บทที่ 3

ส่วนประกอบและหลักการทำงาน

3.1 แนวคิดในการสร้างเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ชนิดพกพา

ข้อมูลค่าความเข้มแสงอาทิตย์สำหรับแต่ละพื้นที่มักเป็นค่าเฉลี่ย เพื่อความสะดวกในการคำนวณหรือการออกแบบ แต่เนื่องจากในวัน ๆ หนึ่ง ค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าไม่คงที่ ซึ่งโดยปกติจะมีค่าสูงในช่วงเที่ยงวัน และมีค่าต่ำในช่วงเช้าและช่วงเย็น นั่นคือความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลานั่นเอง การวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ขณะใดขณะหนึ่ง โดยทั่วไปจะถูกวัดด้วยหัววัดไพราโนมิเตอร์เป็นช่วงเวลาแล้วเก็บค่าในเครื่องดาต้าล็อกเกอร์

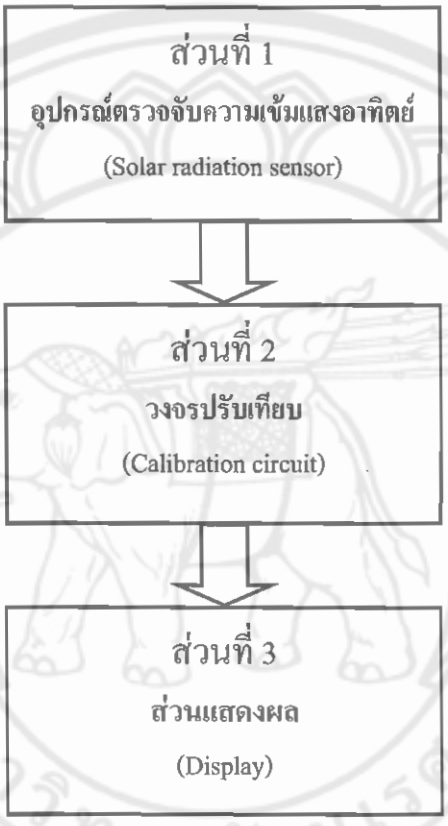
เนื่องจากเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่ใช้งานกันอยู่ปัจจุบันนั้นมีราคาแพง และการใช้งานโดยทั่วไปจะนิยมทำการติดตั้งเครื่องวัดอยู่กับที่หรืออยู่ในระนาบเดียวกับระนาบที่พิจารณาตามสถานีทดลอง หรือหน่วยงานต่าง ๆ เพื่อวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์หรือระนาบพื้นผิวที่พิจารณาได้รับ ทำให้เกิดความไม่สะดวกในการเคลื่อนย้ายเครื่องวัดเพื่อวัดค่าในสถานที่ต่าง ๆ แม้ว่าในระยะหลังมานี้ เริ่มมีการผลิตเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ชนิดชนิดพกพาออกมาวางจำหน่ายในท้องตลาด แต่ก็ยังมีราคาแพง (ประมาณ 15,000 – 20,000 บาท) ข้อมูลและเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจึงจุดประกายแนวความคิดของผู้ดำเนินโครงงานที่จะสร้างเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่มีราคาถูกและสามารถพกพาไปใช้ในสถานที่ต่าง ๆ ได้ รวมถึงสามารถอำนวยความสะดวกต่อผู้ใช้ในการอ่านค่า

เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ชนิดพกพาที่ถูกสร้างในโครงงานนี้ มีหลักการออกแบบโดยเทียบเคียงจากการหลักการวัดความเข้มแสงอาทิตย์ของเครื่องวัดที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งจะใช้เป็นเครื่องต้นแบบ หลักการดังกล่าวได้ถูกอธิบายไว้แล้วในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.2 ซึ่งสามารถสรุปประเด็นหลัก ๆ ได้ว่า หลักการวัดเริ่มจากกระบวนการตรวจจับความเข้มแสงอาทิตย์ เพื่อแปลงเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า แล้วใช้ตัวประกอบปรับเทียบเพื่อแปลงค่าแรงดันไฟฟ้า (ในหน่วยโวลต์) นั้นให้เป็นค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (ในหน่วย W/m^2) ที่ต้องการ

หลักการวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ดังกล่าวข้างต้น ถูกนำมาใช้เป็นแนวคิดในการสร้างเครื่องวัดในโครงงานนี้ ดังจะได้อธิบายในหัวข้อต่อไป

3.2 ส่วนประกอบหลักของเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ชนิดพกพา

เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ชนิดพกพา ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ๆ (รูปที่ 3-1) คือ ส่วนของอุปกรณ์ตรวจจับความเข้มแสงอาทิตย์ ส่วนของวงจรปรับเทียบ และส่วนของการแสดงผลซึ่งเลือกใช้แบบตัวเลข (Digital Display) เพื่อความสะดวกในการอ่านค่า



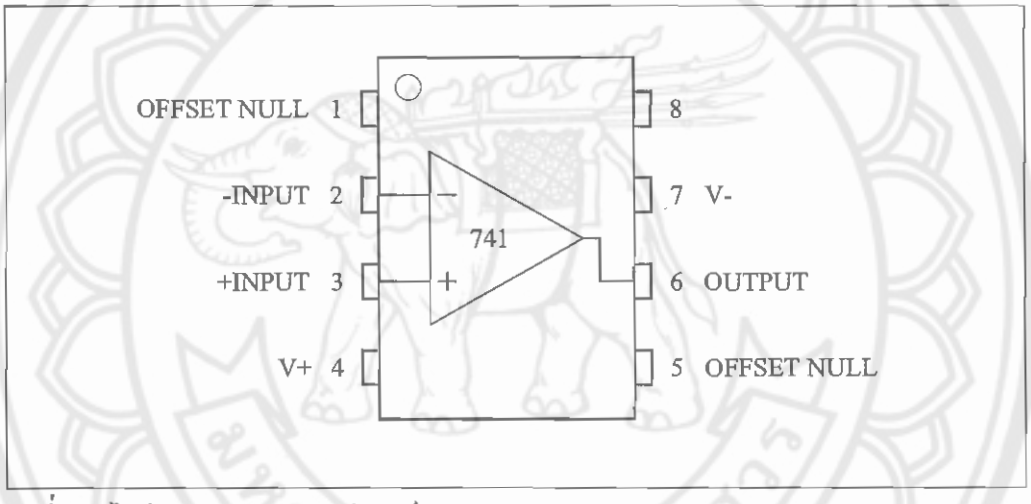
รูปที่ 3-1 ส่วนประกอบหลักของเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ชนิดพกพา

หลังจากที่ได้พิจารณาความเป็นไปได้ของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้ตรวจจับความเข้มแสงอาทิตย์ ดังที่ได้อธิบายในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.6 ตลอดจนได้ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ตามหัวข้อที่ 2.7 แล้ว จึงได้ข้อสรุปสำหรับโครงงานนี้ โดยจะนำเอาเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้เป็นส่วนที่ 1 ของเครื่องมือวัด ในขณะที่ส่วนที่ 2 ซึ่งเป็นวงจรปรับเทียบนั้นรับบทบาทโดยวงจรขยายกระแสซึ่งประกอบด้วยออปแอมป์ โดยคุณสมบัติและหลักการทำงาน ของออปแอมป์จะขอนำมากล่าวในหัวข้อต่อไป

3.3 คุณสมบัติและหลักการทำงานของออปแอมป์

ออปแอมป์เป็นชื่อที่เรียกกันทั่วไปของการขยายแบบออปเปอเรชั่นแอมพลิไฟเออร์ (Operation Amplifier) ออปแอมป์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้การขยายแบบดีซีแอมพลิไฟเออร์ (DC Amplifier) สูงมาก โดยที่อัตราการขยายทางขาออกมีค่าตั้งแต่ 20,000 ถึง 1,000,000 เท่าของขาเข้า ออปแอมป์ใช้ไบโพลาร์เป็นขาเข้า โดยมีค่าอิมพีแดนซ์ขาเข้า (Input Impedance) ประมาณ 2 MΩ มีค่าอิมพีแดนซ์ขาออก (Output Impedance) ประมาณ 75 Ω และมีอัตราขยายสูงสุดประมาณ 200,000 ในกรณีเปิดลูป (Open Loop)

ในทางปฏิบัติ ออปแอมป์อยู่ในรูปของไอซีหมายเลข 741 ซึ่งมี 8 ขา โดยแต่ละขาของไอซีถูกแสดงโดยสังเขปได้ดังรูปที่ 3-2



รูปที่ 3-2 ไอซีหมายเลข 741 (ออปแอมป์)

ออปแอมป์มีขั้วขาออก (Output terminal) 1 ขาคือขาที่ 6 และมีขั้วขาเข้า (Input terminals) 2 ขา คือขาที่ 2 และ 3 ซึ่งเรียกว่า ขั้วขาอินเวอร์ติ้ง (Inverting input terminal) และขั้วขานอนอินเวอร์ติ้ง (Noninverting input terminal) ตามลำดับ กล่าวคือถ้ามีแรงดันไฟบวกป้อนเข้ามายังขาที่ 2 จะทำให้มีแรงดันไฟลบออกมาที่ขั้วขาออก ในทางกลับกันถ้ามีสัญญาณแรงดันป้อนเข้าที่ขาที่ 3 สัญญาณขาออกจะมีขั้วเดียวกับขาเข้า เช่นถ้ามีแรงดันไฟบวกป้อนเข้ามายังขานี้ จะทำให้มีแรงดันไฟบวกออกมาที่ขาออก

ขั้วขาเข้าทั้งสองของออปแอมป์เป็นดิฟเฟอเรเชียลแอมพลิไฟเออร์ (Differential Amplifier) ซึ่งจะมีผลตอบสนองให้ออปแอมป์ก็ต่อเมื่อเกิดความแตกต่างกันของสัญญาณขาเข้าเท่านั้น โดยดิฟเฟอเรนเชียลแอมพลิไฟเออร์จะขยายสัญญาณเข้าที่ต่างกัน โดยไม่มีการรบกวนจากสัญญาณปกติของขาเข้าทั้งสอง ผลเช่นนี้กล่าวว่าเป็นคอมมอนโหมดรีเจคชั่น (Common-Mode Rejection) ในขณะที่ขา

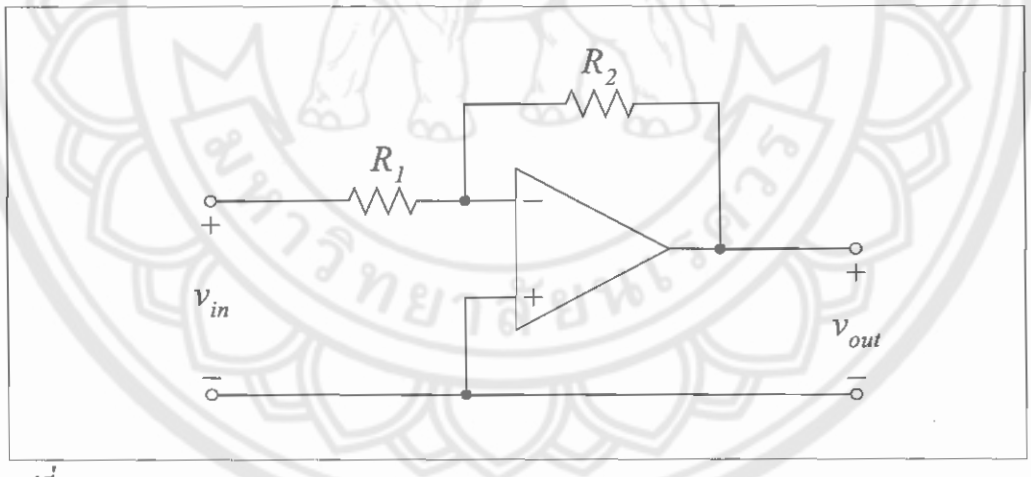
ที่ 1 และ 5 ของออปแอมป์จะต่อกับออฟเซตนัลล์ (Offset Null) เพื่อใช้ในการผลิตแรงดัน 0 V ที่ขั้วขาออกในกรณีที่ขั้วขาเข้าทั้งสองถูกป้อนด้วยแรงดันค่าเดียวกัน

โดยทั่วไปออปแอมป์จะถูกออกแบบให้รับแรงดันคู่ (Dual-Voltage) เพื่อใช้ไฟเลี้ยงแก่ออปแอมป์ ซึ่งอยู่ในย่านแรงดัน ±5 ถึง ±15 V โดยจ่ายไฟเลี้ยงบวกและลบเข้าที่ขา 4 และ 7 ของไอซีตามลำดับ

ในการนำออปแอมป์ไปใช้งานจริง แรงดันที่ขั้วขาเข้าทั้งสองจะมีแรงดันต่างกันเนื่องจากความไม่สมดุลภายในตัวออปแอมป์ ทำให้มีสัญญาณขาออกออกมา ถ้าออปแอมป์มีอัตราการขยายสูง แม้ผลต่างทางขาเข้าจะมีค่าไม่กี่ไมโครโวลต์ ก็จะทำให้เกิดสัญญาณขาออกหลายมิลลิโวลต์ ดังนั้นจะต้องปรับขาออฟเซตนัลล์หลังจากนำออปแอมป์ไปต่อเข้ากับวงจร โดยการต่อตัวต้านทานปรับค่าได้ 10 kΩ กับขาที่ 1 และขาที่ 5 และต่อขาที่ใช้ในการปรับของตัวต้านทาน (Wiper) กับแรงดันไฟลบ

เนื่องจากในทางปฏิบัติจะไม่ใช้อัตราขยายสูงมาก ดังนั้นจึงมีการป้อนกลับแบบลบ (Negative Fecdback) เพื่อลดอัตราการขยายและช่วยให้สามารถควบคุมอัตราการขยายตามต้องการได้ ตัวอย่างการนำออปแอมป์ไปประยุกต์ใช้งานโดยมีการป้อนกลับแบบลบมีหลากหลายรูปแบบ ในที่นี้จะขอกล่าวถึงวงจรที่เป็นที่รู้จักโดยทั่วไป 3 แบบ คือ วงจรอินเวอร์เตอร์ วงจร VCVS และวงจรตามแรงดัน

วงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter) แสดงได้ดังรูปที่ 3-3



รูปที่ 3-3 วงจร Inverter

อัตราการขยายแรงดัน (Voltage Gain , a_v) สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$a_v = \frac{v_{out}}{v_{in}} \tag{3-1}$$

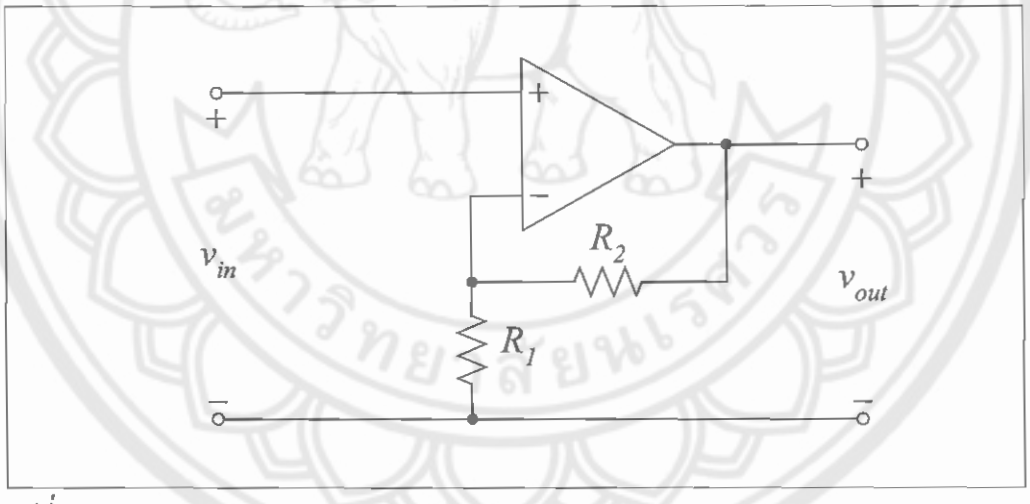
เมื่อประยุกต์ใช้กฎของเคอร์ชอฟฟ์กับวงจร Inverter ในรูปที่ 3-3 โดยพิจารณาคุณสมบัติของออปแอมป์ในอุดมคติ นั่นคือ ไม่มีความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วขาเข้าและอิมพีแดนซ์ขาเข้ามีค่าอนันต์จึงไม่มีกระแสไหลเข้าขั้วขาเข้าทั้งสอง จะได้

$$a_v = \frac{v_{out}}{v_{in}} = -\frac{R_2}{R_1} \tag{3-2}$$

$$v_{out} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot v_{in} \tag{3-3}$$

จากสมการ (3-3) จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าสัญญาณขาออกมีมุมเฟสแตกต่างจากสัญญาณขาเข้าเท่ากับ 180°

ออปแอมป์ซึ่งสามารถถูกนำไปสร้างเป็นแหล่งจ่ายแรงดันพึ่งพิง ประเภทที่ถูกควบคุมด้วยแรงดันขาเข้า เรียกว่า วงจร VCVS (Voltage controlled voltage source) ดังรูปที่ 3-4



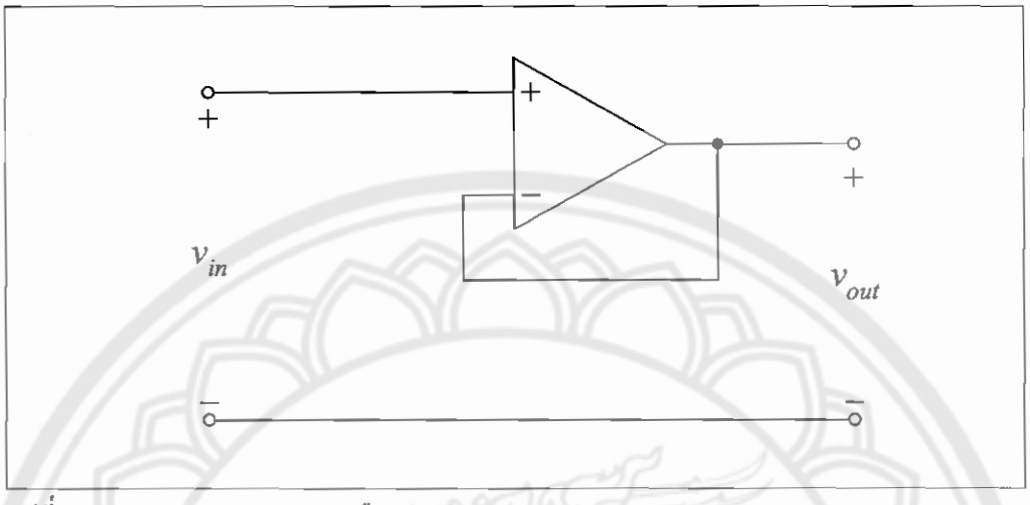
รูปที่ 3-4 วงจร VCVS

เมื่อประยุกต์ใช้กฎของเคอร์ชอฟฟ์กับวงจร VCVS ในรูปที่ 3-4 จะได้

$$a_v = \frac{v_{out}}{v_{in}} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \tag{3-4}$$

$$v_{out} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot v_{in} \tag{3-5}$$

จากวงจร VCVS ในรูปที่ 3-4 ถ้า $R_1 = \infty$ และ $R_2 = 0$ จะได้วงจรดังรูปที่ 3-5 ซึ่งเรียกว่าวงจร Buffer Amplifier หรือ Voltage Follower ซึ่งจะทำให้ได้รูปการต่อและอัตราการขยายเป็นดังนี้



รูปที่ 3-5 วงจร Buffer Amplifier หรือ Voltage Follower

จากรูปที่ 3-5 จะได้

$$a_v = \frac{v_{out}}{v_{in}} = 1 \tag{3-6}$$

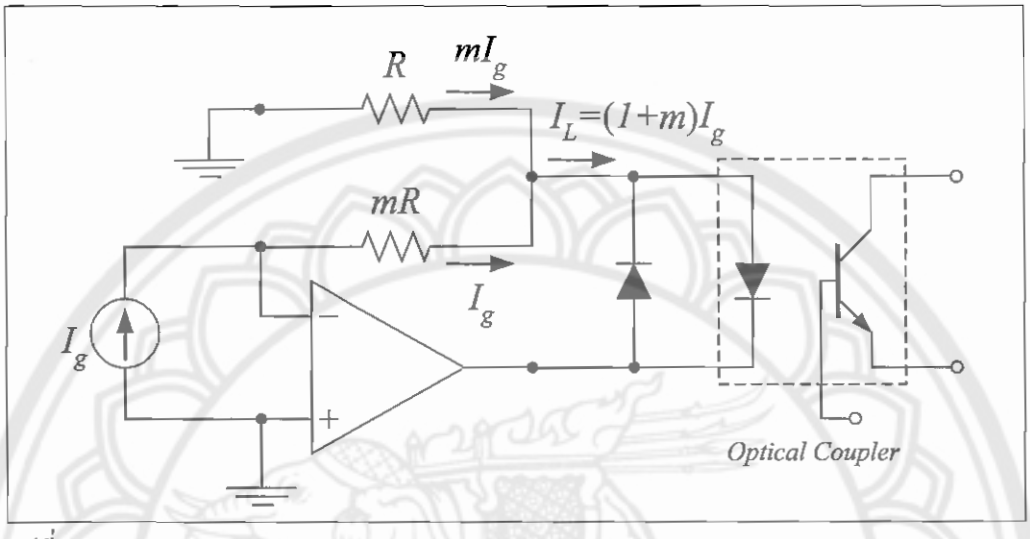
$$v_{out} = v_{in} \tag{3-7}$$

จากสมการที่ (3-5) จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าสัญญาณแรงดันขาออกมีขนาดและลักษณะเหมือนกับสัญญาณขาเข้าทุกประการ วงจรชนิดนี้มักถูกนำไปประยุกต์เมื่อต้องการทำให้วงจรขาเข้าและวงจรขาออก แยก (Isolate) จากกัน นั่นคือ แรงดันที่ขั้วขาเข้าและที่ขั้วขาออกมีค่าเท่ากัน แต่ไม่มีกระแสไหลระหว่างขั้วขาเข้าและขั้วขาออก

หลังจากที่ผู้ดำเนินโครงงานตัดสินใจเลือกเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ตรวจจับความเข้มแสงอาทิตย์ (ส่วนที่ 1 ของเครื่องวัดที่จะสร้าง) เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นเสมือนแหล่งจ่ายกระแส ดังนั้นสำหรับวงจรปรับเทียบ (ส่วนที่ 2 ของเครื่องวัดที่จะสร้าง) ผู้ดำเนินโครงงานจึงนำออปแอมป์มาประยุกต์ใช้เป็นวงจรขยายกระแส โดยมีรายละเอียดดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

3.4 วงจรขยายกระแส

วงจรขยายกระแส มีหน้าที่เปลี่ยนขนาดกระแสให้สูงขึ้น รูปที่ 3-6 แสดงวงจรขยายกระแส โดยมีออปแอมป์เป็นส่วนประกอบ [21] ลักษณะการทำงานสามารถอธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 3-6 วงจรขยายกระแส [21]

แหล่งจ่ายกระแส I_g ถูกต่อคร่อมขั้วขาเข้าของออปแอมป์ เนื่องจากไม่มีกระแสไหลเข้าขั้วขาเข้าของออปแอมป์ ดังนั้น ตัวต้านทาน mR จึงมีกระแสไหลผ่านเท่ากับ I_g ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมเท่ากับ $mR \cdot I_g$ (ตามกฎของโอห์ม)

เนื่องจากตัวต้านทาน mR ต่อขนานอยู่กับ R ทำให้แรงดันตกคร่อม R เท่ากับ $mR \cdot I_g$ ด้วย ดังนั้นจึงเกิดกระแสไหลผ่าน R เท่ากับ mI_g (ตามกฎของโอห์ม) ส่งผลให้เกิดกระแสภาระ I_L มีค่าเท่ากับ

$$I_L = I_g + mI_g$$

$$I_L = (1+m) \cdot I_g \qquad (3\text{-}8)$$

จากสมการที่ (3-8) จะเห็นว่า กระแสขาเข้าของวงจร I_g ถูกขยาย $(1+m)$ เท่าเพื่อให้กลายเป็น I_L ซึ่งอัตราการขยาย $(1+m)$ นี้สามารถกำหนดได้จากการเลือกค่า mR

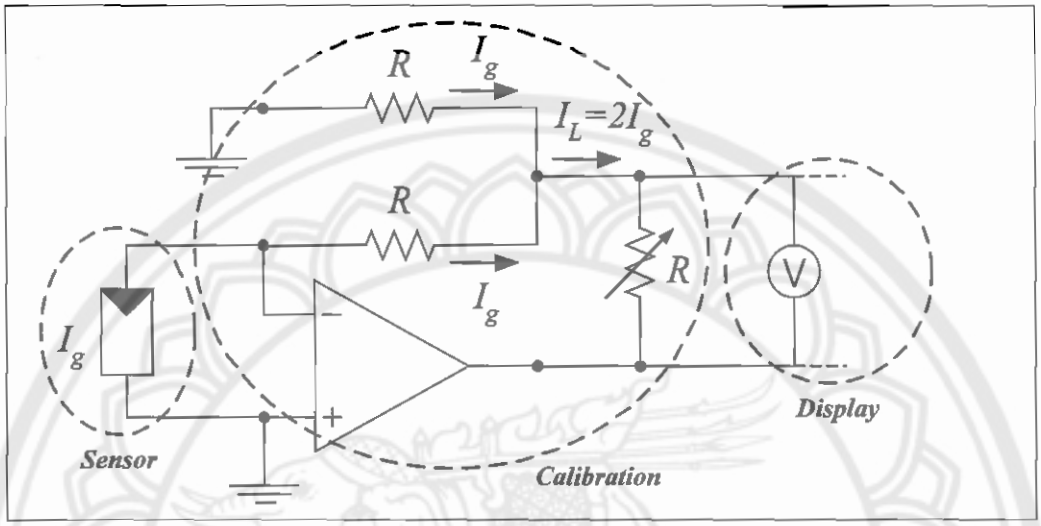
จากรูปที่ 3-6 ถ้า $R = 1\,k\Omega$ และ $mR = 99\,k\Omega$

นั่นคือ $mR = 99k$

จะได้ $m = \frac{99k}{R} = \frac{99k}{1k} = 99$

จาก $$I_L = (1+m)\cdot I_g$$
$$= (1+99)\times 100\mu = 10\,mA$$

จากหลักการของวงจรขยายดังกล่าว สามารถนำมาประกอบเป็นโครงสร้างของเครื่องวัดความเข้มแสงได้ดังรูปที่ 3-7



รูปที่ 3-7 วงจรของเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์

เปรียบเทียบกับรูปที่ 3-6

เลือก $$mR = R$$

จะได้ $$m = \frac{R}{R} = 1$$

จาก $$I_L = (1+m)\cdot I_g$$
$$= (1+1)\cdot I_g = 2I_g$$

นั่นคือ วงจรขยายกระแสที่ใช้ในโครงงานมีอัตราการขยายเท่ากับ 2

ในทางปฏิบัติ ผู้ใช้สามารถเลือกย่านอัตราการขยายที่แตกต่างกันได้ แต่เมื่อพิจารณาถึงค่าความคลาดเคลื่อนอันเกิดจากความไม่สมบูรณ์ รวมทั้งความไม่เป็นเชิงเส้นของเส้นโค้งคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับความเข้มแสงอาทิตย์ จึงเลือกย่านอัตราการขยายต่ำ เพื่อมิให้ค่าความคลาดเคลื่อนถูกขยายออกมามาก จากนั้นให้กระแสไหลผ่านตัวต้านทานปรับค่า เกิดแรงดันตกคร่อม ซึ่งค่าแรงดันที่ได้นี้จะถูกนำไปแสดงผลต่อไป

ส่วนแสดงผล (ส่วนที่ 3 ของเครื่องวัด) จะแสดงผลออกมาเป็นดิจิตอล ซึ่งผู้ดำเนินโครงงานได้เลือกใช้ชุดอุปกรณ์วัดแรงดันสำเร็จรูป (ชุด Kid) เพื่อวัดค่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานปรับค่า อุปกรณ์วัดแรงดันสำเร็จรูป สามารถปรับเลือกย่านของแรงดันที่จะแสดงค่าได้ตั้งแต่ ×1 ถึง ×1000 ผู้ดำเนินโครงงานได้ปรับตั้งไว้ที่ย่าน ×100 โดยขณะทดสอบเครื่องวัดที่สร้างขึ้น ตัวต้านทานปรับค่าจะถูกปรับตั้งค่าไว้ที่ค่า ๆ หนึ่งที่ทำให้ค่าที่แสดงผลสอดคล้องกับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัด