

การออกแบบวงจรปรับแต่งย่านการวัดแบบเชิงเส้น

โดย

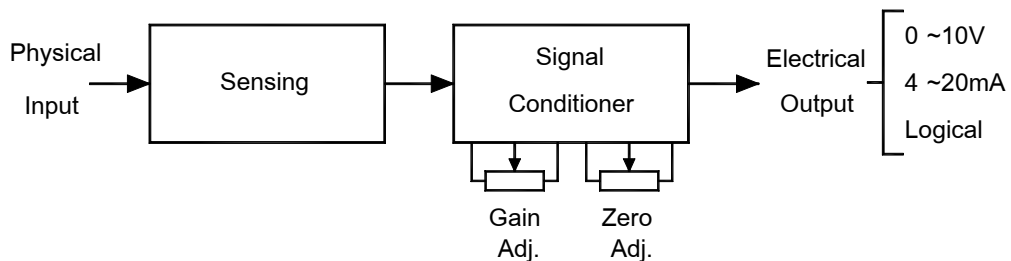
บุญเรือง วังศิลาบัตร

สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน 833 ถ.พระราม 1 แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

Email : boonrwan@ptwit.ac.th

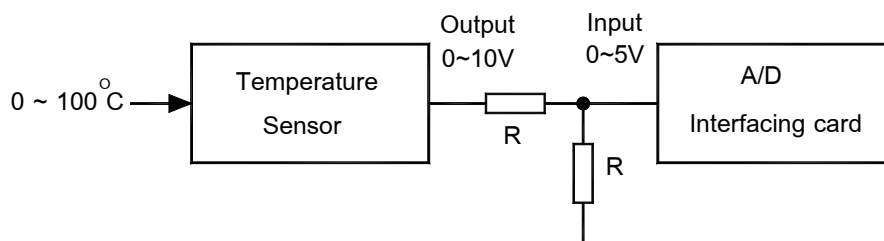
“ ท่านเคยมีปัญหา เกี่ยวกับย่านการวัดของเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าที่มีอยู่ ไม่สัมพันธ์กับปริมาณไฟฟ้าที่ต้องการวัด บ้างหรือไม่ โดยเฉพาะการวัดผ่านทางการ์ดเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ A/D ซึ่งมีย่านการวัดจำกัด และแน่นอนเมื่อมีย่านการวัดจำกัด ค่าความละเอียดในการวัดจะถูกจำกัดไปด้วย ถ้าท่านเคยมีปัญหาดังกล่าว บทความนี้อาจช่วยท่านได้ ”

เหตุจูงใจอย่างหนึ่งของผู้เขียนที่จะเขียนเรื่องนี้ก็คือ ผู้เขียนเคยมีประสบการณ์ในการวัดปริมาณทางไฟฟ้า โดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ (Sensor) และวัดผ่านทางการ์ดเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ A/D (Analog to Digital Interfacing Card) ซึ่งมีย่านวัดของสัญญาณขาเข้าจะต้องอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ~ 5V เท่านั้น ส่วนบริเวณหรือขอบเขตของสัญญาณที่ต้องการสังเกตการณ์นั้นจะมีช่วงแคบอาจจะอยู่ในช่วงประมาณ 0.5 V ~ 1 V เท่านั้น และอาจจะไม่ได้เริ่มจาก 0 V ด้วย ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาที่ว่า จะทำการวัดสัญญาณตรงบริเวณนี้ได้อย่างไร ก่อนอื่นขอทำความเข้าใจเกี่ยวกับอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณในระดับพื้นฐานกันเสียก่อนเล็กน้อย โดยโครงสร้างทั่วไปของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณจะมีด้วยกันอยู่สองส่วน อันได้แก่ส่วนแรกจะเป็นตัวรับรู้คุณลักษณะสมบัติทางด้านฟิสิกส์ (Physical Sensing) ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปแบบของ อุณหภูมิ แสง เสียง ความชื้น น้ำหนัก แรงกระทำ ความดัน หรืออื่น ๆ ซึ่งตัวรับรู้นี้สามารถที่แปรเปลี่ยนปริมาณทางฟิสิกส์นี้ให้กลายเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าได้ ต่อจากนั้นก็จะส่งสัญญาณไฟฟ้าที่มีความสัมพันธ์กันกับปริมาณทางฟิสิกส์นี้เข้าสู่วงจรปรับแต่งสัญญาณตามเงื่อนไขที่กำหนด (Signal Conditioner) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณโดยทั่วไป

โดยสัญญาณที่ออกมาทางเอาต์พุตของวงจรปรับแต่งสัญญาณ อาจจะอยู่ในรูปแบบของแรงดันไฟตรงระหว่าง $0 \sim 10 \text{ V}$ หรือในรูปแบบของกระแสไฟตรงระหว่าง $4 \text{ mA} \sim 20 \text{ mA}$ ซึ่งเป็นข้อกำหนดมาตรฐานของอุปกรณ์ตรวจจับโดยทั่วไป โดยอาจจะมีส่วนช่วยปรับอัตราขยาย (Gain Adjust) และ ตัวช่วยปรับค่าเริ่มต้นเป็นศูนย์ (Zero Adjust) ให้ผู้ใช้ทำการปรับแต่งเองได้บ้างเล็กน้อย แต่ส่วนมากตัวตรวจจับที่สามารถปรับแต่งได้บ้างนี้จะมีราคาค่อนข้างแพง หรือสัญญาณทางเอาต์พุตอาจจะถูกปรับปรุงเป็นสัญญาณที่ระดับแรงดันสูงและต่ำเท่านั้น โดยเทียบเท่ากับสัญญาณทางลอจิกในเชิงของดิจิทัลคือ ลอจิก “1” หรือ “High” และ ลอจิก “0” หรือ “Low” ก็ได้ ทั้งนี้แล้วแต่ข้อกำหนดในการออกแบบวงจรปรับแต่งรูปแบบของสัญญาณทางขาออก และเป้าหมายของการนำเอาอุปกรณ์ตัวตรวจจับนั้น ๆ ไปใช้งาน สำหรับอุปกรณ์ตรวจจับที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้จะพินิจพิจารณาการจัดรูปแบบของสัญญาณทางเอาต์พุตอยู่ในรูปแบบของแรงดันไฟตรงนั่นเอง โดยขานการวัดตลอดช่วงของการวัดจะเรียกว่า “สเปน” (Span) สมมติว่าตัวตรวจจับอุณหภูมิตัวหนึ่ง มีย่านวัดในช่วง $0 \sim 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และมีแรงดันเอาต์พุตระหว่าง $0 \sim 10 \text{ V}$ ที่สัมพันธ์กันกับอุณหภูมิอย่างเป็นเชิงเส้น (โดยมากอุปกรณ์ตัวตรวจจับสัญญาณโดยทั่วไปจะมีการปรับแต่งสัญญาณให้ปริมาณทางเอาต์พุตมีความสัมพันธ์อย่างเป็นเชิงเส้นกับปริมาณทางฟิสิกส์ที่ทำการวัด) และแรงดันเอาต์พุตนี้จะถูกเชื่อมต่อไปยังการ์ดเชื่อมต่อไมโครคอมพิวเตอร์ A/D ขนาด 8 bits ซึ่งมีย่านวัดของสัญญาณขาเข้าอยู่ในช่วงระหว่าง $0 \sim 5 \text{ V}$ ทั้งนี้ถ้าต้องการสังเกตการณ์ตลอดทั้งช่วงของสเปน จะต้องทำการลดค่าแรงดันสูงสุดของสเปนลงเป็นครึ่งหนึ่ง ซึ่งอาจจะใช้วงจรแบ่งแรงดัน (Voltage divider) ธรรมดา โดยกำหนดให้ค่าความต้านทานทั้งสองมีค่าเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การวัดสัญญาณตลอดช่วงสเปนโดยการลดระดับแรงดันลงเป็นครึ่งหนึ่งเพื่อเชื่อมโยกับ A/D card

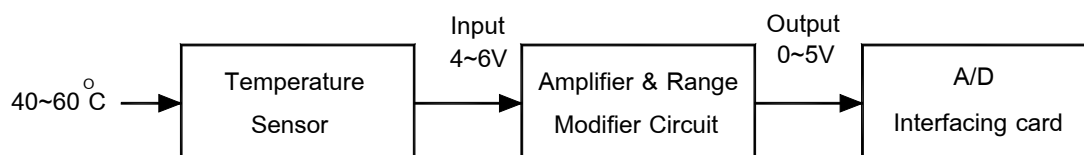
ถึงแม้ว่าการต่อเชื่อมโยงในรูปที่ 2 จะสามารถกระทำได้ก็จริง แต่นั่นจะหมายความว่า ความละเอียดของการวัดจะถูกจำกัดให้หยาบขึ้นไปด้วย กล่าวคือ เมื่อขนาดของ A/D เป็นขนาด 8 bits ดังนั้นจำนวนขั้น (Step) ทั้งหมดของ A/D จะมีจำนวนเท่ากับ 2^8 ซึ่งเท่ากับ 256 ขั้น ($0 \sim 255$) ดังนั้นค่าความละเอียดของแต่ละขั้นจะเป็น $5 \text{ V} / 256 \text{ Step}$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 19.53 mV/Step แต่เนื่องจากย่านของอุณหภูมิที่ทำการวัดจะอยู่ในช่วง $0 \sim 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งอยู่ในช่วง $0 \sim 5 \text{ V}$ ของ A/D โดยจะมีค่าเป็น $20 \text{ }^{\circ}\text{C} / \text{V}$ หรือเท่ากับ $0.02 \text{ }^{\circ}\text{C} / \text{mV}$ ดังนั้นค่าความละเอียดของการวัดจะมีค่าประมาณ $0.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เท่านั้น (Resolution = $1/10 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

จากข้อสมมติข้างต้นนี้ ถ้าจุดสังเกตการณ์ถูกกำหนดให้อยู่ตรงบริเวณกึ่งกลางของสเปน (ที่ประมาณ $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$) และอยู่ในช่วงของอุณหภูมิ $\pm 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ดังนั้นช่วงอุณหภูมิจะถูกพิจารณาในช่วงระหว่าง $40 \sim 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งตรงกับช่วงปริมาณของแรงดันไฟตรงที่ออกมาจากตัวตรวจจับอุณหภูมิในช่วง $4 \sim 6 \text{ V}$ เพราะฉะนั้นย่านการพิจารณาของอุณหภูมิจะ

อยู่ในช่วงเพียง 20°C ($60^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$) และย่านของแรงดันไฟตรงจะอยู่ในช่วงเพียง 2 V ($6\text{ V} - 4\text{ V}$) จากช่วงกว้างของแรงดันที่มีเพียง 2 V นี้ ถ้าทำการขยายให้กว้างออกเป็น 5 V เท่ากับขอบเขตสูงสุดของความต้องการสูงสุดทางด้านอินพุตของ A/D ซึ่งมีขนาด 8 bits ซึ่งค่าความละเอียดของแต่ละขั้นจะมีค่าเท่ากับ 19.53 mV/Step ตามเดิม แต่ช่วงของอุณหภูมิที่พิจารณาลดลงเหลือเพียง 20°C ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4°C/V หรือเท่ากับ 0.004°C/mV ดังนั้นค่าความละเอียดของการวัดจะมีค่าประมาณ 0.08°C (Resolution = $1/100^{\circ}\text{C}$) ซึ่งจะเห็นว่าค่าความละเอียดในการวัดจะดีกว่าการสังเกตการณ์ตลอดย่านการวัดของตัวตรวจจับอุณหภูมิตัวนี้ โดยใช้ A/D ที่มีขนาด 8 bits เช่นเดียวกัน

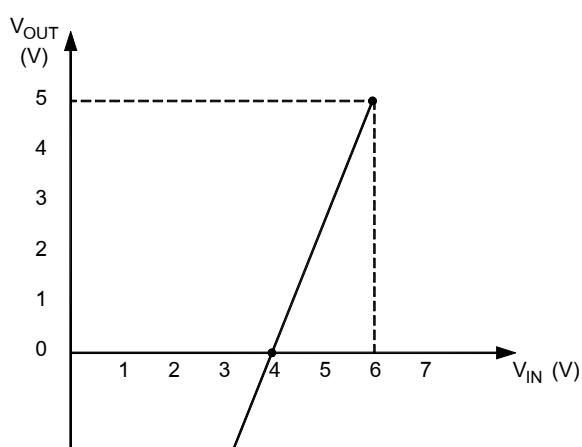
แล้วจะอย่างไร ?

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จะพบว่าค่าความละเอียดของการวัดในช่วงอุณหภูมิที่พิจารณาให้แคบลง จะมีค่าความละเอียดดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งนั่นก็หมายความว่าต้องสร้างวงจรขยายเพื่อทำการขยายเฉพาะช่วงดังกล่าวและปรับแต่งย่านการวัดเพื่อให้ต่อเชื่อมเข้ากับ A/D card โดยวงจรส่วนนี้จะอยู่ตรงกลางระหว่างตัวตรวจจับอุณหภูมิและ A/D card ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงวงจรปรับแต่งย่านการวัดที่เชื่อมต่อระหว่างตัวตรวจจับอุณหภูมิและ A/D Interfacing card

จากรูปที่ 3 พิจารณาเฉพาะในส่วนของวงจรขยายและปรับแต่งย่านการวัดที่อยู่ก้นกลางระหว่างตัวตรวจจับอุณหภูมิและ A/D Interfacing card สามารถเขียนความสัมพันธ์ของแรงดันทางด้าน Output (V_{OUT}) เทียบกับแรงดันทางด้าน Input (V_{IN}) ในรูปแบบของกราฟ (Transfer characteristic curve) ได้ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดง Transfer characteristic curve ของวงจรขยายและปรับแต่งย่านการวัดที่ต้องการ

ขั้นตอนต่อไปก็คือการหาสมการของ Transfer characteristic curve ดังในรูปที่ 4 นั้น ซึ่งเป็นสมการเส้นตรงนั่นเอง เริ่มต้นจากการคำนวณหาค่าความชัน (Slope) และหาค่าของจุดตัดบนแกนของ V_{OUT} โดยรูปแบบของสมการจะเป็นดังสมการที่ 1

$$V_{OUT} = mV_{IN} + b \quad (1)$$

เมื่อ m คือ ค่าความชันของเส้นตรง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 และ b คือจุดตัดบนแกนของ V_{OUT} สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 โดยการแทนค่าของความชันของเส้นตรงและค่าของตำแหน่งใด ๆ ของเส้นตรงนั้น

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (2)$$

$$b = y - mx \quad (3)$$

โดย y ในสมการก็คือ V_{OUT} ที่ตำแหน่ง 1 และ 2 ตามลำดับ และ x ก็คือ V_{IN} ที่ตำแหน่ง 1 และ 2 ตามลำดับ ดังนั้นจะได้ค่าของ m และ b ดังนี้

$$m = \frac{5-0}{6-4} = 2.5$$

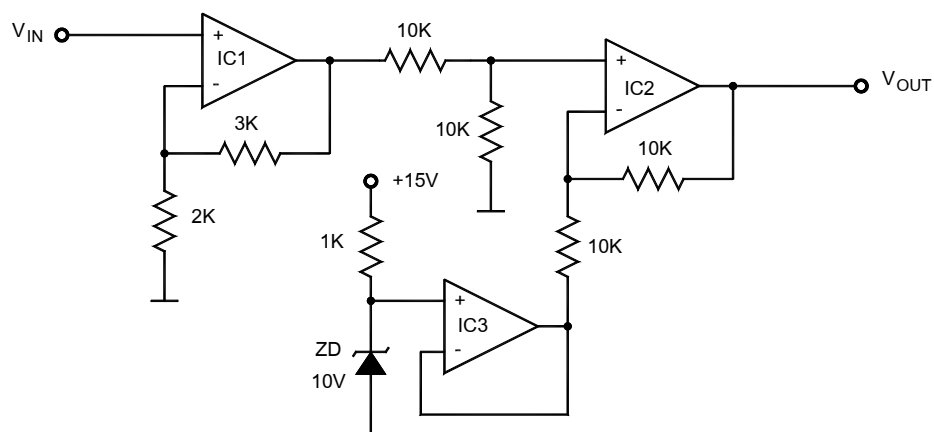
$$b = 5 - (2.5)(6) = -10$$

ต่อจากนั้นแทนค่าลงในสมการที่ 1 จะได้สมการของ Transfer characteristic curve ของวงจรขยายและปรับแต่งย่านการวัดที่ต้องการดังในสมการที่ 4

$$V_{OUT} = 2.5V_{IN} - 10V \quad (4)$$

จากสมการคณิตศาสตร์สู่วงจรอิเล็กทรอนิกส์

จะเห็นว่าสมการที่ 4 เป็นสมการคณิตศาสตร์ ซึ่งสามารถสร้างวงจรได้ โดยการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จำพวก Operational Amplifier หรือ เรียกกันสั้น ๆ ว่า “ Op-Amp ” โดยสามารถจำลองการทำงานในรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ได้ จนได้นายาที่เรียกกันว่า “ Analog computing device ” และในที่นี้จะไม่ขอกล่าวถึงทฤษฎีของ Op-Amp ซึ่งสามารถหาอ่านหรือศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของวงจร Op-Amp แบบต่างๆ ได้จากบทความหรือตำราโดยทั่วไป โดยวงจรที่สร้างตามสมการที่ 4 จะแสดงดังในรูปที่ 5



รูปที่ 5 วงจรขยายและปรับแต่งย่านวัดที่ออกแบบตามสมการที่ 4

จากวงจรที่แสดงดังในรูปที่ 5 IC1 จะทำหน้าที่เป็นวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (Non Inverting Amplifier) ที่มีอัตราขยายเท่ากับ 2.5 ดังนั้นแรงดัน V_{IN} จะถูกขยายขึ้นเป็น 2.5 เท่า ต่อจากนั้นจะป้อนเข้าสู่ IC2 ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรขยายผลต่างของแรงดัน (Differential Amplifier) โดยในวงจรกำหนดให้มีอัตราขยายของผลต่างมีค่าเท่ากับ 1 ส่วน IC3 ต่อเป็นวงจรขยายแบบกันชน (Buffer Amplifier) มีอัตราขยายเป็น 1 ต่อร่วมกับ Zener diode ทำหน้าที่สร้างแรงดันอ้างอิง (Reference Voltage) ให้มีค่าเท่ากับ 10 V คงที่ ดังนั้นแรงดัน V_{IN} ที่ถูกขยายขึ้นเป็น 2.5 เท่านี้จะนำมาลบกับแรงดันอ้างอิงคงที่ 10 V ที่ IC2 ทำให้แรงดันที่ Output มีสมการเช่นเดียวกันกับในสมการที่ 4

ออกแบบถูกต้อง.....แต่.....วงจรทำงานผิดพลาด ?

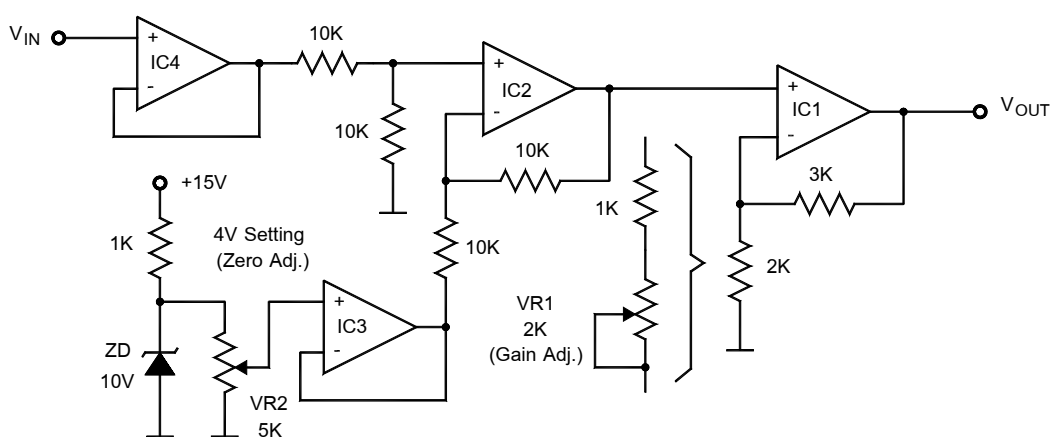
จากวงจรดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งเป็นการออกแบบอย่างถูกต้องตามสมการที่ 4 ก็จริง แต่ทั้งนี้ถ้าพิจารณาถึงข้อจำกัดในการทำงานของ Op-Amp แล้ว ก็อาจจะทำให้การทำงานของวงจรเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ นั่นก็คือ ถ้าพิจารณาจากสมการที่ 4 และวงจรที่ถูกออกแบบในรูปที่ 5 เนื่องจากแรงดัน V_{IN} จะถูกขยายขึ้นเป็น 2.5 เท่า โดย V_{IN} จะอยู่ในช่วง 4V~6V และเมื่อพิจารณาที่ V_{IN} เท่ากับ 6V แรงดันทาง Output ของ IC1 จะมีค่าเป็น 15 V แต่เนื่องจาก Op-Amp โดยทั่วไปจะใช้แรงดันในการทำงานเป็น $\pm 15V$ และพึงจำไว้ด้วยว่า แรงดันสูงสุดที่จะปรากฏทาง Output ของ Op-Amp จะน้อยกว่าแรงดันในการทำงานเสมอ ($\pm V_{O(Sat)} < \pm V_{CC}$) ดังนั้นหมายความว่า ถ้า Op-Amp ทำงานที่แรงดัน $\pm 15V$ แรงดันที่ถูกขยายออกจาก IC1 จะไม่มีทางที่จะมีค่าเท่ากับ 15V อย่างแน่นอน ทำให้การทำงานของวงจรที่ถูกออกแบบไว้ในรูปที่ 5 ทำงานผิดพลาดได้

จะแก้ไขอย่างไร... ?

จากการออกแบบวงจรขยายและปรับแต่งย่านวัดที่เขียนในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ดังแสดงในสมการที่ 4 ซึ่งความจริงแล้ว สามารถจัดรูปแบบของสมการได้เป็นหลายรูปแบบ โดยมีความหมายของสมการที่เหมือนกัน เช่น อาจจะจัดให้อยู่ในรูปแบบดังสมการที่ 5 ดังนี้

$$V_{OUT} = 2.5(V_{IN} - 4) \quad (5)$$

จากสมการที่ 5 จะเห็นว่าเป็นการนำเอาสมการที่ 4 มาเขียนใหม่ ซึ่งจะเห็นว่า ตัวเลข 2.5 จะเป็นอัตราขยายรวมของผลต่างที่อยู่ภายในวงเล็บนั่นเอง ดังนั้นเมื่อ V_{IN} เท่ากับ 6V ผลต่างในวงเล็บจะมีค่าเป็น 2 และต่อจากนั้นก็คูณขยายขึ้นอีก 2.5 เท่า ทำให้แรงดัน V_{OUT} มีค่าเท่ากับ 5V ซึ่งเป็นไปตามความต้องการในการออกแบบ ดังนั้นรูปวงจรที่สร้างจากสมการที่ 5 จะเป็นดังแสดงในรูปที่ 6



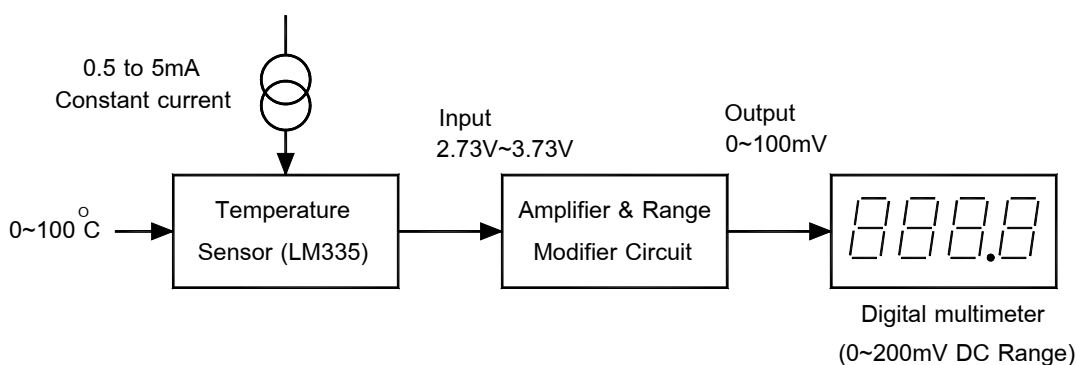
รูปที่ 6 วงจรขยายและปรับแต่งย่านวัดที่ออกแบบตามสมการที่ 5

จากรูปที่ 6 จะเห็นว่าเป็นการสลับตำแหน่งกันของ IC1 และ IC2 ที่แสดงในวงจรในรูปที่ 5 นั่นเอง แตกต่างกันเล็กน้อย ตรงที่ IC3 จำเป็นต้องใช้ VR2 มาทำการปรับค่าแรงดันอ้างอิงให้ได้ 4 V ตามสมการที่ 5 โดยใช้ Zener diode ทำการควบคุมแรงดันให้คงที่อีกชั้นหนึ่ง และเนื่องจากผลที่เกิดการปรับค่าแรงดันอ้างอิงนี้จะทำให้จุดเริ่มต้นตำแหน่งศูนย์เกิดการขยับขึ้นหรือลงในแนวแกนของ V_{OUT} จึงเปรียบเหมือนการปรับแต่งจุดเริ่มต้นศูนย์ (Zero Adjust) นั่นเอง ส่วนตัวต้านทาน R 2K ที่ต่ออยู่ในภาคขยายของ IC1 ถ้าทำการทดแทนด้วยชุดของ VR1 ที่ต่ออนุกรมกับ R 1K ดังแสดงในรูป ก็จะทำให้สามารถปรับแต่งอัตราขยายของวงจร ซึ่งเปรียบเหมือนกับการปรับแต่งอัตราขยาย (Gain Adjust) ที่มีอยู่บนตัวตรวจจับสัญญาณราคาแพงนั่นเอง นอกจากนี้ในวงจรยังมี IC4 ที่ต่อเป็นวงจร Buffer เพิ่มมาอีก 1 ตัว ทั้งนี้ก็เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบข้างเคียงอันเนื่องมาจากการต่อความต้านทาน (Impedance effect) เมื่อนำเอา Input ของวงจรไปต่อร่วมกับ Output ที่มาจากตัวตรวจจับสัญญาณ

ดิจิตอล มัลติมิเตอร์A/D...ที่อยู่ใกล้ตัวคุณ

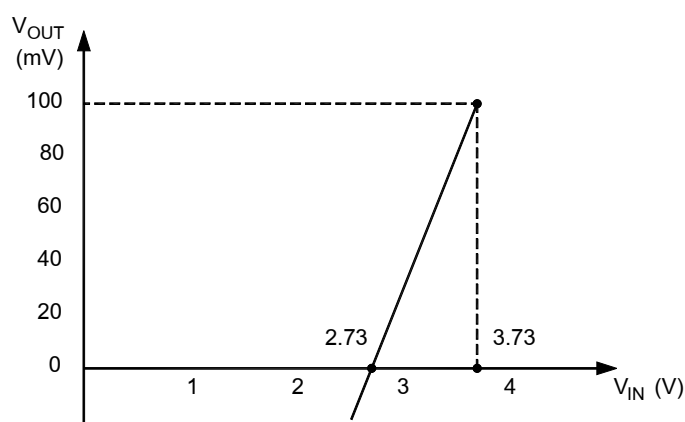
ท่านทราบหรือไม่ว่า “ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ” ที่ท่านใช้อยู่ นั้น แท้ที่จริงแล้วก็คืออุปกรณ์การแปลงสัญญาณอะนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอลแบบหนึ่งที่สามารถแสดงผลของการวัดให้ผู้ใช้ได้ทราบถึงปริมาณที่ทำการวัดได้นั้นได้โดยทันที โดยไม่ต้องแปลความหมายเหมือนกับการใช้ A/D card เชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ ซึ่งเวลาใช้จะต้องทำการเขียนโปรแกรมเพื่อแปลความหมายของปริมาณที่ทำการวัดนั้น สำหรับดิจิตอลมัลติมิเตอร์แล้ว ท่านอาจจะประยุกต์มาใช้ในการแสดงผลปริมาณการวัดอื่น ๆ ได้อีกมากมายตามความต้องการหรือแนวความคิดท่านเอง

ตัวอย่างเช่น อาจจะนำมาแสดงผลของอุณหภูมิเป็นตัวเลขบนหน้าจอของดิจิตอลมัลติมิเตอร์เลยโดยตรง ถ้าท่านสามารถปรับปรุงให้อุณหภูมิที่ทำการวัดได้ 1°C มีค่าเท่ากับ 1 mV ท่านก็สามารถจะแสดงค่าการวัดของอุณหภูมิเป็นตัวเลขย่านวัดไฟตรง $0\sim 200\text{ mV}$ ได้โดยตรง (ย่านวัดนี้มักจะมียูนิตดิจิตอลมัลติมิเตอร์โดยทั่วไป) สมมติว่าจะใช้ตัวตรวจจับอุณหภูมิเป็น IC เบอร์ LM335 (Precision Temperature Sensors) ซึ่งถูกปรับแต่งให้มีสัญญาณทาง Output ของตัวตรวจจับเป็น $10\text{ mV} / ^{\circ}\text{K}$ (Kelvin) โดย 0°K มีค่าเท่ากับ -273°C ดังนั้น ที่ 0°C จึงมีค่าเท่ากับ 273°K ซึ่งจะมีแรงดัน 2.73V และที่ 100°C จะมีแรงดันเป็น 3.73V ปรากฏที่ Output ของ IC เบอร์ LM335 เมื่อต้องการแสดงผลของอุณหภูมิในการวัดเป็น $^{\circ}\text{C}$ แสดงบนหน้าจอของ ดิจิตอลมิเตอร์โดยตรงก็จะต้องมีวงจรปรับแต่งย่านการวัดเชื่อมต่อยกหว่างตัวตรวจจับอุณหภูมิและดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 การเชื่อมต่อระหว่างตัวตรวจจับอุณหภูมิและดิจิตอลมัลติมิเตอร์

จากรูปที่ 7 สามารถเขียนความสัมพันธ์ของแรงดันทางด้าน Output (V_{OUT}) เทียบกับแรงดันทางด้าน Input (V_{IN}) ในรูปแบบของกราฟ (Transfer characteristic curve) ในส่วนของวงจรขยายและปรับแต่งย่านการวัดที่อยู่กึ่งกลาง ได้ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดง Transfer characteristic curve ของวงจรขยายและปรับแต่งย่านการวัดในรูปที่ 7

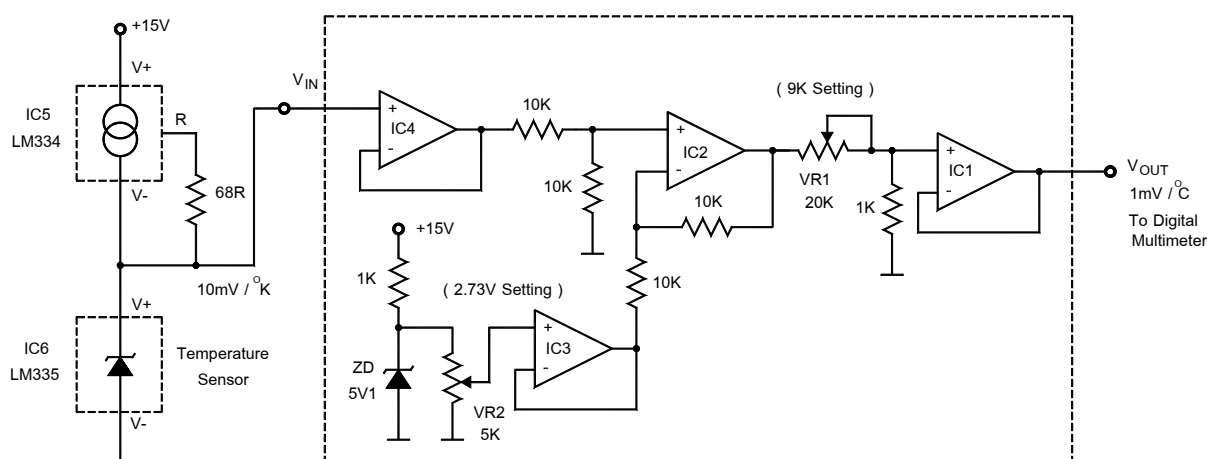
จาก Transfer characteristic curve ดังแสดงในรูปที่ 8 สามารถหาค่าของ m และ b โดยใช้สมการที่ 2 และ 3 ดังนี้

$$m = \frac{0.1 - 0}{3.73 - 2.73} = 0.1 = \frac{1}{10}$$

$$b = 0 - (0.1)(2.73) = -0.273$$

และสามารถเขียนเป็นสมการของ V_{OUT} ได้ดังสมการที่ 6 และ เขียนเป็นวงจรได้ดังแสดงในรูปที่ 9

$$V_{OUT} = \frac{1}{10}(V_{IN} - 2.73V) \quad (6)$$



รูปที่ 9 วงจรขยายและปรับแต่งย่านการวัดที่ออกแบบจากสมการที่ 6

จากวงจรในรูปที่ 9 จะเห็นว่ารูปแบบของวงจรจะคล้ายกันกับวงจรในรูปที่ 6 แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ตรงที่ IC1 ซึ่งต่อเป็นเพียงวงจรกันชนเท่านั้นเนื่องจากทาง Input ของ IC1 มีอัตราขยายต่ำกว่า 1 จึงใช้เพียงตัวต้านทานสองตัวมาต่อเป็นวงจรแบ่งแรงดันให้มีอัตราขยายเป็นเพียง 1/10 เท่านั้น ทั้งนี้ก็แล้วแต่สมการทางคณิตศาสตร์ที่ถูกเขียนขึ้น ส่วน IC5 (LM334) จะถูกต่อกับตัวต้านทาน 68 โอห์ม ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกระแสคงที่ขนาด 1 mA เพื่อจ่ายให้กับ IC 6 (LM335) ซึ่งเป็นตัวตรวจจับอุณหภูมิ ทำให้แรงดันที่ตกคร่อมตัว IC LM335 มีค่าเป็น 10 mV / °K โดยที่แรงดัน (V_{OUT}) ที่ปรากฏทางด้านของ Output จะถูกปรับแต่งให้เป็น 1 mV / °C ซึ่งสามารถต่อเข้ากับดิจิตอลมัลติมิเตอร์ที่ย่านวัด เป็น DC ที่ตำแหน่ง 0 ~ 200 mV เพื่อแสดงผลการวัดเป็นตัวเลขบนหน้าจอในช่วง 0 ~ 100 °C ได้โดยทันที

บทสรุป

ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จะพบว่า เราสามารถปรับแต่งย่านการวัดให้เหมาะสมกับงานที่ต้องการวัดได้ แต่ทั้งนี้ ความละเอียดของการวัดจะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ซึ่งจะขึ้นอยู่กับช่วงของปริมาณที่ต้องการวัดและการปรับค่าความชัน (Slope) ของวงจรในส่วนวงจรขยายของวงจรปรับแต่งที่ออกแบบขึ้น โดยวิธีการออกแบบจะเป็นการประยุกต์ใช้สมการทางคณิตศาสตร์มาดำเนินการเพื่อให้ผลที่ได้เป็นไปตามความต้องการของผู้ออกแบบ จากนั้นก็ประยุกต์ใช้อุปกรณ์จำพวก Op-Amp มาช่วยในการออกแบบการทำงานของวงจร และเนื่องจากวงจรที่ออกแบบขึ้นนี้จะเกี่ยวข้องกับการใช้เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า ดังนั้น Op-Amp ที่ใช้ก็ควรจะเป็นชนิดที่มีคุณภาพดี โดยมีคุณสมบัติที่สำคัญ เช่น Low output offset , Low Noise , High open loop gain , High slew rate , Wide band frequency ฯลฯ เช่นอาจจะเป็นเบอร์ LM358 , LM2904 , LF412 , TL084 เป็นต้น รวมถึงตัวต้านทานที่ต่ออยู่ในวงจร ก็ควรเป็นชนิดที่มีค่าความผิดพลาดต่ำ ถ้าจำเป็นต้องใช้ตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ ก็ควรต้องเลือกแบบชนิดที่สามารถปรับได้หลาย ๆ รอบ (Multi turn variable resistor) ซึ่งสามารถปรับค่าที่มีความละเอียดได้ดี โดยเฉพาะตรงจุดที่ต้องทำเป็นแหล่งกำเนิดแรงดันอ้างอิงคงที่ ซึ่งมักจะเป็นตัวเลขที่มีจำนวนเป็นทศนิยม ทั้งนี้เพื่อให้ผลของแรงดันทาง Output ของวงจรที่ออกแบบนั้นมีความหมายเช่นเดียวกันกับสมการทางคณิตศาสตร์ที่นำมาออกแบบวงจรนั่นเอง และพึงจำไว้ด้วยว่าแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ต้องกับ Op-Amp นั้น จะต้องเป็นแหล่งจ่ายไฟคู่ ($\pm V_{cc}$) จึงจะสามารถใช้ Op-Amp จำลองรูปแบบการทำงานเชิงคณิตศาสตร์ได้อย่างสมบูรณ์ อีกอย่างหนึ่งก็คือ ควรจะคำนวณค่าตามจุดต่าง ๆ ของแรงดัน Output ที่ออกจาก Op-Amp ในแต่ละจุดให้ได้ตามขอบเขตของช่วงสัญญาณที่ถูกป้อนเข้ามาทาง Input ของวงจร ซึ่งจะต้องไม่เกินขอบเขตของแรงดัน Output ที่ Op-Amp สามารถจ่ายออกมาได้ เพื่อป้องกันปัญหาการทำงานที่ผิดพลาดของวงจร ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญและพึงระวังสำหรับผู้ออกแบบวงจร

เอกสารอ้างอิง

- [1] James Maas , “ Industrial Electronics ” , Prentice-Hall International Editions , 1995
- [2] Willis J. Tompkins and John G. Webster , “ Interfacing Sensors to The IBM PC ” , Prentice-Hall Inc Englewood Cliffs , 1988
- [3] David A. Bell , “ Operational Amplifiers Applications Troubleshooting and designs ” , Prentice-Hall International Editions , 1990
- [4] Fredrick W. Hughes , “ Illustrated Guidebook to Electronic Devices and Circuits ” , Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs , 1983
- [5] <http://www.national.com/datasheets/LM334>
- [6] <http://www.national.com/datasheets/LM335>