



เครื่องตรวจสอบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลในเครื่องตัดจี้ไฟฟ้า

Electrical Safety Analyzer For Electrosurgical Units

นางสาววนิชญา นูมาศ

MISS VANICHAYA NUMAS

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน

ผศ. สวัสดิ์ ตันหนูช

ปริญญาานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Senior Project of Electrical Engineering

Faculty of Engineering Prince of Songkla University

2564

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ทบทวนวรรณกรรม.....	2
1.4 ขอบเขตโครงการ.....	2
1.5 แนวทางการดำเนินโครงการ.....	3
1.6 แผนการดำเนินโครงการ.....	5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 เครื่องตัดจี้ไฟฟ้า (Electrosurgical Units).....	6
2.2 อันตรายจากกระแสไฟฟ้า.....	7
2.3 มาตรฐานความปลอดภัยทางไฟฟ้าของเครื่องมือแพทย์.....	9
2.4 การเข้าสายที่แผงเมนสวิตช์.....	13
2.5 การต่อลงดิน.....	13
2.6 วงจรแหล่งจ่ายกระแสตรง.....	14
2.7 วงจรขยายในเครื่องมือวัด.....	18
บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ.....	20
3.1 การออกแบบระบบ.....	20
3.2 การจำลองการทำงานของระบบ.....	26
3.4 การสรุปผลการดำเนินงาน.....	30

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันเครื่องมือแพทย์ที่ได้มาตรฐานมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการช่วยรักษาผู้ป่วย ความปลอดภัยทางไฟฟ้านับเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงเป็นอย่างมากสำหรับเครื่องมือแพทย์ในโรงพยาบาลโดยเครื่องตัดจี้ไฟฟ้า (Electrosurgical) เป็นอีกหนึ่งเครื่องมือแพทย์ที่มีความเสี่ยงสูงและเป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดในแต่ละโรงพยาบาลเนื่องจากมีราคาที่สูงและถูกออกแบบมาให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน เมื่อสภาพเครื่องและวัสดุที่เป็นฉนวนมีการเสื่อมสภาพ ประกอบกับการใช้งานที่ไม่ได้คำนึงถึงระบบสายดินของเครื่อง ทำให้ค่ากระแสไฟฟ้ารั่วอาจมีค่าสูงตามขึ้นจนทำให้เกิดไฟฟ้าช็อต (Electrical Shock) ในระหว่างกระบวนการทางการแพทย์ จนอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถทำอันตรายต่อผู้ป่วยที่มารับบริการทางการแพทย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเกิดขึ้นกับผู้ป่วยซึ่งมีสภาวะร่างกายผิดปกติหรือในบางรายอยู่ในสภาวะวิกฤตย่อมมีโอกาสทำให้เกิดขึ้นรุนแรงกว่าคนปกติ รวมไปถึงการเกิดกระแสไฟฟ้ารั่วยังรบกวนกระบวนการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานเครื่องมือแพทย์อีกด้วย

การตรวจสอบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลนั้นเป็นส่วนหนึ่งของการบำรุงรักษาเครื่องมือแพทย์เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน มีวิธีการตรวจวัดด้วยกัน 2 วิธี คือ การใช้ไขควงวัดไฟฟ้าหรือโวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสรั่วไหล การใช้ไขควงเป็นเพียงแค่การตรวจสอบเบื้องต้นว่ามีกระแสรั่วไหลเท่านั้นไม่สามารถบ่งบอกปริมาณของกระแสที่รั่วไหลได้รวมไปถึงการใช้โวลต์มิเตอร์แม้เป็นวิธีที่ดีทำให้ทราบว่ามีความแรงดันไฟฟ้ารั่วไหลแต่ก็ยังไม่สะดวกในการใช้งานและไม่ทราบระดับอันตรายที่ชัดเจน และอีกวิธีคือการใช้เครื่องตรวจวัดวิเคราะห์กระแสไฟฟ้ารั่วไหล (Electrical Safety Analyzer) จะได้ผลการตรวจสอบที่ค่อนข้างแม่นยำแต่มีราคาที่สูงมากทำให้โรงพยาบาลส่วนใหญ่ที่มีงบประมาณจำกัดไม่สามารถจัดซื้อเครื่องมือชิ้นนี้ไว้ใช้ในโรงพยาบาลได้อย่างทั่วถึง

ทางผู้จัดทำจึงมีความประสงค์ที่จะทำโครงการพัฒนาชิ้นงานที่สามารถใช้ตรวจสอบกระแสรั่วไหลของเครื่องตัดจี้ไฟฟ้าและแสดงค่ากระแสไฟฟ้ารั่วไหลแก่ผู้ใช้งานได้ โดยเครื่องตรวจสอบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลสามารถวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแสดงแก่ผู้ใช้อย่างง่ายรวมถึงการส่งสัญญาณแจ้งเตือนไฟฟ้ามายังในกรณีที่กระแสไฟฟ้ารั่วไหลเกินมาตรฐานที่กำหนดได้ทันเวลาและยังสามารถตรวจสอบระบบสายดินและการเข้าสายให้ได้คุณภาพก่อนใช้งานเครื่องมือเพื่อความปลอดภัยแก่ผู้ป่วยหรือผู้ที่มาใช้บริการทางการแพทย์และเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานเครื่องตัดจี้ไฟฟ้า เพื่อลดการสูญเสียของชีวิตและทรัพย์สิน

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อออกแบบวงจรตรวจสอบกระแสรั่วไหลสำหรับวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแสดงผลแก่ผู้ใช้
- 1.2.2 เพื่อออกแบบอุปกรณ์ที่สามารถตรวจสอบการเข้าสายและระบบสายดินให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน
- 1.2.3 เพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสร้างเครื่องต้นแบบในการตรวจสอบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลและลำดับการต่อสาย

1.3 ทบทวนวรรณกรรม

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนา พบบางงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและสามารถนำมาปรับใช้กับการตรวจสอบกระแสรั่วไหลในเครื่องมือแพทย์ดังนี้

จักรินทร์ (2553) ได้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเครื่องตรวจสอบความปลอดภัยในการใช้เครื่องทำน้ำอุ่น จุดเด่นของโครงการนี้คือการออกแบบวงจรภายในเครื่องตรวจสอบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลในเครื่องทำน้ำอุ่น ออกเป็น 3 วงจร คือ วงจรตรวจสอบสายดิน วงจรตรวจสอบสายสลับระหว่างสายไลน์ (L) กับสายนิวตรอน (N) และวงจรตรวจสอบกระแสที่สามารถตรวจสอบการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้าในเครื่องทำน้ำอุ่น การแสดงผลการทำงานของวงจรแก่ผู้ใช้งาน จะมีการแสดงผลผ่านหลอด LED 4 ดวง โดยแบ่งออกเป็น 4 แบบ ได้แก่ ไฟสีเขียวแสดงสถานะการทำงานปกติ ไฟสีน้ำตาลแสดงสถานะการเข้าสายมีการสลับกัน ไฟสีน้ำเหลืองแสดงสถานะการผิดปกติที่สายดินหรือการไม่ได้เชื่อมต่อสายดิน และสุดท้ายคือไฟสีแดงแสดงสถานะการเกิดการลัดวงจรจากที่กล่าวมาข้างต้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบวงจรสำหรับใช้ในการตรวจสอบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลในเครื่องตัดจี้ไฟฟ้าได้ แต่งานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดคือวงจรจะการทำงานเมื่อมีกระแสรั่วไหลมากกว่า 400 mA ซึ่งสูงกว่าระดับที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานความปลอดภัยทางไฟฟ้าอยู่มาก รวมถึงการแสดงผลของชิ้นงานยังไม่สามารถแสดงค่ากระแสที่วัดได้และแสดงผลค่ากระแสไฟฟ้าที่รั่วไหลให้แก่ผู้ใช้งานได้

1.4 ขอบเขตของโครงการ

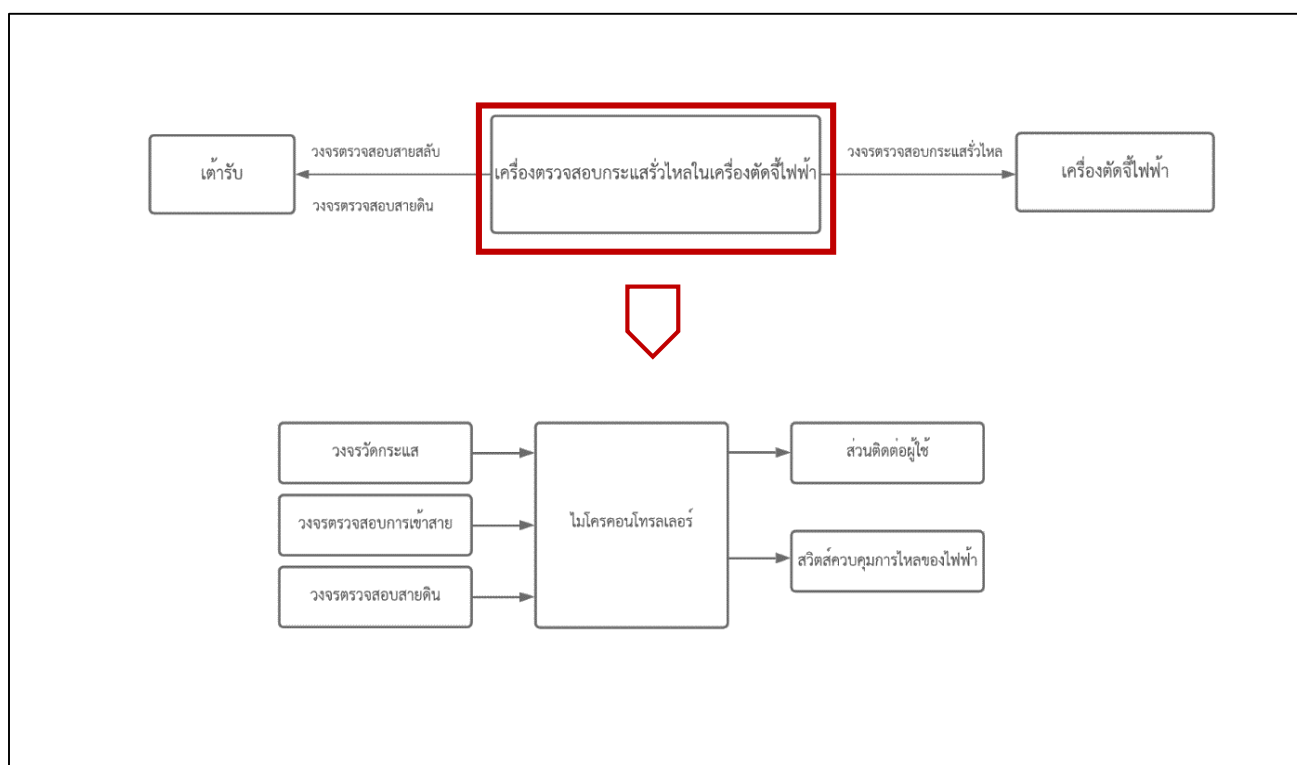
- 1.4.1 วงจรที่พัฒนาขึ้นจะถูกออกแบบสำหรับใช้ตรวจสอบการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้าในเครื่องตัดจี้ไฟฟ้าที่ใช้กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์
- 1.4.2 ใช้มาตรฐาน IEC 62353 ซึ่งเป็นเกณฑ์ในการตรวจสอบความปลอดภัยทางไฟฟ้าในเครื่องมือแพทย์ของกรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข เป็นเกณฑ์ในการออกแบบเครื่องตรวจสอบกระแสรั่วไหลในเครื่องตัดจี้ไฟฟ้า
- 1.4.3 สิ่งที่ตรวจสอบ คือ การตรวจสอบสายสลับ การตรวจระบบสายดิน และวัดค่ากระแสไฟฟ้ารั่วไหลขนาด 500 μ A

1.4.4 ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสร้างเครื่องต้นแบบในการตรวจสอบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลและลำดับการต่อสาย

1.5 แนวทางการดำเนินโครงการ

ในการทำโครงการครั้งนี้จะมีแนวทางการทำงานคือ ภายในตัวเครื่องตรวจสอบกระแสรั่วไหลในเครื่องตัดจี้ไฟฟ้าจะมีภาพรวมการทำงานของเครื่องอยู่ 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่

- 1.5.1 ส่วนของวงจรตรวจจับซึ่งมีทั้งหมด 3 วงจร ประกอบด้วย วงจรตรวจจับการเข้าสายที่สายไลน์(L) และสายนิวตรอน(N) ว่ามีการเข้าสายถูกต้องหรือไม่ และวงจรตรวจสอบสายดินอยู่สายดินเพื่อตรวจสอบว่าสายดินอยู่ในสภาพพร้อมใช้งานหรือไม่ และวงจรตรวจจับกระแสรั่วไหลภายในเครื่องตัดจี้ไฟฟ้า
- 1.5.2 ส่วนของการประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รับค่าจากวงจรตรวจสอบกระแสรั่วไหลจะเปรียบเทียบกับค่าที่ได้และควบคุมการสั่งตัดการทำงานเครื่องตรวจสอบกระแสรั่วไหลภายในเครื่องตัดจี้ไฟฟ้า
- 1.5.3 ส่วนแสดงผล โดยค่าที่จะแสดงผลแก่ผู้ใช้งาน ประกอบไปด้วยค่ากระแสภายในตัวเครื่องตัดจี้ไฟฟ้าและสถานะการเข้าสายไฟ



1.6 แผนการดำเนินโครงการและโครงสร้างการทำงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน								
	2564						2565		
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.เสนอหัวข้อโครงการ									
3.ศึกษาเกี่ยวกับความรู้พื้นฐานในการออกแบบวงจรไฟฟ้าที่ใช้สำหรับออกแบบเครื่องตรวจสอบกระแสรั่วไหลในเครื่องตัดจี้ไฟฟ้า									
จัดทำเอกสารในส่วนของบริษัทที่ 1 และ บริษัทที่ 2 ซึ่งเป็นภาคทฤษฎี									
ออกแบบวงจรไฟฟ้าและทดสอบลงในโปรแกรมและออกแบบซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับเครื่องตรวจสอบการรั่วไหลของกระแส									
ทำการทดสอบชิ้นงานและแก้ไข									
จัดทำเอกสารส่วนที่เหลือและรวมเป็นรูปเล่มฉบับสมบูรณ์									
นำเสนอผลการดำเนินงาน									

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและผู้ใช้ประโยชน์จากโครงการ

- 1.7.1 สามารถวัดค่ากระแสไฟฟ้าและตรวจสอบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลภายในเครื่องจี้ไฟฟ้าได้ รวมไปถึงการตรวจสอบการเข้าสายและระบบสายดินได้จริง
- 1.7.2 สามารถลดอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นจากการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้าในเครื่องตัดจี้ไฟฟ้า
- 1.7.3 สามารถลดงบประมาณในการจัดซื้อเครื่องตรวจวัดวิเคราะห์กระแสไฟฟ้ารั่วไหล (Electrical Safety Analyzer) ของโรงพยาบาลที่มีงบประมาณจำกัดได้

บทที่ 2 เอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

Electrical Safety Analyzer For Electrosurgical Units

2.1 เครื่องตัดจี้ไฟฟ้า (Electrosurgical Units)

2.1.1 หลักการทำงานทั่วไปของเครื่องตัดจี้ไฟฟ้าเบื้องต้น

เครื่องตัดจี้ด้วยไฟฟ้าจะปล่อยกระแสความถี่สูงไหลผ่าน Active Electrode ไปยังจุดที่ทำการผ่าตัด แล้วกระแสไฟฟ้าความถี่สูงนี้จะ spark ผ่านเนื้อเยื่อหรือจุดที่ทำการผ่าตัด แล้วกระจายผ่านร่างกายไปยังจุดต่างบน Plate Electrode เพื่อลดความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าตรงทางที่กระแสไฟฟ้าไหลออกจากร่างกาย (ลดความร้อนที่จะเกิดขึ้น) แล้วกลับไปครบวงจรที่เครื่องตัดจี้ด้วยไฟฟ้า

เทคนิคที่ใช้สำหรับเครื่องตัดจี้ด้วยไฟฟ้าโดยทั่วไปแล้วจะมีอยู่ 4 ลักษณะด้วยกัน คือ

2.1.1.1 Cutting Mode เครื่องจะปล่อยกระแสไฟฟ้าที่มีลักษณะ *High Current Low Voltage, Continuous wave form* ออกมา อุณหภูมิของเนื้อเยื่อที่ปลายจี้จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนเกิดระเหิดเป็นไอ (*Tissue Vaporization*) เกิด เป็นรอยตัดตรงบริเวณที่ปลายจี้ลากผ่านไปโดยมีผลในการห้ามเลือดน้อย

2.1.1.2 Blended Mode โดยการปล่อยกระแสไฟฟ้าออกมาเป็น *Pulse Wave Form* และเพิ่ม *Voltage* ให้มากขึ้นทำให้เกิดผลการตัดและห้ามเลือดที่ขอบของรอยตัดไปด้วยพร้อมๆกัน

2.1.1.3 Coagulation Mode เครื่องจะปล่อยกระแสในลักษณะ *Low Current High Voltage, Non-Continuous wave form* ออกมา มีผลต่อเนื้อเยื่อคือเกิด *Superficial Eschar* และมี *Tissue Necrosis* ตื้นๆ ใช้ในการห้ามเลือดซึม เช่น เลือดที่ซึมออกจาก *Capillary Bed*

2.1.1.4 Desiccation โดยการเปิดเครื่องเป็นโหมดใดก็ได้ แต่ปลายจี้สัมผัสกับเนื้อเยื่อโดยตรง *Contact Mode* ในขณะที่ *vaporization* และ *fulguration* โดยทางทฤษฎีแล้วเป็น *Non-Contact Mode*) คือ ประกายไฟฟ้ากระโดดจากปลายจี้ผ่านอากาศลงไปที่เนื้อเยื่อ มีผลต่อเนื้อเยื่อคือการเกิด *Tissue Necrosis* เป็นบริเวณกว้างและลึก

ตารางที่ 2.1 สรุปค่าพลังไฟฟ้าที่ใช้ตามรูปแบบการตัดจี้ในลักษณะต่างๆ

ชนิดของวิธีที่ใช้งาน (Mode)	แรงดันไฟฟ้า (Voltage)	กำลังไฟฟ้า (Watt)
Cut	Low	High
Blend	Med	Med
Coag	High	Low

2.1.2 อันตรายที่เกิดจากการใช้งานเครื่องตัดจี้ไฟฟ้า

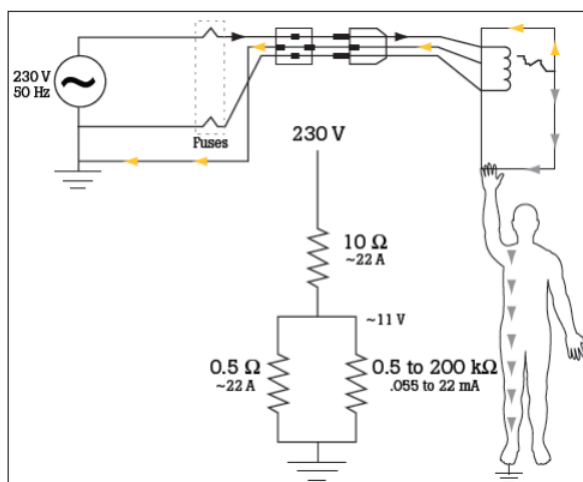
เครื่องตัดจี้ไฟฟ้า หากมีการใช้งานที่ไม่ถูกวิธีหรือเกิดการผิดพลาดในการต่อวงจรใช้งานหรือแม้แต่การเตรียมตัวผู้ป่วยไม่ดีพอ รวมไปถึงความถี่ของเครื่องตัดจี้ไฟฟ้าที่มีผลกับการเกิดกระแสรั่วไหล โดยปกติตัวนำไฟฟ้า (Conductor) จะต้องได้รับการห่อหุ้มไว้ด้วยฉนวนไฟฟ้า (Insulator) ที่สามารถป้องกันการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี แต่เมื่อถูกนำมาใช้กับเครื่องตัดจี้ไฟฟ้าที่ใช้กระแสไฟฟ้าความถี่สูง จะส่งผลให้ค่าความเป็นฉนวนไฟฟ้ามีค่าลดลงจนส่งผลให้เกิดกระแสรั่วไหลภายในตัวเครื่องตัดจี้ไฟฟ้า (Current Leak) นับว่าเป็นอันตรายอย่างยิ่งสำหรับผู้ป่วยซึ่งอาจถึงกับเสียชีวิตได้โดยเฉพาะในผู้ป่วยที่ใส่เครื่องควบคุมการทำงานของหัวใจ (Pacemaker) อันตรายที่จัดว่ามีความสำคัญได้แก่ การเกิดรอยไหม้ผิวหนัง (Burn) การส่งผลกระทบต่อการทำงานของหัวใจ และการเกิดคลื่นรบกวน (Noise) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆที่ข้างเคียง แต่ปัญหาส่วนใหญ่ที่เราพบเจอได้บ่อยคือและเราสามารถจัดไม่ให้เกิดขึ้นได้คือ ปัญหาการเกิดแผลไหม้ โดยทั่วไปการเกิดแผลไหม้ มักเกิดจากผิดพลาดในการใช้งานและมักเกิดขึ้นกับผู้ป่วยโดยตรง สาเหตุที่ทำให้แผลไหม้ในที่นี้จะกล่าวถึง การเกิดกระแสรั่วไหลของกระแสรั่วไหลภายในตัวเครื่องตัดจี้ไฟฟ้าหรือมีการใช้เครื่องมืออื่นที่มีการรั่วไหลของ กระแสไฟฟ้าร่วมด้วย ทำให้กระแสไฟฟ้าที่รั่วไหลที่ความถี่ต่ำๆ (50 เฮิร์ต) จะวิ่งผ่านตัวผู้ป่วยแล้วไปลงกราวด์ที่แผ่น plate ที่ติดอยู่บนตัวของผู้ป่วย ส่งผลให้กล้ามเนื้อหัวใจของผู้ป่วยทำงานผิดปกติหรือไม่สามารถควบคุมให้เป็นปกติได้ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดแผลไหม้บริเวณแผ่น plate หรือทำให้หัวใจตัดจี้ทำงานผิดพลาดจนส่งผลให้การควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการตัดจี้มีความผิดปกติไปจนสามารถเผาไหม้เนื้อเยื่อของผู้ป่วยเกินระดับที่ต้องการจนเกิดอันตรายตามมาได้

2.2 อันตรายจากกระแสไฟฟ้า

ไฟฟ้าดูดเป็นลักษณะของกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายลงสู่ดินและเป็นอันตรายที่มนุษย์ได้รับจากไฟฟ้ามากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 85 ของผู้ที่ประสบอันตรายจากไฟฟ้าฟ้าทั้งหมด ในทางการแพทย์แบ่งลักษณะของอันตรายจากไฟฟ้าดูด (Electrical Shock) ออกเป็น 2 ประเภท คือ Macro Shock และ Micro shock

2.2.1 Macro Shock [6]

เกิดจากกระแสไฟฟ้าที่รั่วไหลจากเครื่องมือแพทย์ที่ไหลผ่านสู่ร่างกายเนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่รั่วไหลพยายามไหลลงสู่พื้นดิน (Earth Seeking) โดยมีกระแสไฟฟ้าที่รั่วไหลผ่านผิวหนังเข้าสู่ร่างกายนั้นมีค่าเกินกว่า 10 มิลลิแอมป์ ขึ้นอยู่กับ ความต่างศักย์ไฟฟ้า (Voltage) และความต้านทานทางไฟฟ้า (Resistance) กระแสไฟฟ้ารั่วไหลเกิดขึ้นได้อาจมีสาเหตุมาจากการเสื่อมสภาพของฉนวน และไม่มีอุปกรณ์ใดๆที่สร้างมาโดยการใช้ฉนวนที่สมบูรณ์แบบ หรืออาจเกิดมาจากปัจจัยอื่นๆที่ทำให้เกิดการรั่วไหล เช่น ระบบสายดินที่ไม่ได้มาตรฐาน หรือสายไฟที่ใช้ไม่ได้มาตรฐานหรือชำรุด

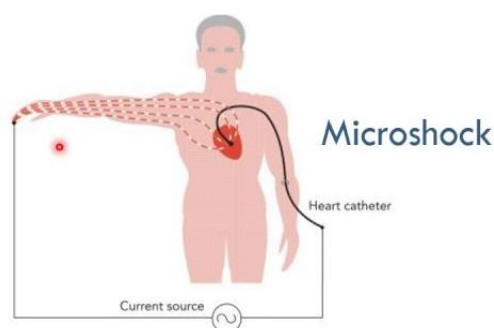


รูปที่ 2.1 แสดงกระแสไฟฟ้าที่รั่วไหลจากเครื่องมือแพทย์ที่ไหลผ่านร่างกายเนื่องจากกระแสไฟฟ้ารั่วไหลพยายามไหลลงสู่พื้น

ที่มา : <http://www.treatmed.co.th/การตรวจสอบความปลอดภัยทางไฟฟ้าในเครื่องมือแพทย์>

2.2.2 Micro Shock [6]

เกิดจากกระแสไฟฟ้าที่รั่วไหลจากเครื่องมือแพทย์ซึ่งต่อเข้าโดยตรงกับหัวใจ โดยมีกระแสไฟฟ้าที่เกินกว่า 10 ไมโครแอมแปร์ จากอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่มีการต่อเข้าโดยตรง หรือบริเวณใกล้เคียงกับหัวใจ ทำให้ส่งผลกระทบต่อการทำงานของหัวใจ โดยการเกิดไฟฟ้าช็อตในระดับ Micro shock นั้นสามารถเกิดขึ้นได้ในอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่มีการต่อโดยตรงกับหัวใจจากอุปกรณ์ตัวนำ (Conductor) ที่ใส่เข้าไปในร่างกาย เช่น Cardiac Catheterisation



รูปที่ 2.2 แสดงกระแสไฟฟ้าที่รั่วไหลในระดับ Micro Shock

ที่มา : <http://www.treatmed.co.th/การตรวจสอบความปลอดภัยทางไฟฟ้าในเครื่องมือแพทย์>

ตารางที่ 2.2 แสดงผลของกระแสไฟฟ้ารั่วไหลต่อร่างกาย [5]

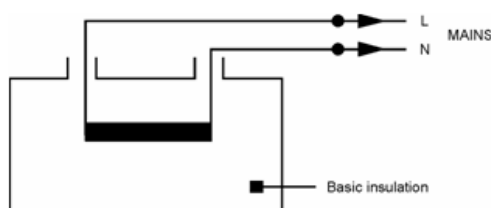
ปริมาณกระแสไฟฟ้า	ความรู้สึกหรืออาการที่เกิดขึ้น
ไม่ถึง 1 มิลลิแอมแปร์	ยังไม่มีผลหรืออาจไม่รู้ถึงกระแสไฟฟ้า
1-3 มิลลิแอมแปร์	รู้สึกถึงอาการเจ็บ
ประมาณ 10 มิลลิแอมแปร์	กระทบกระเทือนต่อระบบประสาท กล้ามเนื้อเกร็งหดตัว บางคนไม่สามารถปล่อยมือหลุดออกได้ อาจเป็นอันตรายถึงอันตรายถึงชีวิต หากไม่ได้รับการเข้าช่วยเหลืออย่างทันท่วงที
ประมาณ 30 มิลลิแอมแปร์	กล้ามเนื้อหดเกร็งอย่างรุนแรง การหายใจเริ่มไม่ทำงานและหัวใจเริ่มเต้นผิดปกติหรือเริ่มหยุดเต้น เป็นไปได้มากที่จะอันตรายถึงแก่ชีวิต
ประมาณ 75 มิลลิแอมแปร์	หัวใจเต้นผิดปกติ เป็นอันตรายถึงชีวิต
ประมาณ 250 มิลลิแอมแปร์	หัวใจสั่นกระตุก เป็นอันตรายถึงชีวิต
ประมาณ 4 แอมแปร์	หัวใจหยุดเต้น
เกิน 5 แอมแปร์	เกิดความร้อน เนื้อไหม้ และรอยไหม้เกรียม

2.3 มาตรฐานความปลอดภัยทางไฟฟ้ากับเครื่องมือแพทย์ [4]

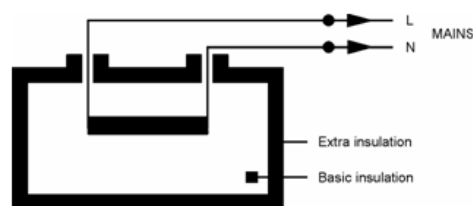
มาตรฐานสากลที่เป็นที่ยอมรับในระดับนานาชาติคือ มาตรฐาน IEC ระบุข้อกำหนดต่างๆเพื่อความปลอดภัยทางไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า รวมไปถึงเครื่องมือแพทย์ที่ใช้ไฟฟ้าด้วย คือ มาตรฐาน IEC 60601-1 ได้จำแนกเครื่องมือออกเป็น 4 Class ตามลักษณะการแยกราวนและ 3 Type ตามคุณสมบัติของเครื่องที่ใช้กับผู้ป่วย

2.3.1 Classification of Equipment

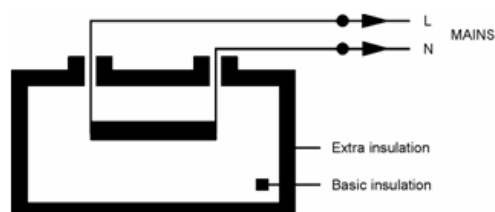
- 1) Class 0 เป็นเครื่องมือที่ไม่มีการต่อกราวนจาก Main Power มีเฉพาะ Basic Insulation อยู่ภายในเครื่องเท่านั้น ซึ่งไม่มีใช้ในเครื่องมือแพทย์



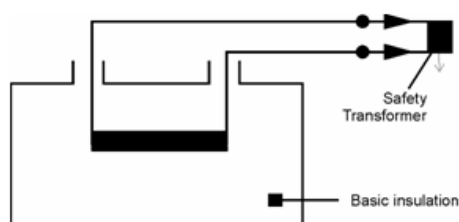
- 2) Class 1 เครื่องมือแพทย์ส่วนใหญ่จัดอยู่ในประเภทนี้ มีการใช้กราวด์เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วไหลจากตัวเครื่องสู่ผู้ป่วยหรือผู้ใช้งาน โดยการต่อทุกส่วนที่เป็นตัวนำเข้ากับกราวด์หลัก



- 3) Class 2 คลาสนี้ใช้ฉนวนเป็นตัวป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วไหล ชิ้นส่วนที่ใช้ทำตัวเครื่อง และบริเวณที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้าที่สัมผัสกับผู้ป่วยหรือผู้ใช้งานมีลักษณะเป็นฉนวน



- 4) Class 3 เป็นเครื่องมือที่ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นแหล่งกำลังงาน โดยลดกำลังไฟฟ้าให้ต่ำก่อนเข้าตัวเครื่อง (ในปี 1988 ได้ยกเลิกคลาสนี้จากมาตรฐาน IEC แล้ว)



2.3.2 Type Of Equipment

มาตรฐาน IEC 60601-1 จำแนกเครื่องมือออกเป็น 3 type หลักๆด้วยกันคือ Type B, Type BF (Body Floating) และ Type CF (Cardiac Floating)

Symbols	Description	Symbols	Description
	Type B		Type B Defibrillation Protection
	Type BF		Type BF Defibrillation Protection
	Type CF		Type CF Defibrillation Protection

B เป็นเครื่องมือที่ไม่มีการสัมผัสผู้ป่วยเลย

BF เป็นเครื่องมือที่สัมผัสผู้ป่วยภายนอก เช่น เครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (ECG) ที่ใช้ในทางคลินิกทั่วไป กำหนดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของกระแสไฟฟ้ารั่วไหลไว้น้อยกว่า 100 μA อาจให้ถึง 500 μA

CF เป็นเครื่องมือที่มีการต่อสายเข้าสู่ผู้ป่วยโดยเฉพาะกับหัวใจของผู้ป่วย กำหนดคุณสมบัติทางไฟฟ้ารั่วไหลไว้น้อยกว่า 10 μA อาจให้ได้ถึง 50 μA

2.3.3 การตรวจสอบความปลอดภัยทางไฟฟ้าสำหรับเครื่องตัดจี้ไฟฟ้า

กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข ได้กำหนดมาตรฐาน IEC62353 สำหรับทดสอบความปลอดภัยทางไฟฟ้าของเครื่องตัดจี้ไฟฟ้าโดยมีการทดสอบดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.3 แสดงรายละเอียดเครื่องมือที่ใช้และหัวข้อการทดสอบ[4]

รายชื่อเครื่องมือและอุปกรณ์	รายละเอียดและเกณฑ์และเกณฑ์ข้อกำหนด
1. เครื่องมือวัดความปลอดภัยทางไฟฟ้า (Electrical Safety Analyzer)	การวัดความต้านทาน (Resistance) - พิสัยการวัด (Range) สามารถวัดค่าได้ครอบคลุม 0.0 Ω ถึง 0.5 Ω - ความแม่นยำ (Accuracy) : $\leq \pm 15\%$ ของค่าที่อ่านได้ - กระแสทดสอบ (Test Current) : $\geq 200 \text{ mA}$ ที่ 0.5 Ω การวัดกระแสไฟฟ้ารั่ว (Leakage Current) - พิสัยการวัด (Range) สามารถวัดค่าได้ครอบคลุม 10 μA ถึง 500 μA - ความแม่นยำ (Accuracy) : $\leq \pm 15\%$ ของค่าที่อ่านได้
2. เครื่องมือวัดความต้านทาน (Ohmmeter)	
3. เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า (Ammeter)	

ตารางที่ 2.3 แสดงรายละเอียดเครื่องมือที่ใช้และหัวข้อการทดสอบ(ต่อ)

รายชื่อเครื่องมือและอุปกรณ์	รายละเอียดและเกณฑ์และเกณฑ์ข้อกำหนด
เครื่องวิเคราะห์เครื่องจี้ตัดไฟฟ้า(Electrosurgical Units analyzer)	การวัดการทำงาน (Output Power) - พิสัยการวัด (Range) สามารถวัดค่าได้ครอบคลุม 0 W ถึง 400 W - ความแม่นยำ (Accuracy) : $\leq \pm 5\%$ ของค่าที่อ่านได้ - ความต้านทานโหลด 25 Ω ถึง 1000 Ω การวัด Contact Quality Monitor (CQM) - สามารถปรับความต้านทานโหลด 5 Ω ถึง 400 Ω - ความแม่นยำ (Accuracy) : $\leq \pm 15\%$ ของค่าที่อ่านได้ การวัด High Frequency Leakage Current และ Isolation - พิสัยการวัด (Range) สามารถวัดค่าได้ครอบคลุม 20 mA ถึง 2000 mA - ความแม่นยำ (Accuracy) : $\leq \pm 10\%$ ของค่าที่อ่านได้ - Fix Load 200 Ω 400 W for 30 sec

ตารางที่ 2.4 หัวข้อการทดสอบความปลอดภัยทางไฟฟ้าในเครื่องตัดจี้ไฟฟ้า[4]

หัวข้อการทดสอบ	เกณฑ์	คำอธิบาย
Grounding Resistance	$\leq 0.5 \Omega$	- ทดสอบความต้านทานระหว่างตัวเครื่องกับสายดิน - ยกเว้นเครื่องประเภท Double-insulated หรือ Class II ไม่ต้องการทดสอบ
Chassis Leakage Current	$\leq 500 \mu A$	- ทดสอบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลระหว่างตัวเครื่องกับสายดิน
RF Output Power	$\pm 5 W$	- ขึ้นอยู่กับค่าใดสูงกว่า
Contact Quality Monitor ()	5 Ω - 150 Ω	- ทดสอบเฉพาะเครื่องที่มี CQM
High Frequency Leakage Current	< 150 mA	
High Frequency Output Current	< 150 mA	

2.4 การเข้าสายที่แผงเมนสวิตช์

2.4.1 ผลของการเข้าสายไม่ถูกต้องที่ได้รับ

2.4.1.1 กรณีที่ 1 ไม่ได้ทำการต่อสายที่มีไฟหรือสายไลน์ (L) หรือไม่ได้ต่อสายดิน (G) และสายนิวทรัลหรือสายศูนย์ (N) ซึ่งเป็นสายที่ไม่มีไฟ

กรณีนี้จะทำให้ไม่มีไฟที่เข้ารับหรือไฟฟ้าไม่ครบวงจร เมื่อนำเครื่องไฟฟ้าไปเสียบ จะทำให้เครื่องไฟฟ้าไม่ทำงาน ซึ่งอาจทำให้ผู้ใช้มีความเข้าใจผิดว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าเสียหาย หรือชำรุด และอาจทำให้แก้ปัญหาไม่ตรงจุด

2.4.1.2 กรณีที่ 2 ไม่ได้ทำการต่อสายดิน (G)

กรณีนี้สามารถทำให้เกิดอันตรายร้ายแรงต่อผู้ใช้งานได้ เพราะมีไฟฟ้าไหลครบวงจร เครื่องใช้ไฟฟ้าสามารถใช้งานได้ ซึ่งหากเกิดการรั่วไหลทำเครื่องใช้ไฟฟ้าและผู้ใช้งานมีการสัมผัสตัวเครื่องอาจทำให้ผู้ใช้โดนไฟฟ้าดูดได้ เนื่องจากไม่มีสายดิน

2.4.1.3 กรณีที่ 3 ไม่ได้ทำการต่อสายนิวทรัล (N)

กรณีนี้จะทำให้ไม่มีไฟที่เข้ารับหรือไฟฟ้าไม่ครบวงจร เมื่อนำเครื่องไฟฟ้าไปเสียบ จะทำให้เครื่องไฟฟ้าไม่ทำงาน

2.4.1.4 กรณีที่ 4 มีการต่อสายไลน์ (L) และสายนิวทรัล (N) สลับกัน

กรณีนี้เครื่องใช้ไฟฟ้าสามารถทำงานได้ หากเครื่องใช้ไฟฟ้าเป็นแบบสวิตช์ขั้วเดียว ซึ่งมักจะมีปัญหาไฟรั่วที่เครื่องใช้ไฟฟ้าที่สลับขั้วไม่ได้

2.4.1.5 กรณีที่ 5 มีการต่อสาย (L) และสายดิน (G) สลับกัน

กรณีนี้เป็นอันตรายมาก เนื่องจากปกติสายดินจะถูกต่อเข้ากับส่วนที่เป็นโลหะของเครื่องใช้ไฟฟ้า ดังนั้นหากมีการต่อสายสลับกันจะทำให้ไฟไหลเข้าทางสายดิน และมีไฟ 220 โวลต์ ปรากฏที่เครื่องใช้ไฟฟ้า เมื่อไปสัมผัสที่เครื่องใช้ไฟฟ้าอาจเป็นอันตรายถึงแก่ชีวิต

2.5 การต่อลงดิน [5]

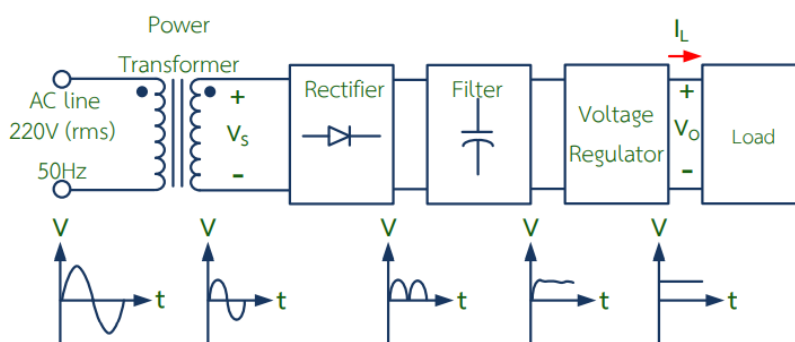
การต่อลงดินการต่อลงดินที่ถูกต้องตามมาตรฐานความปลอดภัยทางไฟฟ้ามีความจำเป็นอย่างมากในระบบทาง ไฟฟ้าซึ่งสามารถช่วยลดการเกิดอันตรายทางไฟฟ้าและเพื่อป้องกันการชำรุดหรือเสียหายของอุปกรณ์ไฟฟ้า การต่อลงดินหมายถึงการนำตัวนำในวงจรบางส่วนต่อลงดินที่พื้นโลก หรือต่อเข้ากับจุดต่อลงดิน ซึ่งทำ เพื่อใช้เป็น ในการอ้างอิงเป็นจุดลงดินของระบบไฟฟ้า เช่นการต่อจุดนิวทรัล (Neutral Point) ลงดิน โดยการต่อลงดินทาง ระบบไฟฟ้ามีหลายรูปแบบด้วยกันขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน โดยการต่อลงดินมีประโยชน์อยู่ 2 ประการหลักๆคือ การป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับบุคคลที่บังเอิญไปสัมผัสกับส่วนที่เป็นโลหะของเครื่อง

บริษัททางไฟฟ้า และส่วนประกอบอื่นๆที่มีแรงดันไฟฟ้าเนื่องจากการรั่วไหล หรือมีการเกิดการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า และเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับอุปกรณ์ หรือระบบไฟฟ้าเมื่อเกิดการลัดวงจร

2.5.1 การต่อลงดินของบริษัททางไฟฟ้า (Equipment Grounding) คู่มือการออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้า

การต่อลงดินของบริษัททางไฟฟ้า หมายถึง การต่อส่วนที่เป็นโลหะ หรือสื่อตัวนำไฟฟ้าที่ห่อหุ้มบริษัททางไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่ใช่ส่วนประกอบหลักของวงจรไฟฟ้าซึ่งไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้ากับตัวนำที่ต่อลงดิน เพื่อให้ส่วนที่เป็นโลหะสามารถต่อถึงกันตลอดและมีค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ รวมไปถึงช่วยให้อุปกรณ์สามารถป้องกันกระแสเกินทำงานได้อย่างรวดเร็ว เมื่อตัวนำของสายเส้นเฟสแตะเข้ากับส่วนโลหะใดๆ อันเนื่องจากการเกิดการชำรุดของฉนวน หรือการเกิดอุบัติเหตุทางไฟฟ้า และที่สำคัญคือเพื่อเป็นทางผ่านให้กระแสรั่วลงดิน

2.6 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง [3]



รูปที่ 2.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

ที่มา:<http://www.cstc.ac.th/การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง>

2.6.1 หลักการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

หม้อแปลงลดแรงดันทำหน้าที่ลดแรงดันจาก 220 V_{AC} ให้เหลือแรงดันตามอัตราส่วนของจำนวนขดลวด โดยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทางขดทุติยภูมิของหม้อแปลงจะถูกป้อนเข้าไปในวงจรเรกติไฟเออร์ (Rectifier) ที่มีไดโอดเรกติไฟเออร์ทำหน้าที่หลักเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าจากกระแสสลับเป็นกระแสตรง จากนั้นแรงดันเพื่อกรองสัญญาณให้เรียบมากยิ่งขึ้นที่มีตัวเก็บประจุเป็นตัวทำหน้าที่หลัก หากเราต้องการค่าแรงกระเพื่อมของกระแสต่ำๆ (Ripple Voltage) ต้องใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่ามากอาจใช้ตัวเก็บประจุเพียงหนึ่งตัว (C_n) หรือนำตัวเก็บประจุมาต่อ

ขนานกันเพื่อให้ได้ค่าความจุที่มากขึ้น กระแสไฟที่ยังมีค่าไม่คงที่จะถูกป้อนเข้าสู่วงจรเร็กกูเลเตอร์ที่ส่วนใหญ่จะใช้ซีเนอร์ไดโอดหรือไอซีเรกูเลเตอร์เป็นตัวควบคุมให้แรงดันไฟฟ้าที่ขาออก (Output) คงที่มากขึ้น

2.6.2 องค์ประกอบของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

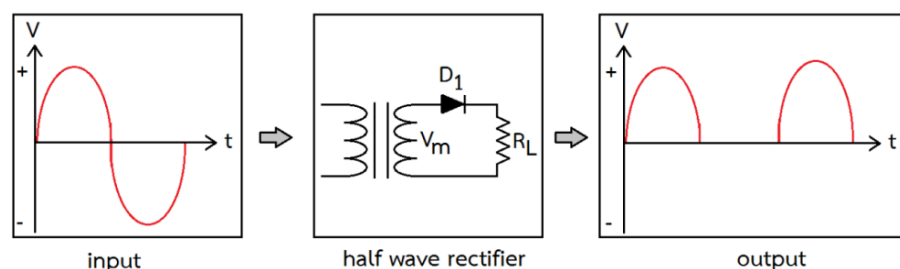
2.6.2.1 หม้อแปลงลดแรงดัน

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่ใช้ในการส่งถ่ายพลังงานไฟฟ้า จากขดลวดชุดหนึ่งไปยังขดลวดอีกชุดหนึ่ง โดยที่ความถี่ไม่เปลี่ยนแปลงหรือเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมโยงระหว่างระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าต่างกัน โดยจะทำหน้าที่ลดแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะกับการส่ง การจ่ายและการใช้พลังงานไฟฟ้า หม้อแปลงจึงเป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่สำคัญชนิดหนึ่ง โดยในวงจรแหล่งจ่ายกระแสตรง หม้อแปลงลดแรงดันจะทำหน้าที่ลดแรงดันจาก 220 V_{AC} ให้เหลือแรงดันตามอัตราส่วนของจำนวนขดลวดและป้อนแรงดันเข้าสู่วงจรเร็กตีไฟเออร์ต่อไป

2.6.2.2 วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit)

การเรียงกระแสเป็นวิธีการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้ไดโอดเป็นอุปกรณ์ในการทำหน้าที่ในการเรียงกระแสไฟฟ้า เพราะไดโอดมีคุณสมบัติที่มีลักษณะ ไม่เป็นเชิงเส้น และยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ทิศทางเดียว วงจรเรียงกระแสที่มีการใช้งานสามารถ แบ่งออกได้เป็นดังนี้

ก. วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half Wave Rectifier Circuit)



รูปที่ 2.2 แสดงการทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

ที่มา : <http://www.treatmed.co.th//การตรวจสอบความปลอดภัยทางไฟฟ้าในเครื่องมือแพทย์>

เมื่อมีสัญญาณขาเข้า (input) ซึ่งเป็นสัญญาณครึ่งคลื่นบวกเข้ามา ไดโอดจะถูกไบอัสตรง (forward bias) เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร เกิดแรงดันไฟฟ้าคร่อมควัด้านทาน R_L ตามลักษณะของสัญญาณขาเข้า หรืออาจกล่าวได้ว่าสัญญาณขาออก (output) เหมือนกับสัญญาณขาเข้า (input) นั้นเอง หลังจากนั้น เมื่อมีสัญญาณขาเข้า (input) ซึ่งเป็นสัญญาณครึ่งคลื่นลบเข้ามา ไดโอดจะถูกไบอัสกลับ (reverse bias) ทำให้ไม่เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร ส่งผลให้ไม่เกิดแรงดันไฟฟ้าคร่อมควัด้านทาน R_L หรือ $R_L = 0 \Omega$ หรืออาจกล่าวได้ว่าไม่เกิดสัญญาณขาออก

(output) นั้นเอง จนกระทั่งสัญญาณขาเข้า (input) ซ้ำเป็นสัญญาณครึ่งบวกวนกลับมาอีกครั้งจึงได้สัญญาณขาออก (output) เกิดขึ้นอีกครั้ง

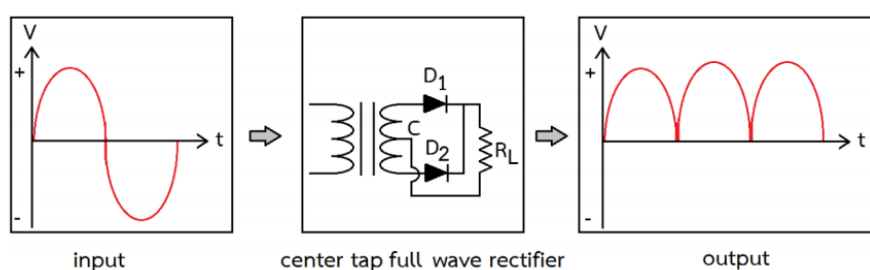
การคำนวณความต่างศักย์ไฟฟ้า หรือแรงดันไฟฟ้าในวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่น สามารถทำได้ โดยใช้สมการดังนี้

$$V_{dc} = 0.707V_{ac}$$

เมื่อ V_{ac} ความต่างศักย์ไฟฟ้าขาเข้า (input voltage) มีหน่วยเป็น V

V_{dc} ความต่างศักย์ไฟฟ้าขาออก (output voltage) มีหน่วยเป็น V

- ข. วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น ชนิดใช้หม้อแปลงแบบมีเซนเตอร์แทป (Center Tapped Full Wave Rectifier Circuit)



รูปที่ 2.2 แสดงการทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นชนิดใช้หม้อแปลงแบบมีเซนเตอร์แทป

ที่มา: <http://www.cstc.ac.th/การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง>

เนื่องจากวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่นเกิดปัญหาสัญญาณไฟฟ้าขาออก (output) ไม่เรียบ หรืออาจกล่าวได้ว่าเกิดรอยหยัก (ripple) ของสัญญาณไฟฟ้า จึงมีการคิดค้นวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นขึ้น เพื่อลดปัญหาของรอยหยักที่เกิดขึ้นจากวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบครึ่งคลื่น โดยวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นนั้นประกอบด้วยไดโอด 2 ตัว ไม่ว่าสัญญาณขาเข้า (input) จะอยู่ในซีกบวกหรือซีกลบ ก็จะสามารถผ่าน R_L กระแสไฟฟ้า สามารถไหลเข้ามาครบวงจรบริเวณจุด C หรือ center tap ของหม้อแปลงแบบ center tap transformer ได้ โดยจะเห็นได้ว่าสัญญาณไฟฟ้าที่ผ่านได้นั้น จะผ่านมาได้เฉพาะสัญญาณซีกบวกเท่านั้น

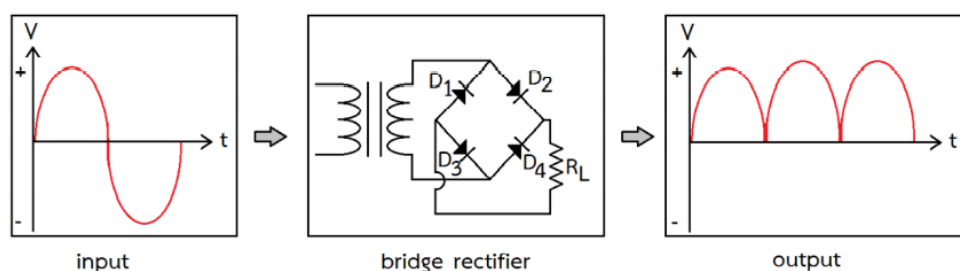
การคำนวณความต่างศักย์ไฟฟ้า หรือแรงดันไฟฟ้าในวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่น ชนิดใช้หม้อแปลงแบบมีเซนเตอร์แทป สามารถทำได้โดยใช้สมการดังนี้

$$V_{dc} = 1.414V_{ac}$$

เมื่อ V_{ac} ความต่างศักย์ไฟฟ้าขาเข้า (input voltage) มีหน่วยเป็น V

V_{dc} ความต่างศักย์ไฟฟ้าขาออก (output voltage) มีหน่วยเป็น V

ค. วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นแบบบริดจ์ (Full Wave Bridge Rectifier Circuit)



รูปที่ 2.2 แสดงการทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น แบบบริดจ์

ที่มา: <http://www.cstc.ac.th/การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง>

เมื่อทำการใส่สัญญาณขาเข้า (input) ซีกบวกของไฟฟ้ากระแสสลับ ไดโอดตัวที่ D1 และ D4 จะ อยู่ในสถานะไบอัสตรง (forward bias) กระแสไฟฟ้าจึงไหลครบวงจร เกิดสัญญาณขาออก (output) โดยไดโอดตัวอื่นๆ จะอยู่ในสถานะไบอัสกลับ (reverse bias) ในทำนองเดียวกัน เมื่อสัญญาณขาเข้า (input) สลับเป็นสัญญาณซีกลบ ไดโอดตัวที่ D2 และ D3 จะอยู่ในสถานะไบอัสตรง (forward bias) กระแสไฟฟ้าจึงไหลครบวงจร เกิดสัญญาณขาออก (output) โดยไดโอดตัวอื่นๆ จะ อยู่ในสถานะไบอัสกลับ (reverse bias) เนื่องจากวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบบริดจ์เป็นวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นชนิดหนึ่ง การคำนวณค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า จึงคำนวณเหมือนกับวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นทั่วไปดังนี้

$$V_{dc} = 1.414V_{ac}$$

เมื่อ V_{ac} ความต่างศักย์ไฟฟ้าขาเข้า (input voltage) มีหน่วยเป็น V

V_{dc} ความต่างศักย์ไฟฟ้าขาออก (output voltage) มีหน่วยเป็น V

2.6.2.3 วงจรรักษาระดับแรงดัน (voltage regulation)

วงจรรักษาระดับแรงดันเป็นวงจรที่จะต่ออยู่ระหว่างแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง กับ โหลด ทำหน้าที่ในการจ่ายไฟตรงให้กับโหลดและสามารถรักษาระดับแรงดันให้คงที่ได้ Voltage Regulation หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ในขณะที่มีโหลดกับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ในขณะที่ไม่มีโหลด ซึ่งสามารถคำนวณหาค่า Voltage Regulation ได้จากสมการ ต่อไปนี้

$$Vr = \frac{VNL - VFL}{VFL}$$

โดยที่ VR หมายถึง voltage regulation ไม่มีหน่วย

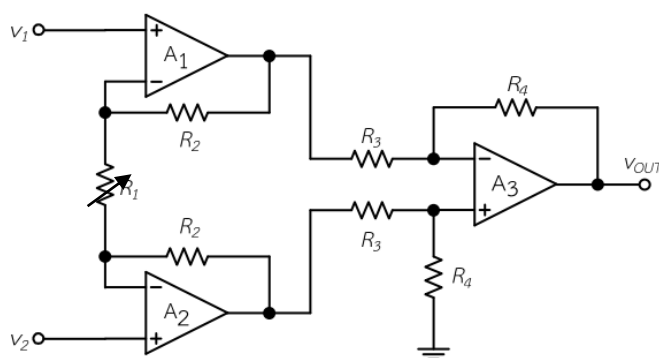
VNL หมายถึง แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ในขณะที่ไม่มีโหลด มีหน่วยเป็น โวลต์

VFL หมายถึง แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ในขณะที่มีโหลด มีหน่วยเป็น โวลต์

และคำนวณหาค่า Percent of Voltage Regulation ได้ดังนี้

$$\%Vr = \frac{VNL - VFL}{VFL} \times 100$$

2.7 วงจรขยายในเครื่องมือวัด (Instrument Amplifier Circuit)



รูปที่ 2.2 แสดงการทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น แบบบริดจ์

ที่มา : Fundamental of Microelectronics โดย Behzad Razavi

จากวงจรในรูป จะเป็นวงจรขยายเครื่องมือวัดแบบปรับค่าได้ ในส่วนที่1 จะมีออปแอมป์ A₁ และ A₂ ทำหน้าที่ขยายแรงดันผลต่างแบบไม่กลับเฟส และวงจรส่วนที่ 2 จะมีออปแอมป์ A₃ ทำหน้าที่ขยายผลต่างแรงดันแบบกลับเฟส ข้อดีของวงจรนี้คืออัตราขยายแรงดันมีค่าเหมาะกับการขยายสัญญาณที่มีขนาดเล็ก เช่น สัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor) สัญญาณชีวภาพ (Biosignal) สัญญาณจากวงจรบริดจ์ รวมไปถึงสัญญาณ

(Frontend)จากส่วนหน้าที่มีขนาดเล็ก โดยวงจรขยายเครื่องมือวัดยังมีอัตราการจัดโหมดร่วมสูง (Common mode rejection ratio) ซึ่งโดยปกติแล้วสัญญาณชีวภาพ หรือสัญญาณรบกวนซึ่งชั่ววอกและชั่วลบมีลักษณะเหมือนกัน ดังนั้นวงจรขยายในเครื่องมือวัดจึงเหมาะสมที่ขยายสัญญาณขนาดเล็กและมีสัญญาณโหมดร่วมที่เราไม่ต้องการ

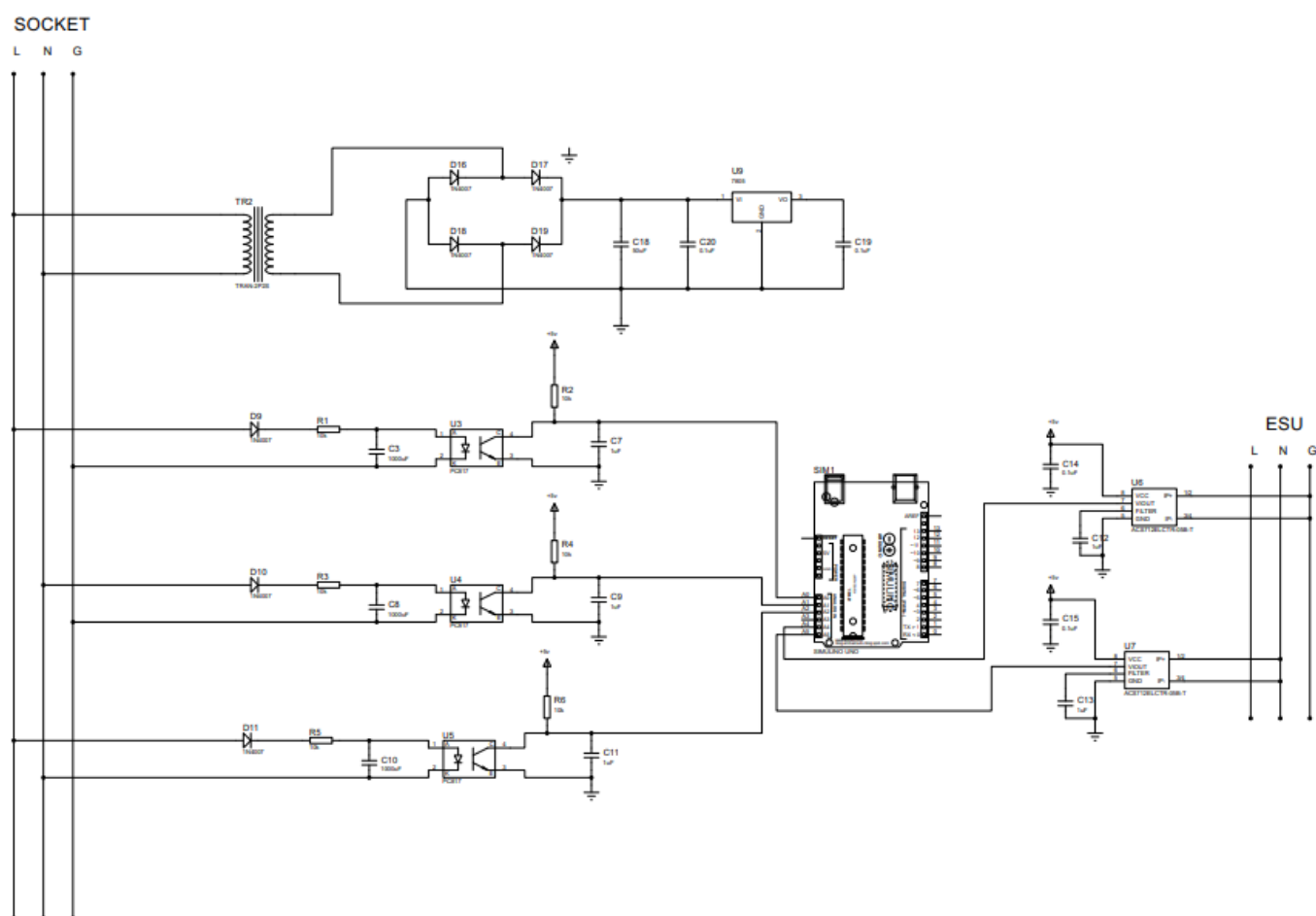
บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ

3.1 การออกแบบระบบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิธีการออกแบบโครงการ โดยในโครงการนี้จะแบ่งการทำงานของเครื่องต้นแบบออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ ด้วยกัน คือ

1. การตรวจสอบสายสลัและสายดินของเต้ารับ
2. การตรวจจักระแสไฟฟ้ารั่วไหลในเครื่องตัดจี้ไฟฟ้า
3. การแสดงผลแก่ผู้ใช้งาน

3.1.1 หลักการทำงานทั่วไปของโครงการ

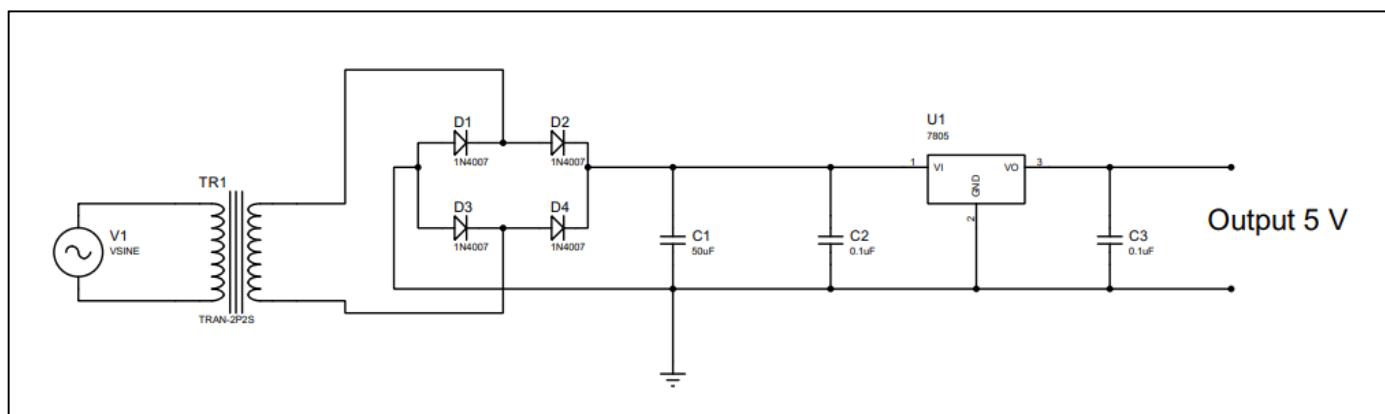


3.1.2 วงจรแหล่งจ่ายกระแสตรง

เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟที่เราต้องการใช้ในโครงงานนี้ คือ

+ 5 V_{DC} สำหรับ Current Sensor ออปโต้ PC817 และ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

จากวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานทำให้เราเลือกอุปกรณ์และออกแบบวงจรภาคจ่ายไฟสำหรับโครงงานดัง
แสดงในรูป เป็นวงจรแหล่งจ่ายไฟ 5 V



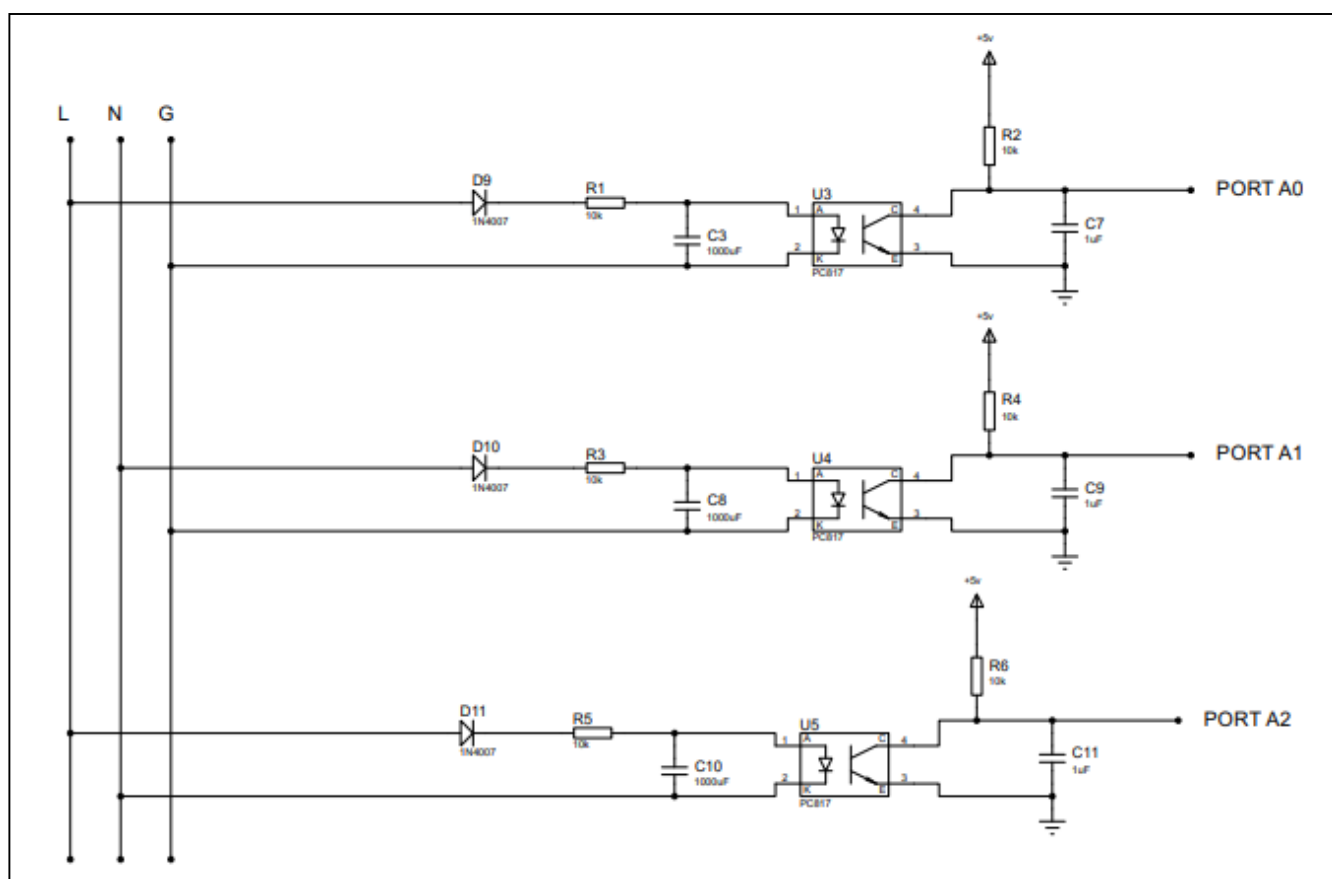
รูปที่ 3.1 วงจรแหล่งจ่ายกระแสตรง

3.1.3 วงจรตรวจสอบสายสลับ L กับ N และการต่อสายดิน

หลักการทำงานของวงจรตรวจสอบสายสลับและการต่อสายดิน จากวงจรนี้จะใช้วงจรในการตรวจสอบ
สามชุด แบ่งออกเป็นดังนี้

วงจรตรวจสอบ	สายไลน์(L)	สายนิวตรอน (N)	สายดิน(G)
ชุดที่ 1	☐		☐
ชุดที่ 2		☐	☐
ชุดที่ 3	☐	☐	

วงจรทั้งสามชุดจะทำการตรวจสอบพร้อมกัน โดยกระแสจะไหลผ่านตัวไดโอด ตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุ ไปยังออปโตไดร์ที่เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้การเชื่อมต่อกันทางแสง โดยออปโตไดร์จะเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง และเปลี่ยนจากสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิม ใช้สำหรับวงจรที่ต้องการแยกแยะระหว่างสองวงจรที่ต้องการแยกกันทางไฟฟ้าอย่างเด็ดขาด เพื่อป้องกันการเกิดการรบกวนทางไฟฟ้า และเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายแก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยออปโตไดร์จะส่งสัญญาณรูปแบบแอนะล็อกไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลต่อไป



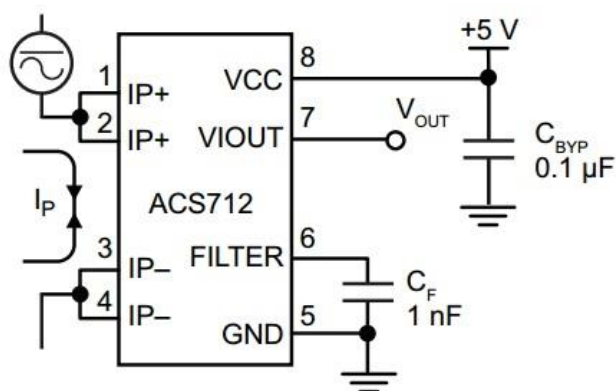
รูปที่ 3.2 วงจรการตรวจสอบสายสลั้บ

3.1.4 วงจรตรวจสอบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลจากเครื่องตัดจี้ไฟฟ้า

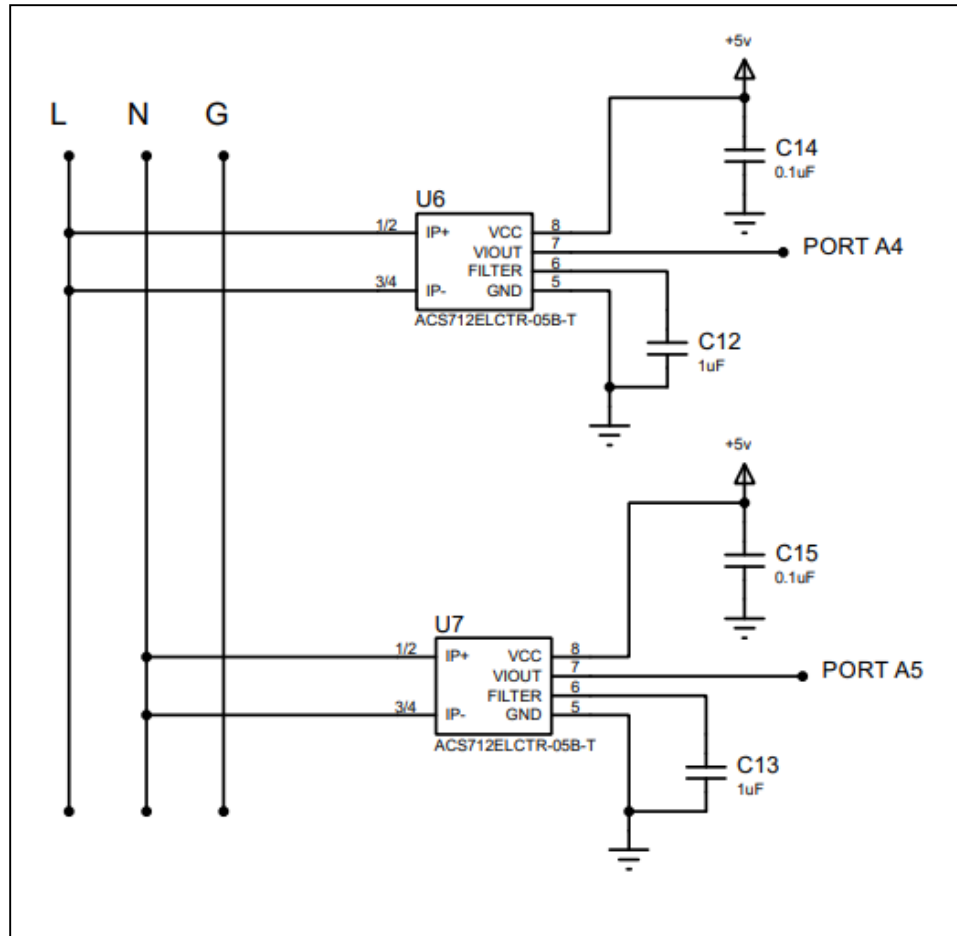
ในการออกแบบวงจรตรวจสอบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลที่เครื่องตัดจี้ไฟฟ้าจะแบ่งการทำงานออกเป็นสองส่วนด้วยกัน โดยส่วนแรกจะทำการตรวจสอบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลที่สายไลน์และสายนิวตรอน และส่วนที่สองจะทำการตรวจสอบที่สายดินของเครื่องตัดจี้ไฟฟ้า

3.1.4.1 วงจรตรวจสอบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลที่ สายไลน์(L) และสายนิวตรอน(N)

ในวงจรนี้จะมีวงจรการตรวจสอบสัญญาณของกระแสไฟฟ้าอยู่ 2 ชุดด้วยกัน โดยชุดแรกจะทำการตรวจสอบกระแสไฟฟ้าจากสายไลน์ (L) และชุดที่สองตรวจสอบกระแสไฟฟ้าที่สายนิวตรอน (N) ในโครงงานนี้เลือกใช้ Current Sensor สำเร็จรูป ACS712 ขนาด 0 ถึง 5 แอมแปร์ สามารถต่อเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันอินพุต 220 V โดยตรง โดย Current Sensor สามารถวัดได้ทั้งไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) และไฟฟ้ากระแสสลับ (V_{AC}) และเป็นตัวตรวจรู้สัญญาณรบกวนต่ำ รวมไปถึงการเกิดความคลาดเคลื่อนที่เป็นผลมาจากความร้อนและการเกิดการฮีสเทรีซิสได้น้อย โดยที่ขา 7 แรงดันเอาต์พุตที่ถูกส่งไปตรวจสอบที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ภายในตัวของ Current Sensor เมื่อมีการนำมาต่อเข้ากับตัวเก็บประจุจะทำให้ได้วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Filter) ที่กรองความถี่ต่ำออกมา เหมาะสมกับช่วงขนาดของกระแสไฟฟ้า และงานอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 3.3 วงจร Current Sensor



รูปที่ 3.4 ภาพรวมของวงจรตรวจสอบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลที่สายไลน์ และสายนิวตรอนของเครื่องตัดจไฟฟ้า

3.1.5 ซอฟแวร์ที่ใช้ในการประมวลผล

```
const int currentPin1 = A0;
const int currentPin2 = A1;
const int currentPin3 = A2;

//-----CurrentPart-----
int sensitive = 185; // For 5 A
int offset = 2500; // start with 2500 ,Set up here to fixed 0.00 load

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}
```

```

void loop() {
  calcul();
  Serial.print("Current From L Line =");
  Serial.println(getCurrentLAverage(),4);
  Serial.print("Current From N Line =");
  Serial.println(getCurrentNAverage(),4);
  Serial.println("-----");
  delay(500);
}

// Average Current Value
double getCurrentLAverage() {
  double sum = 0;
  for (int i = 0; i < 200; i++) {
    sum += readCurrentL();
  }
  return sum / 200;
}
double getCurrentNAverage() {
  double sum = 0;
  for (int i = 0; i < 200; i++) {
    sum += readCurrentN();
  }
  return sum / 200;
}

// Current Value From Load
double readCurrentL() {
  return (((analogRead(A4)/1024.0)*5000)-offset)/sensitive;
}
double readCurrentN() {
  return (((analogRead(A5)/1024.0)*5000)-offset)/sensitive;
}

void calcul(){
  int current1 = map(analogRead(currentPin1), 0, 1024, 0, 8);
  int current2 = map(analogRead(currentPin2), 0, 1024, 0, 8);
  int current3 = map(analogRead(currentPin3), 0, 1024, 0, 8);

  Serial.print("VOLTAGE 1 = ");
  Serial.print(current1);
  if(current1==0) Serial.println("V L LINE IS CORRECT");
  else Serial.println("V PLEASE CHECK YOUR SOCKET");

  Serial.print("VOLTAGE 2 = ");

```

```

Serial.print(current2);
if(current2>=7) Serial.println("V N LINE IS CORRECT");
else Serial.println("V PLEASE CHECK YOUR SOCKET");

Serial.print("VOLTAGE 3 = ");
Serial.print(current3);
if(current3==0) Serial.println("V G LINE IS CORRECT");
else Serial.println("V PLEASE CHECK YOUR SOCKET");

Serial.println("-----");
delay(500);
}

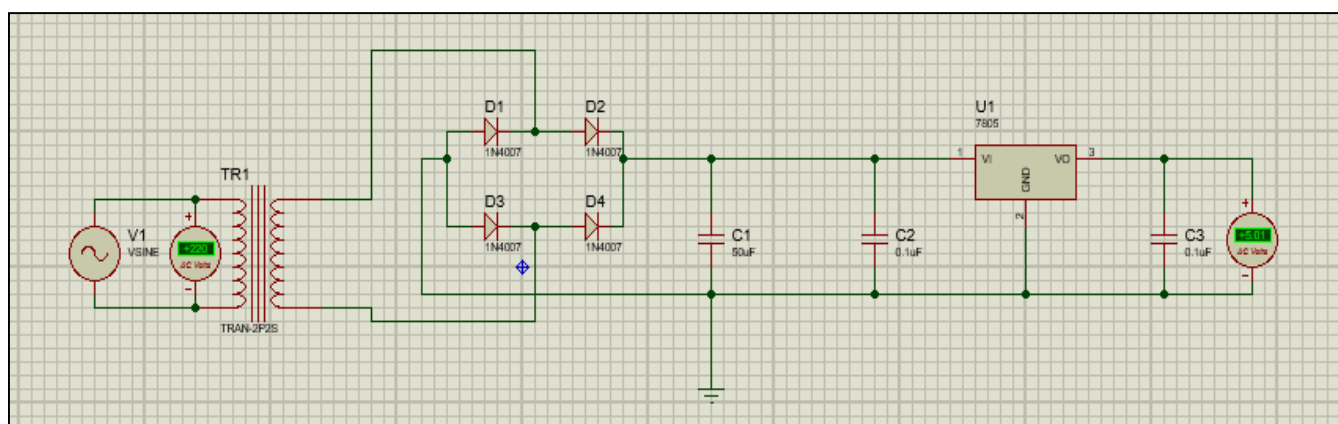
```

3.2 การจำลองการทำงานของระบบ

ในการจำลองการทำงานของวงจรที่ออกแบบมาจะใช้ โปรแกรม Proteus simulation ในการจำลองการทำงานของวงจรในส่วนต่างๆ ดังนี้

3.2.1 จำลองการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

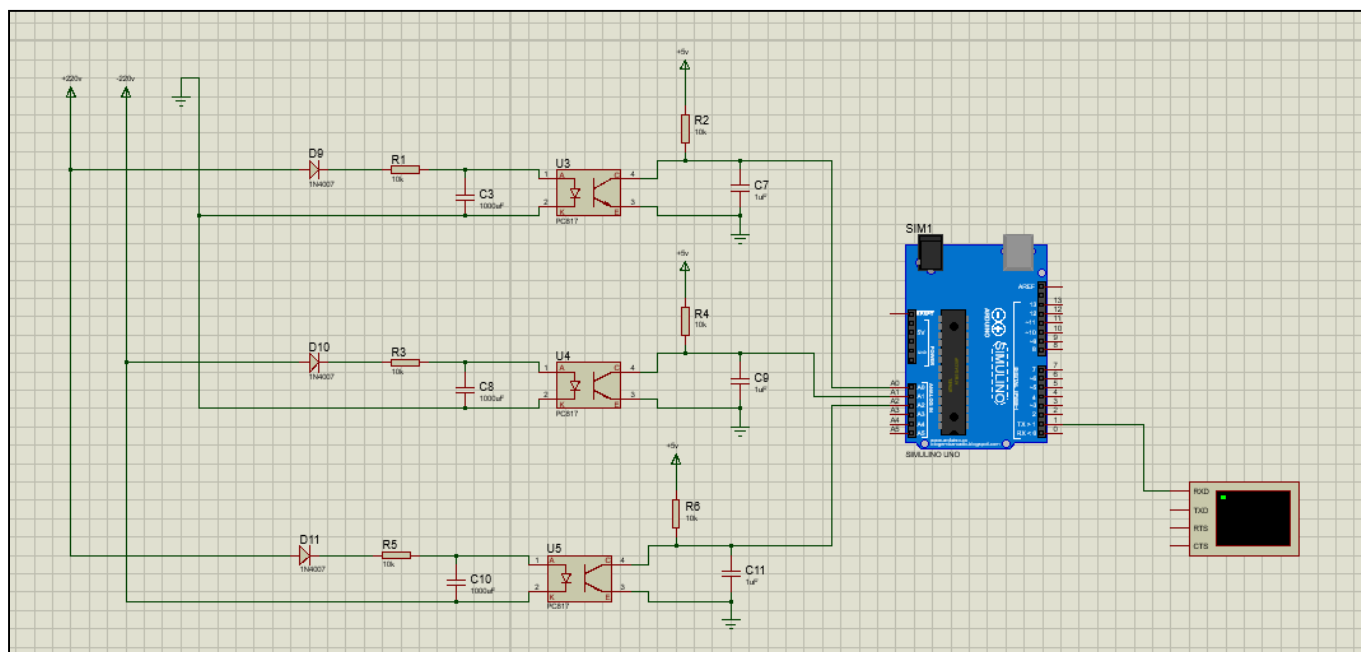
ทดลองต่อวงจรตามรูปที่3.1 และวัดค่าขนาดของแรงดัน Output ที่ได้จากวงจร โดยกำหนดให้แรงดันที่แหล่งจ่ายมีค่า 220 V ความถี่ 50 Hz ผ่านวงจรแหล่งจ่ายกระแสตรงที่ออกแบบไว้ ทำให้ได้ค่าแรงดัน Output ที่มีขนาด 5.01 V



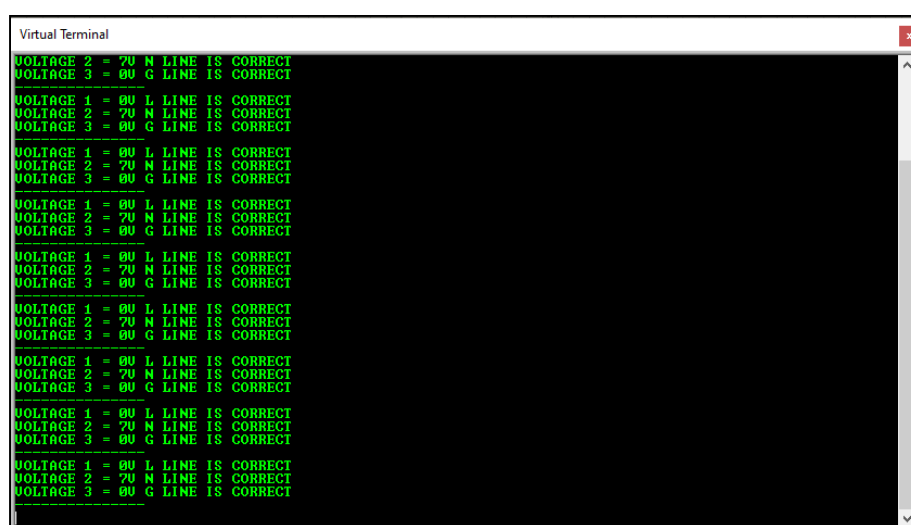
รูปที่3.5 แสดงภาพรวมของวงจรแหล่งจ่ายกระแสตรงที่ Output ขนาด 5.01 V

3.2.2 จำลองการทำงานของวงจรตรวจสอบสายสลับที่ต่ำรับ

ทำการต่อวงจรตามรูปที่ 3.2 วงจรดังกล่าวเป็นการจำลองการตรวจสอบสายสลัปที่ได้รับ โดยกำหนดให้ วงจรตรวจสอบสายสลัปชุดแรกต่อเข้ากับสายไลน์ที่มีแรงดันขนาด 220 V ชุดที่ 2 ต่อเข้ากับสายนิวตรอน มีแรงดัน ขนาด 0 V และชุดที่ 3 ต่อกับสายดิน เมื่อบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผลตามคำสั่งที่กำหนดไว้ ให้ผลดังรูป ที่ 3.7



รูปที่ 3.6 แสดงการจำลองการทำงานของวงจรตรวจสอบสายสลับที่ได้รับ

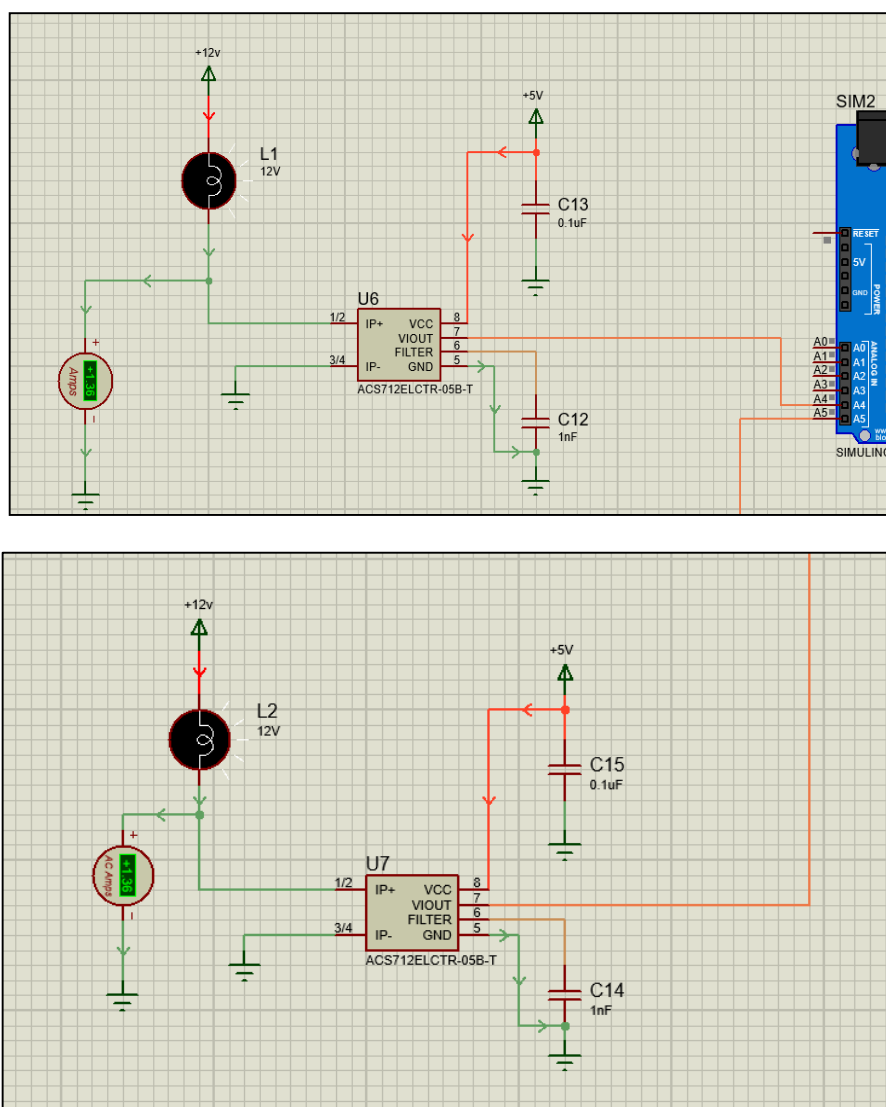


รูปที่ 3.7 แสดงผลการจำลองวงจรตรวจสอบสายสลับ

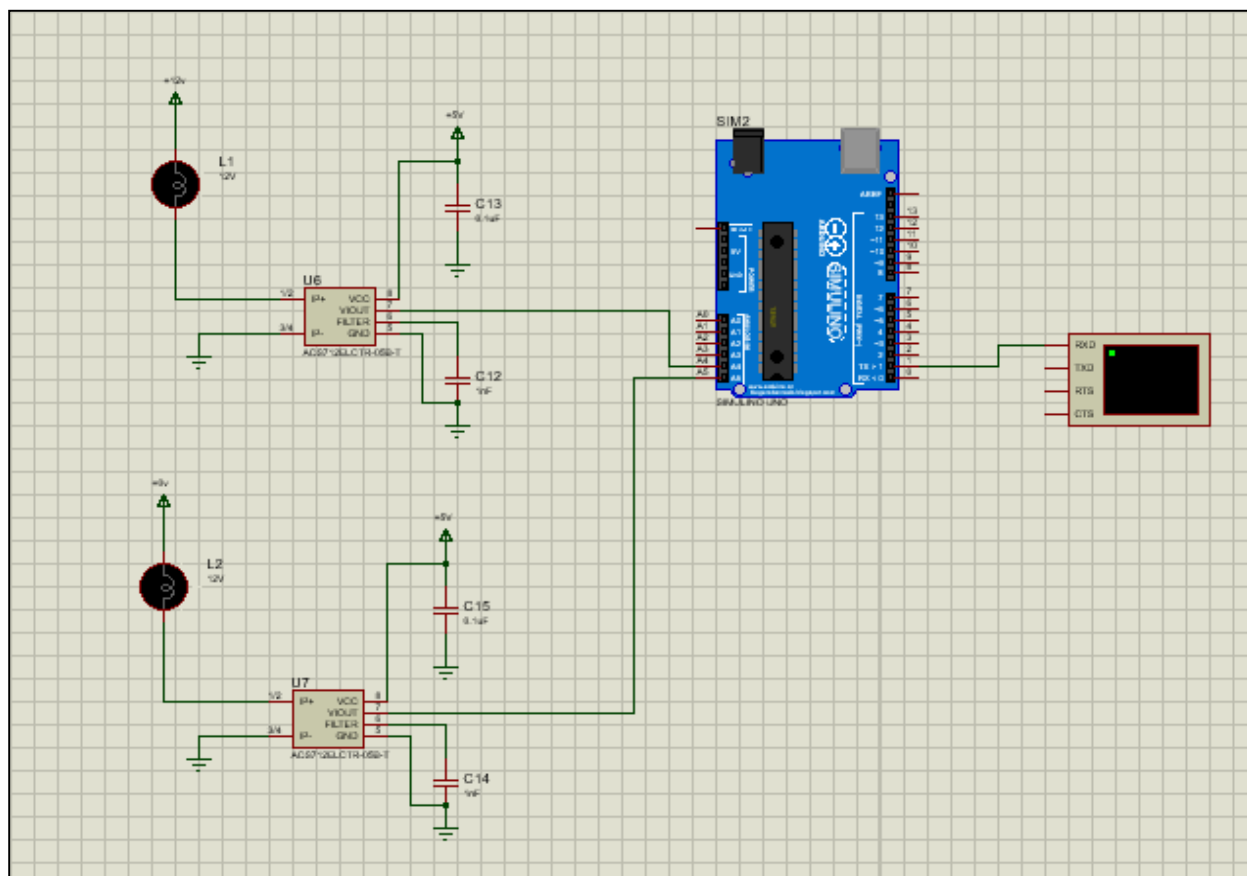
3.2.3 จำลองการทำงานของวงจรตรวจสอบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลที่ สายไลน์ และ สายนิวตรอน ของเครื่องตัดจี้ไฟฟ้า

ทดลองต่อวงจรดังรูปที่ โดยต่อวงจรตรวจสอบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลเข้ากับโหลดที่ใช้กระแสใกล้เคียงกับเครื่องตัดจี้ไฟฟ้า เนื่องจากเครื่องตัดจี้ไฟฟ้าขนาด 300 วัตต์ ใช้แรงดันไฟฟ้าขนาด 220 โวลต์ จะทำให้ได้ค่ากระแสที่มีขนาดประมาณ 1.36 แอมป์แปร์ ในการทดลองนี้จึงเลือกใช้หลอดไฟที่ใช้กระแสขนาด 1.36 แอมป์แปร์

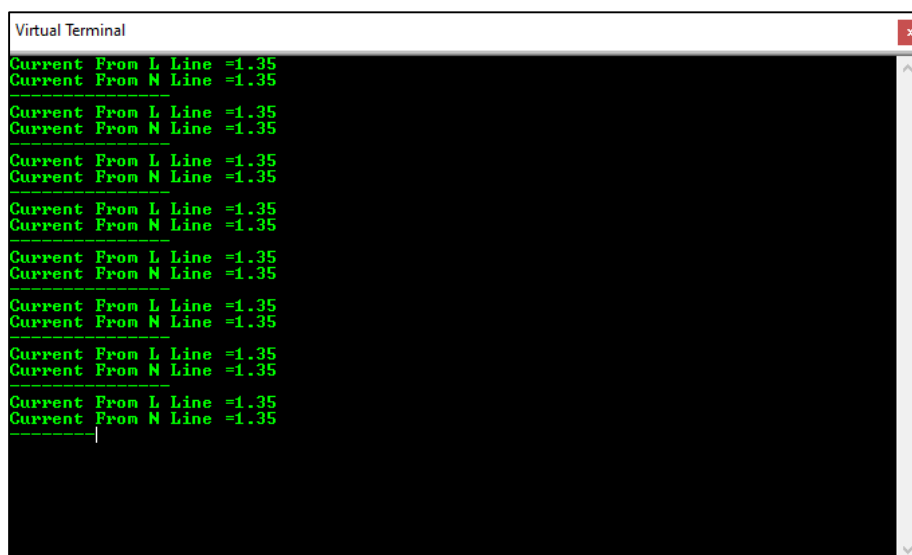
$$\text{จากสมการ } I = P/E = 300/220 = 1.36 \text{ A}$$



รูปที่ 3.8 แสดงขนาดของกระแสที่ไหลเข้า Current Sensor



รูปที่ 3.9 การจำลองวงจรตรวจสอบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลที่สายไลน์และสายนิวตรอนของเครื่องตัดจี้ไฟฟ้า



รูปที่ 3.10 ผลการจำลองวงจรตรวจสอบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลที่สายไลน์และสายนิวตรอนของเครื่องตัดจี้ไฟฟ้า

ตารางที่ 3.1 แสดงขนาดของกระแสที่ไหลเข้าและออกจาก Current Sensor

วงจรตรวจสอบ	กระแสที่ไหลเข้า Current Sensor (A)	กระแสที่ไหลออกจาก Current Sensor (A)
ที่สายไลน์	1.36	1.35
ที่สายนิวตรอน	1.36	1.35

3.3 การจัดสร้าง

3.4 การสรุปผลการดำเนินการ (ปัญหาที่พบ)

จากผลการการดำเนินโครงการที่ผ่านมา ได้ทำการศึกษาวิธีการตรวจวัดแนวทางการออกแบบวงจรสำหรับตรวจสอบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลในเครื่องมือแพทย์เพื่อมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลในเครื่องตัดจี้ไฟฟ้า ผู้จัดทำได้ทำการออกแบบวงจรและทดลองไปบ้างแล้ว แต่เป็นเพียงการจำลองการทำงานลงในโปรแกรม และยังไม่ได้ต่อใช้งานวงจรจริง ในส่วนของวงจรตรวจสอบสายสลับและสายดินได้มีการทดลองลงในโปรแกรมพบว่าวงจรที่ออกแบบสามารถใช้งานได้ และในส่วนของวงจรตรวจสอบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลในเครื่องตัดจี้ไฟฟ้า ผู้จัดทำได้มีการจัดทำจำลองการทำงานของวงจรในส่วนของวงจรตรวจสอบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลที่สายไลน์และสายนิวตรอนพบว่าค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าและออกจาก Current Sensor ยังมีค่าที่ไม่แม่นยำ ทั้งนี้อาจเกิดจากรูปแบบคำสั่งซอฟต์แวร์ที่ออกแบบยังต้องมีการแก้ไขให้เหมาะสมมากขึ้น ในส่วนของวงจรตรวจสอบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลที่สายดินของเครื่องตัดจี้ นั้น เนื่องจากกระแสไฟฟ้ารั่วไหลตามเกณฑ์ทางการแพทย์ที่ยอมรับได้มีขนาดเล็กมากในระดับไมโครแอมป์แปร์ ผู้จัดทำจึงต้องศึกษาและออกแบบให้มีความเหมาะสมสามารถวัดค่าได้จริง นอกจากนี้การจำลองลงในโปรแกรมเพียงอย่างเดียวยังไม่สามารถแสดงปัญหาที่พบเจอได้ทั้งหมด จึงต้องมีการทดลองจริงและแก้ไขการทำงานของวงจรในอนาคตต่อไป

บรรณานุกรม

- [1] ศิริชัย ชะละเอม (2562). *อิเล็กทรอนิกส์การแพทย์ ตอน เครื่องตัดจี้ไฟฟ้า (Electosurgical Unit)*. สืบค้นจาก [http://www.youtube.com/สื่อดิจิทัลด้านอาชีพและวิชาชีพเพื่อขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคม/อิเล็กทรอนิกส์การแพทย์\(เครื่องตัดจี้ไฟฟ้า\)](http://www.youtube.com/สื่อดิจิทัลด้านอาชีพและวิชาชีพเพื่อขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคม/อิเล็กทรอนิกส์การแพทย์(เครื่องตัดจี้ไฟฟ้า))
- [2] นายธีรเดช ภัทรวโรดม นายช่างเทคนิคชำนาญงาน ศูนย์วิศวกรรมกรรมการแพทย์ที่ 9 (2559). *ความปลอดภัยทางไฟฟ้ากับเครื่องมือแพทย์*. สืบค้นจาก <https://sites.google.com/site/teeradat24/kheruxng-mux-phaethy/ngan-kheruxng-mux-phaethy-1/krasae-fifa-raw>
- [3] เอกนริน พลาชีวะ(2558) แผนกช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา. *การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายกระแสตรง* ค้นจาก [http:// https://www.cstc.ac.th/หน่วยที่3.pdf](http://https://www.cstc.ac.th/หน่วยที่3.pdf)
- [4] สำนักวิจัยรังสีและเครื่องมือแพทย์ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข (2561). *คู่มือมือทดสอบเครื่องมือวัดทางการแพทย์ เครื่องตัดจี้ไฟฟ้า (Electrosurgical Units) (พิมพ์ครั้งที่ 1)*. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ปิยอนต์ พับลิชชิง จำกัด
- [5] ลือชัย ทองนิล(2553). *การตรวจสอบความปลอดภัยระบบไฟฟ้า(พิมพ์ครั้งที่ 9)* กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
- [6] ธนาวุฒิ กุลกำพล (2561). *การตรวจสอบความปลอดภัยทางไฟฟ้าสำหรับเครื่องมือแพทย์ ตามมาตรฐาน IEC60601.1, IEC62353 และตามวิธีการของ ECRI*. สืบค้นจาก <http://www.traetmed.co.th/Files/Name2/CONTENT1440223951627.pdf>