บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โครงงานชุดตรวจสอบความปลอดภัยของเครื่องทำน้ำอุ่นเป็นโครงงานที่เกี่ยวข้องกับ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ และยังมีวัสดุอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ในส่วนของเนื้อหาทฤษฎีจึงมีหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 การต่อลงดิน

2.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

2.3 วงจรขยายสัญญาณโดย ออปแอมป์

2.1 การต่อลงดิน [1]

การต่อลงดิน หมายถึง การนำตัวนำในวงจรบางส่วนต่อลงดินที่พื้นโลก หรือต่อเข้ากับจุดต่อลงดินซึ่งทำเพื่อใช้อ้างอิงเป็นจุดต่อลงดินของระบบไฟฟ้า วัตถุประสงค์ของการต่อลงดินในระบบใดๆ มักเป็นไปตามข้อใดข้อหนึ่งหรือหลายข้อต่อไปนี้ และไม่ว่าการต่อลงดินจะทำเพื่อวัตถุประสงค์ใดก็ตาม ก็จะต้องมีความปลอดภัยเป็นพื้นฐานสำคัญอยู่เสมอ

ก. เพื่อความปลอดภัย

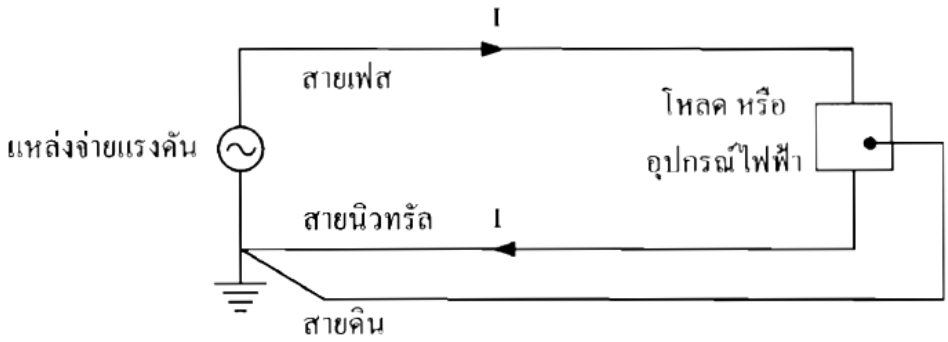
ข. เพื่อให้อุปกรณ์ป้องกันทำงานเมื่อเกิดการลัดวงจรลงดิน

ค. เพื่อให้มีคุณภาพไฟฟ้า

ง. เพื่อให้เกิดความประหยัด

2.1.1 การต่อลงดินของอุปกรณ์

ที่กล่าวมาตั้งแต่ต้นเกี่ยวกับการต่อลงดินมักเป็นการต่อลงดินของระบบ ส่วนการต่อลงดินของอุปกรณ์เพื่อให้เกิดความปลอดภัยจะได้กล่าวไว้ในที่นี้เพราะเป็นพื้นฐานการต่อลงดินที่ควร ทำความเข้าใจ พิจารณา ภาพที่ 2.1 มีสายสามเส้นจากแหล่งจ่ายไฟมาที่โหลด คื อ สายเฟส สายนิวทรัล และสายดิน



ภาพที่ 2.1 การต่อลงดินของอุปกรณ์

2.1.2 การต่อลงดินที่แผงไฟฟ้าประธาน

การต่อลงดินที่แผงไฟฟ้าประธานหนึ่งชุด

การต่อลงดินที่แผงประธานดังแสดงใน ภาพที่ 2.2 คือ เดินสายเฟสและนิวทรัล (N) จากหม้อแปลงมาที่แผงไฟฟ้าประธานโดยไม่ต้องเดินสายดินมา และภายในแผงไฟฟ้าประธานให้สาร้างขั้วต่อลงดิน (G) ขึ้นมา และให้ขั้ว N และ G ต่อถึงกันดังแสดงในรูป จากนั้นจึงต่อไปยังแท่งหลังดิน ซึ่งจะมีเฉพาะที่แผงไฟฟ้าประธานเท่านั้นที่มีการต่อถึงกันระหว่างจุด นิวทรัลและจุดต่อลงดิน และไม่ว่าที่ใดภายในอาคารนั้นจะไม่มีการต่อถึงกันระหว่างขั้ว N และ G อีก มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย ระบุว่า สายที่ต่อระหว่างขั้ว G กับแท่งหลักดินต้องเป็นสายหุ้มฉนวนยาวตลอดโดยไม่มีการตัดต่อ และขนาดสายให้เป็นไปตาม ตารางที่ 4-1 ในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า ฯ โดยทั้งนี้ไม่จำเป็นต้องมีขนาดใหญ่กว่า 95 ตารางมิลลิเมตร เหตุผลที่กำหนดให้สายต่อหลักดินจากดินขึ้นมา จะถูกจำกัดขนาดด้วยความต้านทานดิน แต่ถ้าหากใช้ระบบรากสายดินเป็นแบบฐานรากโครงสร้างขนาดสายดังกล่าวก็ต้องเป็นไปตามตารางที่ 4-2 ในมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าฯ

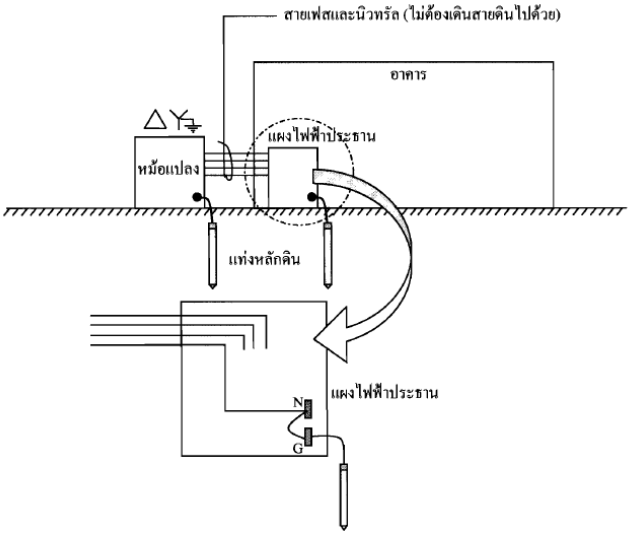
สรุปได้ว่าการต่อลงดินที่แผงไฟประธานที่ถูกต้องนั้นต้องดำเนินการดังนี้

ก. เดินสายเฟสและสายนิวทรัลจากหม้อแปลงมายังแผงไฟประธาน โดยไม่ต้องเดินสายดินมาด้วย

ข. ที่แผงไฟฟ้าประธานให้สร้างขั้ว G และให้มีการต่อถึงกันระหว่าง N กับ G

ค. ให้มีการต่อลงดินที่แท่งหลักดินซึ่งสร้างขึ้นมาต่างหากอีก ที่ขั้ว N กับ G

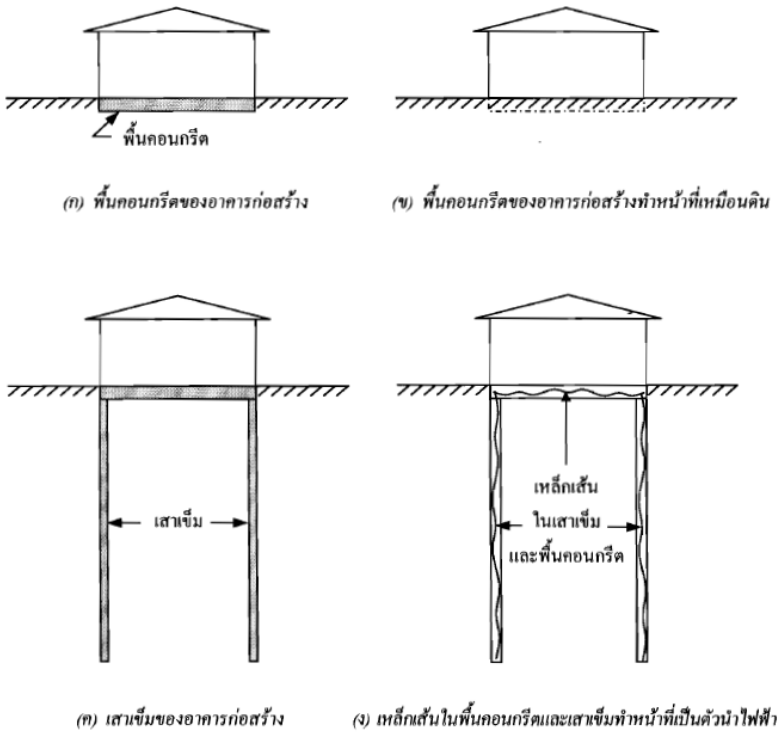
ง. ขนาดสายต่อหลักดินไม่จำเป็นต้องใหญ่กว่า 95 ตารางมิลลิเมตร สำหรับระบบรากสายดินแบบที่สัมผัสกับดินโดยตรง เช่น แบบแท่งหลักดิน



ภาพที่ 2.2 การต่อลงดินที่แผงไฟประธาน

2.1.3 คอนกรีตมีผลอย่างไรต่อระบบการต่อลงดิน

ได้มีการค้นคว้าวิจัยเรื่องคุณสมบัติทางไฟฟ้าของคอนกรีตโดยหาทั้งความนำ ความต้านทานจำเพาะ ปรากฏว่าความต้านทานจำเพาะของคอนกรีตที่มีส่วนผสมแตกต่างกันและมีความชื้นต่างกันนั้นมีค่าความต้านทานจำเพาะอยู่ระหว่าง 30 – 150 โอห์ม-เมตร และสามารถสรุปได้ว่า คอนกรีตทำหน้าที่เหมือนดินทุกประการโดยมีความต้านทานจำเพาะเฉลี่ยของคอนกรีต 100 โอห์ม-เมตร



ภาพที่ 2.3 พื้นคอนกรีตและเสาเข็มเพื่อใช้กับงานต่อลงดินในระบบไฟฟ้า

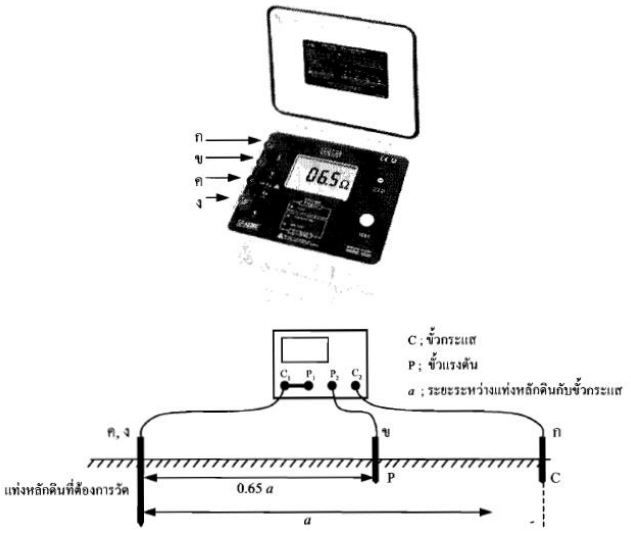
ตารางที่ 2.1 ความต้านทานจำเพาะของพื้นผิว

ชนิดดิน	ความต้านทานจำเพาะเฉลี่ย (โอห์ม-เมตร)
ดินอินทรีย์เปียก	10
ดินชื้น	100
ดินแห้ง	1,000
หิน	10,000

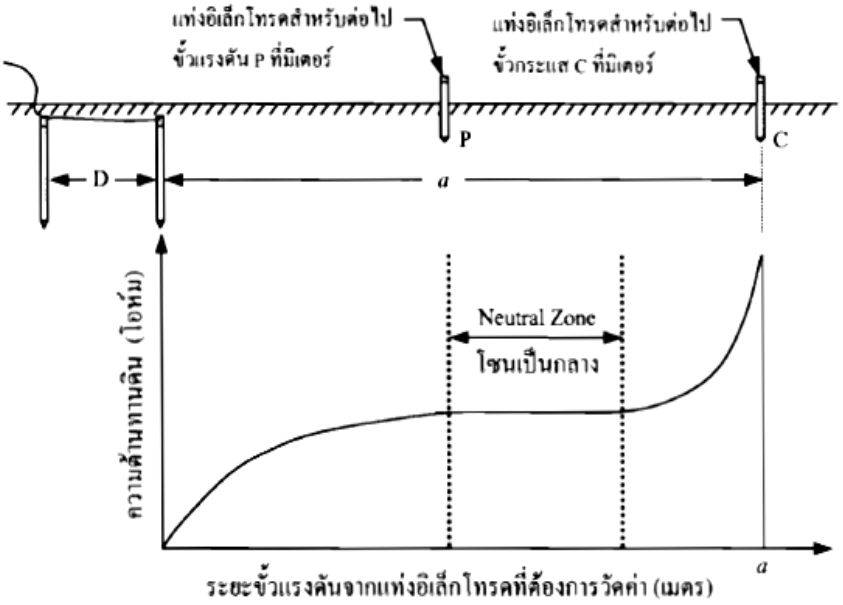
<u>หมายเหตุ</u> อ้างอิงจาก IEEE-80 Guide for Safety in AC Substation Grounding

2.1.4 การวัดความต้านทานดิน

การวัดความต้านทานดินมีหลายวิธี แต่ละวิธีก็มีความถูกต้องแตกต่างกันไป ความถูกต้องของการวัดขึ้นกับขนาดกระแส ถ้าต้องการวัดความต้านทานดินสูงมากกว่า 1,000 โอห์ม-เมตร ก็ต้องเพิ่มวิธีการเพื่อเพิ่มขนาดกระแสให้สูงขึ้น ภาพที่ 2.4 แสดงวิธีการวัดความต้านทานดินแบบสามขั้ว ซึ่งมิเตอร์ในรูปเป็นมิเตอร์ที่ใช้วัดได้ทั้งการหาความต้านทานจำเพาะแบบสี่ขั้วหรือการวัดหาความต้านทานดินของอิเล็กโทรดแบบสามขั้ว โดยขั้ว ก . และ ง. เป็นขั้วกระแส ส่วนขั้ว ข . และ ค. เป็นขั้วแรงดัน ถ้าต้องการวัดความต้านทานดินแบบสามขั้วก็ให้ต่อขั้ว ค . และ ง. เข้าด้วยกันเพื่อไปต่อกับแท่งหลักดินหรืออิเล็กโทรดที่ต้องการวัดค่า การวัดความต้านทานดินแบบสามขั้วได้แสดงไว้ใน ภาพที่ 2.4 โดยให้วางขั้วแรงดัน P ห่างจากแท่งหลักดินที่ต้องการวัดประมาณ 65% ของระยะระหว่างขั้วกระแสและแท่งหลักดิน a คือ 0.65 เท่าของระยะทาง a ในกรณีที่ต้องการวัดความต้านทานของการต่อลงดินทั้งระบบ ระยะ a ต้องมีค่ามากกว่าสิบเท่าของระยะห่างของอิเล็กโทรดจึงจะได้ค่าการวัดที่ถูกต้องมากขึ้น ระยะขั้วแรงดัน P ที่กำหนดไว้ให้เป็นประมาณ 65% ของระยะ a สั้น สามารถทดสอบได้โดยให้เลื่อนขั้วแรงดัน P ไปมาระหว่างระยะ a จนกระทั่งความต้านทานดินที่อ่านได้จากเครื่องไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานดินและระยะขั้วแรงดันจากแท่งหลักดินดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.4 การวัดความต้านทานดินแบบสามขั้ว



ภาพที่ 2.5 ลักษณะความต้านทานดินของอิเล็กโทรดเมื่อมีการเลื่อนขั้วแรงดัน P

2.1.5 ผลของขนาดกระแสรั่วไหล

ผลของขนาดกระแสที่ไหลผ่านร่างกายมนุษย์ตามขนาดกระแสที่เพิ่มขึ้น คือ รู้สึกถึงไฟดูด กล้ามเนื้อเกร็ง ไม่รู้สึกตัว หัวใจไม่ทำงาน ระบบประสาทควบคุมการหายใจไม่ทำงาน และการเผาไหม้ ตามลำดับ ซึ่งระดับของกระแสที่พิจารณามีตั้งแต่ กระแสเริ่มรับรู้ (Threshold of Perception) กระแสปลดปล่อยได้ (Let-go Current) กระแสที่ทำให้กล้ามเนื้อเกร็ง (Muscular Contraction) และกระแสที่ทำให้หัวใจไม่ทำงาน (Ventricular Fibrillation) การเสียชีวิตที่ระดับแรงดันต่ำ เช่น 120/240 โวลต์ เชื่อว่าเกิดจากอาการกล้ามเนื้อหัวใจเกร็ งโดยขึ้นอยู่กับชนิดของการสัม ผัสทางไฟฟ้าและระดับกระแสที่สร้างขึ้นจากแรงดัน

ตารางที่ 2.2 ผลของร่างกายที่มีต่อขนาดกระแสไฟฟ้าตรงและไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 60 เฮริตซ์

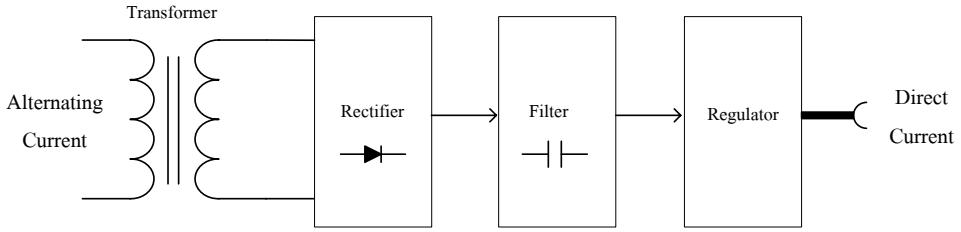
ผลที่เกิดขึ้น	กระแสตรง (mA)		กระแสสลับ (mA)	
	ชาย	หญิง	ชาย	หญิง
ไม่มีความรู้สึก	1	0.6	0.4	0.3
รับรู้ว่ามีกระแสไหลผ่าน	5.2	3.5	1.1	0.7
ช็อค – ไม่เจ็บปวดและยังควบคุมกล้ามเนื้อได้	9	6	1.8	1.2
ช็อค – เจ็บปวดและยังควบคุมกล้ามเนื้อได้	62	41	9	6
ช็อค – เจ็บปวดแต่ยังปลดออกจากไฟได้	76	51	16	10.5
ช็อค – เจ็บปวดรุนแรงและเกิดการเกร็งของกล้ามเนื้อ และหายใจลำบากขึ้น	90	60	23	15

2.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง [2]

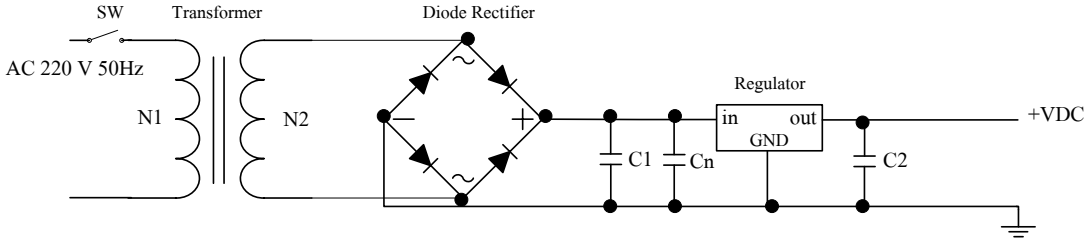
2.2.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

ส่วนประกอบหลักของวงแหล่งจ่ายไฟ ได้แก่

- หม้อแปลงลดแรงดัน (Transformer)
- ส่วนเร็กติไฟเออร์ (Rectifier)
- ส่วนกรองแรงดัน (Filter)
- ส่วนควบคุมแรงดันคงที่ (Regulator)



(ก) บล็อกไดอะแกรมพื้นฐานของแหล่งจ่ายไฟ



(ข) วงจรแหล่งจ่ายไฟพื้นฐาน

ภาพที่ 2.6 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

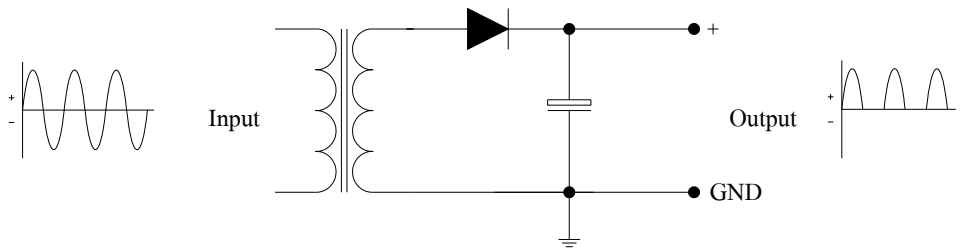
จากภาพที่ 2.6 (ข) สามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้ หม้อแปลงจะทำหน้าที่ลดแรงดันจากไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 V_{AC} ให้เหลือแรงดันตามอัตราส่วนของจำนวนขดลวด แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทางขดทุติยภูมิของหม้อแปลงจะถูกป้อนเข้าวงจรเร็กติไฟเออร์ เพื่อเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่หลักในส่วนนี้คือ ไดโอดเร็กติไฟเออร์ หลังจากนั้นจะผ่านวงจรกรองแรงดันเพื่อให้ได้ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีความเรียบของสัญญาณมากขึ้น โดยใช้ตัวเก็บประจุเป็นอุปกรณ์หลัก ซึ่งถ้าต้องการให้ค่าแรงดัน Ripple ต่ำต้องใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่ามาก ดังนั้นจึงใช้ตัวเก็บประจุหนึ่งตัว (Cn) หรือมากกว่า มาต่อขนานเพื่อให้ค่าความจุมากขึ้น จากนั้นไฟฟ้ากระแสตรงที่ยังมีค่าไม่คง ที่และเป็นแรงดันที่เรายังไม่ต้องการจะถูกป้อนเข้าวงจรเรกูเลเตอร์ที่มักจะใช้ซีเนอร์ไดโอดหรือไอซีเรกูเลเตอร์เป็นตัวควบคุมให้แรงดันไฟฟ้าตรงเอาท์พุตตามที่เราต้องการและคงที่มากขึ้น

2.2.2 วงจรเรียงกระแส

วงจรเรียงกระแสเป็นวงจรที่ทำการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งมีทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า 2 ทิศทาง ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง นั่นคือ ทำให้การไหลของกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นในทิศทางเดียว สำหรับวงจรเรียงกระแสสามารถแบ่งออกได้ 3 แบบ ดังนี้

ก. วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

การสร้างวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นทำได้โดยการต่อไดโอดให้อยู่ระหว่างหม้อแปลงไฟฟ้าและโหลด สำหรับช่วงของครึ่งบวกของแรงดันไฟฟ้าจากด้านทุติยภูมิจะทำให้ขั้วอาโนดของไดโอดได้รับแรงดันไฟฟ้าเป็นบวก ดังนั้นไดโอดจึงอยู่ในสภาวะ ON ในกรณีนี้ไดโอดจะเป็นตัวทำให้ช่วงครึ่งบวกของแรงดันไฟฟ้าจากด้านทุติยภูมิไปปรากฏคร่อมที่โหลด ส่วนในช่วงซีกลบของแรงดัน จากด้านทุติยภูมิ จะทำให้ขั้วของอาโนดของไดโอดได้รับแรงดันไฟฟ้าที่เป็นลบ ดังนั้นไดโอดจึงอยู่ในสภาวะ OFF ซึ่งในกรณีนี้จะไม่มีกระแสไหลผ่านไดโอด ส่งผลให้ไม่มีแรงดันไฟฟ้าไปปรากฏคร่อมที่โหลด

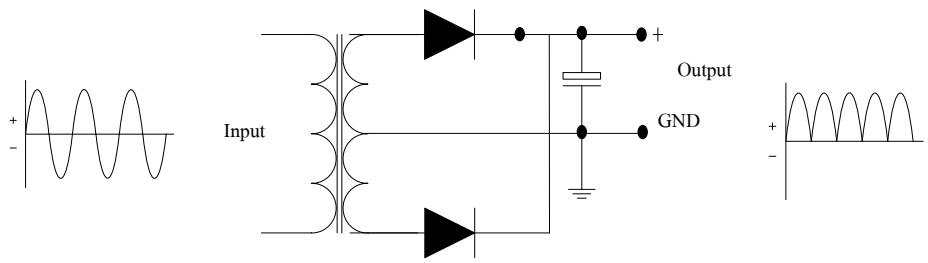


ภาพที่ 2.7 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

ข. วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

เนื่องจากการกรองสัญญาณเอาท์พุตที่ได้จากวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่มีระดับแรงดันไฟฟ้าที่เรียบขึ้นนั้นทำได้ยาก ทั้งนี้เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ส่งผ่านไปยังโหลดเป็นเพียงครึ่งหนึ่งของแต่ละสัญญาณอินพุตเท่านั้น ดังนั้น ในส่วนนี้จะเป็นการทำความรู้จักกับวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น ซึ่งใช้ไดโอด 2 ตัว ในการที่จะส่งผ่านช่วงครึ่งคลื่นของสัญญาณทั้งสองไปยังโหลด โดยให้ไหลผ่านไปในทิศทางเดียวกัน

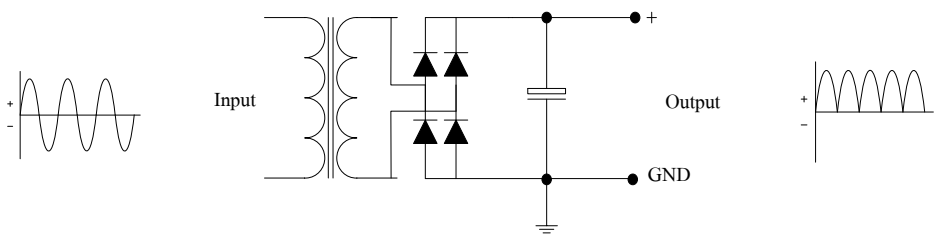
วงจรเรียงกระแสแบบเซ็นเตอร์แท็ป ซึ่งประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดที่มีเซ็นเตอร์แท็ป และไดโอด 2 ตัว โดยส่วนที่เป็นเซ็นเตอร์แท็ปของขดลวดทุติยภูมิจะ ต่อลงกราวด์เพื่อให้เกิดความต่างเฟสกันถึง 180 องศา ระหว่างสัญญาณที่ออกมาจากส่วนบนและส่วนล่างของขดลวดทุติยภูมิเมื่อสัญญาณอินพุติที่ป้อนเข้ามาอยู่ในช่วงครึ่งบวกการทำงานของวงจร โดยสัญญาณแรงดันไฟบวกที่ปรากฏส่วนบนของขดลวดทุติยภูมิจะมีผลทำให้ไดโอดอยู่ในสภาวะ ON ในขณะที่แรงดันไฟลบจะไปปรากฏที่ส่วนล่างของขดลวดทุติยภูมิจะอยู่ในสภาวะ OFF การทำงานของวงจรในลักษณะนี้จะทำให้กระแสอิเล็กตรอนไหลจากเซ็นเตอร์แท็ปไปยังโหลด ดังนั้นการทำงานของไดโอดจำนวน 2 ตัว และหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดที่มีเซ็นเตอร์แท็ปจะเป็นการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับที่มีทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า 2 ทิศทางให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่มีการไหลของทิศทางกระแสไฟฟ้าทิศทางเดียวและแรงดันเอาท์พุตที่ปรากฏคร่อมโหลดจะมีสถานะขั้วไฟเหมือนกันด้วย



ภาพที่ 2.8 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

ค. วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

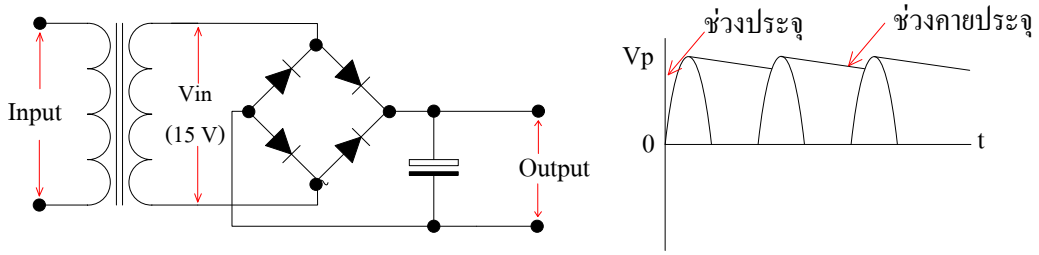
วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ โดยการทำงานของวงจรเมื่อได้รับสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาอยู่ในช่วงครึ่งคลื่นบวก การทำงานของวงจร โดยสัญญาณแรงดันไฟบวกที่ป้อนเข้ามาส่วนบนของวงจรบริดจ์จะส่งผลทำ ให้ไดโอดอยู่ในสภาวะ ON จึงทำให้อิเล็กตรอนจากส่วนล่างของวงจรบริดจ์ซึ่งเป็นแรงดันไฟลบไหลผ่านโหลด



ภาพที่ 2.9 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

2.2.3 วงจรกรองแรงดัน (Voltage Filter Circuit)

ที่ใช้ในแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงมีหน้าที่เปลี่ยนแปลงแรงดันเอาท์พุตที่เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากวงจรเรียงกระแสทั้งแบบครึ่งคลื่นและแบบเต็มคลื่น ซึ่งจะมีการเพิ่มให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เรียบมากขึ้น วงจรกรองแรงดันโดยใช้ตัวเก็บประจุโดยเมื่อแรงดันอินพุตอยู่ในครึ่งคลื่นบวกจะทำให้ไดโอดอยู่ในสภาวะ ON และตัวเก็บประจุก็จะเริ่มเก็บประจุ ซึ่งช่วงเวลาของการเก็บประจุของตัวเก็บประจุนั้นจะสั้น ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีค่าความต้านทานในเส้นทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในระหว่างการชาร์จประจุนี้มีเพียงแต่ค่าความต้านทานภายในสายไฟที่ใช้ต่อในวงจรเท่านั้น ซึ่งในกรณีช่วงเวลาของการคายประจุจะนานกว่าช่วงเวลาของเก็บประจุ ทั้งนี้เนื่องจากมีค่าความต้านทานของโหลดต่ออยู่ในวงจรนั่นเองการลดลงของความชันของรูปคลื่นสัญญาณเป็นการลดลงของแรงดันไฟฟ้าที่ปรากฏคร่อมตัวเก็บประจุและจากการที่มีโหลดต่อขนานอยู่กับตัวเก็บประจุ ดังนั้น แรงดันเอาท์พุตที่ปรากฏคร่อมโหลดก็จะมีขนาดลดลงด้วย ซึ่งการลดลงของแรงดันเอาท์พุตนี้เกิดจากการคายประจุของตัวเก็บประจุ แต่เมื่อมีแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับและวงจรของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อให้ได้ค่าที่เรียบจนเกือบจะคงที่ นั่นคือ มีการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าสูงหรือต่ำกว่าค่าเฉลี่ยเพียงเล็กน้อยหรือที่เรียกว่า ริปเปิ้ล

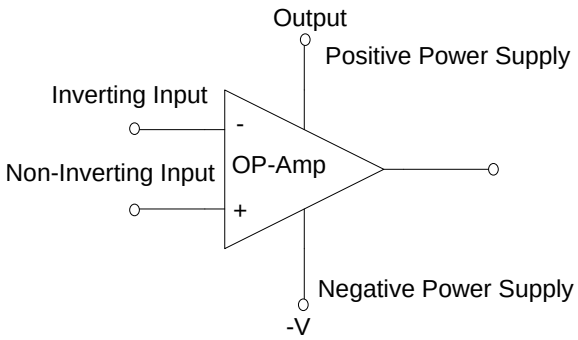


(ก) วงจร (ข) สัญญาณ

ภาพที่ 2.10 วงจรกรองแรงดัน

2.3 วงจรขยายสัญญาณโดย ออปแอมป์ [3]

ออปแอมป์ (Operational Amplifier or Op-Amp) ออปแอมป์เป็นไอซีแบบหนึ่งของตระกูลไอซีแบบลิเนียร์ที่ทำหน้าที่ได้สารพัดประโยชน์ แต่โดย พื้นฐานแล้วออปแอมป์ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อขยายสัญญาณ ออปแอมป์จะขยายความแตกต่างระหว่างแรงเคลื่อน หรือสัญญาณ (AC หรือ DC) ที่ป้อนเข้าที่อินพุตทั้งสอง แรงเคลื่อนหรือสัญญาณที่ต้อง การจะขยายสามารถป้อนเข้าทางอินพุตใดอินพุตหนึ่งหรือทั้งสองอินพุตก็ได้ สัญลักษณ์และชื่อขาใช้งา นพื้นฐานของออปแอมป์แสดงได้ดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.11 สัญลักษณ์และชื่อขาใช้งานพื้นฐานของออปแอมป์

ออปแอมป์มีขาใช้งานพื้นฐานอยู่ 3 ประเภทคือ

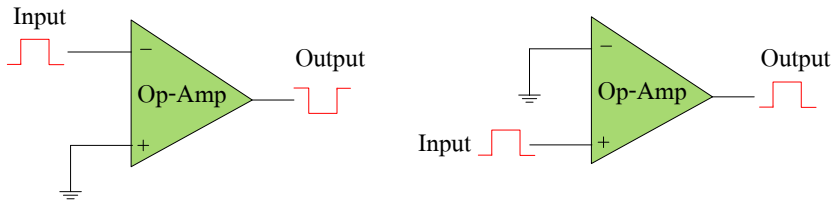
1. ขาอินพุต 2 ขาคือ ขาอินพุตกลับเฟส (Inverting Input) และขาอินพุตไม่กลับเฟส (Non-Inverting Input)
2. ขาเอาต์พุต 1 ขา
3. ขาต่อไฟเลี้ยง

2.3.1 คุณสมบัติในทางอุดมคติของออปแอมป์

- มีอัตราการขยายแรงดันเป็นอนันต์
- มีค่าความต้านทานทางด้านอินพุตเป็นอนันต์ กระแสอินพุตมีค่าเท่ากับศูนย์
- มีค่าความต้านทานทางด้านเอาท์พุตเป็นศูนย์
- สามารถตอบสนองความถี่ได้ตั้งแต่ระดับไฟตรงไปจนถึงความถี่ที่มีค่าเป็นอนันต์

2.3.2 การทำงานของออปแอมป์

ในตัวออปแอมป์ประกอบด้วยสองอินพุต คือ กลับทาง (Inverting) และไม่กลับทาง (Non-inverting) กลับทางคือ - และไม่กลับทางคือ +



(ก) แบบกลับทาง (ข) แบบไม่กลับทาง

ภาพที่ 2.12 ลักษณะการทำงานของออปแอมป์แบบกลับทางและแบบไม่กลับทาง

2.3.3 การป้อนกลับ (Feedback)

การป้อนกลับหมายถึงการนำแรงเคลื่อนหรือสัญญาณบางส่วนจากเอาท์พุตของออปแอมป์มาป้อนให้ทางอินพุต การป้อนกลับมีสองแบบคือ

ก. การป้อนกลับแบบบวก (Positive Feedback) คือการนำเอาสัญญาณบางส่วนจากเอาท์พุตมาป้อนกลับให้อินพุตแล้วทำให้ขนาดของเอาท์พุตมีค่ามากกว่าเดิม (ขณะที่ไม่มีการป้อนกลับ) ได้แก่ วงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator circuit)

ข. การป้อนกลับแบบลบ (Negative Feedback) คือลักษณะการทำงานที่ตรงกันข้ามกับการป้อนกลับแบบบวก คือขนาดของเอาท์พุตมีค่าลดลงกว่าเดิม ได้แก่ วงจรขยายทั่ว ๆ ไป

สำหรับวงจรขยายของออปแอมป์โดยทั่ว ๆ ไป เมื่อไม่มีการป้อนกลับจะมีอัตราการขยาย (Gain) สูงมากในทางอุมคติคือมีอัตราการขยายเป็นอนันต์ สำหรับตัวของออปแอมป์เองก็ยากที่จะควบคุมให้ทำงาน (ขยาย) ตามที่ต้องการได้ ดั้งนั้นจึงจำเป็นต้องใช้วิธีการป้อนกลับมาช่วยแก้ไขเพื่อให้อัตราการขยายของออปแอมป์มีค่าลดลง และสามารถที่จะควบคุมได้

2.3.4 วงจรออปแอมป์พื้นฐาน

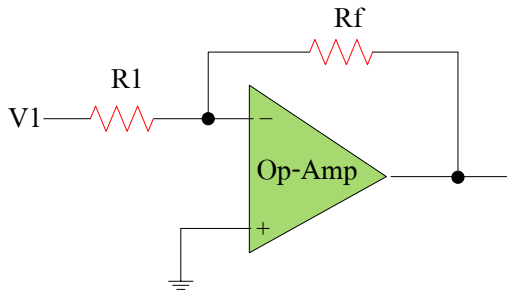
วงจรออปแอมป์พื้นฐานมีมากมายหลายวงจร มีทั้งวงจรที่ใช้กับไฟสลับและไฟตรง แต่ที่จะกล่าวถึงในที่นี้คือวงจรออปแอมป์พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงการนี้

ก. วงจรขยายกลับเฟส (Inverting Amplifier) วงจรขยายซึ่งมีอัตราการขยายคงที่และได้รับความนิยมมากแ บบหนึ่งคือ วงจรขยายกลับเฟสดัง ภาพที่ 2.16 และสามารถหาค่า V_o ได้

โดยการคูณ V_1 ด้วยอัตราส่วนของความต้านทานป้อนกลับ (R_f) ต่อความต้านทานอินพุต (R_1) ดังสมการต่อไปนี้

$$V_o = -\frac{R_f}{R_1}V_1 \qquad (2.1)$$

เครื่องหมายเป็นลบแสดงว่า สัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุตมีมุมต่างเฟสกัน 180 องศา



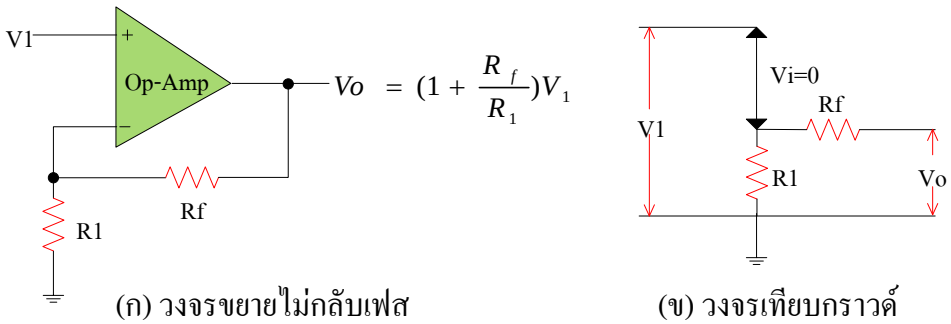
ภาพที่ 2.13 วงจรขยายกลับเฟส

ข. วงจรขยายไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier) วงจรขยายไม่กลับเฟสมีลักษณะตามภาพ 2.14 (ก) สามารถเขียนวงจรเทียบกราวด์เสมือนได้ดังภาพที่ 2.14 (ข) เนื่องจาก $V_i = 0$ จึงหาค่า V_1 ได้โดยใช้กฎการแบ่งแรงดันไฟฟ้าคือ

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_f}V_0 \qquad (2.2)$$

นอกจากนี้ยังสามารถหาได้จาก

$$\frac{V_0}{V_1} = \frac{R_1}{R_1 + R_f} = 1 + \frac{R_f}{R_1} \qquad (2.3)$$



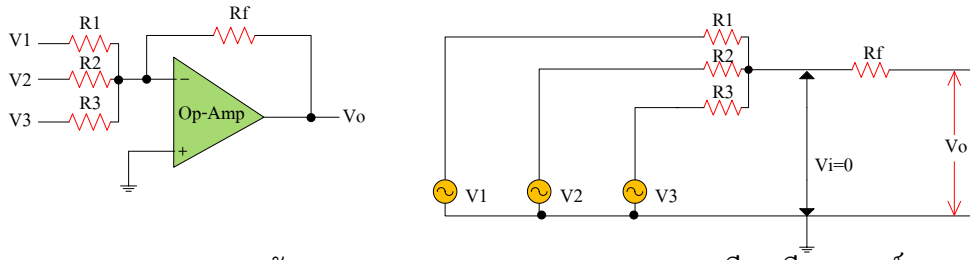
(ก) วงจรขยายไม่กลับเฟส (ข) วงจรเทียบกราวด์

ภาพที่ 2.14 วงจรขยายไม่กลับเฟส

ค. วงจรขยายรวมสัญญาณ (Summing Amplifier) วงจรขยายรวมสัญญาณคือวงจรขยายที่ให้ค่า V_0 เท่ากับผลรวมของอัตราขยายสัญญาณอินพุตดังภาพที่ 2.18

วงจรขยายรวมสัญญาณใน ภาพที่ 2.15 (ก) มีสัญญาณอินพุต 3 สัญญาณเขียนวงจ รเทียบเคียงกราวด์เสมือนได้ดัง ภาพที่ 2.15 (ข) ค่าแรงดันเอาต์พุตเกิดจากผลรวมของอัตราขยายสัญญาณอินพุตทั้งสาม ดังสมการ

$$V_0 = -(\frac{R_f}{R_1}V_1 + \frac{R_f}{R_2}V_2 + \frac{R_f}{R_3}V_3) \qquad (2.4)$$



(ก) วงจรขยายรวมสัญญาณ (ข) วงจรเทียบเคียงกราวด์

ภาพที่ 2.15 วงจรขยายรวมสัญญาณ

2.3.5 วงจรขยายในเครื่องมือวัด (Instrumentation Amplifier)

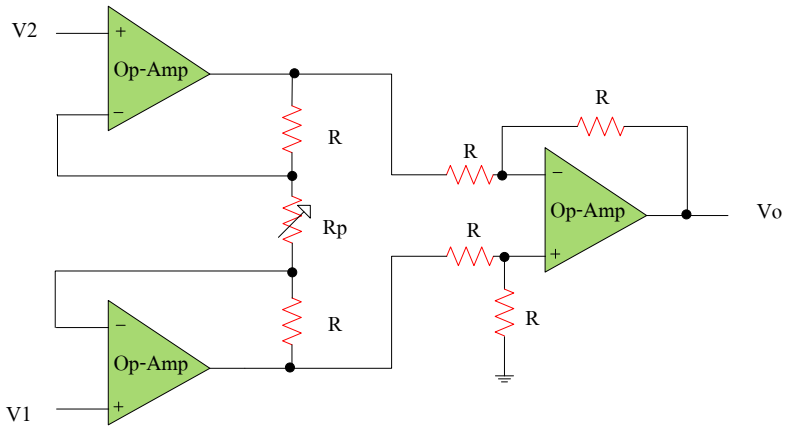
จากวงจรออปแอมป์พื้นฐานได้นำมาสู่วงจรขยายในเครื่องมือวัด วงจรขยายในเครื่องมือวัดเป็นวงจรขยายที่ได้รับความนิยมใช้กันมากในระบบการวัดและระบบควบคุม เพราะว่าสามารถปรับอัตราการขยายได้ ทั้งนี้เนื่องจากการวัดระบบหนึ่งอาจมีการเชื่อมต่อเพื่อรับสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณที่ต่างชนิดกัน ซึ่งสัญญาณที่ได้จากตัวตรวจจับสัญญาณหลายประเภทมักจะมีช่วงของระดับสัญญาณที่แตกต่างกันไป ดังนั้นการปรับอัตราการขยายได้จะทำให้ทุก ๆ ช่องสัญญาณถูกปรับให้เอาท์พุทมีระดับแรงดันที่เท่ากันทำให้สะดวกในการนำไปเชื่อมต่อกับวงจรอื่นต่อไป

ความต้านทานของโพเทนชิโอมีเตอร์หรือ R_p จะเป็นตัวปรับค่าตัวประกอบสเกล ดังนี้

$$\frac{V_0}{V_1 - V_2} = 1 + \frac{2R}{R_p} \qquad (2.5)$$

จะได้ค่าแรงดันเอาต์พุตดังนี้

$$V_0 = (1 + \frac{2R}{R_p})(V_1 - V_2) = k(V_1 - V_2) \qquad (2.6)$$



ภาพที่ 2.16 วงจรขยายอุปกรณ์วัดแบบปรับอัตราการขยายได้

คุณสมบัติที่ดีของวงจรขยายในเครื่องมือวัดดังกล่าว คือ

- ความต้านทานทางด้านอินพุทมีค่าสูงมาก และไม่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการขยาย ในขณะที่ออปแอมป์ธรรมดาจะเปลี่ยนแปลงเสมอ
- แรงดันเอาท์พุทที่ได้ไม่ขึ้นอยู่กับแรงดันคอมมอนที่มาจากทั้ง V1 และ V2 เลย แต่จะเป็นผลที่เกิดขึ้นกับค่าแรงดันดิฟเฟอร์เรนเชี่ยลระหว่าง V1 กับ V2 เท่านั้น
- มีอัตราการขยายรวมสูง ทำให้สามารถนำ ไปใช้กับสัญญาณอินพุทที่มีระดับต่างกันได้อย่างกว้างขวาง