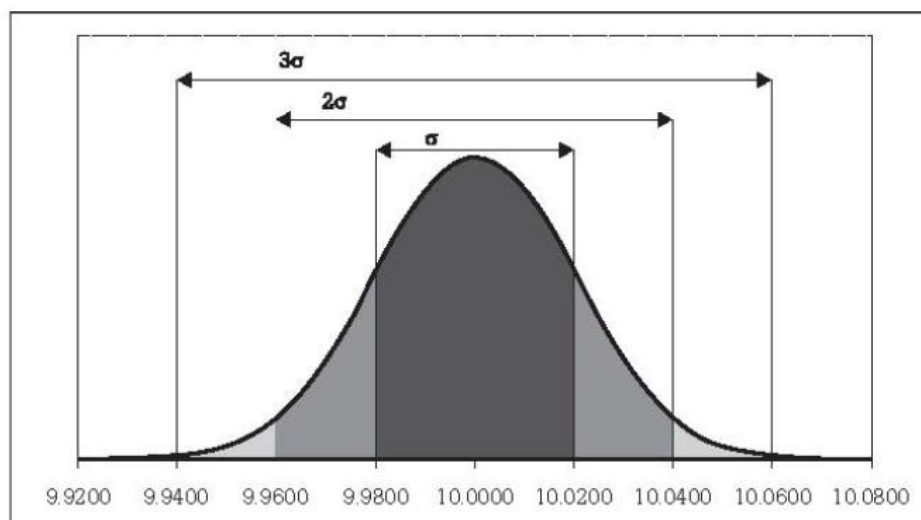
ถ้าเราดูผลการวัดจากอินพุตที่มีค่าเดียวกันของเครื่องมือแบบเดียวกัน 50 เครื่อง เราจะได้พิสัยของค่าจำนวนหนึ่ง มีเครื่องมือจำนวนมากที่อ่านค่าเดียวกัน แต่ในขณะเดียวกันเราก็คาดหวังได้ว่าจะมีเครื่องมือบางส่วนที่จะให้ค่าที่อ่านที่แปรผันได้บ้าง เนื่องจากความไม่แน่นอนของการวัดตามปกติ ตัวอย่างเช่น ถ้าเราบันทึกค่าที่อ่านได้จากดิจิตอลมัลติมิเตอร์ Fluke Model xyz จำนวน 50 เครื่องที่ต่อเข้ากับแคลิเบรเตอร์ที่แม่นยำที่มีเอาท์พุท 10 โวลต์ เราสามารถบันทึกการกระจายแคบๆ ของค่าที่อ่านได้ที่ราวๆ 10 โวลต์ แล้วเราก็สามารถคำนวณหาค่ากลาง (ค่าเฉลี่ย) ของการวัดทั้งหมดได้ ซึ่งเราก็คาดว่าควรจะมีอยู่ที่ 10 โวลต์ จากนั้นเราก็สามารถจะคำนวณหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของค่าที่อ่านทั้งหมดได้เช่นกัน (สมการที่ 1)

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}} \quad (1)$$

(N = sample size, X = measurement)

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นตัววัด “การกระจาย” ของตัวอย่างของการวัดที่ต่างไปจากค่ากลาง ตัววัดของการกระจายนี้เป็นพื้นฐานของข้อกำหนดจำเพาะของความไม่แน่นอน

ถ้าเราพล็อตจำนวนครั้งของแต่ละค่าที่อ่านได้แต่ละค่า เราควรจะเห็นการแจกแจงแบบปกติ (normal distribution) ที่มีรูปลักษณะเป็นรูป ระฆังคว่ำ (ผลการวัดแทบทั้งหมดจะเป็นไปตามการแจกแจงแบบปกติ รวมทั้งการวัดที่ได้จากเครื่องมือวัดง่ายๆ เช่น ไม้มรรทัด หรือถ้วยตวง) รูปที่ 1 แสดง normal distribution curve ที่มีค่ากลาง 10 V



รูปที่ 1 การแจกแจงปกติสำหรับค่ากลาง 10 volts และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.02 volts

โดยอาศัยการทดลองและการประเมิน ผู้ออกแบบเครื่องมือวัดกำหนดข้อกำหนดจำเพาะได้โดยการใช้สมมุติฐานของการแจกแจงปกติ และการหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับตัวอย่างที่มีจำนวนมากพอ การนำการแจกแจงปกติมาใช้ทำให้เราสามารถบอกความสัมพันธ์ของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับเปอร์เซ็นต์ของค่าที่อ่านที่น่าจะเกิดขึ้น โดยการวัดพื้นที่ใต้ส่วนโค้ง (curve) ของการแจกแจงกล่าวคือ

68% ของค่าที่อ่านอยู่ภายใน 1 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากลาง

95% ของค่าที่อ่านอยู่ภายใน 2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากลาง

99% ของค่าที่อ่านอยู่ภายใน 3 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากลาง

นักสถิติเรียกเปอร์เซ็นต์ที่ถูกครอบคลุมด้วยส่วนโค้งเหล่านี้ว่า ช่วงความเชื่อมั่น (confidence intervals) นักสถิติอาจจะบอกว่า “เรามีความเชื่อมั่น 95% ว่าค่าที่อ่านได้จะไม่มากกว่า 2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าที่แท้จริง”

ในตัวอย่างง่ายๆที่อธิบายมาแล้วข้างต้น

1 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเทียบเท่ากับ ± 0.02 V

2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเทียบเท่ากับ ± 0.04 V

3 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเทียบเท่ากับ ± 0.06 V

ดังนั้นคำถามของผู้ผลิตจึงกลายเป็นว่า “เราจะใช้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับข้อกำหนดจำเพาะของเราเท่าไรดี?” หรือ “เราจะใช้ระดับความเชื่อมั่นอะไรดีสำหรับสร้างข้อกำหนดจำเพาะของเรา?” ยัง

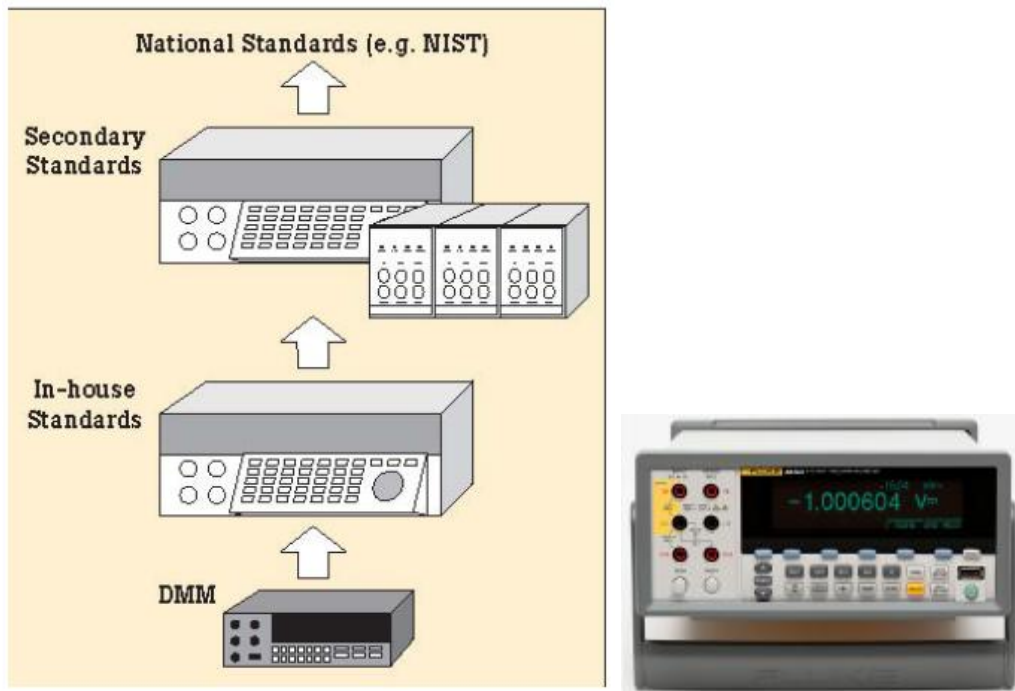
จำนวนตัวเลขของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานยิ่งมากเท่าไร ความน่าจะเป็นที่เครื่องมือจะหลุดออกไปนอกข้อกำหนดเฉพาะระหว่างช่วงวงรอบของการสอบเทียบก็ยิ่งต่ำลงเท่านั้น มาตรฐานทางวิศวกรรมภายในของผู้ผลิตจะเป็นตัวกำหนดว่าจะใช้กี่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สำหรับการกำหนดข้อกำหนดเฉพาะของตน สำหรับที่ Fluke เราใช้ระดับความเชื่อมั่น 99% ซึ่งเทียบเท่ากับ 2.6 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการแจกแจงปกติ

ความสามารถสอบกลับมาตรฐานได้และข้อกำหนดเฉพาะ

ถึงตอนนี้เราก็ได้อธิบายมาแล้วว่า เราสามารถคาดหวังความไม่แน่นอนจากดิจิตอลมัลติมิเตอร์ได้เท่าไรแต่เรายังไม่ได้กล่าวถึงว่าเราจะแน่ใจได้อย่างไรว่าเรากำลังพูดถึง โวลต์ โอห์ม และแอมป์เดียวกัน โดยทั่วไปแล้ว ดิจิตอลมัลติมิเตอร์จะถูกสอบเทียบด้วย มัลติฟังก์ชัน แคลิเบรเตอร์ อย่างเช่น Fluke 5700A หรือ Fluke 9100 ซึ่งตามปกติก็จะมี ความเชื่อมโยงระหว่างดิจิตอลมัลติมิเตอร์และมาตรฐานแห่งชาติได้อยู่หลายทางด้วยกัน รวมทั้งแคลิเบรเตอร์และมาตรฐานส่งต่อ (transfer standards) ด้วย ขณะที่ท่านมองย้อนผ่านห่วงโซ่ของความสามารถสอบกลับได้ที่เชื่อมต่อกันระหว่างดิจิตอลมัลติมิเตอร์ของท่านขึ้นไปห้องปฏิบัติการมาตรฐานแห่งชาติ ตัวมาตรฐานที่ใช้สอบเทียบก็ยังคงมีความถูกต้องสูงขึ้นเรื่อยๆ ตัวมาตรฐานสอบเทียบแต่ละตัวต้องสามารถสอบกลับได้สู่มาตรฐานแห่งชาติ โดยผ่านห่วงโซ่ที่ไม่ขาดช่วงของการเปรียบเทียบ ซึ่งทุกช่วงของการเปรียบเทียบจะมีค่าความไม่แน่นอนอยู่ด้วย

ดังนั้นความไม่แน่นอนของดิจิตอลมัลติมิเตอร์จึงขึ้นอยู่กับความไม่แน่นอนของแคลิเบรเตอร์ที่ใช้สอบเทียบมันนั่นเอง ข้อกำหนดเฉพาะของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ส่วนใหญ่ถูกเขียนขึ้นมาจากด้วยสมมติฐาน 2 ประการคือ

- ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ได้รับการสอบเทียบโดยแคลิเบรเตอร์รุ่นที่เจาะจง ดังที่ได้ระบุไว้ในคู่มือซ่อมบำรุงของดิจิตอลมัลติมิเตอร์นั้นๆ
- แคลิเบรเตอร์อยู่ในขีดจำกัดของการทำงานและสามารถสอบกลับได้สู่มาตรฐานแห่งชาติ



รูปที่ 2 เส้นทางของความสามารถสอบกลับได้ของ DMM สู่มาตรฐานแห่งชาติ

ด้วยสมมติฐานข้างต้นนี้เองที่ทำให้ผู้ผลิต DMM ดัชนีความไม่แน่นอนของแคลิเบรเตอร์เข้าไปในข้อกำหนดจำเพาะความไม่แน่นอนของ DMM ด้วย ถ้าท่านพบว่าความไม่แน่นอนได้ถูกระบุไว้ว่าเป็น “relative” นั้นหมายความว่าความไม่แน่นอนของแคลิเบรเตอร์ไม่ได้ถูกนำมาพิจารณาด้วย ดังนั้นเวลาใช้งานจึงต้องนำเอาความไม่แน่นอนของแคลิเบรเตอร์มารวมกับความไม่แน่นอนของ DMM ด้วย

องค์ประกอบของข้อกำหนดจำเพาะของดิจิตอลมัลติมิเตอร์

ท่ามกลางมาตรฐานมากมายที่ควบคุมเครื่องมือวัด แต่ก็ยังไม่มีมาตรฐานอย่างเป็นทางการสำหรับการเขียนข้อกำหนดจำเพาะของ DMM ใดๆ เลย ตลอดหลายปีที่ผ่านมาผู้ผลิตทั้งหลายต่างก็พยายามที่จะใช้รูปแบบที่คล้ายๆ กัน เพื่อที่จะทำให้การเปรียบเทียบกันระหว่างมัลติมิเตอร์สามารถทำได้ง่ายขึ้น เอกสารฉบับนี้จะครอบคลุมข้อกำหนดจำเพาะที่ใช้กันเป็นส่วนใหญ่โดยผู้ผลิต DMM

ตามที่ได้อธิบายไว้แล้วข้างต้น ข้อกำหนดจำเพาะของความไม่แน่นอนจะกำหนดพิสัยของค่ารอบๆ ค่าที่ระบุไว้ เมื่อทำการวัดภายในช่วงเวลา อุณหภูมิ ความชื้น ฯลฯ ที่ได้กำหนดให้ แล้วท่านจะมีความเชื่อมั่นได้ว่าค่าที่อ่านได้ของท่านจะไม่ออกไปนอกพิสัยของความไม่แน่นอนที่ระบุ

ความผิดพลาดที่สำคัญ 3 ประการสำหรับการใช้ข้อกำหนดจำเพาะของ DMM

1. ใช้เปอร์เซ็นต์ของค่าที่อ่าน(percent of reading)เท่านั้นเป็นทางลัด
2. การนำข้อของกำหนดจำเพาะไปใช้กับ DMM ที่อยู่นอกช่วงระยะเวลาของวงรอบการสอบเทียบ
3. การใช้ DMM นอกพิสัยของอุณหภูมิใช้งาน โดยที่ไม่ได้ปรับความไม่แน่นอนให้มากขึ้น

เวลาและอุณหภูมิมีส่วนอย่างสำคัญในการตัดสินใจความไม่แน่นอนของ DMM ทั้งนี้เพราะชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์มีการเปลี่ยนแปลงทีละน้อยตามเวลา (drift) เพราะการเคลื่อนค่านี้องค์ที่ทำให้ความไม่แน่นอนของ DMM นี้ใช้ได้ เพียงในช่วงระยะเวลาที่ระบุเท่านั้น ช่วงระยะเวลาดังกล่าวนี้จะตรงกันกับวงรอบการสอบเทียบ ซึ่งโดยทั่วไปคือ 1 ปี ทุกๆ ครั้งที่สอบเทียบใหม่มาพิสัยของความไม่แน่นอนก็จะเริ่มเดินอีกครั้งและจะใช้ได้ไปอีกหนึ่งช่วงระยะเวลาของการสอบเทียบ

อุณหภูมิมีผลกระทบต่อทุกชิ้นส่วนของเครื่องมือ นับตั้งแต่ตัวต้านทานง่ายๆ ไปจนถึงวงจรรวม (integrated circuits) ที่ซับซ้อนที่สุด ผู้ออกแบบ DMM มีความชำนาญในการออกแบบวงจรที่ชดเชยความแปรผันของอุณหภูมิได้ดี และความสามารถในการใช้งาน DMM ที่อุณหภูมิที่หลากหลายก็ได้ถูกรวมไว้ในข้อกำหนดจำเพาะของช่วงของการใช้งาน และมีอยู่บ่อยๆ ที่ได้รวมเอาสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเข้าไว้ด้วย (มีเพิ่มเติมในช่วงต่อไป)

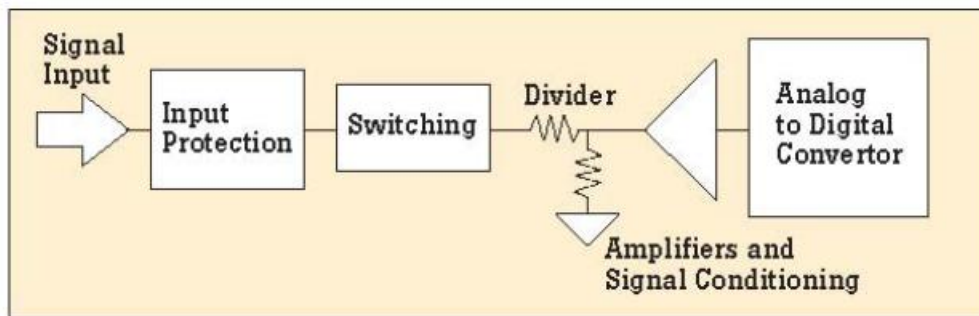
ความไม่แน่นอนของมัลติมิเตอร์ไม่สามารถแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์อย่างง่ายๆ ถึงแม้ว่าจะพยายามที่จะทำให้ง่ายเกินกว่าที่จะเป็นไปได้ก็ตาม ท่านยังอาจจะเห็นโบรชัวร์ การขายที่เกริ่นว่า “basic accuracy to 0.002%” ซึ่งนี่เป็นเพียงส่วนน้อยของภาพทั้งหมดและก็เป็นเพียงการมองข้อมูลในแง่ดีตามปกติ

เหตุผลสำหรับความซับซ้อนของข้อกำหนดจำเพาะมีสาเหตุมาจากการที่ความสามารถของมัลติมิเตอร์ในการทำการวัดที่แตกต่างกัน ช่วงของพิสัยที่แตกต่างกัน และการใช้ทางผ่านของสัญญาณภายในที่หลากหลายกันมากนั่นเอง

ลองดูไดอะแกรมในรูปที่ 3 ที่แสดงให้เห็นทางผ่านของสัญญาณอานาล็อกสำหรับการวัด dc voltage ซึ่งบางที่ก็เป็นที่รู้จักในฐานะ “the front end” ในแต่ละบล็อกจะทำให้เกิดความไม่แน่นอนเพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากความไม่เป็นเชิงเส้น ออฟเซต สัญญาณรบกวน และอุณหภูมิ และแน่นอนที่สุด front end นี้เองที่เป็นตัวที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนของเครื่องมือได้มากที่สุด

ขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบที่จะทำให้การเปลี่ยนพิสัย (range) มีผลกระทบต่อการทำงานของตัวแบ่งสัญญาณ หรือตัวขยายสัญญาณ หรือทั้งสองอย่างได้มากน้อยเพียงใด ตัวอย่างเช่น สัญญาณรบกวนภายในมีผลกระทบแบบสัมพัทธ์ที่รุนแรงกว่าในพิสัยและการวัดสัญญาณด้านต่ำของพิสัย การเปลี่ยน

ฟังก์ชันของ DMM ก็เป็นการเปลี่ยนทางผ่านของสัญญาณด้วย ตัวอย่างเช่น การวัดความต้านทานที่ต้องการแหล่งจ่ายกระแสที่เพิ่มเติมให้กับทางผ่านสัญญาณภายนอก ดังนั้นในแต่ละฟังก์ชันและพิสัยจึงจะต้องได้รับการบ่งชี้เฉพาะในลักษณะที่จะสามารถพิจารณาถึงผลกระทบของความไม่เป็นเชิงเส้นออฟเซต สัญญาณรบกวนและผลกระทบอุณหภูมิได้ ตารางที่ 1 แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของข้อกำหนดจำเพาะของ DMM และตัวอย่างของแต่ละองค์ประกอบนั้น



รูปที่3 ทางผ่านสัญญาณอานาล็อกอย่างง่าย ๆ ของการวัด dc volt

Example	
Baseline uncertainty	
Input	$\pm (0.001 \% \text{ of reading} + 3 \text{ digits})$
Scale term + floor	$\pm (0.001 \% \text{ of reading} + 3 \text{ digits})$
Uncertainty modifiers	
Temperature coefficient	$\pm (0.003 \% \text{ of reading}) \text{ per } ^\circ\text{C} \text{ from } 0\text{ }^\circ\text{C} \text{ to } 18\text{ }^\circ\text{C} \text{ and } 28\text{ }^\circ\text{C} \text{ to } 50\text{ }^\circ\text{C}$
Time	1 year
Qualifiers	
Warm-up time	Specs are valid after 1 hour warm-up
Operating temperature	$23 \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$
RH	80 % RH from 0 to 35 $^\circ\text{C}$, 70 % to 50 $^\circ\text{C}$
Storage temperature	40 $^\circ\text{C}$ to 60 $^\circ\text{C}$
Vibration	Meets requirements of MIL-T-28800E for Type III, Class 3, Style E equipment
EMI susceptibility	Complies with EN 50082-1
Altitude	2000 meters
Power line regulation	100 V/ 120 V/ 220 V/ 240 V $\pm 10\%$
Overvoltage protection	600 V overvoltage category III

ตารางที่ 1 องค์ประกอบหลักๆ ของข้อกำหนดจำเพาะของ DMM

ข้อกำหนดจำเพาะของความไม่แน่นอนพื้นฐาน

ข้อกำหนดจำเพาะพื้นฐานตามปกติจะให้ไว้ดังนี้

$\pm$ (percent of reading + number of digits) หรือ $\pm$ (percent of reading + number of counts)

คำว่า “digits” หรือ “counts” เป็นค่าที่สับเปลี่ยนกันได้และเป็นตัวบ่งชี้ค่าของหลักนัยสำคัญที่น้อยที่สุดสำหรับในแต่ละพิสัย มันคือตัวแทนของความละเอียดของ DMM สำหรับพิสัยนั้นๆ ถ้าพิสัยคือ 40.0000 แล้ว หนึ่ง digit หรือหนึ่ง count ก็จะมีค่า 0.0001

สมมติว่าเราต้องการจะวัด 10 V ใน 20 V range ซึ่งหลักนัยสำคัญที่น้อยที่สุดคือ 0.0001V ถ้าความไม่แน่นอนของ 20 V range กำหนดให้เป็น $\pm(0.003\%+2 \text{ counts})$ เราสามารถคำนวณความไม่แน่นอนของการวัดได้คือ $\pm(0.003\% \times 10 \text{ V} + 2 \times 0.0001 \text{ V}) = \pm(0.0003 \text{ V} + 0.0002 \text{ V}) = \pm(0.0005 \text{ V})$ หรือ $\pm 0.5 \text{ mV}$

ใบแจ้งข้อกำหนดจำเพาะบางแห่งใช้รูปแบบ $\pm$ (percent of reading + percent of range) ในกรณีนี้ท่านเพียงแต่คูณค่าสูงสุดสำหรับพิสัยที่ท่านใช้งานโดยเปอร์เซ็นต์ที่ระบุ เพื่อให้ได้เทอมที่สอง ในทั้งสองกรณีเทอมที่สองนี้เรียกว่า “the floor” ซึ่ง floor นี้พิจารณาจากผลของออฟเซตและสัญญาณรบกวนที่สัมพันธ์กับพิสัยเดียวหรือที่รวมกันของทุกพิสัย การไม่ใส่ใจต่อ floor อาจทำให้เกิดผลที่มีนัยสำคัญตามมาได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อทำการวัดที่ด้านล่างๆ ของพิสัย

ตัวเปลี่ยนความไม่แน่นอน

ตัวเปลี่ยน (modifier) ความไม่แน่นอนสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อจะชดเชยสภาวะแวดล้อมและเวลา ในบางข้อกำหนดจำเพาะไม่เพียงแต่ให้ข้อกำหนดจำเพาะสำหรับ 1 ปี เท่านั้น แต่ยังให้ข้อกำหนดจำเพาะเพิ่มเติมเช่น 90 วัน หลังการสอบเทียบเป็นต้น ตามปกติข้อกำหนดจำเพาะ 90 วัน จะมีความเข้มงวดกว่าข้อกำหนดจำเพาะ 1 ปี ข้อกำหนดจำเพาะ 90 วัน นี้จะช่วยให้สามารถใช้งาน DMM ได้ตามที่ต้องการได้มากขึ้น แต่ต้องทำการสอบเทียบให้บ่อยครั้งขึ้น (ดูตารางที่ 2)

DC Voltage ^[1] ^[2] ^[3]						
Range	Full Scale	Uncertainty Relative to Cal Stds			Absolute Uncertainties	Temp Coefficient
		± (ppm Reading + ppm Range) TCal ±1 °C ^[4]			15 °C-28 °C (ppm/°C)	
		24 hour	90 day	365 day		
200 mV	199.999 999	0.7 + 0.5	1.4 + 0.5	2.7 + 0.5	4.5 + 0.5	0.4
2 V	1.999 999 99	0.5 + 0.2	1.4 + 0.2	2.7 + 0.2	3.0 + 0.2	0.3
20 V	19.999 999 9	0.5 + 0.2	1.4 + 0.2	2.7 + 0.2	3.0 + 0.2	0.3
200 V	199.999 999	1.0 + 0.2	2.6 + 0.2	4.0 + 0.2	4.5 + 0.2	0.7
1000 V	1050.000 00	1.0 + 0.5	2.6 + 0.5	4.0 + 0.5	4.5 + 0.5	0.7

ตารางที่ 2 ตัวอย่างข้อกำหนดจำเพาะของ DMM ทางกรวัด DC Voltage

จากเหตุผลที่ได้อธิบายมาแล้ว ข้อกำหนดจำเพาะของความไม่แน่นอนใช้ได้ตลอดพิสัยของช่วงอุณหภูมิที่กำหนดให้ โดยปกติพิสัยจะครอบคลุม “อุณหภูมิห้อง” จาก 18°C ถึง 28°C (64.4 °F ถึง 82.4°F) เมื่อทำการสอบเทียบที่ 23°C ความไม่แน่นอนสามารถที่จะถูกปรับเปลี่ยนให้ชัดเจนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้กว้างกว่า

สมมติว่าเราต้องการที่จะทำการวัด 10 V อย่างที่ได้กระทำมาแล้วในตอนต้น ในที่ที่อยู่ภายนอกห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 41°C (106 °F) และมีสัมประสิทธิ์อุณหภูมิที่ให้ไว้คือ $\pm (0.001\% \text{ of reading})$ ต่อ °C จาก 0°C ถึง 18°C และจาก 28°C ถึง 50°C

อุณหภูมิคือ 13°C สูงกว่า 28°C ซึ่งเป็นเส้นแบ่งเขตที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงความไม่แน่นอนพื้นฐานในแต่ละองศาเหนือ เส้นแบ่งเขตนี้เราจะต้องบวก $(0.001\% \times 10 \text{ V}) = 0.1 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ เข้าไปกับความไม่แน่นอนพื้นฐาน ความไม่แน่นอนที่บวกกันแล้วที่ 41°C คือ $(13^\circ\text{C} \times 0.1 \text{ mV}/^\circ\text{C}) = 1.3 \text{ mV}$ ดังนั้นความไม่แน่นอนของโวลเตจรวม เมื่อรวมความไม่แน่นอนพื้นฐานที่คำนวณมาแล้วข้างต้นเข้ากับตัวเปลี่ยนอุณหภูมิแล้ว ก็จะได้ $\pm (0.5 \text{ mV} + 1.3 \text{ mV}) = \pm 1.8 \text{ mV}$ โปรดสังเกตว่า ความไม่แน่นอนที่เปลี่ยนแปลงแล้วมีค่ามากกว่า 3 เท่าของความไม่แน่นอนพื้นฐาน

ตัวกำหนดคุณภาพ (qualifiers) ของข้อกำหนดจำเพาะ

ความไม่แน่นอนของ DMM ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขอื่นๆ นอกจากเวลาและอุณหภูมิด้วย องค์ประกอบของสภาวะแวดล้อม อาทิเช่น อุณหภูมิของการเก็บ ความชื้น ความหนาแน่นของอากาศ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ก็สามารถมีผลต่อความไม่แน่นอนด้วยเช่นกัน DMM จะต้องรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่สะอาดเพียงพอ ถ้าต้องการที่จะให้แหล่งจ่ายไฟที่แม่นยำภายในทำงานได้อย่างเหมาะสม

ตัวกำหนดคุณภาพ (qualifier) ของ DMM บางตัวสามารถบ่งชี้ได้อย่างง่ายๆ โดยแสดงค่าเป็นตัวเลขอย่างเช่น ความคงที่ของกระแสไฟฟ้า ระดับความสูง และความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น เนื่องจาก DMM ไม่ได้มีการปิดผนึกจากสิ่งแวดล้อมอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นอากาศจึงเป็นส่วนหนึ่งของวงจร คุณลักษณะทางไฟฟ้าของอากาศมีผลกระทบจากความหนาแน่น (ระดับความสูง) และความชื้น ดังนั้นผู้ออกแบบจึงต้องกำหนดขอบเขตของพารามิเตอร์เหล่านี้ไว้ด้วย การเก็บ DMM ที่เกินกว่าอุณหภูมิที่กำหนดสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในคุณลักษณะการทำงานของชิ้นส่วน อิเล็กทรอนิกส์ได้

ตัวกำหนดคุณภาพที่ซับซ้อนกว่าที่ได้อธิบายมาแล้วได้แก่ การป้องกันการป้อนไฟเกิน ช็อค และความสั่นสะเทือน หรือการเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นต้น มักจะให้ไว้ในลักษณะหมายเหตุ แสดงความเป็นไปตามเทคนิคหรือขีดจำกัดของการวัดตามมาตรฐานกำหนด เอกสารมาตรฐานระหว่างประเทศ สำหรับคุณลักษณะเหล่านี้ ตามปกติจะกำหนดอนุกรมของวิธีดำเนินการทดสอบพร้อมกับขีดจำกัดที่ยอมรับได้มาให้ด้วย ดังนั้นผู้ออกแบบ DMM จึงเพียงแค่ใส่เฉพาะรายชื่อของมาตรฐานที่ DMM จะต้องเป็นไปตามนั้นเท่านั้น

การเปรียบเทียบมัลติมิเตอร์ที่ต่างกัน

เมื่อท่านประเมินค่าความเหมาะสมการใช้งานของดิจิตอลมัลติมิเตอร์หลายๆ แบบ ทางที่ดีที่สุด คือ การเลือกฟังก์ชันของการวัดและเงื่อนไขที่เหมาะสมกับการใช้งานของท่าน สิ่งแรกที่จะต้องปฏิบัติคือการพิจารณาว่าตัวกำหนดคุณภาพ (qualifier) ของ DMM แต่ละแบบเข้ากันได้กับสภาวะแวดล้อมของการใช้งานของท่านหรือไม่ จากนั้นก็พิจารณาฟังก์ชันทั้งหมด (dc volts, ac volts, ohms และอื่นๆ ไปเรื่อยๆ) และพิสัยที่ท่านตั้งใจใช้งานมากที่สุด ท่านกำลังจะทำการวัดในช่วงล่างๆ ของพิสัยบ่อยหรือไม่? ถ้าใช่แล้วท่านควรจะทำให้แน่ใจว่าท่านได้เปรียบเทียบส่วนที่ท่านจะใช้งานในช่วงล่างๆ ของพิสัยกับ floor เสียก่อน สำหรับการวัดแต่ละครั้งให้เปลี่ยนความไม่แน่นอนให้เป็นหน่วยวัดเช่น โวลต์ โอห์ม แอมป์ก่อน แล้วจึงเปรียบเทียบความไม่แน่นอนที่เป็นหน่วยวัดด้วยกันเพื่อ ที่จะตัดสินใจว่า DMM แบบไหนเหมาะสมที่สุดกับงานที่อยู่ในมือท่าน

ความสามารถในการทำงานกับข้อกำหนดจำเพาะของความไม่แน่นอนของ DMM เป็นทักษะวิศวกรรมพื้นฐาน เมื่อท่านได้ 2 คำตอบที่ต่างกันจาก 2 เครื่องที่ต่างกัน ความไม่แน่นอนของการวัดอาจอธิบายความแตกต่างได้ เมื่อท่านมีความจำเป็นที่จะต้องเปรียบเทียบสมรรถนะของ DMM เพื่อจะตัดสินใจเลือกซื้อเครื่องมือที่ถูกต้องสำหรับงานของท่าน ความเชี่ยวชาญในข้อกำหนดจำเพาะของความไม่แน่นอนจะช่วยให้คุณในการเปรียบเทียบกันอย่างเครื่องต่อเครื่องได้ และเมื่อใดก็ตามที่ท่านมีงานที่ขึ้นอยู่กับการวัดที่สำคัญ ท่านก็สามารถที่จะมีความเข้าใจได้อย่างสบายใจว่าเครื่องมือของท่านจะทำงานได้ดีจริงๆ เพียงใด

Fluke. Keeping your world up and running.

ผู้แทนจำหน่าย Fluke ในประเทศไทย



บริษัท เมเชอร์โรนิคซ์ จำกัด

2425/2 อ.ลาดพร้าว รัชดาภิเษก 67-69 แขวงวังทองหลาง เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310

โทร. 0-2514-1000, 0-2514-1234 แฟกซ์ 0-2514-0001, 0-2514-0003

Internet: <http://www.measuretronix.com> E-Mail Address : info@measuretronix.com