ชุดสาธิตการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้ารั่ว

ELECTRIC LEAKAGE DANGER PROTECTION DEMONSTRATION SET

โดย

นายกิตติศักดิ์ พัฒนพล

นายกุลโชติ สุขจันทร์

นายสุพจน์ เทือกตาหลอย

วัน เดือน ปี 30 ก.ย. 2541

เลขทะเบียน 038206

เลขเรียกหนังสือ T 39226 ก671 ม.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

038206

ปีการศึกษา 2539

ชุดสาธิตการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้ารั่ว

ELECTRIC LEAKAGE DANGER PROTECTION DEMONSTRATION SET

โดย

นายกิตติศักดิ์ พัฒนพล

นายกุลโชติ สุขจันทร์

นายสุพจน์ เทือกตาหลอย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2539

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดสาธิตการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้ารั่ว

ผู้จัดทำ

นายกิตติศักดิ์ พัฒนพล
นายกุลโชติ สุขจันทร์
นายสุพจน์ เทือกตาหลอย

_____อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญภาพ	III
สารบัญตาราง	Iv
บทที่ 1 ความมุ่งหมายของปริญญานิพนธ์	1
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตงาน	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้จากการทำปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	2
2.1 อันตรายจากไฟฟ้า	3
2.2 ผลของกระแสไฟฟ้าที่มีต่อร่างกายมนุษย์	3
2.3 หลักและวิธีป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าดูดตามมาตราฐานสากล	5
2.4 การต่อลงดิน	8
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง	39
3.1 แผงแสดงสัญลักษณ์ ต่าง ๆ ของชุดสาธิตการทดลอง	39
3.2 อุปกรณ์ภายในกล่องชุดสาธิตการทดลอง	39
3.2.3 หม้อแปลงไฟฟ้า	39
3.2.4 ตัวต้านทาน	40
บทที่ 4 ผลการทดลอง	42
4.1 โปรแกรมการทดลองถึงสาเหตุและการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้ารั่ว	42
บทที่ 5 สรุปผลโครงงานและข้อเสนอแนะ	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ภาคผนวก ข.

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดสาธิตการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้ารั่ว

นายกิตติศักดิ์ พัฒนพล
นายกุลโชติ สุขจันทร์
นายสุพจน์ เทือกตาหลอย
ผ.ศ.ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2539

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการสร้างชุดสาธิตเพื่อแสดงถึงสาเหตุและการป้องกันอันเกิดจากการใช้ไฟฟ้าในกรณีการเกิดไฟฟ้ารั่วในระบบแรงดันต่ำ เพื่อให้เข้าใจถึงสาเหตุและเลือกวิธีการป้องกันได้อย่างถูกต้อง โดยการจำลองอุปกรณ์ต่าง ๆ ตั้งแต่หม้อแปลงระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าตลอดจนความต้านทานของระบบกราวด์ลงบนแผงสาธิต ซึ่งอุปกรณ์ต่างๆ นั้นจะแทนด้วยพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าโดยจัดสร้างตัวต้านทานที่ใช้ลวดนิโครมเป็นวัสดุเพื่อทนกระแสได้สูงในการทดลองโดยค่าความต้านทานนี้จะแทนความต้านทานของสาย, ความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้า, ความต้านทานของคน และความต้านทานของการต่อลงดิน (Ground resistance) เป็นต้น ซึ่งแรงดันที่ใช้จริงในชุดทดลองนี้จะลดลง 10 เท่าเพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้แผงสาธิตนี้โดยการใช้หม้อแปลงขนาดพิกัด 220/22 V ซึ่งแผงสาธิตนี้จะทำเป็นขั้วต่อสายเพื่อสามารถทดลองในสภาวะต่างๆ ตามคู่มือการทดลอง ซึ่งผลการทดลองนั้นจะแสดงผลที่เครื่องวัดที่ติดไว้ในแผงสาธิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRIC LEAKAGE DANGER PROTECTION DEMONSTRATION SET

Kittisak Pattanapol
Goollachote sookjan
Supot Trucktaloil
Asst. Prof. Siriwat Potivejkul Advisor
1996

ABSTRACT

The purpose of this is to demonstrate the cause and the method to prevent danger from the use of electricity in case of the leak in low voltage system.

In order to understand the cause and to choose the proper method by modeling various equipment starting from a transformer, destribution system, electrical equipment as well as the resistance of electrical ground system on the demo plate. Each equipment was prepared by parameter using nichrome wires to build the resistance since it has high resistancy. The resistant value stands for the resistant value of the wire electrical equipment, people and ground wire. The voltage used in the demo is reduced by 10 times so as to avoid the deager that might happen to the demo users. The transformer is 220/22 Volt connected to the demo plate by the wire so it can be used in all situations in according to the handbook. The experimental result will show on the meter attached to the demo plate.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ผลของกระแสไฟฟ้าสลับความถี่ ระหว่าง 15 Hz ถึง 100 Hz	4
รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของการต่อลงดิน	9
รูปที่ 2.3 การใช้ท่อน้ำโลหะใต้ดินเป็นระบบหลักดิน	11
รูปที่ 2.4 การใช้โครงโลหะของอาคารเป็นระบบหลักดิน	12
รูปที่ 2.5 การใช้สายตัวนำหุ้มด้วยคอนกรีตเป็นระบบหลักดิน	12
รูปที่ 2.6 การใช้หลักดินแบบวงแหวนเป็นระบบหลักดิน	13
รูปที่ 2.7 หลักดินที่ทำขึ้นมา และ หลักดินแบบอื่น ๆ	14
รูปที่ 2.8 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 2 สาย	17
รูปที่ 2.9 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 3 สาย	18
รูปที่ 2.10 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 3 สาย เมื่อแหล่งจ่ายไฟเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	19
รูปที่ 2.11 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่มีระดับแรงดันตั้งแต่ 50v-1kv	20
รูปที่ 2.12 การต่อลงดินของอุปกรณ์ที่เคลื่อนย้ายได้ซึ่งรับไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าแรงสูง	21
รูปที่ 2.13 การต่อลงดินของอุปกรณ์ทั่วไปซึ่งรับไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าแรงสูง	21
รูปที่ 2.14 ระยะห่างของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้ากับระบบหลักดินถ้ามีระยะห่างมากกว่านี้ไม่ต้องต่อหลักดิน	23
รูปที่ 2.15 สายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า	24
รูปที่ 2.16 ระบบไฟฟ้าที่ประกอบด้วย เมนสวิตช์ และแผงจ่ายไฟ	27
รูปที่ 2.17 เมนสวิตช์ที่มีเครื่องป้องกันกระแสเกิน 500 A	28
รูปที่ 2.18 วงจรจ่ายโหลด 4 วงจรที่ต่อจากแผงจ่ายไฟ	28
รูปที่ 2.19 แสดงสายต่าง ๆ ที่เมนสวิตช์	29
รูปที่ 2.20 การต่อลงดินที่หม้อแปลงนอกอาคารและที่เมนสวิตช์	30
รูปที่ 2.21 ความหมายของการต่อฝากหลัก	30
รูปที่ 2.22 เส้นทางของกระแสลัดวงจรลงดินผ่านสายต่อฝากหลัก	31
รูปที่ 2.23 การจ่ายไฟฟ้าของอาคารเมนให้กับอาคารหลังอื่น ๆ	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.24 อาคารแต่ละหลังต้องมีหลักดินเป็นของตัวเอง 33
รูปที่ 2.25 การเดินสายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าจากอาคารเมนไปยังอาคารหลังอื่น ๆ 34
รูปที่ 2.26 ระบบไฟฟ้าแบบ TT 36
รูปที่ 2.27 ระบบไฟฟ้าแบบ TN-S 36
รูปที่ 2.28 ระบบไฟฟ้าแบบ TN-C 37
รูปที่ 2.29 ระบบไฟฟ้าแบบ TN-C-S 37
รูปที่ 2.30 ระบบไฟฟ้าแบบ IT 38
รูปที่ 3.1 แผงชุดสาธิตการทดลองการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้ารั่ว 39
รูปที่ 3.2 หม้อแปลงขนาด 220/22 40
รูปที่ 3.2 หม้อแปลงขนาด 22/22/4.2 40
รูปที่ 3.4 ความต้านทานแบบใช้ขดลวดนิโครมพันบนแผ่นซิบซั่ม 40
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรภายในชุดทดลองการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้ารั่ว 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ขนาดต่ำสุดของสายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า 26

ตารางภาคผนวก ข. เบอร์ลวดนิโครมที่ใช้พันตัวต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
ความมุ่งหมายของปริญญานิพนธ์

1.1 บทนำ

ไฟฟ้าที่เราใช้กันอยู่ทุกวันนี้นอกจากมีคุณประโยชน์อย่างมหาศาลต่อมวลมนุษย์ แต่ก็ให้โทษแก่ผู้ใช้ได้อย่างมหันต์ ถ้าขาดระบบการป้องกันที่ดีและถูกต้อง ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีอย่างมากอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ ที่อำนวยความสะดวกสบายแก่มวลมนุษย์ก็มากและเครื่องใช้ต่างๆ เหล่านี้ส่วนมากแล้วต้องใช้กับไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อเกิดไฟฟ้ารั่วลงตัวเครื่องใช้ที่เป็นโลหะหรือ ตัวนำจึงเป็นสาเหตุอันหนึ่งที่ทำให้เกิดอันตรายถึงแก่ชีวิตของผู้ใช้ไฟฟ้าได้ เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นที่เรา ควรจะต้องเรียนรู้ถึงสาเหตุที่จะทำให้เกิดอันตราย และวิธีป้องกันอย่างถูกต้องเพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อชีวิตคน

ดังนั้นแผงสาธิตการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้ารั่วนี้ก็จะช่วยให้ น.ศ. ได้มีความรู้ความเข้าใจในรายละเอียดต่างๆ ของสาเหตุและการป้องกัน ที่ถูกวิธี เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดอันตรายต่อชีวิตมนุษย์

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างชุดสาธิตการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้ารั่ว
2. เพื่อให้เข้าใจถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดอันตรายจากไฟฟ้า
3. เพื่อให้เข้าใจถึงวิธีการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้ารั่วอย่างถูกต้อง
4. เพื่อให้เข้าใจถึงการปฏิบัติงานที่บกพร่องในการป้องกัน อันอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดอันตรายถึงแก่ชีวิต ทั้งที่เครื่องใช้อยู่ในสภาพดี
5. สามารถเลือกวิธีป้องกันที่เหมาะสม และนำไปใช้อย่างถูกต้อง
6. เพื่อให้เห็นความสำคัญของการติดตั้งระบบสายดินตามข้อบังคับของการไฟฟ้านครหลวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตงาน

สร้างชุดสาธิตและการทดลองเพื่อศึกษาถึงสาเหตุ ต่าง ๆ และวิธีการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้ารั่วอย่างถูกวิธี ซึ่งการทดลองนี้จะมี โปรแกรมหัวข้อการทดลองถึงสาเหตุ ต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดอันตรายและการเลือกวิธีการป้องกันแบบต่างๆ จะสามารถอธิบายข้อเปรียบเทียบตลอดจนข้อดีและข้อเสีย เพื่อนำไปปฏิบัติอย่างถูกต้อง ตลอดจนการคำนวณหาค่าต่าง ๆ เช่น กระแสไหลผ่านตัวคน , แรงดันสัมผัสตัวคนในขณะที่ไม่สัมผัสโครงเครื่องใช้ไฟฟ้า ในสภาวะปกิและไม่ปกติ หรือเกิดรั่ว โดยที่แผงทดลองจะจำลองระบบไฟฟ้าเริ่มจากการไฟฟ้าจ่ายให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า และระบบการต่อลงดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า เป็นต้น

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

1.4.1 PROJECT 1

- ศึกษาและหาข้อมูลเกี่ยวกับการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้ารั่ว
- หัวข้อการทดลองและทดลองผลที่ออกแบบไว้ โดยการสร้างใบงานการทดลองถึงสาเหตุและการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าและผลที่ออกแบบไว้

1.4.2 PROJECT 2

- สร้างใบงานการทดลองต่อจาก PROJECT 1 และทดลองผลที่ออกแบบไว้
- สร้างและประกอบชุดทดลองทั้งหมด

1.5 ประโยชน์ที่ได้จากการทำปริญญานิพนธ์

สามารถนำความรู้ต่าง ๆ เพื่อแก้ปัญหาสาเหตุและการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าในการปฏิบัติงานอย่างถูกต้องและปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 อันตรายจากไฟฟ้า

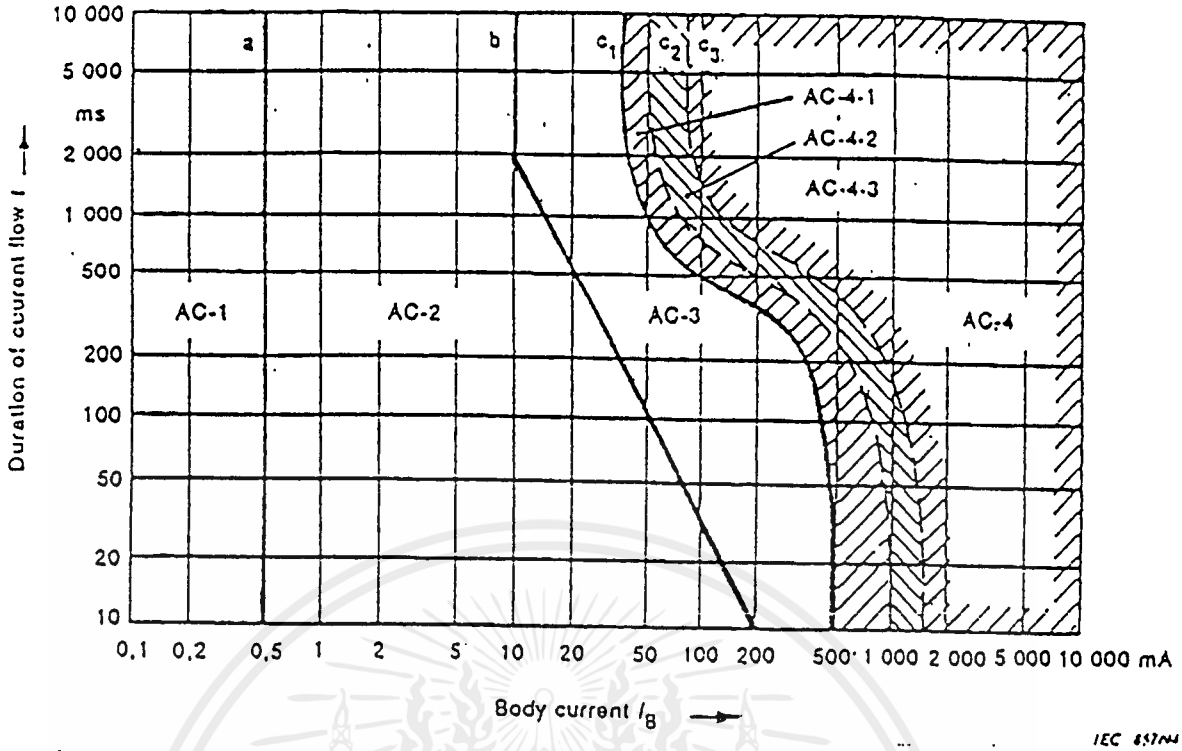
เมื่อส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกายมนุษย์มีการสัมผัสกับส่วนที่มีแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้า ผู้สัมผัสจะได้รับอันตรายก็ต่อเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายโดยเฉพาะอย่างยิ่งผ่านหัวใจในปริมาณที่มีมากพอ การที่กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านร่างกายได้ก็ต่อเมื่อร่างกายผู้นั้นสัมผัสกับสิ่งของอย่างน้อย 2 สิ่งที่มีแรงดันไฟฟ้าแตกต่างกัน เช่น มือข้างหนึ่งจับสายไฟที่มีแรงดันเทียบกับดิน 220 โวลท์ ส่วนเท้ายืนอยู่บนพื้นดิน (แรงดันของพื้นดินเป็นศูนย์) ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าระหว่างมือและเท้าจะเป็น 220 โวลท์ เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายระหว่างมือไปยังฝ่าเท้า ซึ่งจะมีผลให้เกิดอันตรายขึ้น หรือในกรณีของมือข้างหนึ่งจับสายไฟเส้นหนึ่งและมืออีกข้างหนึ่งสัมผัสกับสายไฟอีกเส้นหนึ่งหรือส่วนที่มีแรงดันไฟฟ้าแตกต่างกันกับสายไฟฟ้า เช่น ก๊อกน้ำ ผนังคอนกรีต (ถือว่ามีแรงดันเท่ากับดิน) ก็จะเกิดเหตุการณ์ที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายในลักษณะเดียวกันคือไหลจากมือข้างหนึ่งไปยังมืออีกข้างหนึ่ง เป็นต้น

2.2 ผลของกระแสไฟฟ้าที่มีต่อร่างกายมนุษย์

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกาย อันเนื่องมาจากสัมผัสกับส่วนที่มีไฟ ความรุนแรงหรืออันตรายจะขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่ไหลผ่านร่างกายด้วยองค์ประกอบที่มีผลต่ออันตรายหรือปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านร่างกาย เช่น

1. ชนิดของกระแสไฟฟ้า เช่น ร่างกายของมนุษย์จะทนต่อกระแสไฟตรงได้มากกว่ากระแสไฟฟ้าสลับ และทนกระแสความถี่ต่ำได้มากกว่าความถี่สูง
2. แรงดันไฟฟ้าขณะสัมผัส เช่น ถ้าแรงดันต่ำกระแสที่ไหลย่อมน้อยกว่าแรงดันสูง
3. ระยะเวลาที่สัมผัส ถ้าสัมผัสนานอันตรายยิ่งมาก
4. อื่น ๆ เช่น ความชื้น อุณหภูมิ พื้นที่หน้าสัมผัส แรงกด ชนิดของผิวหนังรวมทั้งแนวหรือทิศทางที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกาย เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ผลของกระแสไฟฟ้าสลับความถี่ระหว่าง 15 Hz ถึง 100 Hz ที่ไหลจากมือซ้ายไปยังเท้าทั้งสอง

โซน	ผลของร่างกายที่กระแสไหลผ่าน
AC - 1 -	ไม่มีปฏิกิริยา ถ้ากระแส ฯ ไม่เกิน 0.5 mA
AC - 2 -	เริ่มมีความรู้สึก แต่ยังไม่เป็นอันตราย โดยเฉลี่ยแล้วถ้ากระแสไม่ เกิน 10 mA ยังสามารถคลายมือ ออกได้
AC - 3 -	เริ่มมีการหดตัวของกล้ามเนื้อ หรือหายใจลำบาก อาจมีผลต่อการทำงานของหัวใจแต่ยังไม่ถึงกับรุนแรง
AC - 4 -	เป็นย่านอันตรายต่อหัวใจและระบบหายใจ (หัวใจเต้นผิดปกติ ความดันโลหิตตกลง) และมีแผลไหม้

ในกรณีที่เส้นทางที่กระแสไฟฟ้าผ่านร่างกายเป็นเส้นทางอื่น ก็จะมีผลแตกต่างกันโดยมีตัวคูณดังนี้

$$I = Iref/F$$

I = กระแสไฟฟ้าในเส้นทางอื่น ๆ ที่ความรุนแรงหรืออันตรายเดียวกันกับรูปที่ 1

Iref = กระแสไฟฟ้าที่อ้างอิงตามรูปที่ 1 (เส้นทางจากมือซ้ายไปเท้าทั้ง 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

F = ตัวคูณกระแส

เส้นทางกระแสไฟฟ้า	ตัวคูณกระแส
มือซ้ายไปเท้าซ้าย เท้าขวาหรือทั้งสองเท้า	1.0
มือทั้งสองไปยังเท้าทั้งสอง	1.0
มือซ้ายไปยังมือขวา	0.4
มือขวาไปเท้าซ้าย เท้าขวาหรือทั้งสองเท้า	0.8
หลังไปมือขวา	0.3
หลังไปมือซ้าย	0.7
หน้าอกไปมือขวา	1.3
หน้าอกไปมือซ้าย	1.5
ที่นั่งไปยังมือซ้าย มือขวาหรือมือทั้งสอง	0.7

ตัวอย่าง เช่น ต้องการทราบว่าถ้ามีกระแสไหลจากมือซ้ายไปมือขวาจะมีค่ากระแสเท่าใดที่มีอันตรายเทียบเท่ากรณีมีกระแส 80 ไหลจากมือซ้ายไป เท้าทั้งสอง

$$I = Iref/F$$
$$= 80/0.4$$
$$= 200 \text{ mA}$$

ตัวอย่างนี้แสดงให้เห็นว่าเส้นทางของกระแสไฟฟ้าที่ไหลระหว่างมือซ้ายไปยังมือขวาจะมีค่าความต้านทานสูงกว่าเส้นทางจากมือซ้ายไปยังเท้าทั้งสองเท้าหรืออาจจะบอกได้ว่าเส้นทางที่มีค่าตัวคูณกระแสน้อยจะมีผลต่อการทำงานของหัวใจน้อยกว่าเส้นทางที่มีค่าตัวคูณกระแสมาก

2.3 หลักและวิธีการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าดูดตามมาตราฐานสากล

หลักและวิธีป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าดูดที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ จะหมายถึงเฉพาะที่ใช้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไม่เกิน 1000 โวลท์ ความถี่ 50 Hz หรือ 60 Hz ที่ใช้ติดตั้งหรือจ่ายไฟในอาคารทั่ว ๆ ไป ซึ่งในเรื่องเกี่ยวกับมาตราฐานการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าดูดนั้น มาตรฐานสากล ได้วาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการพื้นฐานในการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าดูดว่า จะต้องมีการป้องกันอันตรายสำหรับการติดตั้งทางไฟฟ้ารวมทั้งเครื่องใช้ไฟฟ้าในทั้ง 2 สภาวะ คือ สภาวะการใช้งานปกติและสภาวะที่มีสิ่งผิดปกติ เช่น กรณีชำรุด หรือไฟฟ้ารั่ว เป็นต้น

การป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าแบ่งได้ 2 กรณี

2.3.1 การป้องกันอันตรายจากการสัมผัสโดยตรง

การป้องกันการสัมผัสโดยตรงเป็นการป้องกันเบื้องต้นที่จะต้องมีในการใช้ไฟฟ้าซึ่งจะมีวิธีป้องกันได้หลายวิธี โดยอาจจะเลือกวิธีใดวิธีหนึ่งหรือหลายวิธีก็ได้ ดังนี้

2.3.1.1 หุ้มฉนวนส่วนที่มีไฟ ฉนวนที่หุ้มจะต้องมีความหนาเพียงพอ และทนทานปลอดภัยในสภาวะการใช้งานปกติ เช่น สายไฟที่มีฉนวนหุ้ม เป็นต้น

2.3.1.2 ป้องกันโดยมีสิ่งกั้นหรือตู้ เป็นการป้องกันมิให้สัมผัสส่วนที่มีไฟโดยไม่ตั้งใจ (เป็นการป้องกันที่ค่อนข้างมิดชิดแต่อาจมีรูเล็ดลอดได้ ขนาดของรูต้องสามารถป้องกันไม่ให้นิ้วมือแหย่เข้าไปได้) แต่ไม่ได้ป้องกันการสัมผัสอย่างจงใจ เช่น กรณีที่มีการเปิดสิ่งที่กั้นหรือตู้ออก ตัวอย่างของการป้องกันแบบนี้ เช่นเต้ารับ ตู้แผงสวิตช์ สวิตช์ไฟ เป็นต้น

2.3.1.3 ป้องกันโดยมีสิ่งกีดขวาง ป้องกันการสัมผัสส่วนที่มีไฟโดยไม่ตั้งใจต่อวัตถุที่มีขนาดใหญ่ขึ้นมาเพื่อป้องกันไม่ให้คนเข้าไปใกล้ ปกติจะเห็นค่อนข้างเปิดโล่ง เช่น รั้วกั้น หรือ ลูกกรง เป็นต้น

2.3.1.4 ยกให้อยู่ในระยะที่เอื้อมไม่ถึง ระยะที่เอื้อมถึงคือ 2.5 เมตร ด้านความสูงและ 1.25 เมตร ในแนวระดับปรือด้านข้าง (กฎ ฯ ของ ก.ฟ.น. กำหนดไว้ 2.4 เมตร และ 1.5 เมตร ตามลำดับ)

2.3.1.5 ใช้เครื่องตัดไฟรั่วเป็นการป้องกันเสริม เครื่องตัดไฟรั่วสามารถใช้เป็นอุปกรณ์ป้องกันเสริมเพิ่มเติมจาก 4 วิธีแรกในสภาวะการใช้งานปกติ ห้ามใช้ เป็นวิธีป้องกันหลักโดยไม่มีวิธีใดวิธีหนึ่งข้างต้นขนาดที่ใช้ต้องมีขนาดกระแสไฟรั่วไม่เกิน 30 มิลลิแอมป์ (เฉพาะในมาตรฐานของประเทศอังกฤษจะกำหนดเพิ่มเติมว่าเครื่องตัดไฟรั่วต้องตัดวงจรออกภายในเวลา 40 msec ที่กระแสไฟรั่วขนาด 150 มิลลิแอมป์ อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การป้องกันอันตรายจากการสัมผัสโดยอ้อม

มาตรฐานได้กำหนดให้มีการป้องกันอันตรายจากการสัมผัสโดยอ้อมเพิ่มเติมนอกเหนือจากการป้องกันสัมผัสโดยตรง 4 ข้อแรก ด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้

2.3.2.1 มีการต่อลงดินเปลือกหุ้มที่เป็นตัวนำและมีระบบตัดไฟอัตโนมัติ

ก. ส่วนที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่อยู่ภายนอกของเครื่องใช้ไฟฟ้าและอยู่ในระยะที่จับต้องได้ ต้องมีการต่อลงดินด้วยระบบสายดิน (สายเขียว) ให้ถูกต้องตามระบบการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าที่ใช้อยู่

ข. ภายในอาคารเดียวกัน จะต้องมีการโยงหรือต่อส่วนที่เป็นตัวนำเข้าหากันเพื่อให้มีแรงดันไฟฟ้าเท่ากัน โดยให้ต่อไปที่ขั้วต่อลงดินหลัก ซึ่งต่อกับสายต่อลงดินหลักก่อนที่จะลงไปยังแท่งหลักดิน เช่น ต่อเข้ากับขั้วดินที่เมนสวิตช์ เป็นต้น ตัวนำที่ต้องต่อให้มีแรงดันเท่ากัน เช่น

- สายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า (สายเขียว)
- ท่อน้ำโลหะ หรือ รางโลหะอื่น ๆ รวมทั้งท่อ
- เปลือกตัวนำของสายไฟระบบสื่อสาร
- เหล็กโครงสร้างหรือโลหะอื่น ๆ รวมทั้งระบบปรับอากาศ
- ระบบป้องกันฟ้าผ่า

ค. มีอุปกรณ์ตัดไฟอัตโนมัติที่จะตัดวงจรกระแสไฟฟ้าออก ในกรณีที่เกิดไฟรั่วที่ส่วนที่เป็นโลหะหรือตัวนำที่อยู่เปลือกนอกของเครื่องใช้ไฟฟ้า ภายในระยะเวลาอันรวดเร็วก่อนที่จะมีการสัมผัส หรือไม่มีอันตรายต่อการสัมผัส อุปกรณ์ตัดไฟอัตโนมัติ ได้แก่ เครื่องป้องกันกระแสเกินหรืออาจจะเป็นเครื่องตัดไฟรั่ว (เครื่องตัดไฟรั่วห้ามใช้กับระบบ ซึ่งมีการใช้สายดินอุปกรณ์ และสายเส้นศูนย์ร่วมกัน

2.3.2.2 ใช้ในสถานที่ไม่เป็นสื่อตัวนำ สภาพพื้นที่ ๆ มีการใช้ไฟฟ้าต้องไม่อำนวยให้มีการสัมผัสพร้อมกันอย่างน้อย 2 จุด ระหว่างเครื่องใช้ไฟฟ้า (ที่มีเปลือกหุ้มเป็นตัวนำ หรือมีส่วนของโลหะ) กับส่วนที่มีแรงดันเท่ากับดิน หรือระหว่างเปลือกหุ้มของเครื่องใช้ไฟฟ้า 2 เครื่อง เป็นต้น นั่นคือสภาพพื้นที่ต้องไม่มีการต่อลงดินหรือต้องเป็นฉนวนทั้งหมดหรือมีระยะห่างเพียงพอตามที่มาตรฐานกำหนด

2.3.2.3 ภายในสถานที่จะต่อโยงส่วนที่เป็นตัวนำ หรือที่เป็นสื่อไฟฟ้าได้ เข้าหากันทั้งหมด รวมทั้งเปลือกของเครื่องใช้ แต่ต้องไม่สัมผัสหรือต่อกับส่วนที่มีแรงดันเท่ากับดิน วิธีนี้ต้องระมัดระวังอันตรายในขณะที่เข้าไปยังสถานที่นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.4 ใช้ระบบไฟฟ้าที่แยกจากกัน วิธีนี้มักจะใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าเพียงไม่กี่ชิ้น โดยออกแบบระบบจ่ายไฟที่แยกเป็นอิสระจากระบบจ่ายไฟปกติโดยผ่านหม้อแปลงแยกขดลวดชนิดปลอดภัย หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบ ที่มีความปลอดภัยเพียงพอ

2.3.3 **การป้องกันอันตรายทั้งสัมผัสโดยตรงและสัมผัสโดยอ้อมมีอยู่ 2 วิธี ดังนี้**

2.3.3.1 ใช้เครื่องใช้ที่มีแรงดันต่ำไม่เกิน 50 Volt (หรือ) โดยผ่านหม้อแปลง

2.3.3.2 ใช้วิธีจำกัดพลังงาน วิธีนี้จะใช้วิธีจำกัดขนาดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านร่างกายให้อยู่ในระดับที่จะไม่ทำอันตรายต่อมนุษย์หรือสัตว์ โดยปกติจะเป็นวงจรพิเศษที่มีการแยกจ่ายเป็นการเฉพาะ เช่น เดียวกับข้อ 2.3.3.1

2.4 การต่อลงดิน

การต่อลงดินมีจุดประสงค์เพื่อลดอันตรายที่ตะเกิดต่อบุคคล และลดความเสียหายอาจ เกิดขึ้นต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าและระบบไฟฟ้า การต่อลงดินจะทำหน้าที่หลักคือ

1. จำกัดแรงดันไฟฟ้าของวงจรไม่ให้สูงจนอาจทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าเสียหาย เมื่อ เกิดแรงดันเกิน และลดแรงดันไฟฟ้าที่อาจเกิดขึ้นที่เครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือส่วนประกอบ เนื่องจากการรั่วหรือการเหนี่ยวนำเพื่อลดอันตรายต่อบุคคลที่อาจไปสัมผัส

2. ลดความเสียหายของอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือระบบไฟฟ้าเมื่อเกิดกระแสไฟฟ้ารั่วลงดิน การต่อลงดินที่ถูกต้องจะช่วยให้เครื่องป้องกันทำงานได้ตามที่ได้ออกแบบไว้

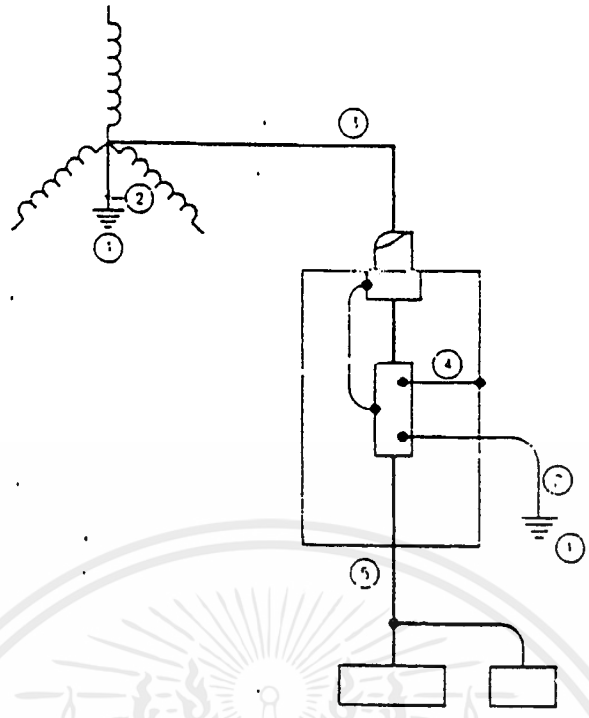
2.4.1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของการต่อลงดิน

การต่อลงดินมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ

1. หลักดิน หรือระบบหลักดิน (Grounding Electrode or Grounding Electrode Systems)
2. สายต่อหลักดิน (Grounding Electrode Conductors)
3. สายที่มีการต่อลงดิน (Grounded Conductors)
4. การต่อประสายหลัก หรือ การต่อฝากหลัก (Main Bonding Jumper)
5. สายดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า (Equipment Grounding Conductors)

ดังแสดงในรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของการต่อลงดิน.

ระบบหลักดิน (Grounding Electrode Systems)

คำว่า "Electrode" แปลว่า ทางเข้าหรือทางออกของอิเลคตรอน โดยทั่วไปคำนี้จะใช้แสดงขั้วของแบตเตอรี่ เพราะขั้วของแบตเตอรี่ก็คือ ทางเข้า และ ทางออก ของอิเลคตรอนนั่นเอง

สำหรับ " Grounding Electrode " ของระบบการต่อลงดิน คือ ทางเข้าไปสู่ดิน หรือ ออกจากดินสำหรับอิเลคตรอนในระบบไฟฟ้า

ดิน (Earth)

ดินเป็นตัวนำที่มีขนาดใหญ่มาก เราจึงกำหนดให้ศักย์ไฟฟ้าที่พื้นดินมีค่าเป็นศูนย์ ดินเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ไม่ดีนักถึงแม้ว่าจะมีพื้นที่ขนาดใหญ่ก็ตาม ทั้งนี้เพราะว่าการนำไฟฟ้าของดินจะขึ้นอยู่กับชนิดของดิน เกลือแร่ที่ละลายในดินอิเลคโตรไลท์ อุณหภูมิและความชื้นของดิน ดินจะทำหน้าที่รองรับกระแสต่าง ๆ ที่รั่วไหลลงดิน และ เป็นที่ต่อของส่วนที่เป็นโลหะของสถานประกอบการต่าง ๆ เพื่อให้ส่วนของโลหะเหล่านั้นมีศักดาไฟฟ้าเป็นศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่ของระบบหลักดิน

ระบบหลักดิน ประกอบด้วยหลักดินหลายแบบซึ่งต่อถึงกัน ในสถานประกอบการหนึ่ง ๆ อาจมีหลักดินแบบเดียว หรือ หลายแบบก็ได้ ถ้าหลักดินมีหลายแบบต้องต่อหลักดินนั้น ๆ ให้ต่อเนื่องถึงกันตลอดเป็นระบบหลักดิน

ระบบหลักดิน มีหน้าที่ดังต่อไปนี้ คือ

- ทำให้เกิดการต่อถึงกันอย่างดีระหว่างดิน และ ส่วนที่เป็นโลหะที่ไม่มีกระแสไหลผ่านของสถานประกอบการ เพื่อให้ส่วนโลหะเหล่านี้มีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ คือ ที่ระดับดิน
- เพื่อให้เป็นทางผ่านเข้าสู่ดินอย่างสะดวกสำหรับอิเลคตรอนจำนวนมาก ในกรณีที่เกิดฟ้าผ่า หรือ แรงดันเกิน
- เพื่อถ่ายทอดกระแสรั่วไหล หรือ กระแสที่เกิดจากไฟฟ้าสถิตย์ลงสู่ดิน

มักมีผู้เข้าใจผิดอยู่เสมอว่า หลักดินมีหน้าที่ในการนำกระแสลัดวงจร เพื่อให้อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินทำงาน แต่ในความเป็นจริงแล้วหลักดินไม่อาจทำหน้าที่นี้ได้ เนื่องจากทางผ่านระหว่างหลักดินกับอุปกรณ์ป้องกันมีอิมพีแดนซ์สูง ทำให้กระแสไม่เพียงพอที่จะทำให้อุปกรณ์ป้องกันทำงาน

ระบบหลักดินแบบต่างๆ

ระบบหลักดินที่ NEC แนะนำให้ใช้เป็นลำดับแรกมี 4 แบบ คือ

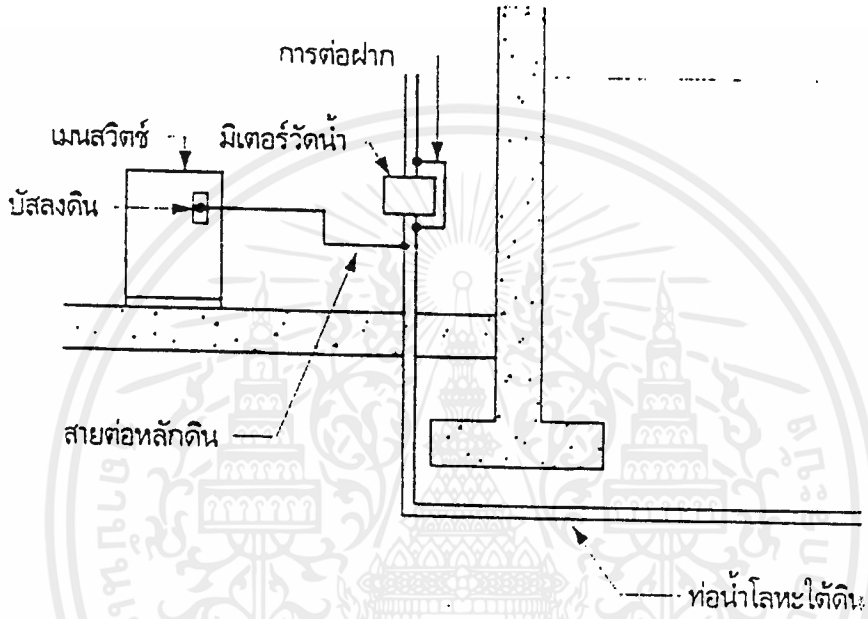
1. ท่อน้ำโลหะใต้ดิน
2. โครงโลหะของอาคาร
3. สายตัวนำที่หุ้มด้วยคอนกรีต
4. ระบบหลักดินแบบวงแหวน

ระบบหลักดินทั้ง 4 แบบนี้ ถ้าพบว่ามีในสถานประกอบการจะต้องใช้เป็นระบบหลักดิน เนื่องจากมันมีคุณสมบัติที่เหมาะที่จะเป็นหลักดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท่อน้ำโลหะใต้ดิน

ท่อน้ำที่ใช้ระบบหลักดินต้องเป็นท่อโลหะที่ฝังอยู่ใต้ดินตลอดเวลา มีความต่อเนื่องทางไฟฟ้ายาวไม่ต่ำกว่า 10 ฟุต(3 เมตร) และต้องต่อเข้ากับระบบหลักดินแบบอื่นๆ ด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.3

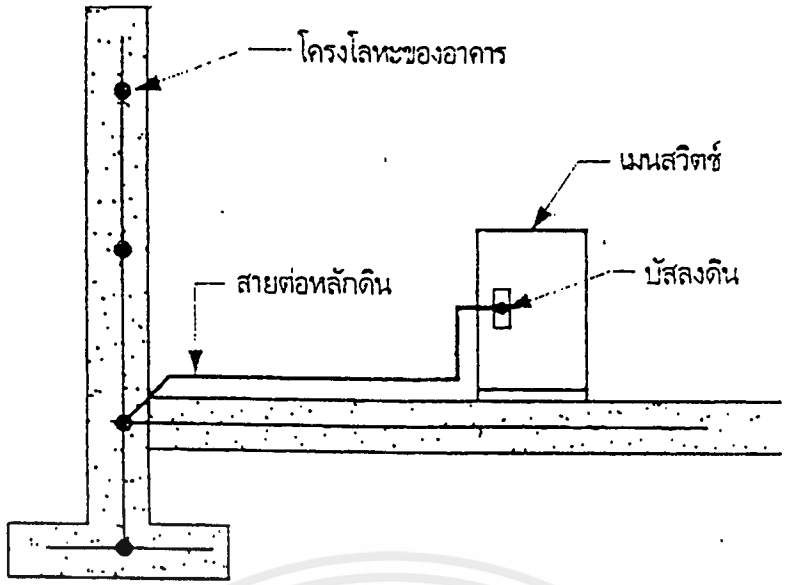


รูปที่ 2.3 การใช้ท่อน้ำโลหะใต้ดินเป็นระบบหลักดิน

โครงโลหะของอาคาร

โครงโลหะของอาคารที่มีลักษณะการต่อลงดินแบบยังผล (effectively Grounded) จะใช้เป็นระบบหลักดินได้ดี ถ้าอาคารตั้งอยู่บนเสาเข็ม และเสาเข็มเป็นชนิดคอนกรีตเสริมเหล็กแล้ว เราจะถือว่าระบบหลักดินเป็นแบบยังผล อย่างไรก็ตามบางอาคารก็มีความจำเป็นที่จะต้องใช้สายทองแดงเปลือยต่อเชื่อมระหว่างเสาเข็ม และโครงโลหะของฐานราก เพื่อให้โครงโลหะของอาคารเป็นระบบหลักดินแบบยังผล ดังแสดงในรูปที่ 2.4

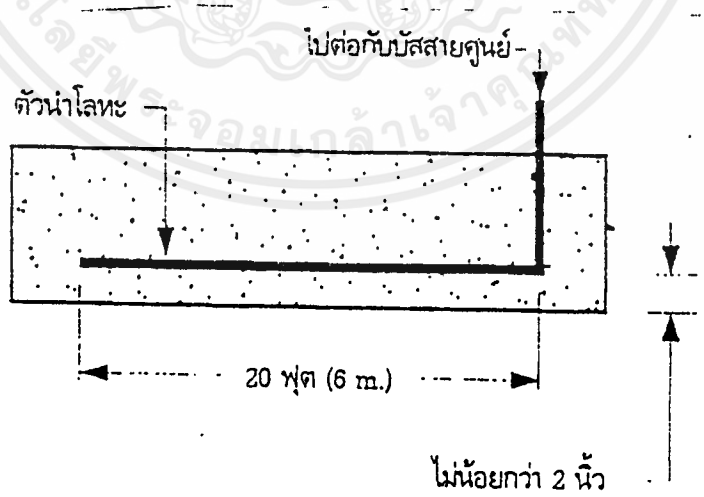
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การใช้โครงโลหะของอาคารเป็นระบบหลักดิน

สายตัวนำที่หุ้มด้วยคอนกรีต

ระบบหลักดินชนิดนี้ จะใช้เหล็กเส้นที่ฝังลึกอยู่ในคอนกรีตหนาไม่น้อยกว่า 2 นิ้ว (50 mm.) มีความยาวไม่น้อยกว่า 20 ฟุต (6 เมตร) และมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เล็กกว่า 12.7 mm เป็นหลักดิน หลักดินชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้กันมาก เพราะรอยต่อระหว่างพื้นผิวของเหล็กเส้นกับคอนกรีตเองมีพื้นที่ขนาดโหญ่ต่อเข้ากับพื้นดิน และ เหล็กเส้นนั้นก็เสมือนว่าต่อขนานกันด้วยดังนั้นระบบหลักดินแบบนี้จึงมีความต้านทานต่ำ จึงเป็นที่นิยมใช้มากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2.5 หรือถ้าสายทองแดงเปลือย ต้องใช้สายขนาดไม่เล็กกว่า 25 sqmm. และยาวไม่น้อยกว่า 20 ฟุต (6 เมตร)

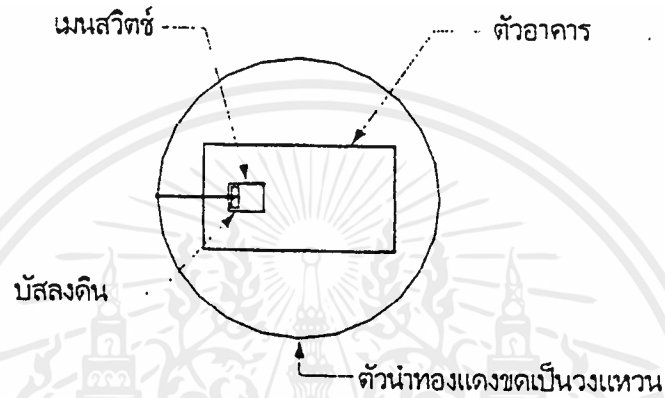


รูปที่ 2.5 การใช้สายตัวนำหุ้มด้วยคอนกรีตเป็นระบบหลักดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบหลักดินแบบวงแหวน

ระบบหลักดินแบบนี้ จะใช้สายตัวนำทองแดงเปลือยยาวไม่น้อยกว่า 20 ฟุต (6 เมตร) ขนาดไม่เล็กกว่า 35 sqmm. มาขดเป็นวงแหวน และฝังลึกใต้ดินไม่น้อยกว่า 2.5 ฟุต (0.76 เมตร) ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การใช้หลักดินแบบวงแหวนเป็นระบบหลักดิน

ระบบหลักดินที่ทำขึ้น และระบบหลักดินแบบอื่น ๆ

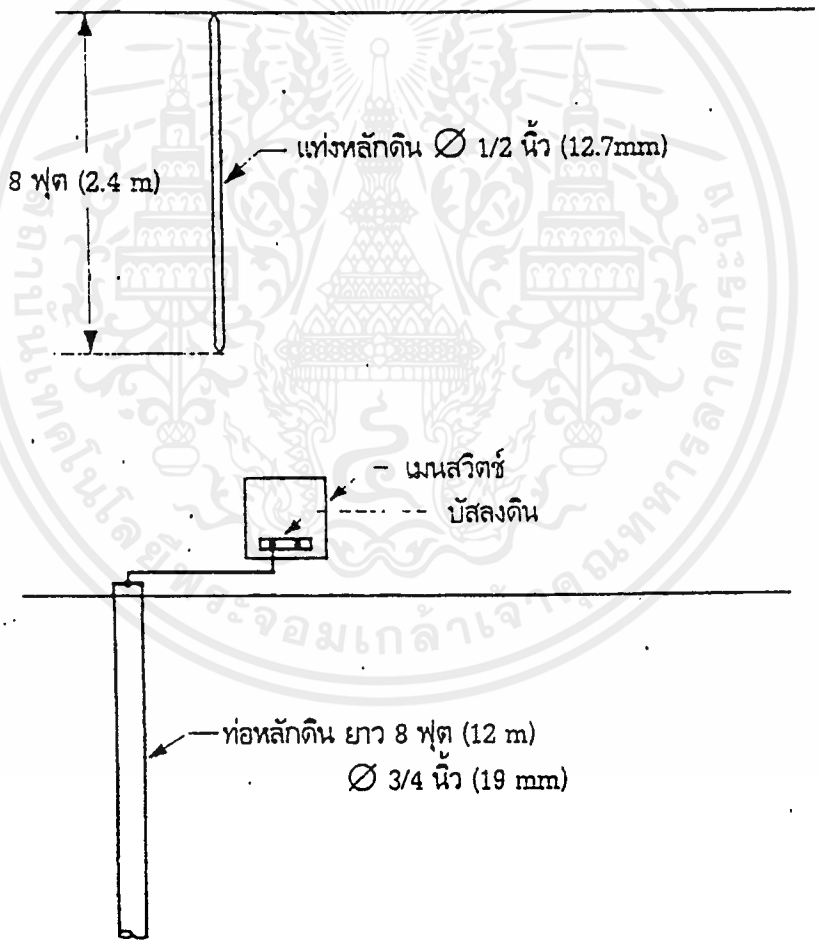
ถ้าระบบหลักดินทั้ง 4 แบบที่กล่าวมาแล้วนี้ไม่มี หรือ ไม่สามารถนำมาใช้ได้ อาจใช้หลักดินแบบใดแบบหนึ่งร่วมกันดังต่อไปนี้

- ระบบท่อส่งก๊าซใต้ดิน (Metal Underground Gas Piping System) โดยปกติจะใช้เป็นระบบหลักดินไม่ได้ นอกจากอนุญาตให้ใช้ได้เท่านั้น
- - โครงโลหะใต้ดินอื่น ๆ (Other Metal Underground Systems of structure) เช่น ถังใต้ดิน หรือระบบท่อใต้ดิน

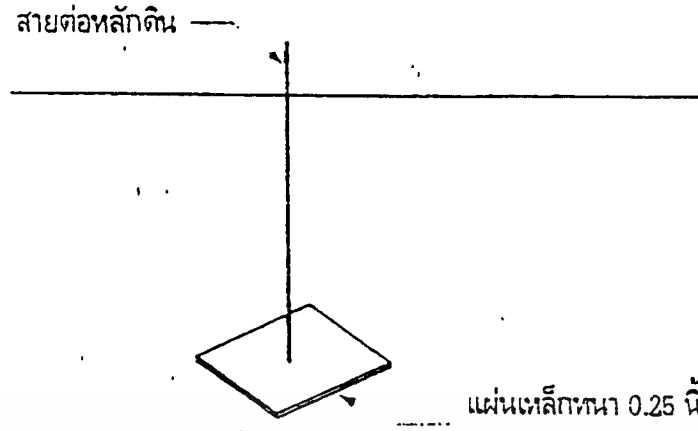
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แท่งหลักดินหรือท่อหลักดิน (Rod and Pipe Electrode) ต้องยาวไม่น้อยกว่า 8 ฟุต เส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า ½ นิ้ว และ ¾ นิ้ว สำหรับแท่งหลักดินและท่อนลักดินตามลำดับ

- แผ่นหลักดิน (plate Electrode) ต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 2 ตารางฟุต ถ้าเป็นแผ่นเหล็กต้องหนาไม่น้อยกว่า 0.25 นิ้ว ถ้าเป็นโลหะแผ่นชนิดอื่น เช่น ทองแดงต้องหนาไม่น้อยกว่า 0.06 นิ้ว (1.52 mm) ดังแสดงในรูปที่ 2.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.7 หลักดินที่ทำขึ้นมา และ หลักดินแบบอื่น ๆ

หลักดินตามกฎการเดินสายของการไฟฟ้านครหลวง

มาตรฐานหลักดิน และสิ่งที่ใช้แทนหลักดินของกฎการเดินสายของการไฟฟ้านครหลวง มี 4 อย่างคือ

1. แท่งเหล็กอาบโลหะชนิดกันผุกร่อน หรือ แท่งเหล็กหุ้มทองแดง หรือ แท่งทองแดง ต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 16 mm (5/8 นิ้ว) ยาวไม่น้อยกว่า 240 cm และปลายข้างหนึ่งปักลงดินไม่น้อยกว่า 240 cm

2. แผ่นโลหะที่มีพื้นที่สัมผัสไม่น้อยหว่า 1800 ตารางเซนติเมตรในกรณีที่เป็นเหล็กอาบโลหะชนิดกันผุกร่อน ต้องหนาไม่น้อยกว่า 1.5 mm แผ่นโลหะต้องฝังลึกจากผิวดินไม่น้อยกว่า 160 mm

3. โครงอาคารที่เป็นโลหะ ซึ่งมีค่าความต้านทานของการต่อลงดินไม่เกิน 5 โอห์ม

4. หลักดินชนิดอื่นต้องได้รับความเห็นชอบจากการไฟฟ้านครหลวงก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้านทานดินของหลักดินที่ทำขึ้น

มาตรฐาน NEC ยอมให้ความต้านทานดินของหลักดินที่ทำขึ้นมีค่าไม่เกิน 25 โอห์ม ถ้าความต้านทานดินที่วัดได้มีค่าเกิน 25 โอห์ม เราต้องลดความต้านทานดินลง โดยการเพิ่มจำนวนแท่งดินแล้วต่อขนานกัน หรือเพิ่มความยาวของแท่งดินก็ได้สำหรับ กฟน. กำหนดให้ความต้านทานดินของหลักดินมีค่าไม่เกิน 5 โอห์ม

2.4.2 ชนิดของการต่อลงดิน

การต่อลงดินสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

- การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า (System Grounding)
- การต่อลงดินของอุปกรณ์ (Equipment Grounding)

1. การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า (System Grounding)

การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า หมายถึง การต่อส่วนใดส่วนหนึ่งของระบบไฟฟ้า ซึ่งมีกระแสไหลผ่าน เช่น จุดศูนย์ (Neutral Point) ลงดิน

จุดประสงค์ของการต่อลงดินของระบบไฟฟ้ามีดังต่อไปนี้ คือ

1. เพื่อจำกัดแรงดันเกิน (Over Voltage) ที่ส่วนต่าง ๆ ของระบบไฟฟ้า ซึ่งอาจเกิดจากฟ้าผ่า (Lightning)เสิร์จในสาย (Line Surges) หรือ สัมผัสกับสายแรงสูง (H.V. Lines) โดยบังเอิญ
2. เพื่อให้ค่าแรงดันเทียบกับดินขณะระบบทำงานปกติมีค่าอยู่ตัว
3. เพื่อช่วยให้อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินทำงานได้รวดเร็วขึ้น เมื่อเกิดการลัดวงจรลงดิน

ชนิดของการต่อลงดินของระบบไฟฟ้า (Type of System Grounding)

NEC ได้แบ่งชนิดของการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าออกเป็น 2 ชนิด ตามลักษณะของกระแสดังนี้ คือ

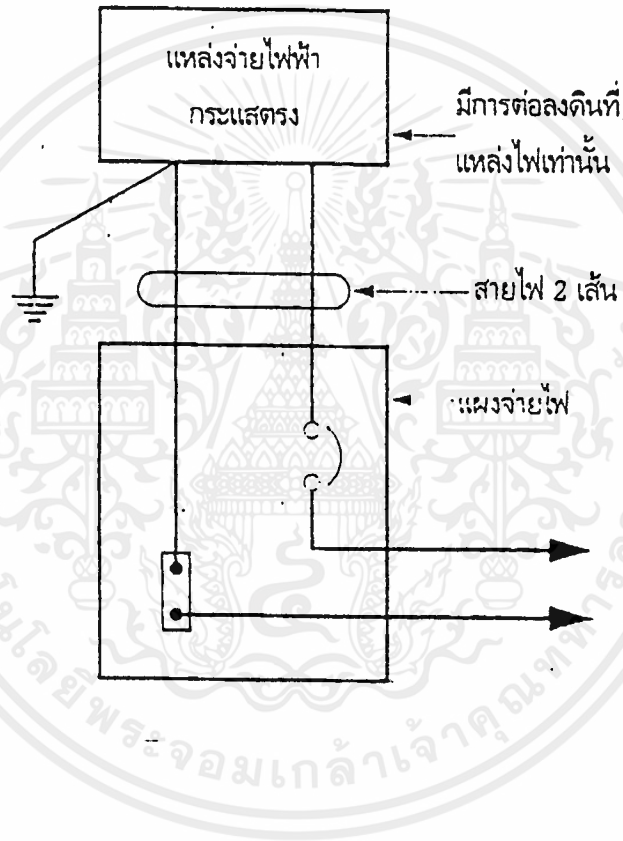
- การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสตรง
- การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสตรง (DC System Grounding)

การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสตรงมี 2 แบบคือ การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 2 สาย และการต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 3 สาย

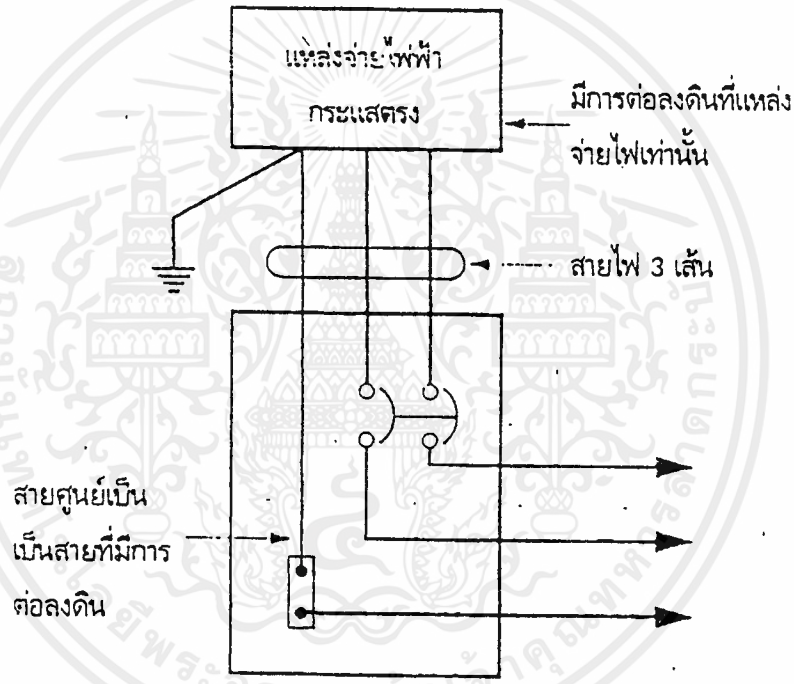
ระบบไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 2 สาย การต่อลงดินทำได้โดยการต่อสายหนึ่งสายใดลงดิน และ จะทำเพียงจุดเดียวคือ ที่แหล่งจ่ายไฟเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 2 สาย

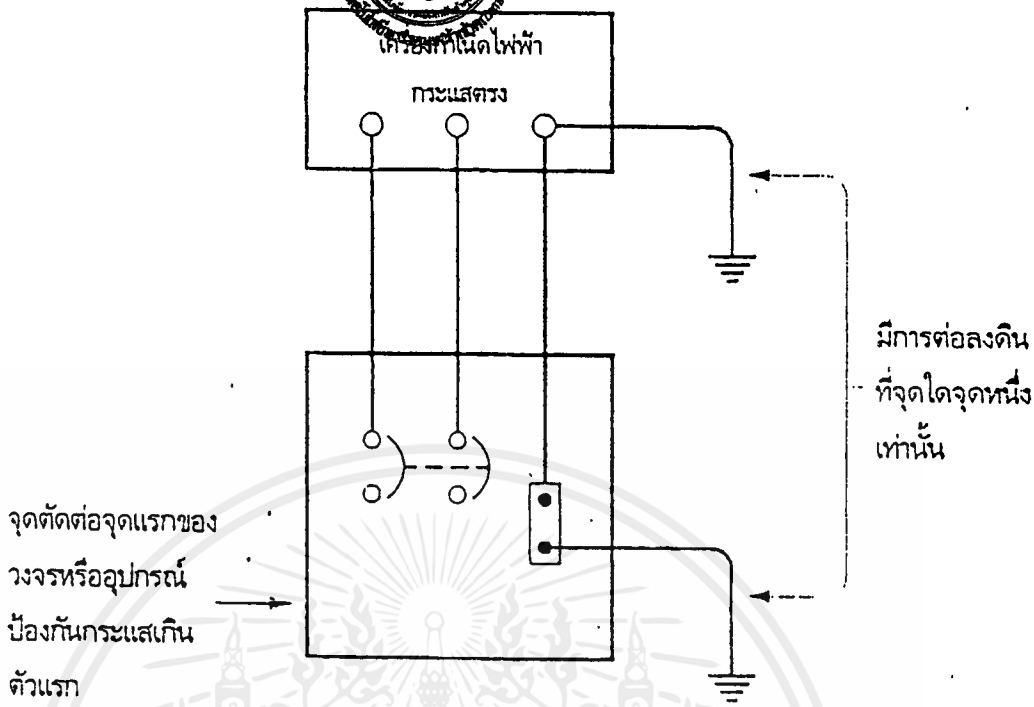
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับระบบไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 3 สาย จะประกอบด้วยสายแรงดันบวก สายแรงดันลบ และสายศูนย์ การต่อลงดินทำได้โดยการต่อสายศูนย์ลงดิน ที่แหล่งจ่ายไฟเพียงจุดเดียวเท่านั้น และห้ามมีการต่อลงดินที่จุดอื่นอีก ดังแสดงใน รูป ที่ 2.9 นอกจากนี้ยังมีข้อยกเว้นที่สำคัญคือ ในกรณีที่แหล่งจ่ายไฟเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง NEC อนุญาตให้มีการต่อลงดินที่จุดตัดต่อแรกของวงจร หรือ ที่อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินตัวแรก นอกเหนือไปจากที่แหล่งจ่ายไฟได้ แต่ทั้งนี้การต่อลงดินต้องทำเพียงจุดเดียวเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 3 สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 3 สาย เมื่อแหล่งจ่ายไฟเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

2. การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (AC System Grounding)

NEC ได้แบ่งการต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับออกเป็น 3 กลุ่มคือ

- ระบบซึ่งทำงานที่ระดับแรงดันต่ำกว่า 50 v
- ระบบซึ่งทำงานที่ระดับแรงดันตั้งแต่ 50 v- 1 kv
- ระบบซึ่งทำงานที่ระดับแรงดันตั้งแต่ 1 kv ขึ้นไป

2.1 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่มีระดับต่ำกว่า 50 v

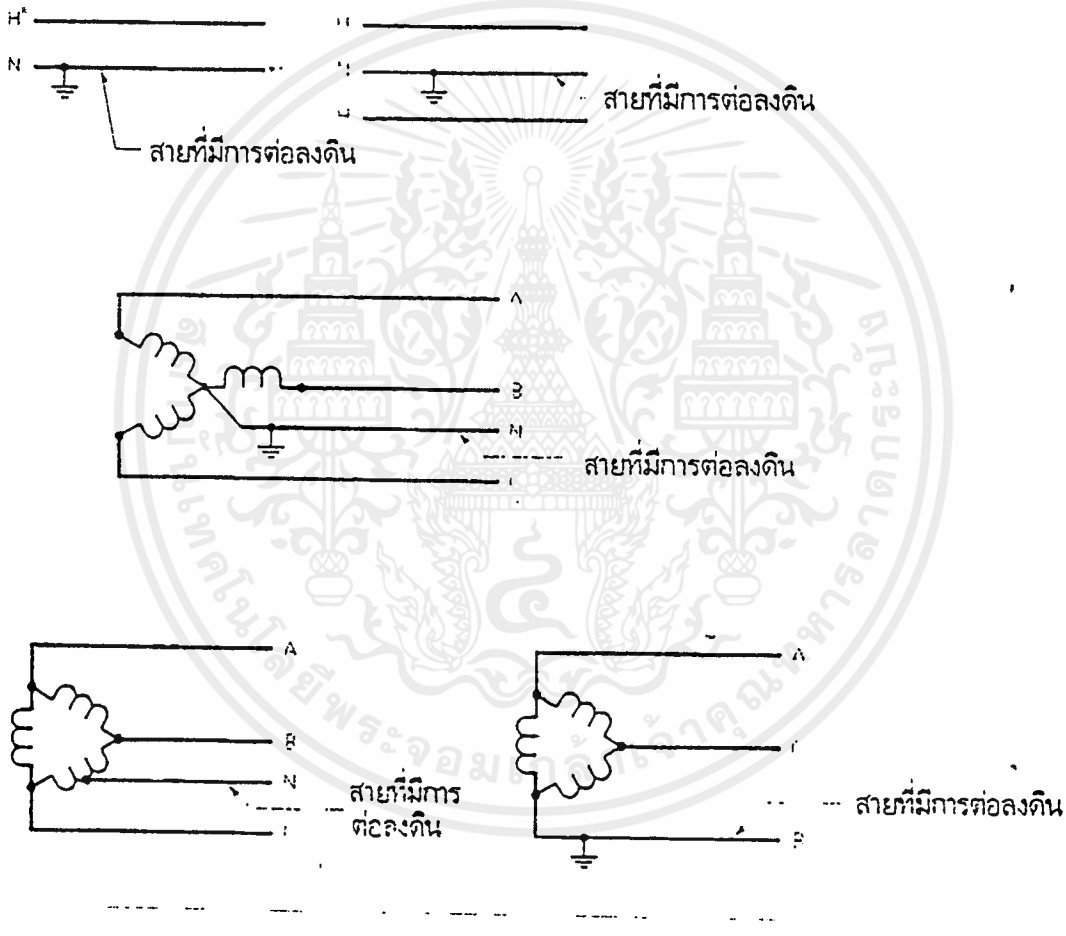
ระบบซึ่งทำงานที่ระดับแรงดันต่ำกว่า 50 v จะต้องทำการต่อลงดินเมื่อ

- แรงดันที่ได้รับไฟจากหม้อแปลง ซึ่งมีแหล่งจ่ายไฟแรงดัน เกิน 150 v
- หม้อแปลงได้รับจากไฟแหล่งจ่ายไฟ ที่ไม่มีการต่อลงดิน (Ungrounded System)
- ตัวนำแรงดันต่ำ ติดตั้งแบบสายเหนือดินนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
038206

2.2 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่มีระดับแรงดันตั้งแต่ 50 v - 1 kv

การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแบบนี้ มีลักษณะดังรูป 2.11 ซึ่งเป็นตัวอย่างการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าชนิด 1 เฟส 2 สาย 1 เฟส 3 สาย และ 3 เฟส 4 สาย



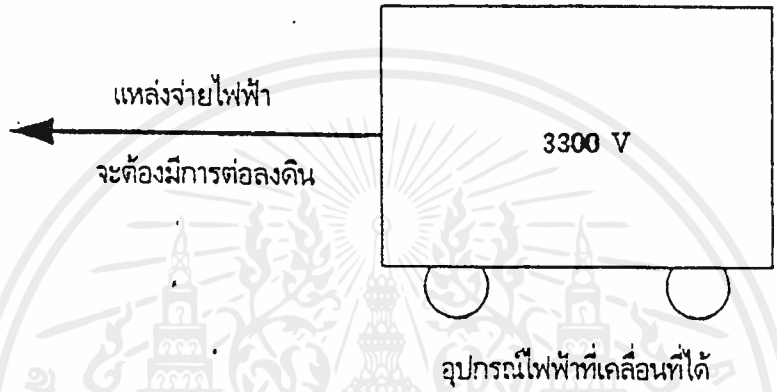
รูปที่ 2.11 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่มีระดับแรงดันตั้งแต่ 50 v - 1 kv

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

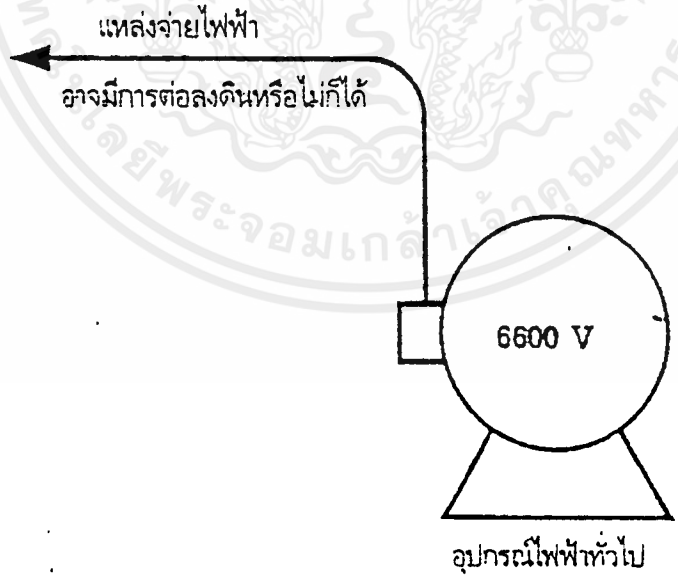
2.3 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่มีระดับแรงดันตั้งแต่ 1 kv ขึ้นไป

อุปกรณ์ที่เคลื่อนย้ายได้ (Mobile Portable Equipment) ซึ่งได้รับไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้า ที่มีแรงดันตั้งแต่ 1 kv ขึ้นไป ต้องต่อลงดิน ดังแสดงในรูปที่ 2.12

สำหรับระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันตั้งแต่ 1 kv ขึ้นไป ซึ่งจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ทั่วไป อาจต่อลงดินได้ ตามต้องการดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12 การต่อลงดินของอุปกรณ์ที่เคลื่อนย้ายได้ซึ่งรับไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าแรงสูง



รูปที่ 2.13 การต่อลงดินของอุปกรณ์ทั่วไปซึ่งรับไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าแรงสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การต่อลงดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า (Equipment Grounding)

การต่อลงดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า หมายถึง การต่อส่วนที่เป็นโลหะที่ไม่มีกระแสไหลผ่านของสถานประกอบการให้ถึงกันตลอด แล้วต่อลงดิน

การต่อลงดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า มีจุดประสงค์ดังนี้ คือ

1. เพื่อให้ส่วนโลหะที่ต่อถึงกันตลอดมีศักดาไฟฟ้าเป็นศูนย์ คือ เท่ากับดิน ทำให้ปลอดภัยจากการโดนไฟดูด

2. เพื่อให้อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินทำงานได้รวดเร็วขึ้น เมื่อตัวนำไฟฟ้าแตะเข้ากับส่วนโลหะใด ๆ เนื่องจากฉนวนของสายไฟฟ้าชำรุด หรือ เกิดอุบัติเหตุ

3. เป็นทางผ่านให้กระแสรั่วไหล และ กระแสเนื่องมาจากไฟฟ้าสถิตย์ลงดิน

2.1 เครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องต่อลงดิน

NEC ได้กำหนดประเภทของอุปกรณ์ที่จะต้องต่อลงดินดังต่อไปนี้

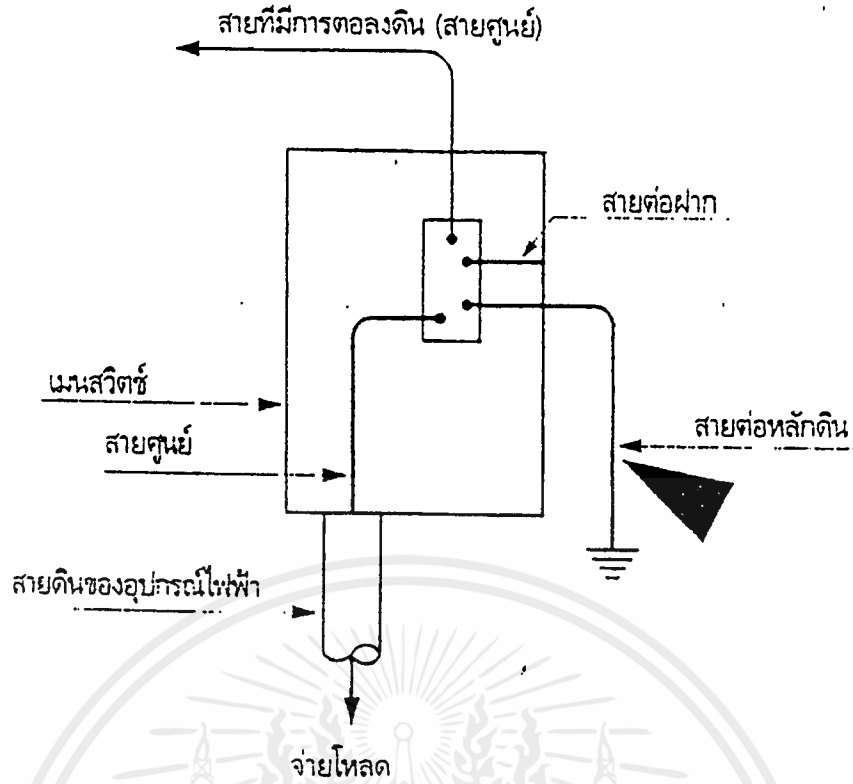
2.1.1 เครื่องห่อหุ้มเป็นโลหะของ สายไฟฟ้า แผงสวิตช์ โครง และ รางปั้นจั่นที่ใช้ไฟฟ้า โครงของตู้ลิฟต์และ ลวดสลิงยกของที่ใช้ไฟฟ้า

2.1.2 สิ่งกั้นที่เป็นโลหะ รวมทั้งเครื่องห่อหุ้มของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบแรงสูง

2.1.3 เครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ยึดติดอยู่กับที่ (Fixed Equipment) และที่ต่ออยู่กับสายไฟฟ้าที่เดินอยู่อย่างถาวร (Hard Wires) ส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่งซึ่งปกติไม่มีไฟฟ้า แต่อาจมีไฟฟ้ารั่วถึงได้ ต้องต่อลงดินถ้ามีสภาพตามข้อใดข้อหนึ่งต่อไปนี้

- อยู่ห่างจากพื้น หรือ โลหะที่ต่อลงดินไม่เกิน 8 ฟุต (2.40 m.) ในแนวตั้ง หรือ 5 ฟุต(1.5 m.) ในแนวนอน และบุคคลอาจสัมผัสได้ (ในข้อนี้ถ้ามีวิธีติดตั้ง หรือ วิธีป้องกันอย่างอื่น ไม่ ให้บุคคลไปสัมผัสได้ ก็ไม่ต้องต่อลงดิน) ดังแสดงในรูปที่ 2.14
- สัมผัสทางไฟฟ้ากับโลหะอื่น ๆ (เป็นโลหะที่บุคคลอาจสัมผัสได้)
- อยู่ในสภาพที่เปียกชื้น และ ไม่ได้มีการแยกให้อยู่ต่างหาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ระยะห่างของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้ากับระบบหลักดินถ้ามีระยะห่างมากกว่านี่ไม่ต้องต่อหลักดิน

2.1.4 เครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับยึดติดกับที่ต่อไปนี้ ต้องต่อส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่ง และปกติไม่มีกระแสไฟฟ้าลงดิน

- โครงของแผงสวิตช์
- โครงของมอเตอร์ชนิดยึดอยู่กับที่
- กล่องของเครื่องควบคุมมอเตอร์ ถ้าใช้เป็นสวิตช์ธรรมดา และมีฉนวนรองที่ผ่าสวิตช์ด้านในก็ไม่ต้องต่อลงดิน
- เครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าของลิฟต์ และ ปั้นจั่น
- ป้ายโฆษณา เครื่องฉายภาพยนต์ เครื่องสูบน้ำ

2.1.5 เครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้เต้าเสียบ ส่วนที่เป็นโลหะเปิดโล่งของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าต้องต่อลงดินเมื่อมีสภาพตามข้อใดข้อหนึ่งดังนี้

- แรงดันเทียบกับดินเกิน 150 V ยกเว้นมีการป้องกันอย่างอื่น หรือ มีฉนวนอย่างดี
- เครื่องไฟฟ้าทั้งที่ใช้ในที่อยู่อาศัย และ ที่อยู่อื่น ๆ ดังนี้ เช่น ตู้เย็น ตู้แช่แข็ง เครื่องปรับอากาศ เครื่องซักผ้า เครื่องล้างจาน เครื่องสูบน้ำทิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ชนิดของสายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า

สายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า ที่เดินสายร่วมไฟกับสายของวงจร จะต้องเป็นดังนี้

- ตัวนำทองแดงจะหุ้มฉนวน หรือ ไม่หุ้มฉนวนก็ได้
- ท่อโลหะหนา , ท่อโลหะหนาปานกลาง
- ท่อโลหะอ่อน ที่ได้ระบุให้ทำหน้าที่แทนสายดินได้ หรือ ที่มีคุณสมบัติทุกข้อ ดังนี้
- มีความยาวไม่เกิน 1.80 m.
- ตัวนำในท่อมีเครื่องป้องกันกระแสเกิน ขนาดไม่เกิน 20 A.
- ใช้ร่วมกับเครื่องประกอบการเดินท่อ ที่ระบุให้ใช้ เพื่อการนี้
- เปลือกโลหะของสายเคเบิล
- บัสเวย์ ที่ระบุให้ใช้สำหรับต่อลงดิน

2.5 ขนาดสายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า

การหาขนาดสายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า ทำตามข้อต่าง ๆ ต่อไปนี้

- เลือกขนาดสายดินตามขนาดของเครื่องป้องกันกระแสเกิน ตามตารางที่ 7.2 (ตารางที่ 4.6 ของ กฟน.)

- เมื่อเดินสายควบ ถ้ามีสายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าให้เดินขนานกันไปในแต่ละท่อสาย และขนาดสายดินให้คิดตามพิกัดของเครื่องป้องกันกระแสเกิน

- เมื่อมีวงจรมากกว่าหนึ่งวงจรเดินในท่อสาย อาจใช้สายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าร่วมกันได้ และ ให้คำนวณขนาดสายดินตามพิกัดของเครื่องป้องกันกระแสเกินตัวโตที่สุดบ

- สายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า ไม่จำเป็นต้องโตกว่าสายเฟส

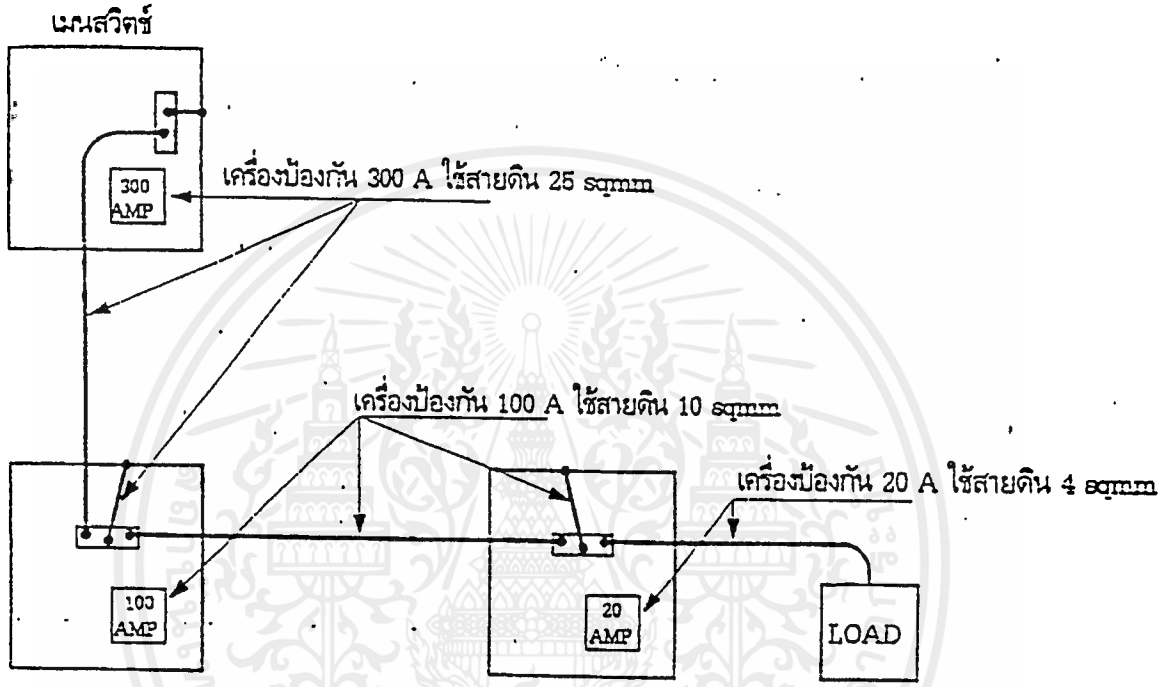
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.1 ขนาดต่ำสุดของสายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า

พิกัด หรือ ขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสเกิน	ขนาดต่ำสุดของสายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า (ตัวนำทองแดง)
6-16	1.5
20-25	4
30-63	6
80-100	10
125-200	16
225-400	25
500	35
600-800	50
1000	70
1200-1250	95
1600-2000	120
2500	185
3000-4000	240
5000-6000	400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 2.1 ระบบไฟฟ้าหนึ่งประกอบด้วย เมนสวิตช์ และแผงจ่ายไฟ ดังรูป จงหาขนาดสายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เดินจากเมนสวิตช์ และแผงจ่ายไฟ



รูปที่ 2.16 ระบบไฟฟ้าที่ประกอบด้วย เมนสวิตช์และ แผงจ่ายไฟ

วิธีทำ จากตาราง 2.1 ใช้ขนาดสายดิน ดังนี้

เมนสวิตช์ เครื่องป้องกัน 300 A. ขนาดสายดิน 25 sq.mm.

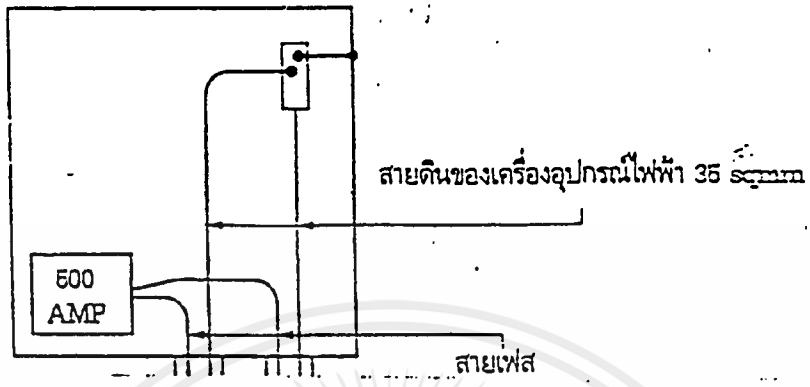
แผงจ่ายไฟ 1 เครื่องป้องกัน 100 A. ขนาดสายดิน 10 sq.mm.

แผงจ่ายไฟ 2 เครื่องป้องกัน 20 A. ขนาดสายดิน 4 sq.mm.

จะเห็นว่าขนาดสาย Bounding Jumper ที่แผงจ่ายไฟจะใช้เท่ากับขนาดสายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จ่ายมายังแผงจ่ายไฟนั้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 2.2 เมนสวิตช์มีเครื่องป้องกันกระแสเกิน 500 A.ต่อกับวงจร ซึ่งประกอบด้วยสายควบ 2 ชุด เดินในท่อร้อยสาย ท่อละ 1 ชุด ดังรูป จงหาขนาดสายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า

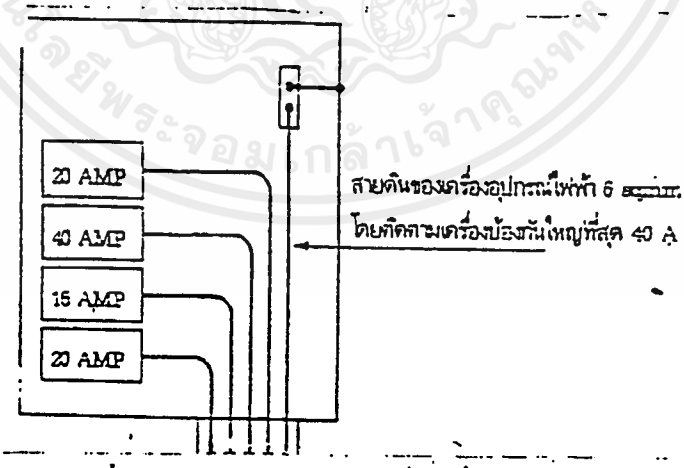


รูปที่ 2.17 เมนสวิตช์ที่มีเครื่องป้องกันกระแสเกิน 500 A

วิธีทำ วงจรประกอบด้วยสายควบ 2 ชุด เดินในท่อร้อยสายท่อละ 1 ชุดดังนั้นจะต้องเดินสายดิน 2 เส้น ในแต่ละท่อ โดยสายดินแต่ละเส้นตามขนาดเครื่องป้องกัน

จากตาราง 2.1 กรณีเครื่องป้องกัน 500 A. ใช้ขนาดสายดิน 35 sq.mm.

ตัวอย่างที่ 2.3 วงจรจ่ายโหลด 4 วงจร ที่ต่อจากแผงจ่ายไฟแห่งหนึ่ง ต้องการเดินในท่อสายร่วมกัน โดยแต่ละวงจรมีเครื่องป้องกันกระแสเกิน 20 A., 40 A., 15 A และ 20 A. ดังรูป จงหาขนาดสายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ร่วมกันในท่อสาย



รูปที่ 2.18 วงจรจ่ายโหลด 4 วงจรที่ต่อจากแผงจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

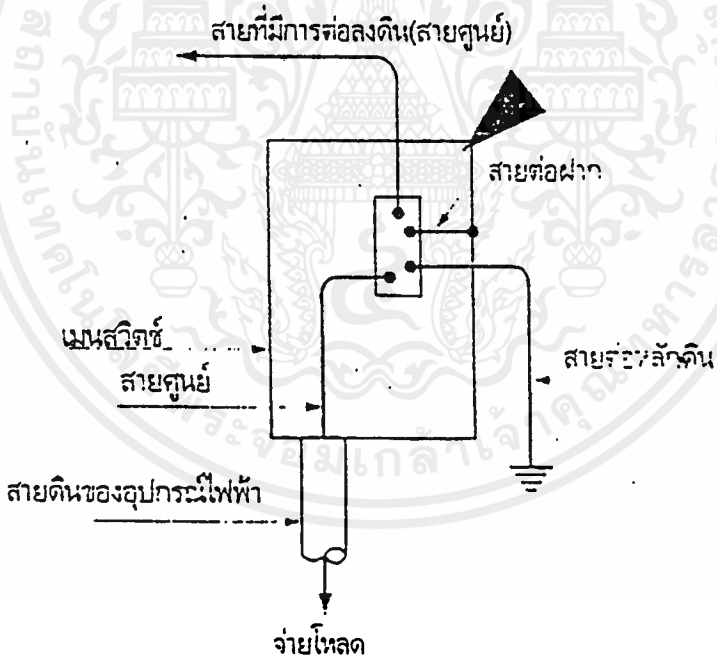
วิธีทำ ขนาดสายดินที่ใช้ร่วมกันจะต้องเลือกตามเครื่องป้องกันที่มีขนาดใหญ่ที่สุด คือ 40 จากตาราง 2.1 กรณีเครื่องป้องกัน 30-63 A.ใช้สายดิน 6 sq.mm.

2.6 การต่อลงดินที่เมนสวิตช์ (Service Equipment Grounding)

การต่อลงดินที่เมนสวิตช์ หมายถึง การต่อสิ่งห่อหุ้มโลหะต่างๆ และ สายศูนย์ที่เมนสวิตช์ลงดินเมนสวิตช์จะเป็นจุดต่อรวมของสายดินดังต่อไปนี้

- สายดินอุปกรณ์ (Equipment Grounding Conductors)
- สายที่มีการต่อลงดิน (Grounded Conductors)
- สายต่อฝากหลัก (Main Bonding Jumper)
- สายต่อหลักดิน (Grounding Electrode Conductors)

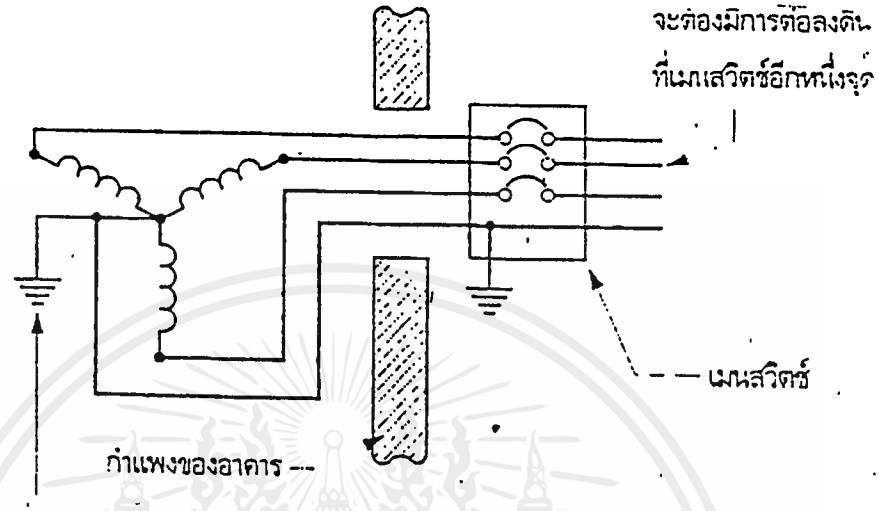
การต่อลงดินของเมนสวิตช์ จะต้องกระทำทางด้านไฟเข้าเสมอ (Supply side) ดังแสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 แสดงสายต่างๆ ที่เมนสวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

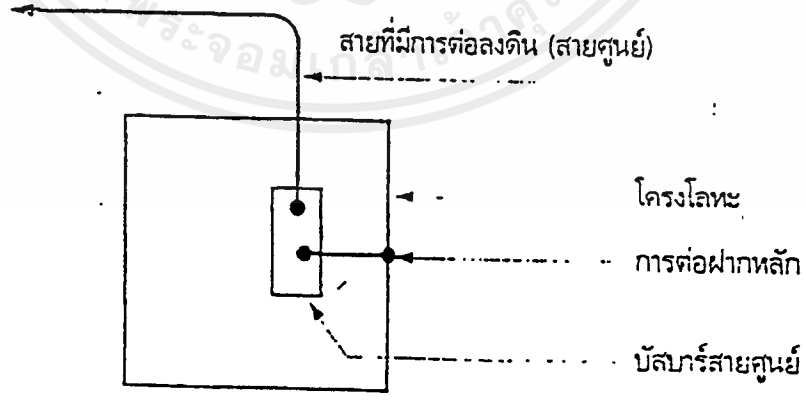
สถานประกอบการที่รับไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงที่ติดตั้งนอกอาคาร จะต้องมีการต่อลงดิน 2 จุด คือ ที่ใกล้หม้อแปลงหนึ่งจุด และ ที่เมนสวิตช์อีกหนึ่งจุดดังแสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 การต่อลงดินที่หม้อแปลงนอกอาคารและที่เมนสวิตช์

2.6.1 การต่อฝากหลัก (Main Bonding Jumper)

การต่อที่สำคัญอีกอย่างที่เมนสวิตช์ คือ การต่อฝากหลัก (Main Bonding Jumper) ซึ่งหมายถึง การต่อโครงโลหะของเมนสวิตช์กับตัวนำที่มีการต่อลงดิน ดังแสดงในรูปที่ 2.21 ตัวนำที่มีการต่อลงดินอาจเป็น บัสบาร์สายดิน, บัสบาร์สายศูนย์หรือ สายศูนย์ ก็ได้



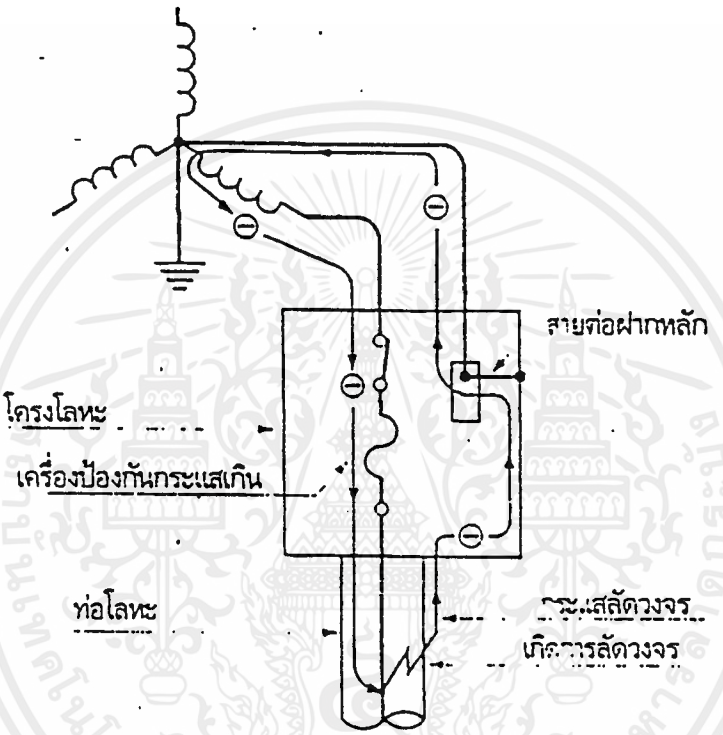
รูปที่ 2.21 ความหมายของการต่อฝากหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสำคัญของการต่อฝากหลัก

- การต่อฝากหลัก มีจุดประสงค์เพื่อนำกระแสรั่วไหล และ กระแสที่อาจเกิดจารไฟฟ้าสถิตย์ที่เมนสวิตช์ลงดิน เพื่อความปลอดภัยของบุคคล ซึ่งอาจไปสัมผัสกับส่วนโลหะของเมนสวิตช์

- ทำหน้าที่ในการนำกระแสลัดวงจรไปยังแหล่งจ่ายไฟ เมื่อเกิดกระแสลัดวงจรขึ้นทางด้านโหลด ดังแสดงในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 เส้นทางของกระแสลัดวงจรลงดินผ่านสายต่อฝากหลัก

วัสดุของสายต่อฝากหลัก

วัสดุที่ใช้เป็นสายต่อฝากหลัก ได้แก่

- ทองแดง

- โลหะอื่นๆ ที่ทนต่อการกัดกร่อนได้ดีเช่น สายไฟ บัสบาร์ สกรู หรือตัวนำที่เหมาะสมอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่อสายฝากหลัก

การต่อสายฝากหลักอาจทำได้โดย

- การเชื่อมติดด้วยความร้อน (Exothermic Welding)
- Listed Pressure Connector
- Listed Clamp
- วิธีอื่นที่ได้รับการรับรองแล้ว ห้ามต่อโดยการใช้ตะกั่วปิดกรีเพียงอย่างเดียว

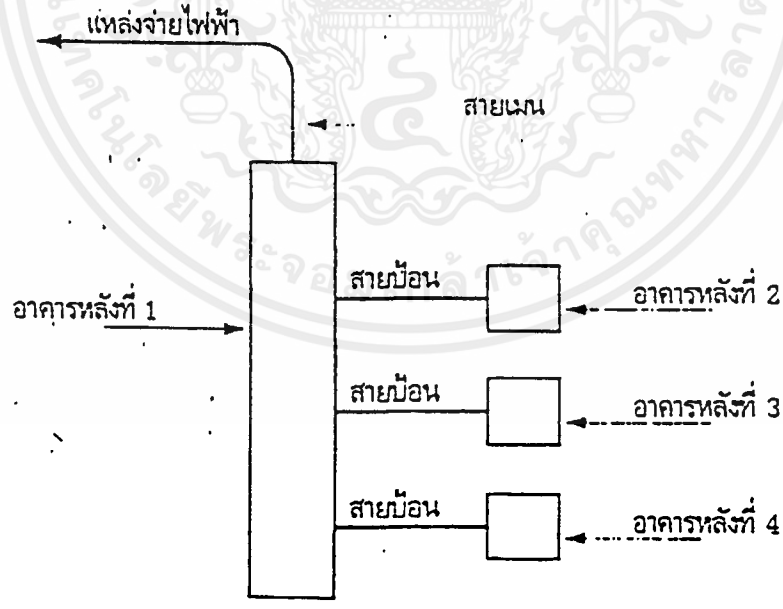
ขนาดของสายต่อฝากหลัก

การหาขนาดของสายต่อฝากหลัก ทำได้ดังนี้

- ถ้าสายเฟสที่มีขนาดโตกว่า 500 sq.mm. ใช้ขนาดสาย 12.5 ของสายเฟสรวม เป็นสายต่อฝากหลัก

2.6.2 เมนสวิตช์ชุดเดียวจ่ายไฟให้อาคาร 2 หลัง หรือ มากกว่า

สถานประกอบการที่มีอาคารหลายหลัง และ มีอาคารเมนจ่ายไฟฟ้าให้กับอาคารหลังอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.23



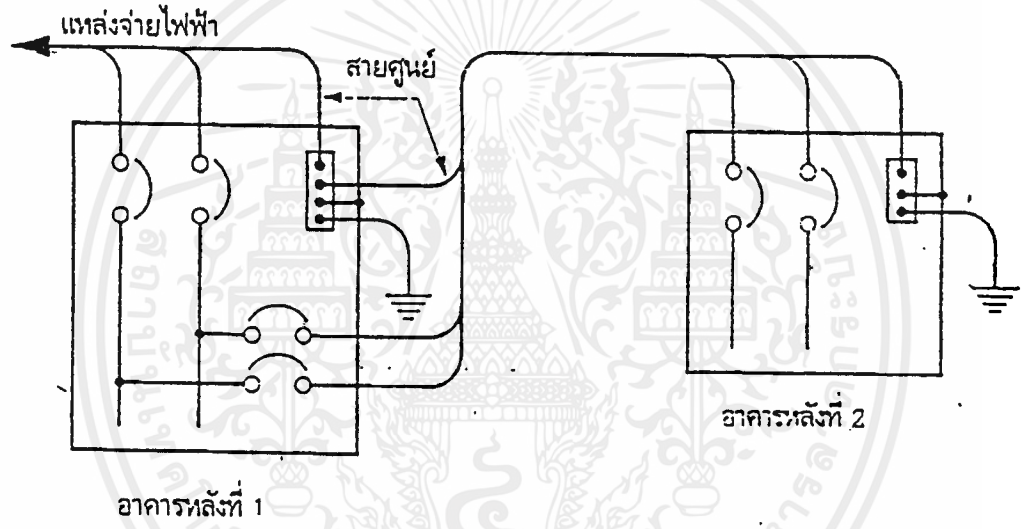
รูปที่ 2.23 การจ่ายไฟฟ้าของอาคารเมนให้กับอาคารหลังอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่อลงดินของสถานประกอบการแบบนี้ มีข้อกำหนดดังนี้ คือ

- อาคารเมน (No.1) การต่อลงดินให้เป็นไปตามข้อกำหนดของการต่อลงดินที่เมนสวิตช์
- อาคารหลังอื่น จะต้องมีหลักดินเป็นของตนเอง และ มีการต่อลงดินเช่นเดียวกับเมนสวิตช์

คือ สายที่มีการต่อลงดิน สายต่อฝาก สายต่อหลักดิน และ โครงโลหะของเมนสวิตช์ จะต้องต่อร่วมกัน และต่อเข้ากับหลักดิน ดังรูปที่ 2.24

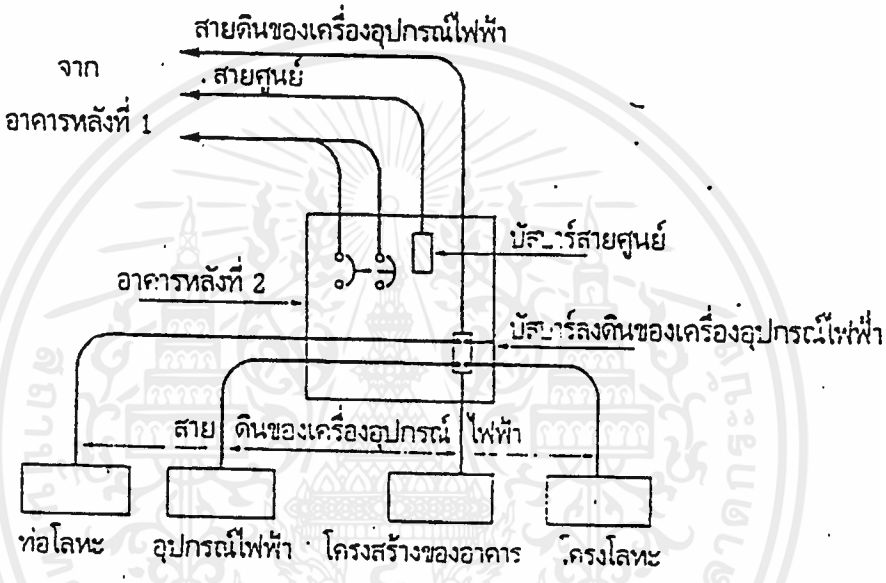


รูปที่ 2.24 อาคารแต่ละหลังต้องมีหลักดินเป็นของตัวเอง

อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่อาคารหลังอื่นมีวงจรย่อยเพียงวงจรเดียว อนุญาตให้ไม่ต้องมีหลักดินได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่เดินสายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า (Equipment Grounding Conductor) ไปพร้อมกับสายเฟสจากอาคารเมน เพื่อการต่อลงดินของส่วนโลหะของอุปกรณ์ไฟฟ้า ท่อโลหะ และ ส่วนโครงสร้างของอาคาร สายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้านี้จะต้องต่อกับหลักดินที่มีอยู่ (ถ้าไม่มีหลักดินจะต้องสร้างขึ้น) และ จะต้องเป็นสายหุ้มฉนวนด้วย นอกจากนี้สายศูนย์ที่เดินมาจากอาคารเมนอนุญาตให้ไม่ต้องต่อเข้ากับหลักดินที่อาคารหลังอื่นได้ ดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 การเดินสายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าจากอาคารเมนไปยังอาคารหลังอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของระบบการต่อลงดินตามมาตรฐาน IEC (Type of Earthing System)

ระบบไฟฟ้าของสถานประกอบการอาจแบ่งตามวิธีการต่อลงดินได้ เพื่อให้เข้าใจการเรียกชื่อระบบการต่อลงดินได้ถูกต้อง และ มีระบบ จึงกำหนดวิธีเรียกระบบไฟฟ้าตามวิธีการต่อลงดิน วิธีเรียกชื่อนี้กำหนดด้วยตัวอักษร 3 หรือ 4 ตัวดังนี้คือ

อักษรตัวแรก บอกถึงการจัดการต่อลงดินของแหล่งจ่ายไฟฟ้า

"T" แสดงว่าจุดหนึ่งมากกว่าของแหล่งจ่ายไฟฟ้าต่อลงดินโดยตรง

"I" แสดงว่าแหล่งจ่ายไฟไม่ได้ต่อลงดิน หรือ ต่อลงดินผ่านอิมพีแดนซ์จำกัดกระแส

อักษรตัวที่สอง บอกถึงการต่อลงดินของสถานประกอบการ

"T" แสดงว่าส่วนที่เป็นโลหะเปลือยทั้งหมดต่อลงดินโดยตรง

"N" แสดงว่าส่วนที่เป็นโลหะเปลือยทั้งหมดต่อเข้ากับสายดิน

อักษรตัวที่ สามและสี่ แสดงการจัดการของสายดิน

"S" สายนิวทรัลและสายดินแยกจากกัน

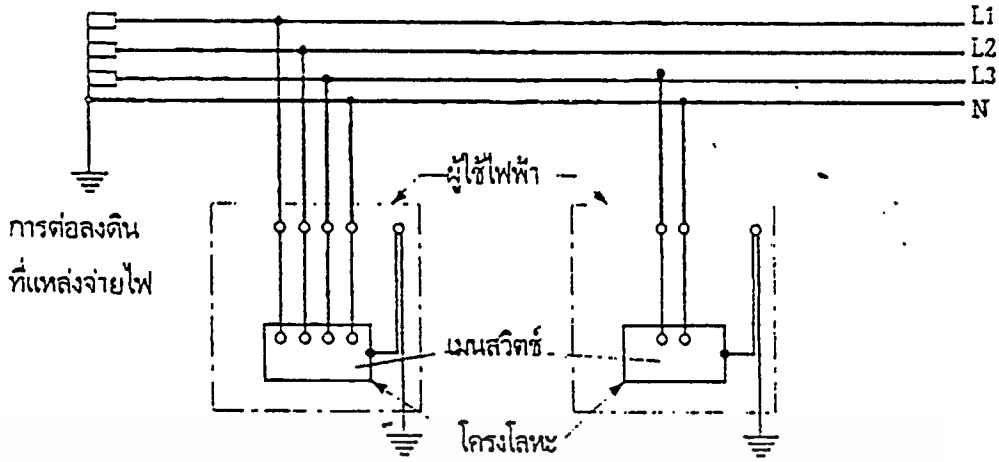
"C" สายนิวทรัล และสายดิน รวมเป็นเส้นเดียวกัน

จากข้อกำหนดตัวอักษรดังกล่าว ระบบไฟฟ้าสามารถแบ่งออกเป็นหลายระบบคือ

1. ระบบไฟฟ้า TT

ระบบนี้เป็นมาตราฐานของสถานประกอบการ ซึ่งได้รับไฟฟ้าจากสายเหนือดินและสายศูนย์แยกจากกันทางการไฟฟ้าไม่ได้จัดขั้วสายดินให้ สถานประกอบการต้องทำหลักดินเอง ดังนั้นการต่อถึงกันระหว่างระบบสายดินของการไฟฟ้า และสถานประกอบการ จึงไม่ค่อยมีประสิทธิภาพ เนื่องจากความต้านทานดินมีค่าสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

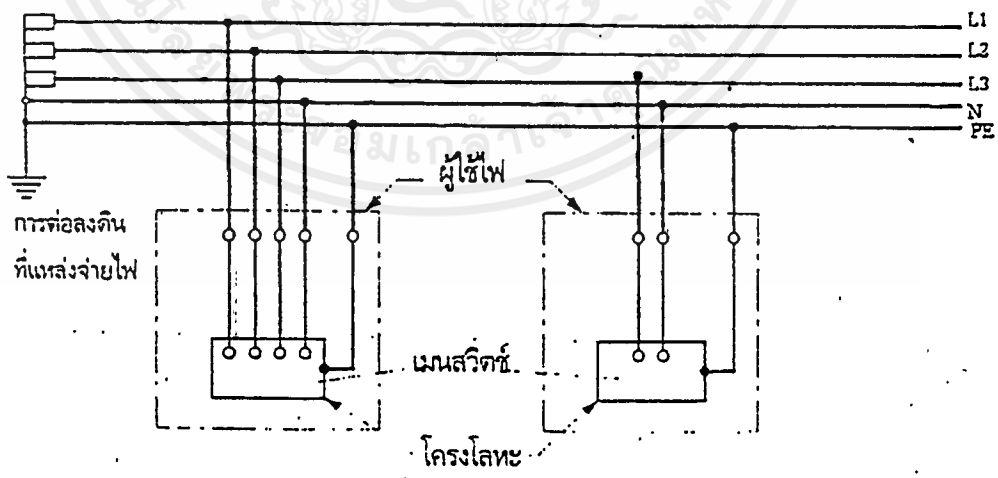


รูปที่ 2.26 ระบบไฟฟ้าแบบ TT

2. ระบบไฟฟ้า TN-S

สถานประกอบการส่วนมากที่ได้รับไฟฟ้าจากระบบสายไฟฟ้าใต้ดินจะใช้ระบบนี้ ขั้วดินของสถานประกอบการจะต่อเข้ากับระบบสายดินของการไฟฟ้าซึ่งเป็นเปลือกหุ้มโลหะ หรือเกราะของสายเคเบิล ทำให้มีส่วนโลหะที่ต่อเนื่องกลับไปจุดสตาร์ของหม้อแปลงได้ และ ที่จุดสตาร์นี้จะต้องต่อลงดินผ่านสายต่อหลักดินเข้ากับแท่งหลักดิน

สถานประกอบการที่ได้รับไฟฟ้าแรงดันสูงจากการไฟฟ้า ที่ต้องจัดหาและติดตั้งหม้อแปลงเอง สามารถทำระบบไฟฟ้าด้านแรงต่ำเป็นระบบ TN-S ได้ ดังรูป

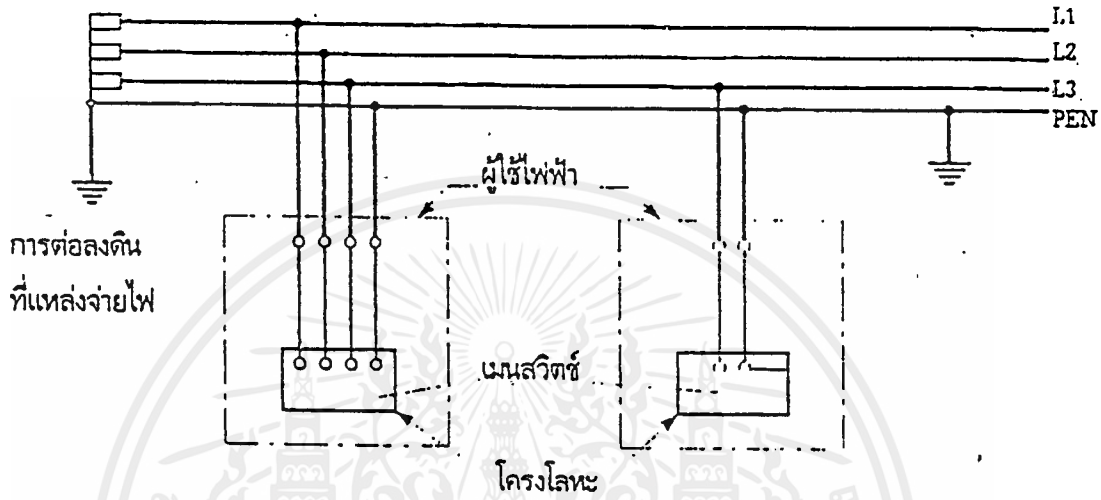


รูปที่ 2.27 ระบบไฟฟ้าแบบTN-S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ระบบไฟฟ้า TN-C

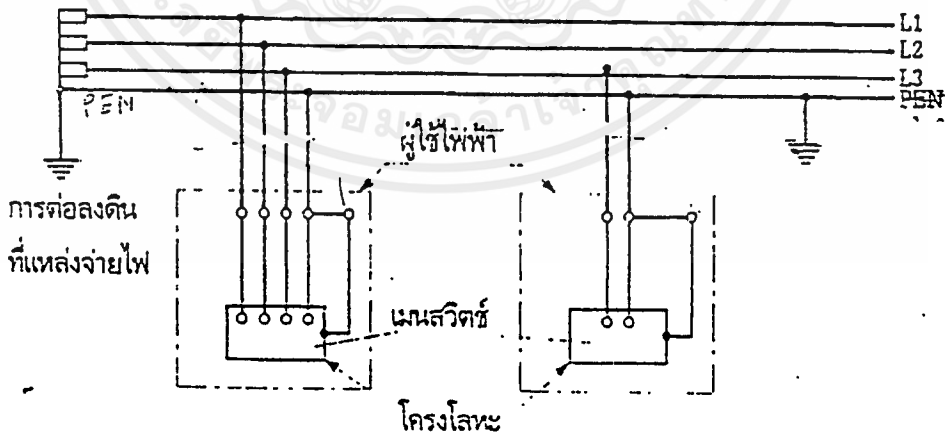
ในระบบ TN-C สายศูนย์ และ สายดินรวมเป็นสายเดียวกันตลอด และ เป็นสาย PEN ด้วย ส่วนโลหะทั้งหมดของสถานประกอบการจะต่อเข้ากับสาย PEN ดังรูป



รูปที 2.28 ระบบไฟฟ้า TN-C

4. ระบบไฟฟ้า TN-C-S

ในระบบนี้ แหล่งจ่ายไฟฟ้าเป็นระบบTN-C ส่วนสถานประกอบการเป็นระบบTN-S ดังรูป

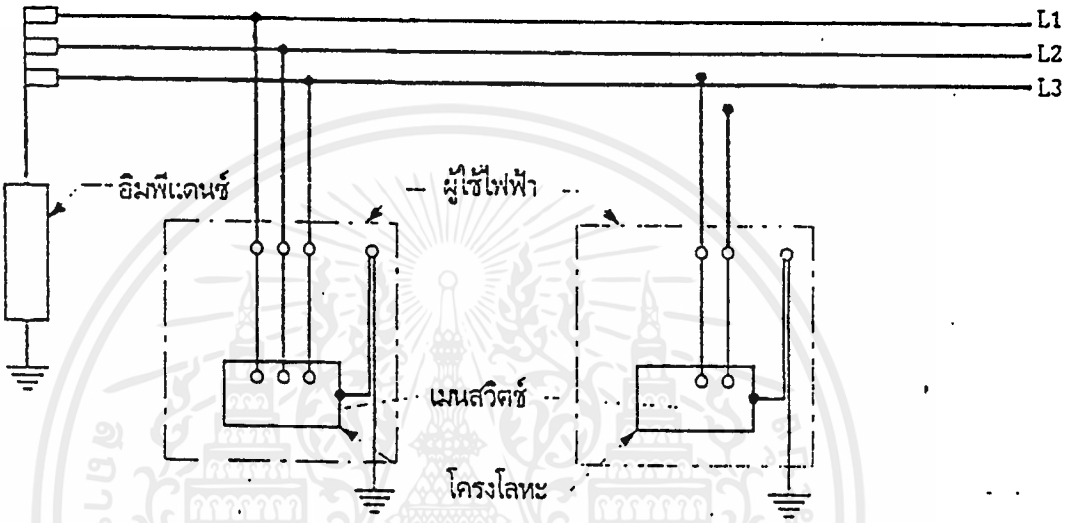


รูปที่ 2.29 ระบบไฟฟ้า TN-C-S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ระบบไฟฟ้า IT

ในระบบนี้ จุดนิวทรัลของแหล่งจ่ายไฟไม่ได้ต่อลงดิน หรือ ต่อลงดินผ่านค่าอิมพีแดนซ์ ส่วนโลหะทั้งหมดต่อลงดินดังรูป



รูปที่ 2.29 ระบบไฟฟ้า IT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

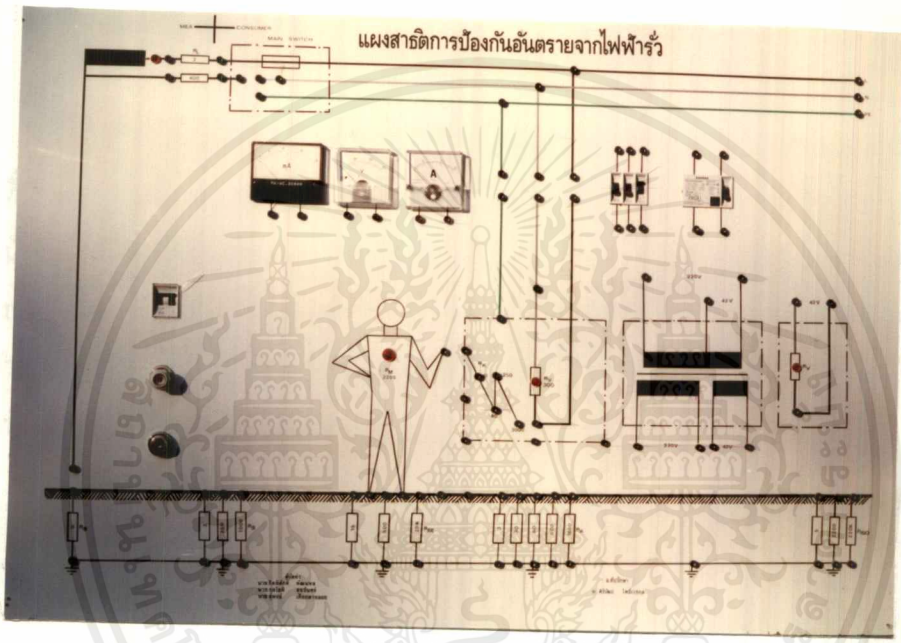
บทที่ 3

การออกแบบและการสร้าง

ส่วนประกอบของโครงงานมีอยู่ 2 ส่วน

- แผงแสดงสัญญลักษณ์ต่างๆ ของชุดสาธิต
- อุปกรณ์ภายในชุดสาธิต

3.1 แผงแสดงสัญญลักษณ์ต่างๆ ของชุดสาธิตการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้ารั่ว



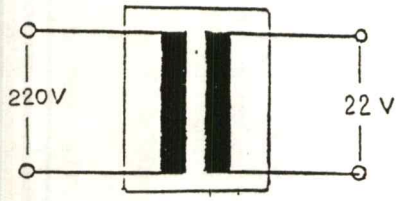
รูปที่ 3.1แผงชุดสาธิตการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้ารั่ว

3.2อุปกรณ์ภายในกล่องชุดสาธิตซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์หลักที่สำคัญดังนี้

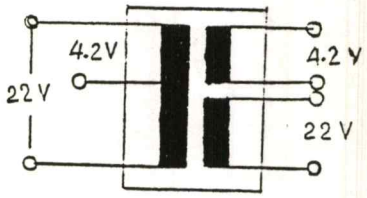
3.2.1 หม้อแปลงไฟฟ้ามีอยู่ 2 ตัว

หม้อแปลงตัวแรกเป็นแบบแยกขดขนาด 220/22 V 25 A เป็นหม้อแปลงที่จำลองแทนหม้อแปลงของการไฟฟ้าโดยลดแรงดันลง 10 เท่า เพื่อป้องกันอันตรายจากผู้ใช้ชุดทดลองในการทดลองส่วนหม้อแปลงหม้อแปลงตัวที่สองเป็นหม้อแปลงแบบขดลวดร่วมกับแยกขดอยู่ในตัวเดียวกันซึ่งแบบขดลวดร่วมนั้นมีพิกัดแรงดัน 22/4.2 V และแบบแยกขดมีพิกัดแรงดัน 22/22/4.2 V ดังแสดงไว้ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 หม้อแปลง 220/22 V

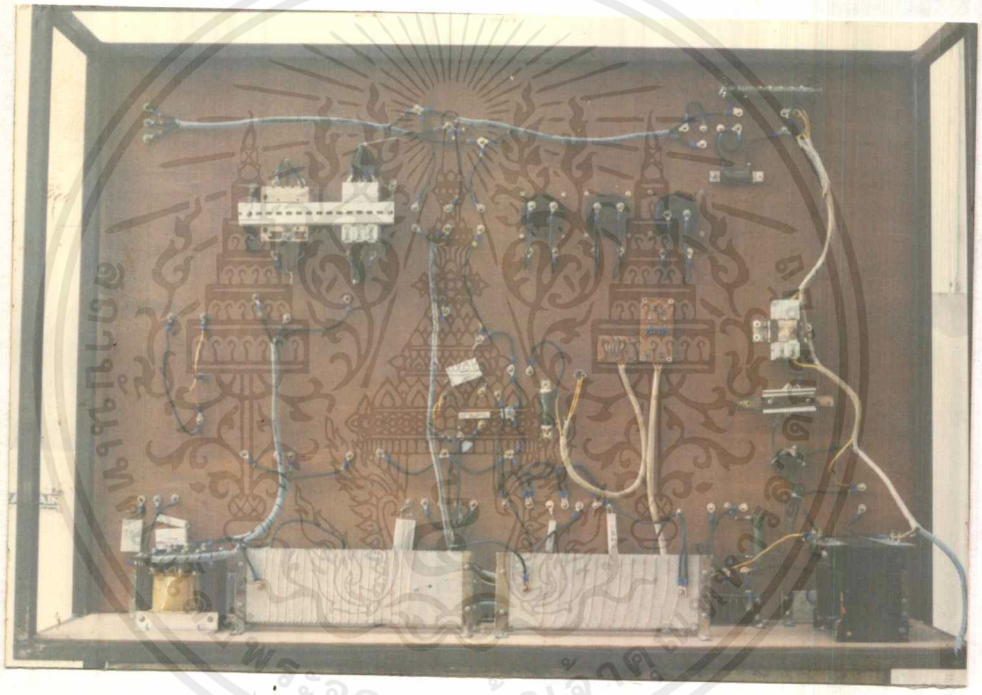


รูปที่ 3.3 หม้อแปลง 22/22/4.2 V

3.2.2 ตัวต้านทาน ค่าความต้านทานที่ใช้จริงในวงจรภายในกล่องชุดทดลองจะลดลง 10 เท่าของค่าที่แสดงไว้ที่แผงทดลอง เนื่องจากเราลดแรงดันลง 10 เท่า เพื่อให้กระแสเท่าเดิมซึ่งความต้านทานบางตัวนั้นใช้กับการทดลองที่ทนกระแสได้สูง ๆ ซึ่งหาซื้อได้ยากตามท้องตลาดหรือมีแต่ราคาแพง ดังนั้นต้องออกแบบตัวต้านทานเองโดยใช้ลวดนิโครมเบอร์ต่าง ๆ พันกับแผ่นยิปซั่มเพื่อกันความร้อน เช่น ความต้านทาน 0.2,0.3,1และ 3 โอห์ม ใช้ลวดนิโครมเบอร์ 16 SWG ค่าความต้านทาน 4 และ 6 โอห์ม ใช้ลวดนิโครมเบอร์ 18 เป็นต้น ซึ่งแสดงลักษณะตัวต้านทานดังรูป

รูปที่ 3.4 ความต้านทานแบบใช้ขดลวดนิโครมพันบนแผ่นซิบซั่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรภายในชุดทดลองการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้ารั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4
ผลการทดลอง

4.1 โปรแกรมการทดลองถึงสาเหตุและการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้ารั่ว

1. การต่อลงดินของหม้อแปลงระบบจำหน่ายไฟฟ้า
   1.1 จุดนิวทรอลของหม้อแปลงระบบจำหน่ายไฟฟ้าต่อลงดินและไม่มีระบบป้องกันไฟรั่ว เมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วอย่างรุนแรง
   1.2 จุดนิวทรอลของหม้อแปลงระบบจำหน่ายไฟฟ้าต่อลงดินและไม่มีระบบป้องกันไฟรั่ว เมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วไม่รุนแรง
   1.3 จุดนิวทรอลของหม้อแปลงของระบบจำหน่ายไฟฟ้าไม่ได้ต่อลงดิน ซึ่งฉนวนของสายนิวทรอลอยู่ในสภาพที่ดี
   1.4 จุดนิวทรอลของหม้อแปลงระบบจำหน่ายไฟฟ้าไม่ได้ต่อลงดินซึ่งฉนวนของสายนิวทรอลเกิดเสื่อมหรือชำรุด
2. การต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อลงดินโดยตรง
   2.1 การต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าลงดินโดยตรงโดยค่าความต้านทานของการต่อลงดินไม่ได้ตามมาตรฐาน (มาตรฐาน กฟน. กำหนดไว้ไม่เกิน 5 โอห์ม)
   2.2 การต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าลงดินโดยตรงโดยค่าความต้านทานของการต่อลงดินได้ตามมาตรฐาน
3. การต่อโครงเครื่องใช้เข้ากับสายนิวทรอล
   3.1 การต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายนิวทรอล เมื่อจุดนิวทรอลของหม้อแปลงระบบจำหน่ายไฟฟ้าต่อลงดิน
   3.2 การต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายนิวทรอล และเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงไม่รุนแรง
   3.3 การต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายนิวทรอล ซึ่งสายนิวทรอลมีค่าความต้านทานปรากฏในสายสูง
   3.4 การต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายนิวทรอล ซึ่งสายนิวทรอลเกิดขาดก่อนต่อเข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้า
   3.5 การต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายนิวทรอล ซึ่งสายเฟสกับสายนิวทรอลที่เข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้าสลับกัน
4. การต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายดิน
   4.1 การต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายดิน ซึ่งระบบมีการติดตั้งสายดินถูกต้องตามมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายดิน ซึ่งระบบมีการติดตั้งสายดินถูกต้องตามมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวงและเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วไม่รุนแรง

4.3 การต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายดิน ซึ่งติดตั้งสายดินไม่ถูกต้องตามมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวงและเครื่องใช้ไฟฟ้าอยู่ในสภาพปกติ

5. การป้องกันโดยใช้แรงดันต่ำ

5.1 การป้องกันโดยการใช้แรงดันต่ำ 42 โวลท์ จากหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแยกขด

5.2 การป้องกันโดยการใช้แรงดันต่ำ 42 โวลท์ จากหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแยกขดโดยที่สายเฟสด้านแรงดันสูงแตะกับปลายสายทางด้านแรงดันต่ำเนื่องจากฉนวนของหม้อแปลงชำรุด

5.3 การป้องกันโดยการใช้แรงดันต่ำ 42 โวลท์ จากหม้อแปลงไฟฟ้าแบบขดลวดร่วม

6. การป้องกันโดยการแยกโหลดออกจากระบบไฟฟ้า

6.1 การป้องกันโดยการแยกโหลดออกจากระบบไฟฟ้าเมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วอย่างรุนแรง

6.2 การป้องกันโดยการแยกโหลดออกจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าเมื่อไฟฟ้าเกิดรั่วสองแห่งทางด้านทุติยภูมิ

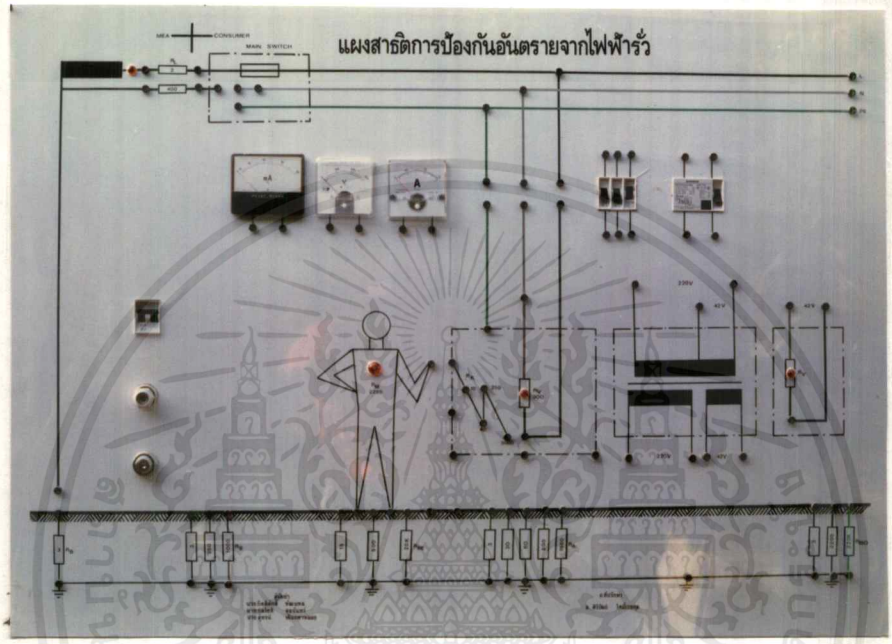
6.3 การป้องกันโดยการแยกโหลดออกจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าและมีการต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าลงพื้นโลหะที่คนยืนทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ใบงานการทดลอง

แผงสาธิตการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้ารั่ว



สัญลักษณ์ที่ใช้ในแผงสาธิตการทดลอง

R_K = ความต้านทานตรงจุดที่เกิดฟอลต์ระหว่างตัวเครื่องใช้กับตัวนำของเครื่องใช้

R_S = ความต้านทานของหลักดินต่อดินที่เมนสวิทช์ (Service equipment grounding)

R_L = ความต้านทานของสายเฟส

R_M = ความต้านทานของคน

R_{BE} = ความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนยืนสัมผัสกับดิน

R_V = ความต้านทานของโหลด

R_B = ความต้านทานของหลักดินต่อดินของระบบไฟฟ้า (System grounding)

R_A = ความต้านทานของหลักดินต่อดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า(Equipment grounding)

R_N = ความต้านทานที่ปรากฏในสายนิวทรอล

I_M = กระแสไหลผ่านตัวคน

V_B = แรงดันสัมผัสตัวคน (Touch Voltage)

I_F = กระแสฟอลต์

V_F = แรงดันฟอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 1
การต่อลงดินของหม้อแปลงระบบจำหน่ายไฟฟ้า

1.1 จุดนิวทรอลของหม้อแปลงระบบจำหน่ายไฟฟ้าต่อลงดินและไม่มีระบบป้องกันไฟรั่วเมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วอย่างรุนแรง

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นกับคนซึ่งสัมผัสโครงเครื่องใช้ไฟฟ้า และเครื่องใช้ ไฟฟ้าปราศจากการป้องกันโดยจุดนิวทรอลของหม้อแปลงในระบบไฟฟ้าต่อลงดิน

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

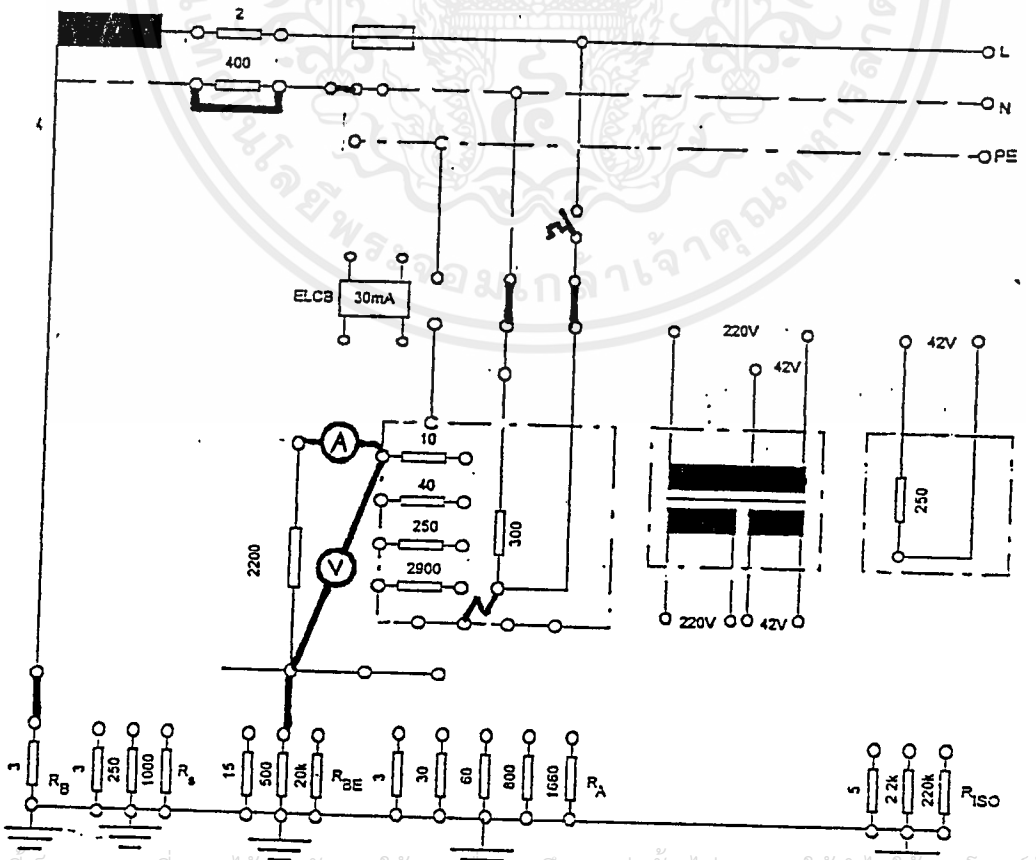
ค่าความต้านทานที่จุดเกิดไฟฟ้ารั่วลงโครง (R_k) = 0 โอห์ม

ความต้านทานของสาย L (R_L) = 2 โอห์ม

ความต้านทานของการต่อดินของระบบไฟฟ้า (R_B) = 3 โอห์ม

ความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนสัมผัสกับดิน (R_{BE}) มีค่าต่างๆ กันคือ 15 Ω 500 Ω และ 20 kΩ

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปการทดลองที่ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรตามเส้นทึบดังรูปการทดลองที่ 1.1
2. วัดกระแสไหลผ่านตัวคน (I_M) และแรงดันคร่อมตัวคน (V_B) เมื่อเกิด Fault ลงโครง เครื่องใช้ไฟฟ้าอย่างรุนแรง โดยที่ความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนยืนสัมผัสกับดินมีค่า ต่าง ๆ กัน

ค่าที่วัดได้

R_{BE} (Ω)	15	500	20 k
I_M (mA)	100	84	8
V_B (V)	216	180	10

3. คำนวณหากระแสไหลผ่านคน (I_M) และแรงดันสัมผัส (V_B) เมื่อเกิดลงตัวโครงเครื่องใช้เต็มที่ ที่ ค.ต.ท. ระหว่างผิวดินที่คนยืนสัมผัสกับดินมีค่าต่าง ๆ กัน

กระแสไหลผ่านตัวคน (I_M) $= \dfrac{V}{R_M + R_{BE} + R_B}$ (R_L neglect)

$= \dfrac{220}{2200 + 15 + 3}$

$= 99.2$ mA

แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B) $= I_M \times R_M$

$= 99.2 \times 10^{-3} \times 2200$

$= 218.2$ V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R_{BE} (Ω)	15	500	20k
I_M (mA)	99.2	81.39	9
V_B (V)	218.2	179	20

สรุปผลการทดลอง

เมื่อเกิดฟอลต์ลงโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าเต็มที่และตรงตำแหน่งที่คนยืนมีค่าความต้านทานของดินต่ำ (พื้นคอนกรีต , พื้นเปียกชื้น) แรงดันตกคร่อมตัวคนมีค่าเกือบเท่าแรงดันที่แหล่งจ่าย จึงเป็นอันตรายต่อชีวิตคนอย่างมาก เนื่องจากกระแสที่ไหลผ่านตัวคนนี้ ไม่สามารถทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์เปิดวงจร และกรณีที่ความต้านทานระหว่างคนกับความต้านทานของดินมีค่าสูงจะไม่เป็นอันตรายแก่ชีวิตคนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 จุดนิวทรอลของหม้อแปลงระบบจำหน่ายไฟฟ้าต่อลงดินและไม่มีระบบป้องกันไฟรั่วเมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วไม่รุนแรง

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นกับคนซึ่งสัมผัสโครงเครื่องใช้ไฟฟ้า ขณะเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าอย่างไม่รุนแรงและเครื่องใช้ ไฟฟ้าปราศจากการป้องกันซึ่งจุดนิวทรอลของหม้อแปลงในระบบไฟฟ้าต่อลงดิน

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

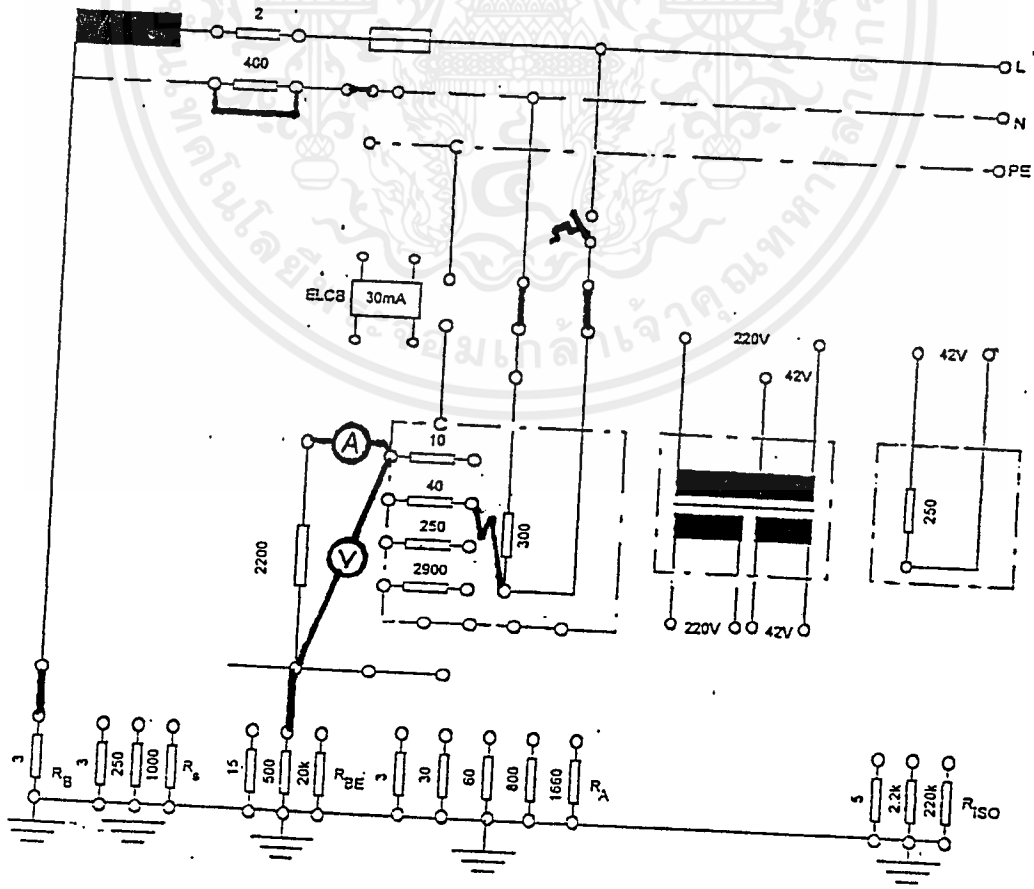
ค่าความต้านทานที่จุดเกิดไฟฟ้ารั่วลงโครง (R_k) = 40 โอห์ม

ความต้านทานของสาย L (R_L) = 2 โอห์ม

ความต้านทานของการต่อดินของระบบไฟฟ้า (R_B) = 3 โอห์ม

ความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนสัมผัสกับดิน (R_{BE}) มีค่าต่างๆ กันคือ 15 Ω 500 Ω และ 20 kΩ

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปการทดลองที่ 1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรตามเส้นทึบดังรูปการทดลองที่ 1.2
2. วัดกระแสไหลผ่านตัวคน (I_M) และแรงดันสัมผัสตัวคน (V_B) เมื่อเกิด Fault ลงโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าไม่รุนแรงโดยที่ความต้านทานระหว่างตัวคนกับผิวดินอ้างอิงมีค่าต่างกัน

ค่าที่วัดได้

	Rk = 40 Ω		
R_{BE} (Ω)	15	500	20k
I_M (mA)	98	80	10
V_B (V)	215	177	22

3. คำนวณหากระแสไหลผ่านคน และแรงดันสัมผัส เมื่อเกิดลงตัวโครงเครื่องใช้ไม่รุนแรง ที่ความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนสัมผัสกับดินมีค่าต่างๆกัน

กระแสไหลผ่านตัวคน (I_M) $= \dfrac{V}{R_K + R_M + R_{BE} + R_B}$ (R_L neglect)

$= \dfrac{220}{40 + 2200 + 15 + 3}$

$= 97.43$ mA

แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B) $= I_M \times R_M$

$= 97.43 \times 10^{-3} \times 2200$

$= 214.35$ V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Rk = 40 Ω		
R_{BE} (Ω)	15	500	20k
I_M (mA)	97.43	80.2	9.89
V_B (V)	214.35	176.45	21.76

สรุปผลการทดลอง

เมื่อเกิด Fault ลงโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าไม่รุนแรง และตรงตำแหน่งที่คนยืนมีค่าความต้านทานของดินต่ำ (พื้นคอนกรีต,พื้นเปียกชื้น) ก็สามารถทำให้เกิดแรงดันสัมผัสคร่อมตัวคนสูงได้ และกระแสไหลผ่านตัวคน จึงทำให้เกิดอันตรายแก่ชีวิตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 จุดนิวทรอลของหม้อแปลงของระบบจำหน่ายไฟฟ้าไม่ได้ต่อลงดิน ซึ่งฉนวนของสายนิวทรอลอยู่ในสภาวพที่ดี

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาว่ากรณีที่จุดนิวทรอลของหม้อแปลงระบบจำหน่ายไฟฟ้าไม่ได้ต่อลงดิน ซึ่งฉนวนของสายนิวทรอลอยู่ในสภาพที่ดี และเมื่อคนไปสัมผัสเครื่องใช้ไฟฟ้าขณะรั่วอย่างรุนแรง

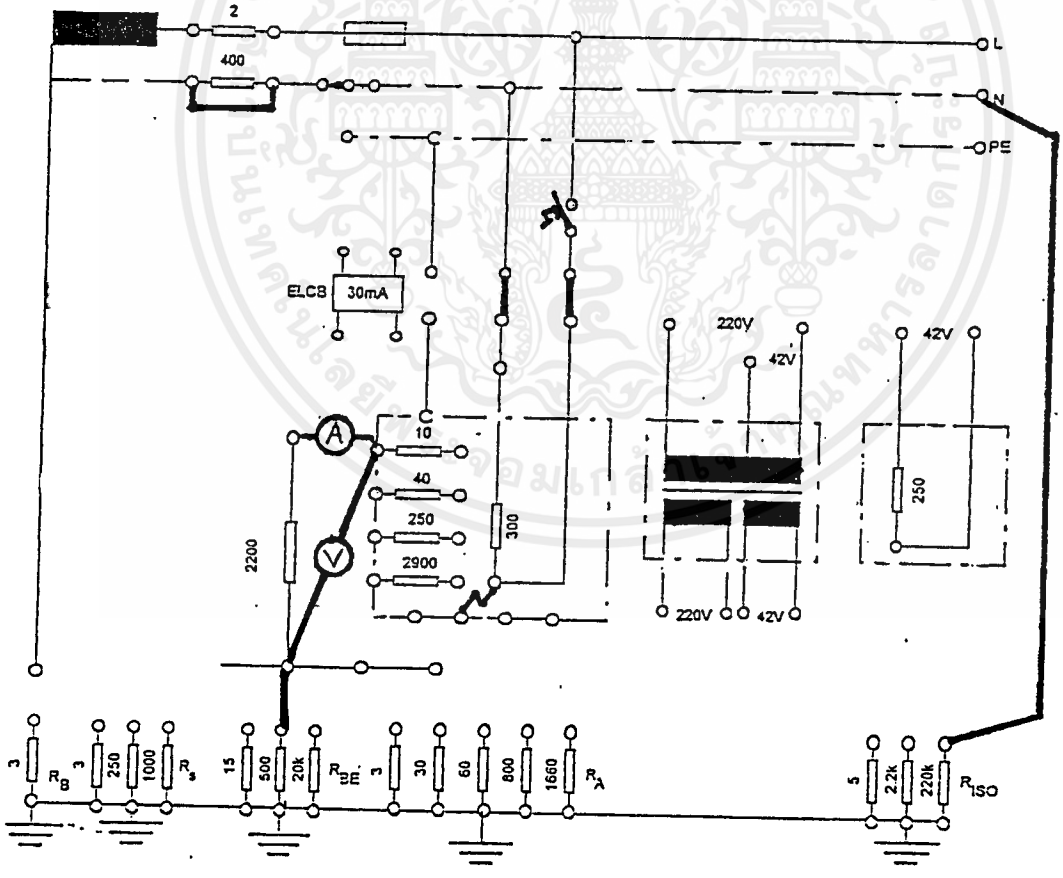
ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานจุดที่เกิดไฟฟ้ารั่ว (RK) = 0 โอห์ม

ค่าความต้านทานของฉนวนระหว่างสายN กับดิน (RISO) = 220,000โอห์ม

ค่าความต้านทานของสายเฟส (RL) = 2 โอห์ม

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปการทดลองที่ 1.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรตามเส้นทึบดังรูปการทดลองที่ 1.3
2. วัดกระแส I_M ซึ่งไหลผ่านตัวคน และแรงดันตกคร่อมตัวคน V_B

$I_M = 0$ mA

$V_B = 0$ V

3. คำนวณกระแส I_M ซึ่งไหลผ่านตัวคนและแรงดันตกคร่อมตัวคน V_B

$$I_M = \frac{V}{R_M + R_{BE} + R_{ISO}}$$

$$= \frac{220}{2200 + 500 + 220000}$$

$$= 0.987 \text{ mA}$$

$$V_B = I_M \times R_M$$

$$= 0.987 \times 2.2$$

$$= 2.173 \text{ V}$$

สรุปผลการทดลอง

ถ้าความต้านทานฉนวนของสายนิวทรอลในระบบไฟฟ้ามีค่าสูงและเครื่องใช้อยู่ในสภาพอันตราย (ไฟฟ้าลัดวงจรลงตัวเครื่องใช้) แรงดันคร่อมตัวคนที่ปรากฏมีค่าต่ำ จึงไม่เป็นอันตรายต่อผู้สัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

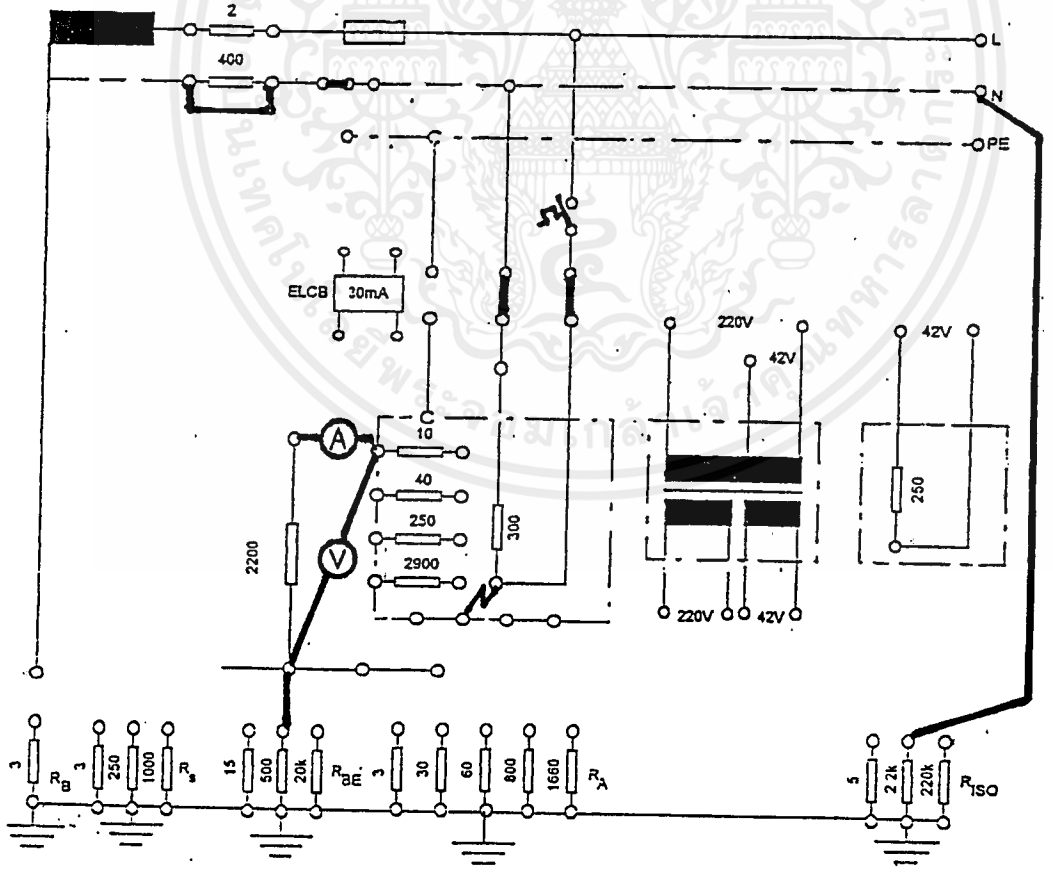
1.4 จุดนิวทรอลของหม้อแปลงระบบจำหน่ายไฟฟ้าไม่ได้ต่อลงดินซึ่งฉนวนของสายนิวทรอลเกิดเสื่อมหรือชำรุด

จุดประสงค์ เพื่อศึกษากรณีที่จุดนิวทรอลของหม้อแปลงระบบจำหน่ายไฟฟ้าไม่มีการต่อลงดินในขณะที่ฉนวนของสายนิวทรอลเกิดชำรุด เมื่อคนไปสัมผัสเครื่องใช้ไฟฟ้าขณะรั่วอย่างรุนแรงและเครื่องใช้ไฟฟ้าปราศจากการป้องกัน

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานจุดที่เกิดไฟฟ้ารั่ว (R_K)	=	0	โอห์ม
ค่าความต้านทานของฉนวนระหว่างสายN กับดิน (R_{ISO})	=	2,200	โอห์ม
ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L)	=	2	โอห์ม
ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนสัมผัสกับดิน (R_{BE})	=	500	โอห์ม

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปการทดลองที่ 1.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรตามเส้นทึบดังรูปการทดลองที่ 1.4
2. วัดกระแส I_M ซึ่งไหลผ่านตัวคน และแรงดันตกคร่อมตัวคน V_B

$I_M = 46$ mA

$V_B = 100$ V

3. คำนวณกระแส I_M ซึ่งไหลผ่านตัวคนและแรงดันตกคร่อมตัวคน V_B

$$I_M = \frac{V}{R_M + R_{BE} + R_{ISO}}$$

$$= \frac{220}{2200 + 500 + 2200}$$

$$= 44.89 \text{ mA}$$

$$V_B = I_M \times R_M$$

$$= 0.045 \times 2200$$

$$= 98.77 \text{ V}$$

สรุปผลการทดลอง

ถ้าความต้านทานฉนวนของสาย N มีค่าต่ำ เช่น ฉนวนของสายเกิดการชำรุดเล็กน้อยหลายแห่ง (ต่ำกว่า 1000 โอห์ม/โวลท์) และเครื่องใช้อยู่ในสภาพอันตราย (ไฟฟ้าลัดวงจรลงตัวเครื่องใช้) แรงดันคร่อมตัวคนที่ปรากฏมีค่าสูง จึงทำให้เกิดอันตรายต่อผู้สัมผัสเครื่องใช้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2
การต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อลงดินโดยตรง

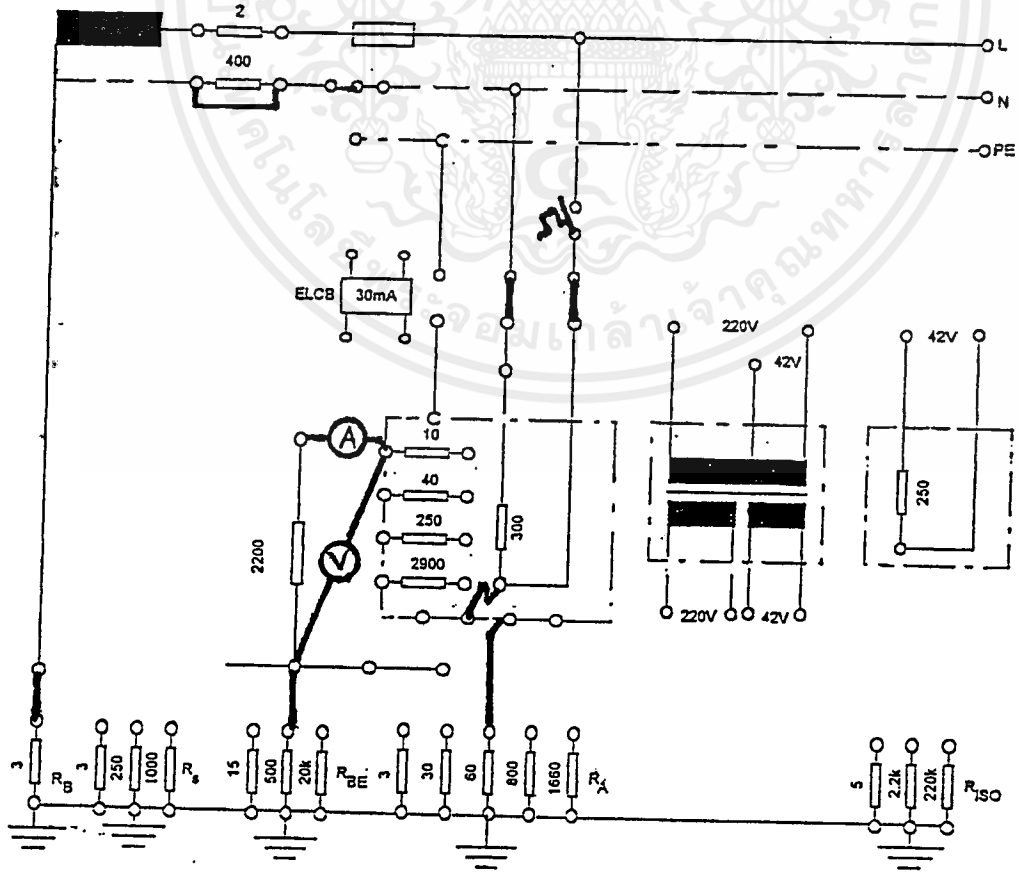
2.1 การต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าลงดินโดยตรงโดยค่าความต้านทานของการต่อลงดินไม่ได้ตามมาตรฐาน (มาตรฐาน กฟน. กำหนดไว้ไม่เกิน 5 โอห์ม)

จุดประสงค์ เพื่อทดสอบผลของการต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าลงดินโดยตรงซึ่งค่าความต้านทานของการต่อลงดินของหลักดินมีค่าไม่ได้ตามมาตรฐาน เมื่อคนไปสัมผัสโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าในขณะที่เครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงอย่างรุนแรง

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานจุดที่เกิดไฟฟ้ารั่ว (R_K)	=	0	โอห์ม
ค่าความต้านทานในการต่อลงดินของเครื่องใช้ไฟฟ้า(R_A)	=	60	โอห์ม
ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L)	=	2	โอห์ม
ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนสัมผัสกับดิน (R_{BE})	=	500	โอห์ม

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปการทดลองที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรตามเส้นทึบดังรูปการทดลองที่ 2.1
2. ทำการวัดค่าต่างๆในวงจรการทดลอง

กระแสฟอลด์	(I_F)	=	4	A
แรงดันฟอลด์	(V_F)	=	210	V
กระแสไหลผ่านคน	(I_M)	=	80	mA
แรงดันไหนผ่านคน	(V_B)	=	170	V

3. คำนวณค่าต่างๆในวงจรการทดลอง

กระแสฟอลด์ (IF)

$$= \frac{V}{(R_M + R_{BE}) // R_A + R_B}$$

$$= \frac{220}{(2200 + 500) // 60 + 3}$$

$$= 3.566 \text{ A}$$

แรงดันฟอลด์ (VF)

$$= I_F \times (R_M + R_{BE}) // R_A$$

$$= 3.566 \times (2200 + 500) // 60$$

$$= 209.308 \text{ V}$$

กระแสไหลผ่านคน (IM)

$$= \frac{V_F}{R_M + R_{BE} + R_B}$$

$$= \frac{209.308}{2200 + 500 + 3}$$

$$= 77.43 \text{ mA}$$

แรงดันตกคร่อมคน (V_B)

$$= I_M \times R_M$$

$$= 77.435 \times 10^{-3} \times 2200$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \quad 170.358 \quad V$$

กระแสไหลผ่าน C.B. $= \quad I_F + I_V$

$$= \quad 3.566 + 0.733$$

$$= \quad 4.299 \quad A$$

สรุปผลการทดลอง

ถ้าโครงเครื่องใช้ต่อลงดินไม่ดี จะทำให้ ความต้านทานดินของหลักดินมีค่าสูง เมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดลัดวงจรลงโครง กระแสฟอลต์มีค่าไม่สูงพอที่จะทำให้อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินไม่ตัดวงจร ดังนั้นเซอร์กิตเบรกเกอร์จะไม่เปิดวงจร ทำให้เกิดอันตรายต่อผู้สัมผัสเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ และผู้ใช้ไฟฟ้าจะเสียค่าไฟฟ้าที่รั่วลงดินไปตลอดเวลาโดยไม่รู้ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าลงดินโดยตรงโดยค่าความต้านทานของการต่อลงดินได้ตามมาตรฐาน

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาผลของการต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าลงดินโดยตรง ซึ่งค่าความต้านทานของการต่อลงดินของเครื่องใช้ไฟฟ้ามีค่าได้ตามมาตรฐาน เมื่อคนไปสัมผัสโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าขณะที่เครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วไม่รุนแรง

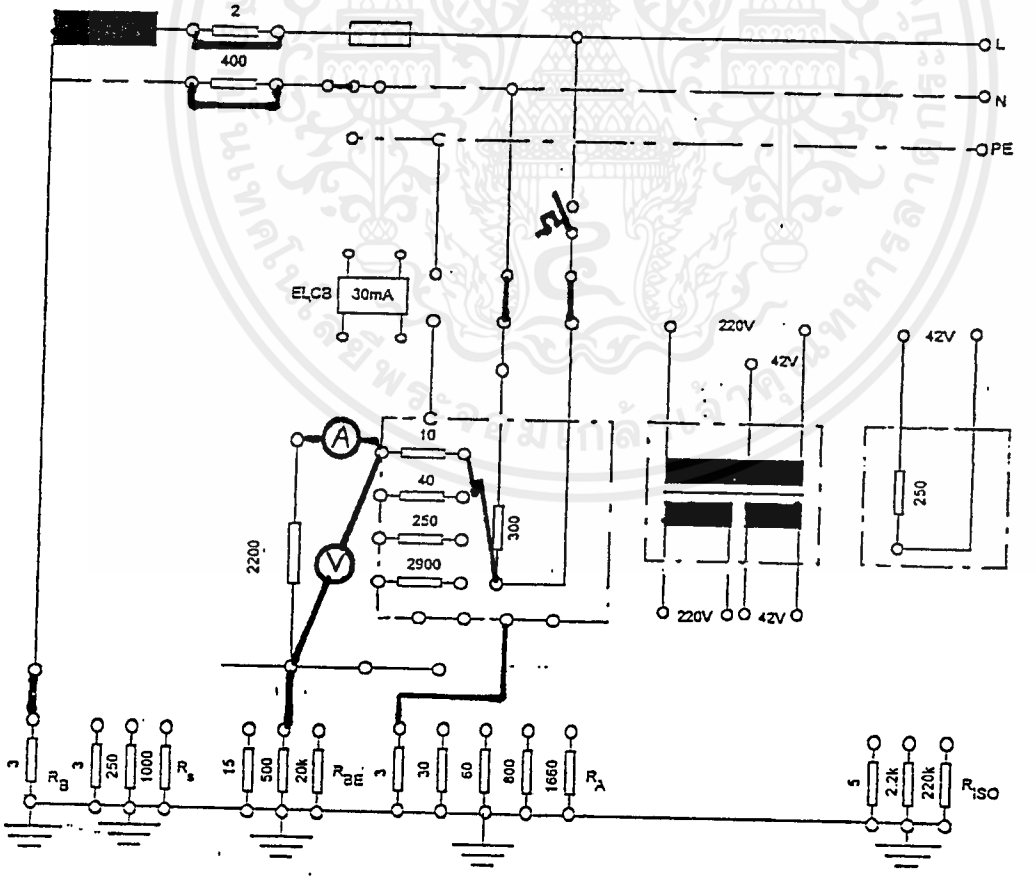
ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานในการต่อลงดินของเครื่องใช้ไฟฟ้า (R_A) = 3 โอห์ม

ค่าความต้านทานตรงจุดที่เกิดไฟฟ้ารั่ว (R_K) = 10 โอห์ม

ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนสัมผัสกับดิน (R_{BE}) = 500 โอห์ม

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปการทดลองที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรตามเส้นทึบดังรูปการทดลองที่ 2.2
2. ทำการวัดค่าต่างๆในวงจรการทดลอง

   ค่าที่วัดได้

   กระแสฟอลต์ (I_F) = 14 A

   แรงดันฟอลต์ (V_F) = 42 V

   กระแสไหลผ่านคน (I_M) = 15 mA

   แรงดันตกคร่อมคน (V_B) = 34 V
3. คำนวณค่าต่างๆในวงจรการทดลอง

   ค่าที่คำนวณได้

   กระแสฟอลต์ (I_F)

$$= \frac{V}{R_V + R_A + R_B}$$

$$= \frac{220}{10 + 3 + 3}$$

$$= 13.78 \text{ A}$$

   แรงดันฟอลต์ (V_F)

$$= I_F \times R_A$$

$$= 13.7 \times 3$$

$$= 41.25 \text{ V}$$

   กระแสไหลผ่านคน (I_M)

$$= \frac{V_F}{R_M + R_{BE}}$$

$$= \frac{41.25}{2200 + 500}$$

$$= 15.27 \text{ mA}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันตกคร่อมคน (V_B) = $I_M \times R_M$

= $15.27 \times 10^{-3} \times 2200$

= 33.61 V

สรุปผลการทดลอง

เซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่ตัดวงจรเพราะปริมาณกระแสฟอลต์มีปริมาณไม่เพียงพอที่จะทำให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ตัดวงจรได้ แต่ไม่เป็นอันตรายต่อคนเนื่องจากแรงดันตกคร่อมคนต่ำกว่ามาตราฐานที่กำหนดไว้คือ 50 โวลท์

การต่อเครื่องใช้ไฟฟ้าลงดินโดยตรงมีข้อเสียคือ เมื่อเกิดไฟฟ้าฟอลต์ลงโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องป้องกันกระแสเกินไม่ตัดวงจรเพราะปริมาณกระแสไฟฟ้าฟอลต์มีค่าน้อยเนื่องจากไหลผ่านดินซึ่งมีความต้านทานมาก (ปริมาณกระแสหลายแอมแปร์จึงจะทำให้เครื่องป้องกันกระเกินตัดวงจร) ผู้ใช้ไฟฟ้าจะเสียค่าไฟฟ้าฟอลต์ลงดินไปตลอดเวลาโดยไม่รู้ว่าและไม่รู้ว่าเครื่องใช้ไฟฟ้านั้นเกิดไฟฟ้าฟอลต์เพราะยังไม่เกิดไฟฟ้าดูดและอาจจะทำให้เกิดอันตรายจากไฟไหม้ได้ หรือเมื่อนานเข้ากระแสไฟฟ้าฟอลต์จะทำให้เกิดความร้อนในดินรอบ ๆ หลักดิน (ground rod) ทำให้ค่าความต้านทานสูงขึ้นจนเกิดความต่างศักย์ทางไฟฟ้า ระหว่างเครื่องใช้ไฟฟ้ากับดินซึ่งหากมีค่ามากเมื่อคนมาสัมผัสจะทำให้เกิดอันตรายได้เพราะการต่อโครงเครื่องใช้ลงดินโดยตรงเป็นการป้องกันระยะแรกเท่านั้นแต่อย่างไรก็ตามหากผู้ใช้ไฟฟ้าไม่ได้มีการต่อลงดินโดยตรงก็ถือว่าจะไม่มีการป้องกันอะไรเลย การแก้ไขให้ดีขึ้นเพียงแต่ติดตั้งระบบสายดินและพ่วงสายดินที่ทำไว้เดิมเข้ากับสายดินของระบบสายดินที่ทำขึ้นมาใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 3

การต่อโครงเครื่องใช้เข้ากับสายนิวทรอล

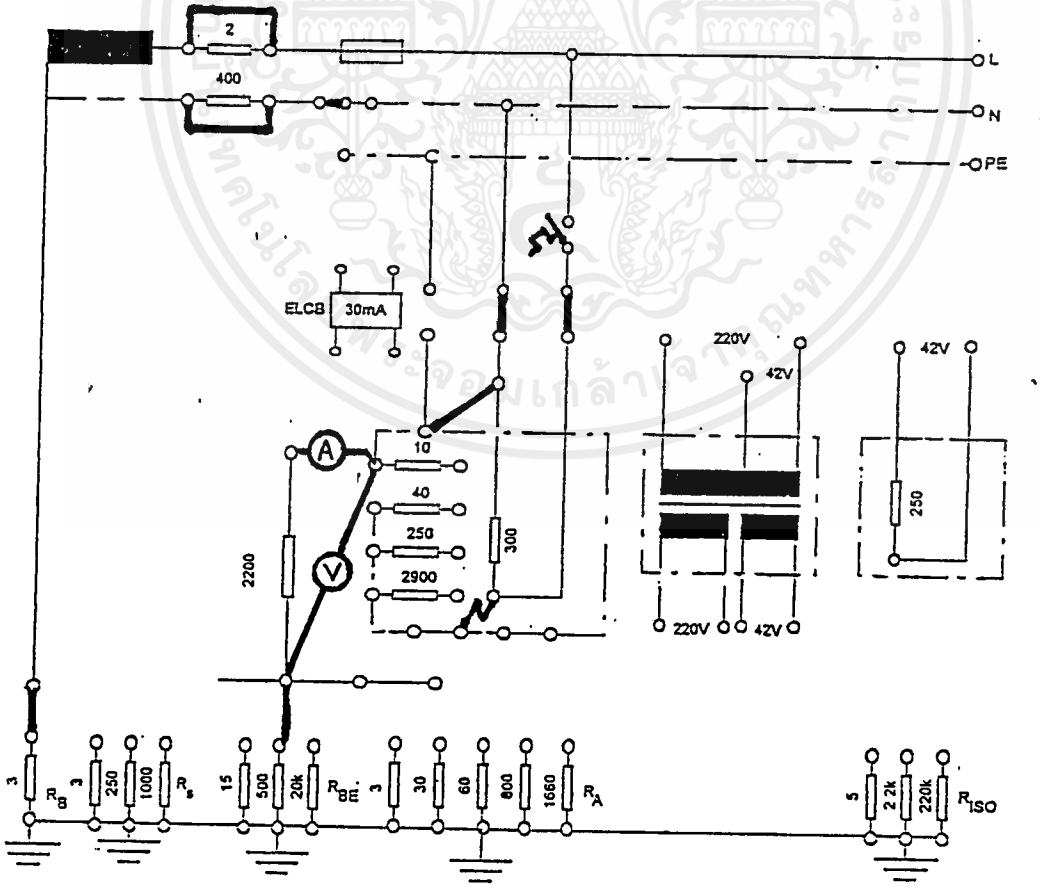
3.1 การต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายนิวทรอล เมื่อจุดนิวทรอลของหม้อแปลงระบบจำหน่ายไฟฟ้าต่อลงดิน

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายนิวทรอล ซึ่งเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงอย่างรุนแรง

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L)	=	2	โอห์ม
ค่าความต้านทานตรงจุดที่เกิดไฟฟ้ารั่ว (R_K)	=	0	โอห์ม
ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนสัมผัสกับดิน (R_{BE})	=	500	โอห์ม

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปการทดลองที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรตามเส้นทึบดังรูปการทดลองที่ 3.1
2. วัดกระแสไหลผ่านตัวคน (I_M) แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B)

   ผลที่ได้รับ เข็มของเครื่องวัดไม่กระดิก เนื่องจาก เซอร์กิตเบรกเกอร์เปิดวงจร
3. คำนวณหากระแสลัดวงจร

$$\text{กระแสลัดวงจร } I_{SC} = \frac{V}{R_L} = \frac{220}{2} = 110 \text{ A}$$

สรุปผลการทดลอง

เซอร์กิตเบรกเกอร์เปิดวงจรทันที ดังนั้นแรงดันตกคร่อมตัวคน จึงเป็นศูนย์ ไม่เป็นอันตรายต่อคนที่ไปจับตัวเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เกิดนี้ นอกจากนี้ยังไม่เป็นอันตรายจากไฟไหม้อีกด้วย เพราะว่าเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดวงจรอย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

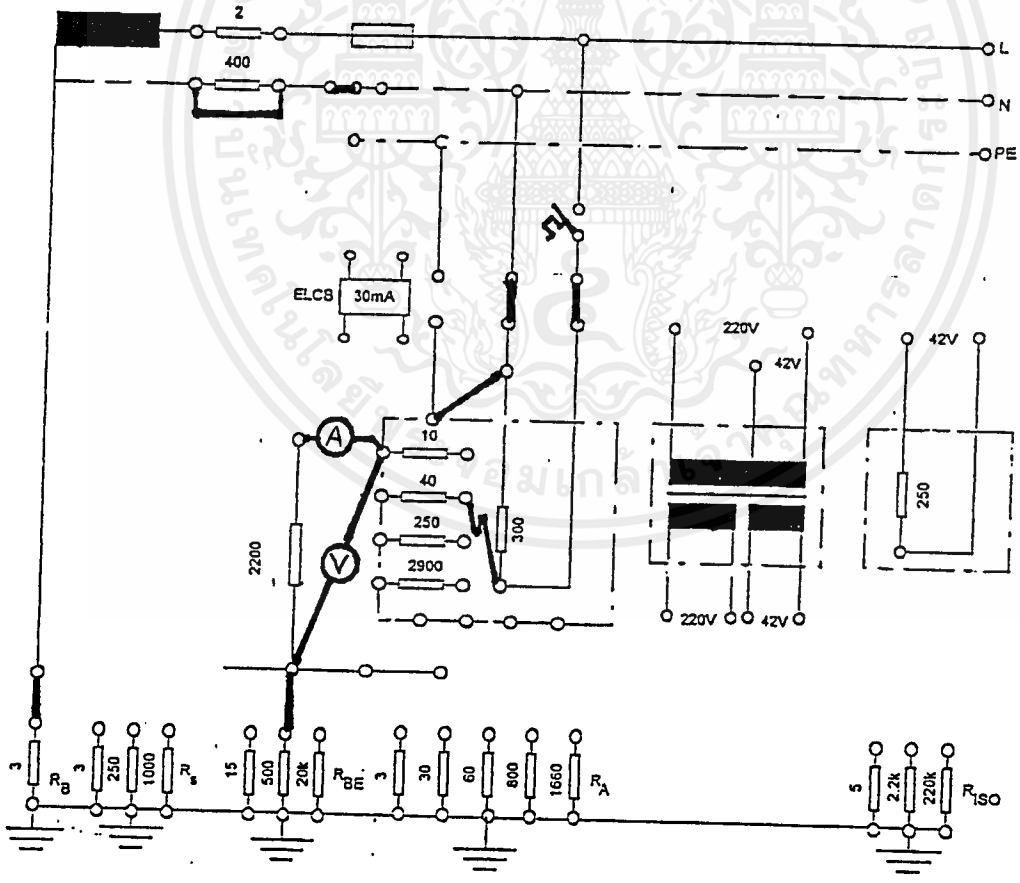
3.2 การต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายนิวทรอล และเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงไม่รุนแรง

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายนิวทรอล ซึ่งเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงไม่รุนแรง

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L)	=	2	โอห์ม
ค่าความต้านทานตรงจุดที่เกิดไฟฟ้ารั่ว (R_K)	=	40	โอห์ม
ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนสัมผัสกับดิน (R_{BE})	=	500	โอห์ม

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปการทดลองที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรตามเส้นทึบดังรูปการทดลองที่ 3.2
2. วัดกระแสไหลผ่านตัวคน (I_M) และ แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B)

ผลที่ได้รับ วัดกระแสไหลผ่านตัวคน (I_M) = 0 mA

แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B) = 0 V

กระแสฟอลต์ = 6 A

3. คำนวณหากระแสลัดวงจร

กระแสฟอลต์ I_F = $\frac{V}{RK}$

= $\frac{220}{40}$

= 5.5 A

แรงดันฟอลต์ (V_F) = 220 V

สรุปผลการทดลอง

เซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่ตัดวงจรเพราะปริมาณกระแสฟอลต์ไม่เพียงพอที่จะทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดวงจรได้ ดังนั้นจึงอาจทำให้เกิดอันตรายจากไฟไหม้ได้แต่จะไม่เป็นอันตรายต่อคนที่สัมผัสเครื่องใช้ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

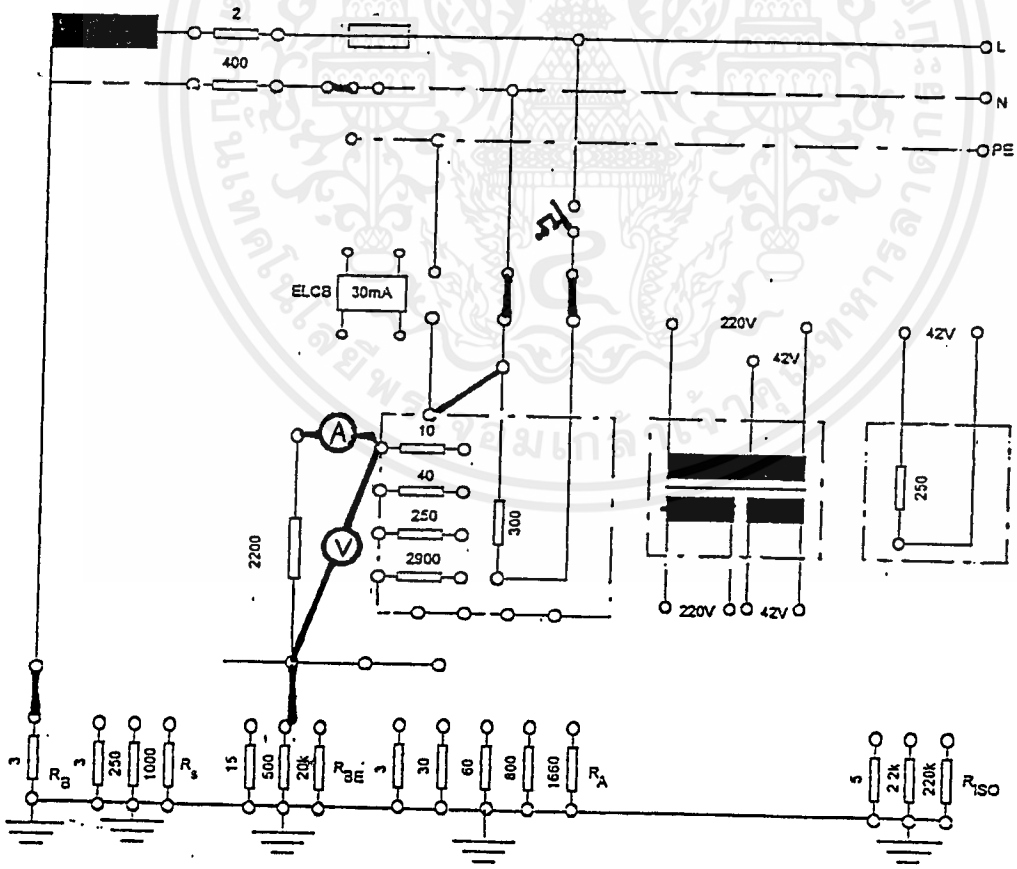
3.3 การต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายนิวทรอล ซึ่งสายนิวทรอลมีค่าความต้านทานปรากฏในสายสูง

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายนิวทรอล ซึ่งสายนิวทรอลมีความต้านทานปรากฏในสายสูง เมื่อคนสัมผัสเครื่องใช้ไฟฟ้าในขณะที่เครื่องใช้ไฟฟ้าอยู่ในสภาพปกติ

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L)	=	2	โอห์ม
ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนสัมผัสกับดิน (R_{BE})	=	500	โอห์ม
ค่าความต้านทานที่ปรากฏในสายนิวทรอล (R_N)	=	400	โอห์ม

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปการทดลองที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= 95.91 V

สรุปผลการทดลอง

เมื่อความต้านทานที่ปรากฏในสาย NEUTRAL มีค่าสูงจะทำให้เครื่องใช้ไฟฟ้าไม่ได้เกิดฟอลต์มีแรงดันปรากฏที่เครื่องใช้เทียบกับพื้นดิน (CONTACT-VOLTAGE) สูงถึงขนาดเป็นอันตรายต่อผู้ที่สัมผัสได้

ถ้าความต้านทานของเครื่องใช้ (Rv) ต่ำกว่าความต้านทานที่ปรากฏในสายนิวทรอลก็ยิ่งทำให้แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B) สูงขึ้นหรือเป็นอันตรายต่อชีวิตของผู้สัมผัสตัวเครื่องใช้ที่ไม่ได้เกิดฟอลต์นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรตามเส้นทึบดังรูปการทดลองที่ 3.3
2. วัดค่ากระแสไหลผ่านคน (I_M) และแรงดันตกคร่อมคน (V_B)

I_M = 50 mA , V_B = 96 V

3. คำนวณค่า ๆ ในวงจรการทดลอง

กระแสผ่านเครื่องใช้ (I_V) = $\dfrac{V}{[R_N//(R_M+R_{BE}+R_B)+R_L+R_V]}$

= $\dfrac{220}{[400//(2200+500+3)+300+2]}$

= 0.3382 A

แรงดันฟอลต์ (V_F) = $\dfrac{I_V \times (R_M + R_{BE} + R_B)}{R_M + R_{BE} + R_B + R_N}$

= $\dfrac{0.3382 \times (2200 + 500 + 3)}{2200 + 500 + 3 + 400}$

= 0.2946 V

กระแสไหลผ่านตัวคน (I_M) = $\dfrac{I_V \times R_N}{R_N + R_M + R_{BE} + R_B}$

= $\dfrac{0.3382 \times 400}{400 + 2200 + 500 + 3}$

= 0.0436 A

แรงดันตกคร่อมคน (V_B) = $I_M \times R_M$

= 0.0436×2200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรตามเส้นทึบดังรูปการทดลองที่ 3.4
2. วัดค่าต่าง ๆ ในวงจรการทดลอง

กระแสไหลผ่านตัวคน (I_M) = mA

แรงดันตกคร่อมคน (V_B) = 162 V

แรงดันฟอลต์ (V_F) = V

3. คำนวณค่าต่างๆ ในวงจรการทดลอง

กระแสไหลผ่านตัวคน (I_M) = $\dfrac{V}{R_L + R_V + R_M + R_{BE} + R_B}$

= $\dfrac{220}{2 + 300 + 2200 + 500 + 3}$,

= 0.732 mA

แรงดันตกคร่อมคน (V_B) = $I_M \times R_M$

= 0.0732×2200

= 161.06 V

แรงดันฟอลต์ (V_F) = $I_F \times R_V$

= 0.0732×300

= 21.9634 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายนิวทรอล ซึ่งสายเฟสกับสายนิวทรอลที่เข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้าสลับกัน

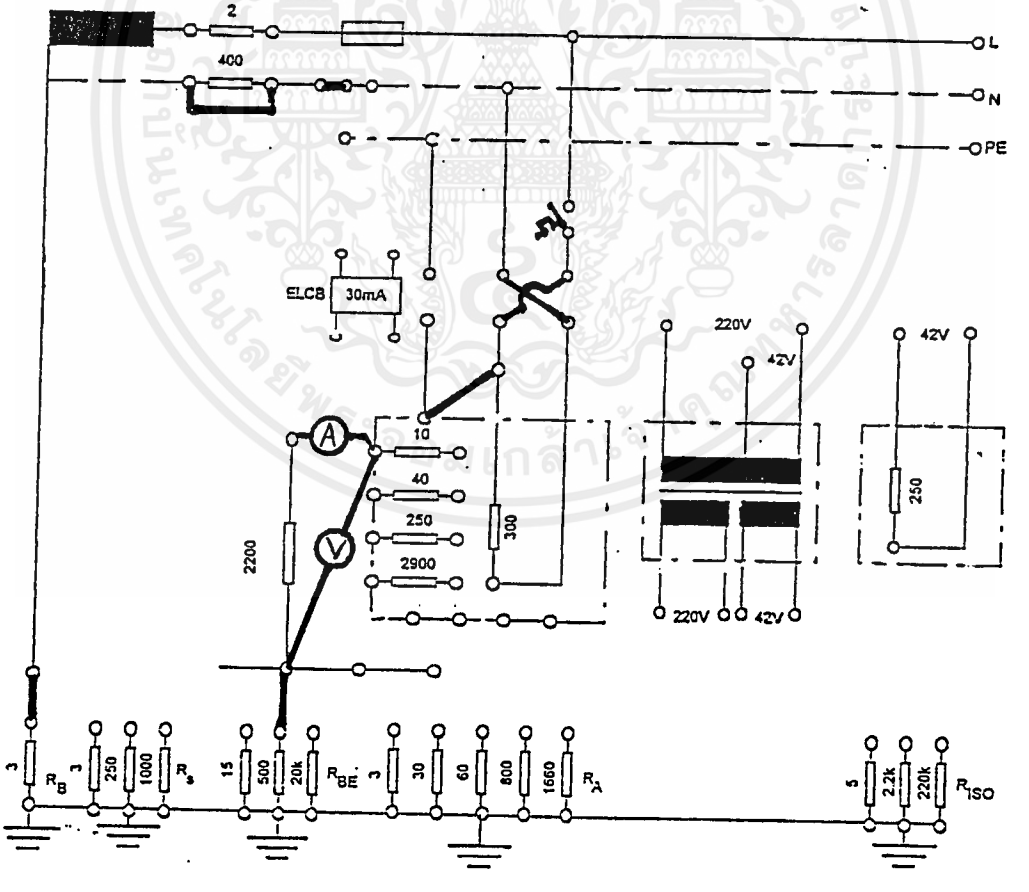
จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายนิวทรอล ซึ่งสายนิวทรอลกับสายเฟสสลับกันก่อนต่อเข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้า

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L) = 2 โอห์ม

ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนสัมผัสกับดิน (R_{BE}) = 500 โอห์ม

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปการทดลองที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรตามเส้นทึบดังรูปการทดลองที่ 3.5
2. วัดค่าต่าง ๆ ในวงจรการทดลอง

กระแสไหลผ่านตัวคน (I_M) = 85 mA

แรงดันตกคร่อมคน (V_B) = 230 V

3. คำนวณค่าต่างๆ ในวงจรการทดลอง

กระแสไหลผ่านตัวคน (I_M) = $\dfrac{V}{R_M + R_{BE} + R_B}$

= $\dfrac{220}{220 + 500 + 3}$

= 81.391 mA

แรงดันตกคร่อมคน (V_B) = $I_M \times R_M$

= 0.081×2200

= 179 V

สรุปผลการทดลอง

ถ้าสายเฟส กับนิวทรอลที่เข้าเครื่องใช้สลับที่กัน แรงดันของสายเฟสก็ปรากฏบนตัวเครื่องใช้ แรงดันตกคร่อมตัวคนก็ยิ่งสูงเป็นอันตรายต่อชีวิตของผู้ที่สัมผัสตัวเครื่องใช้ มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

เมื่อสายนิวทรอลขาดก่อนเข้าเครื่องใช้จะมีผลทำให้แรงดันตกคร่อมตัวคน V_B สูงได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของเครื่องใช้ไฟฟ้า ถ้าความต้านทานของเครื่องใช้ยิ่งต่ำก็มีผลทำให้แรงดันตกคร่อมตัวคนยิ่งสูง ซึ่งก็ยิ่งเป็นอันตรายต่อชีวิตของผู้สัมผัส เครื่องใช้ที่ไม่ได้เกิดฟอลต์ นี้ ถ้ามีเครื่องใช้ที่ต่อสายนิวทรอลขาดหลายเครื่องก็ยิ่งทำให้ตัวเครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านี้มีศักย์ของสาย L มากขึ้น หรือกล่าวได้ว่าแรงดันตกคร่อมตัวคนยิ่งสูงขึ้นเนื่องจากว่าความต้านทานรวมของเครื่องใช้ลดลงนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4
การต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายดิน

4.1 การต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายดิน ซึ่งระบบมีการติดตั้งสายดินถูกต้องตามมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวง

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาว่าในระบบไฟฟ้าที่มีการติดตั้งสายดินตามกฎของการไฟฟ้าและเมื่อคนเข้าไปสัมผัสโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าในขณะเครื่องใช้ไฟฟ้ารั่วอย่างรุนแรง

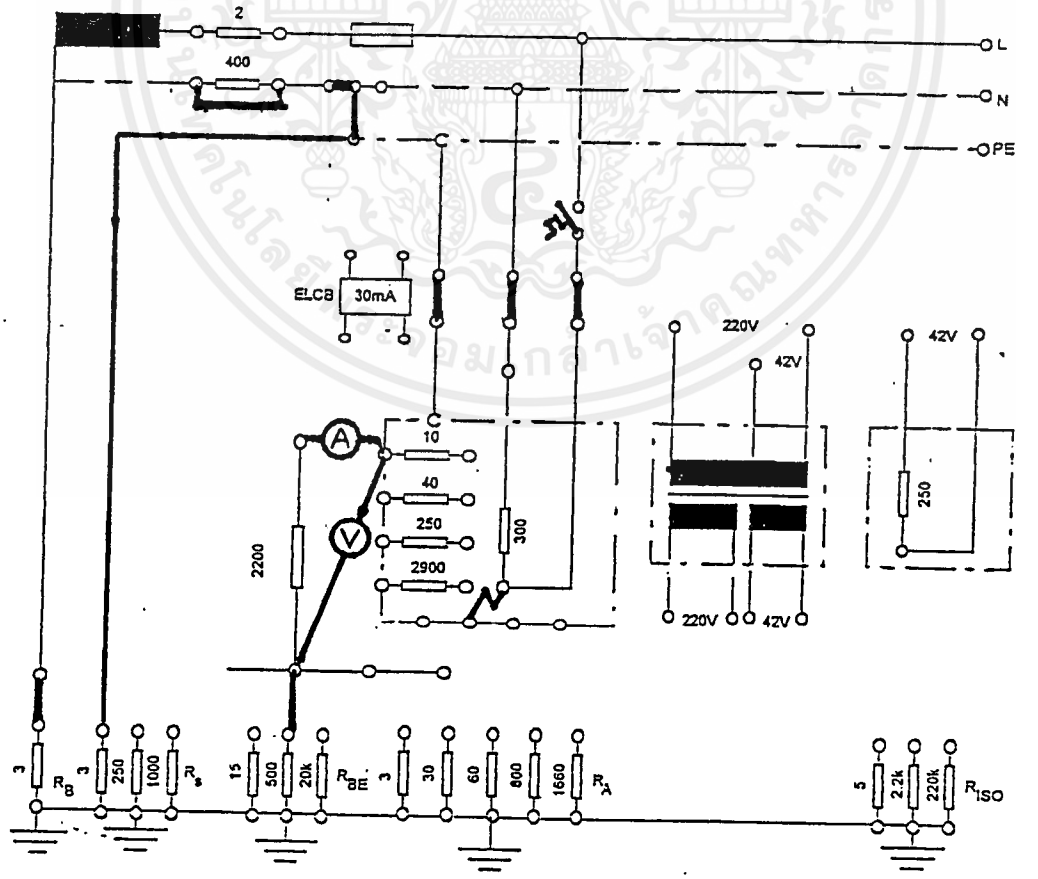
ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L) = 2 โอห์ม

ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนสัมผัสกับดิน (R_{BE}) = 500 โอห์ม

ค่าความต้านทานตรงจุดที่เกิดไฟฟ้ารั่ว (R_K) = 0 โอห์ม

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปการทดลองที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง.

1. ต่อวงจรตามเส้นทึบดังรูปการทดลองที่ 4.1
2. วัดค่ากระแสไหลผ่านคนและแรงดันตกคร่อมคน ผลปรากฏเข็มมิเตอร์ไม่กระดิกเพราะเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดวงจรออกก่อน
3. คำนวณค่าต่างๆ ในวงจรการทดลอง

$$\text{กระแส FAULT } (I_F) = \frac{V}{R_L}$$

$$= \frac{220}{2}$$

$$= 110 \text{ V}$$

สรุปผลการทดลอง

เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดวงจรทันทีเมื่อเกิดไฟฟ้ารั่วซึ่งกระแสไฟฟ้ารั่วจำนวนมากจะไหลครบวงจรโดยผ่านสายดินป้องกันหรือสาย ดิน(PE) เนื่องจากมีความต้านทานต่ำ ดังนั้นจึงทำให้ไม่เป็นอันตรายต่อผู้สัมผัสโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

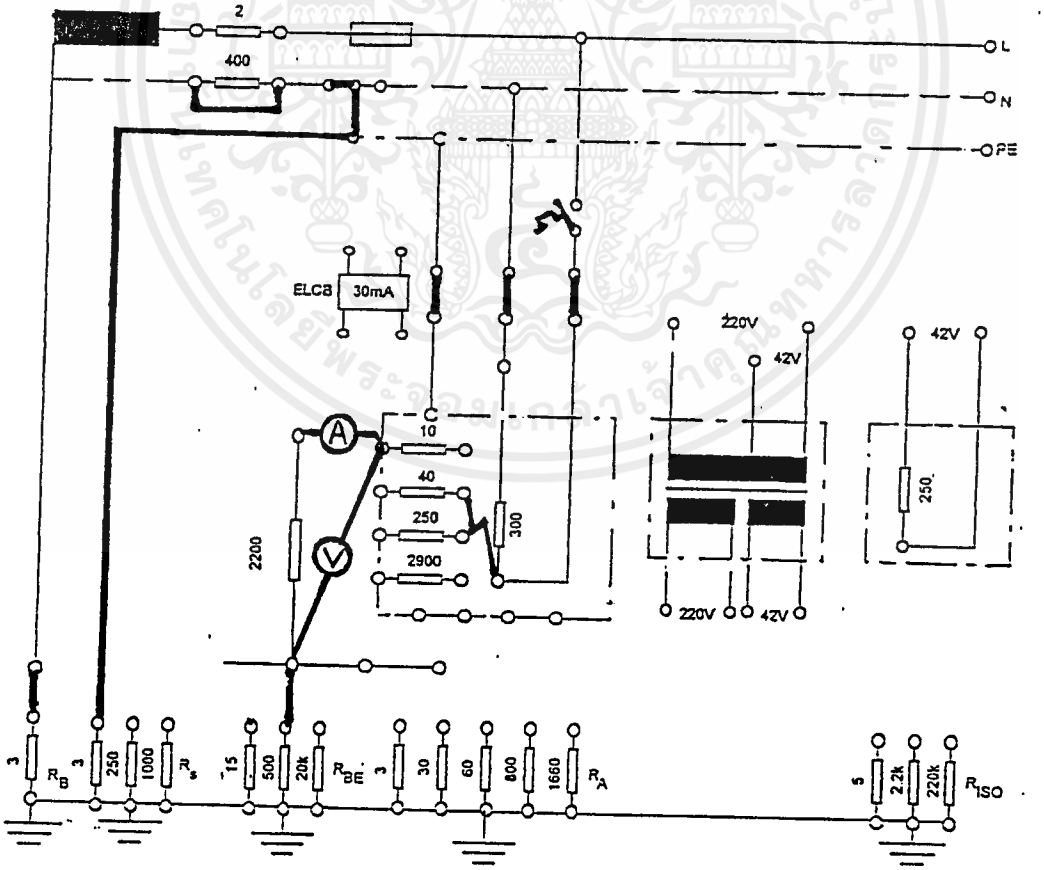
4.2 การต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายดิน ซึ่งระบบมีการติดตั้งสายดินถูกต้องตามมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวงและเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วไม่รุนแรง

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายดิน ซึ่งได้ติดตั้งตามกฎของการไฟฟ้าและเมื่อคนเข้าไปสัมผัสโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าในขณะเครื่องใช้ไฟฟ้ารั่วไม่รุนแรง

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L)	=	2	โอห์ม
ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนสัมผัสกับดิน (R_{BE})	=	500	โอห์ม
ค่าความต้านทานตรงจุดที่เกิดไฟฟ้ารั่ว (R_K)	=	40	โอห์ม

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปการทดลองที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรตามเส้นทึบดังรูปการทดลองที่ 4.2
2. วัดค่าต่าง ๆ ในวงจรการทดลอง

   แรงดันฟอลต์ (V_F) = 0 V

   กระแสไหลผ่านตัวคน (I_M) = 0 mA

   กระแสฟอลต์ (I_F) = 6 A

3. คำนวณค่าต่างๆ ในวงจรการทดลอง

   กระแสฟอลต์ (I_F) $= \frac{V}{R_K}$

   $= \frac{220}{40}$

   $= 5.5$ A

สรุปผลการทดลอง

เซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่ตัดวงจรเพราะปริมาณกระแสรั่วต่ำกว่ากระแสพิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์และไม่เป็นอันตรายต่อผู้สัมผัสโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่อาจจะทำให้เกิดอันตรายจากไฟไหม้ได้ ดังนั้นต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้ารั่วที่เมนสวิตท์ด้วย เช่น ตัวตัดตอนELCB (Earth Leakage Circuit Breaker) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

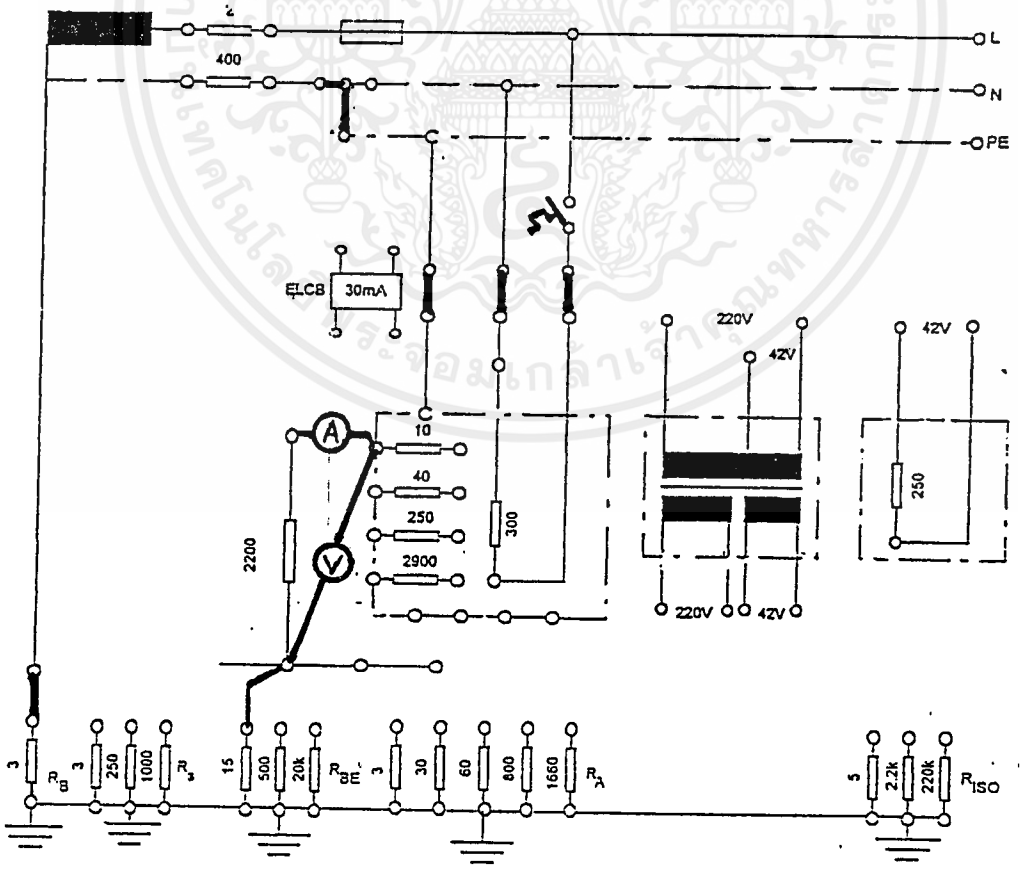
4.3 การต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายดิน ซึ่งติดตั้งสายดินไม่ถูกต้องตามมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวงและเครื่องใช้ไฟฟ้าอยู่ในสภาพปกติ

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายดิน ซึ่งได้ติดตั้งสายดินไม่ได้ตามมาตรฐานของการไฟฟ้าอันเนื่องมาจากทำการต่อลงดินที่เมนสวิทช์ไม่ดี สายที่ต่อกับหลักดินเกิดขาดพร้อมกับมีความต้านทานปรากฏในสายนิวทรอลสูง เนื่องจากจุดต่อสายนิวทรอลหลวม เมื่อคนไปสัมผัสโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าในขณะเครื่องใช้ไฟฟ้าอยู่ในสภาพปกติ

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L)	=	2	โอห์ม
ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนสัมผัสกับดิน (R_{BE})	=	15	โอห์ม
ค่าความต้านทานที่ปรากฏในสายนิวทรอล (R_N)	=	400	โอห์ม

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปการทดลองที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรตามเส้นทึบดังรูปการทดลองที่ 4.3
2. วัดค่าต่าง ๆ ในวงจรการทดลอง

กระแสไหลผ่านเครื่องใช้ไฟฟ้า	(I_V)	=	350	mA
กระแสไหลผ่านตัวคน	(I_M)	=	53	mA
แรงดันตกคร่อมคน	(V_B)	=	115	V
แรงดัน FAULT	(V_F)	=	120	V

3. คำนวณค่าต่างๆ ในวงจรการทดลอง

กระแสไหลผ่านเครื่องใช้ไฟฟ้า (I_V)

$$= \frac{V}{RL + RV + (RM+RBE+RB)//RN}$$

$$= \frac{220}{2 + 300 + (2200 + 30 + 3)//400}$$

$$= 343 \text{ mA}$$

แรงดันฟอลต์ (V_F)

$$= \frac{I_F \times (R_M + R_{BE} + R_B) \times R_N}{R_M + R_{BE} + R_B + R_N}$$

$$= \frac{0.343\ (2200 + 30 + 3)\ 400}{2200 + 30 + 3 + 400}$$

$$= 116.38 \text{ V}$$

กระแสไหลผ่านตัวคน (I_M)

$$= \frac{V_F}{R_M + R_{BE} + R_B}$$

$$= \frac{116.38}{2200 + 30 + 3}$$

$$= 52.12 \text{ mA}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันตกคร่อมคน (V_B) = $I_M \times R_M$

= 0.052×2200

= 114.667 V

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นว่าถ้าไม่มีการต่อลงดินที่เมนสวิตช์หรือถ้าต่อลงดินแต่เกิดสายที่ต่อกับหลักดินเกิดขาดอาจเนื่องมาจากการต่อสายไม่ดีหรือไม่ได้ตามมาตราฐานของการไฟฟ้านครหลวง ซึ่งถ้าเกิดจุดต่อสายนิวทรอลที่มาจากหม้อแปลงของการไฟฟ้ามายังมารเมนสวิตช์เกิดขาดหรือเกิดหลอมหรือต่อไม่ดีซึ่งทำให้เกิดความต้านทานของสายนิวทรอลขึ้น กรณีรี้จะมีแรงดันปรากฏที่โครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าในขณะที่เครื่องใช้ไฟฟ้าไม่ได้เกิดฟอลต์ซึ่งทำให้เป็นอันตรายต่อผู้สัมผัสโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ ถึงแม้ว่ามีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันไฟรั่วก็ตาม เพราะอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้ารั่วไม่ทำงาน ดังนั้นจึงต้องทำการต่อสายลงหลักดินที่เมนสวิตช์ให้ได้ตามมาตราฐานตามการไฟฟ้าได้กำหนดไว้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 5
การป้องกันโดยใช้แรงดันต่ำ

5.1 การป้องกันโดยการใช้แรงดันต่ำ 42 โวลท์ จากหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแยกขด

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการป้องกันโดยการใช้แรงดันต่ำ 42 โวลท์จากหม้อแปลงแบบแยกขดจ่ายให้เครื่องใช้ไฟฟ้าแรงดัน 42 โวลท์ และเมื่อคนไปสัมผัสเครื่องใช้ไฟฟ้าในขณะที่เครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงอย่างรุนแรง

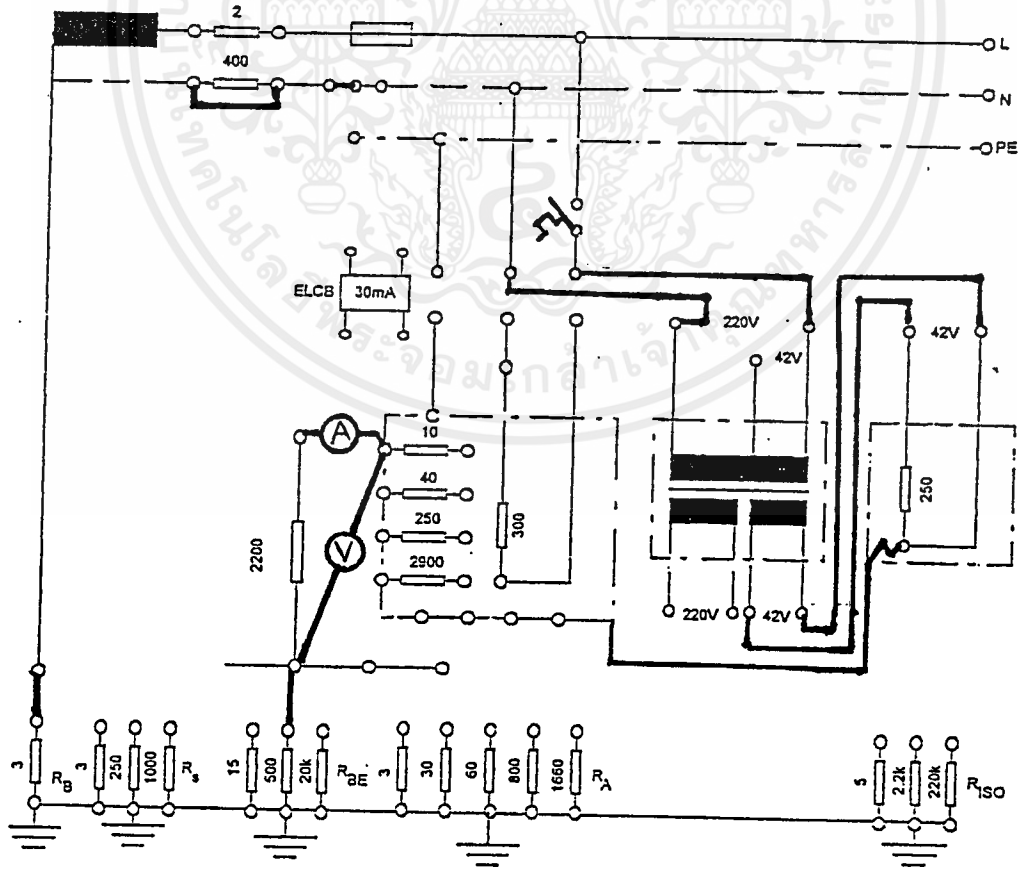
ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L) = 2 โอห์ม

ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนสัมผัสกับดิน (R_{BE}) = 500 โอห์ม

ค่าความต้านทานตรงจุดที่เกิดไฟฟ้ารั่ว (R_K) = 0 โอห์ม

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปการทดลองที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรตามเส้นทึบดังรูปการทดลองที่ 5.1
2. วัดค่าต่าง ๆ ในวงจรการทดลอง

แรงดันจ่ายให้เครื่องใช้ V_V = 0 V

แรงดันคร่อมตัวคน V_B = 0 V

สรุปผลการทดลอง

เมื่อเกิดไฟฟ้าลัดวงจรลงตัวเครื่องใช้ที่ใช้กับแรงดันต่ำ แรงดันตกคร่อมตัวคนจะไม่ปรากฏขึ้น เนื่องจากว่าแรงดันต่ำทางด้านขดทุติยภูมิของหม้อแปลงไม่ได้ต่อลงดินจึงไม่มีกระแสฟอลต์ไหลผ่านตัวเครื่องใช้ลงดิน ผลก็คือ ไม่เกิดอันตรายต่อผู้สัมผัสตัวเครื่องใช้ที่เกิดฟอลต์นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

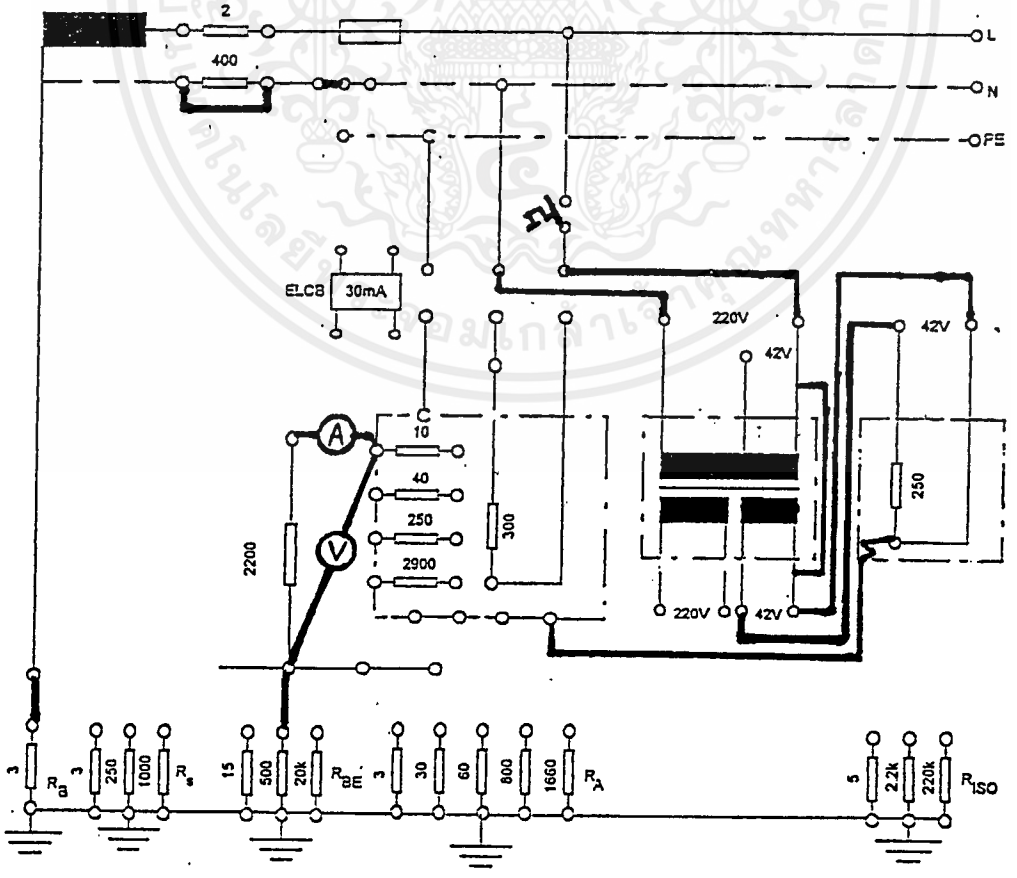
5.2 การป้องกันโดยการใช้แรงดันต่ำ 42 โวลท์ จากหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแยกขดโดยที่สายเฟสด้านแรงดันสูงแตะกับปลายสายทางด้านแรงดันต่ำเนื่องจากฉนวนของหม้อแปลงชำรุด

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการป้องกันโดยการใช้แรงดันต่ำ 42 โวลท์จากหม้อแปลงแบบแยกขดจ่ายให้เครื่องใช้ไฟฟ้าแรงดัน 42 โวลท์ จากหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแยกขดโดยที่สายเฟสด้านแรงดันสูงแตะกับปลายสายทางด้านแรงดันต่ำเนื่องจากฉนวนของหม้อแปลงชำรุดและเมื่อคนไปสัมผัสเครื่องใช้ไฟฟ้า ในขณะที่เครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงอย่างรุนแรง

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L)	=	2	โอห์ม
ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนสัมผัสกับดิน (R_{BE})	=	500	โอห์ม
ค่าความต้านทานตรงจุดที่เกิดไฟฟ้ารั่ว (R_K)	=	0	โอห์ม

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปการทดลองที่ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรตามเส้นทึบดังรูปการทดลองที่ 5.2
2. วัดกระแส I_M ซึ่งไหลผ่านตัวคน และแรงดันตกคร่อมตัวคน V_B

I_M = 82 mA

V_B = 180 V

3. คำนวณกระแส I_M ซึ่งไหลผ่านตัวคน และแรงดันตกคร่อมตัวคน V_B

$$I_M = \frac{V}{R_L + R_M + R_{BE} + R_B}$$

$$= \frac{220}{2 + 2200 + 500 + 3}$$

$$= 81.33 \text{ mA}$$

$$V_B = I_M \times R_M$$

$$= 0.0813 \times 2200$$

$$= 178.93 \text{ V}$$

สรุปผลการทดลอง

การที่ฉนวนของหม้อแปลงชำรุดทำให้ปลายสายด้านแรงดันสูงแตะกับปลายสายด้านแรงดันต่ำก็มีผลให้เกิดอันตรายแก่ผู้สัมผัสตัวเครื่องใช้ที่เกิดฟอลต์นี้

ดังนั้นจึงต้องมีการป้องกันไม่ให้ปลายสายด้านแรงดันสูงของหม้อแปลงแตะกับปลายสายด้านแรงดันต่ำ โดยการใช้ฉนวนกั้นระหว่างขดทั้งสองของหม้อแปลงให้หนาและแข็งแรงเพียงพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

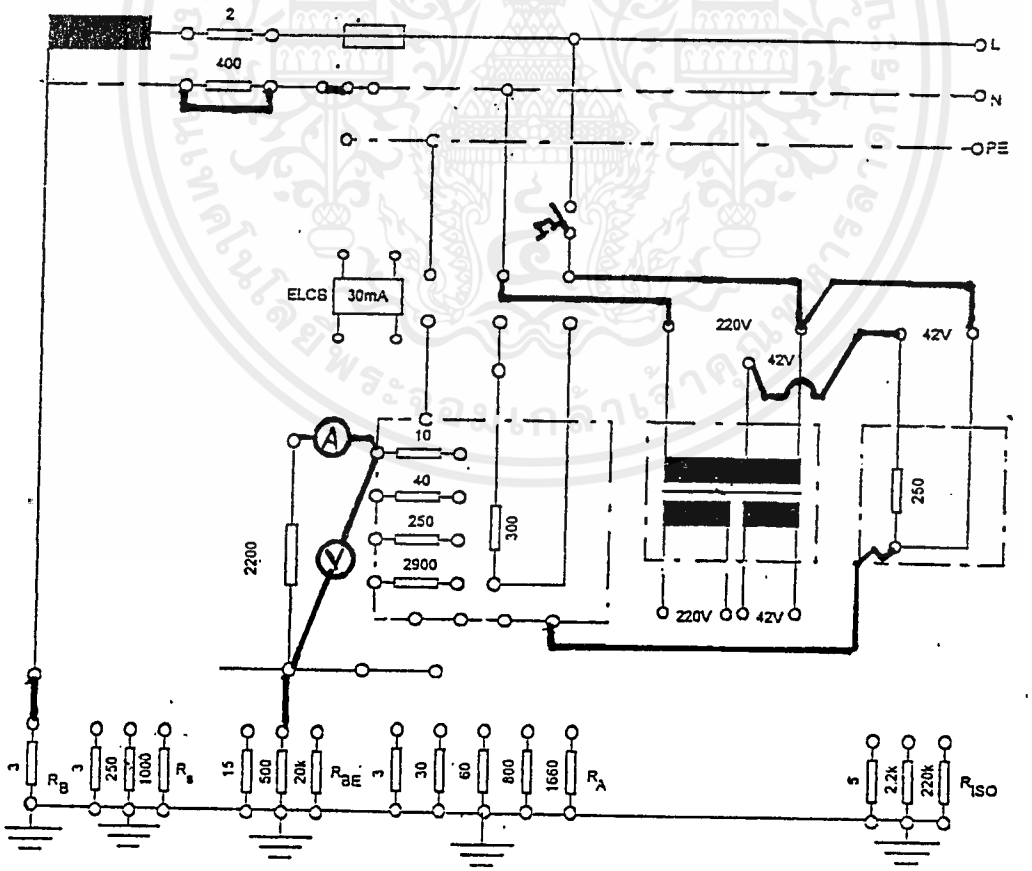
5.3 การป้องกันโดยการใช้แรงดันต่ำ 42 โวลท์ จากหม้อแปลงไฟฟ้าแบบขดลวดร่วม

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการป้องกันโดยการใช้แรงดันต่ำ 42 โวลท์จากหม้อแปลงแบบแยกขดจ่ายให้เครื่องใช้ไฟฟ้าแรงดัน 42 โวลท์ จากหม้อแปลงไฟฟ้าแบบขดลวดร่วม เมื่อคนไปสัมผัสเครื่องใช้ไฟฟ้า ในขณะที่เครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงอย่างรุนแรง

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L)	=	2	โอห์ม
ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนสัมผัสกับดิน (R_{BE})	=	500	โอห์ม
ค่าความต้านทานตรงจุดที่เกิดไฟฟ้ารั่ว (R_K)	=	0	โอห์ม

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปการทดลองที่ 5.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรตามเส้นทึบดังรูปการทดลองที่ 5.3
2. วัดกระแส I_M ซึ่งไหลผ่านตัวคน และแรงดันตกคร่อมตัวคน V_B

$I_M = 82$ mA

$V_B = 180$ V

3. คำนวณกระแส I_M ซึ่งไหลผ่านตัวคนและแรงดันตกคร่อมตัวคน V_B

$$I_M = \frac{V}{R_L + R_M + R_{BE} + R_B}$$

$$= \frac{220}{2 + 2200 + 500 + 3}$$

$$= 81.33 \text{ mA}$$

$$V_B = I_M \times R_M$$

$$= 0.0813 \times 2200$$

$$= 178.93 \text{ V}$$

สรุปผลการทดลอง

เมื่อสายของเครื่องใช้ด้านที่ต่อกับเฟสร่วมกับ หม้อแปลงชนิดขดลวดร่วม(Auto-Transformer) ลัดวงจรลงตัวเครื่องใช้โดยตรง จะมีผลทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมตัวคนเป็นอันตรายต่อผู้สัมผัสตัวเครื่องใช้นี้ ดังนั้นการใช้ หม้อแปลงชนิดขดลวดร่วมเป็นตัวจ่ายแรงดันต่ำให้กับเครื่องใช้เป็นสิ่งที่ต้องห้าม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 6
การป้องกันโดยการแยกโหลดออกจากระบบไฟฟ้า

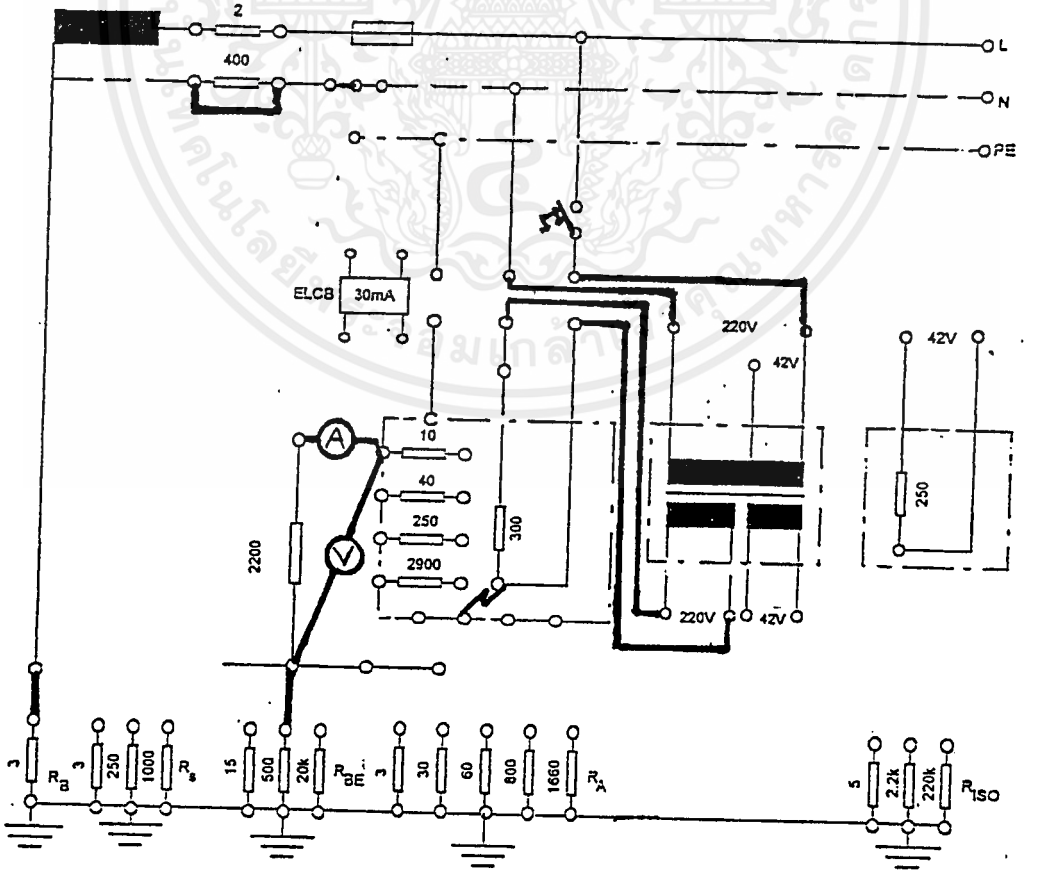
6.1 การป้องกันโดยการแยกโหลดออกจากระบบไฟฟ้าเมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วอย่างรุนแรง

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการป้องกันโดยการแยกโหลดออกจากระบบไฟฟ้าเมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วอย่างรุนแรง และคนมาสัมผัสกับโครงเครื่องใช้ไฟฟ้า

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L)	=	2	โอห์ม
ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนสัมผัสกับดิน (R_{BE})	=	500	โอห์ม
ค่าความต้านทานตรงจุดที่เกิดไฟฟ้ารั่ว (R_K)	=	0	โอห์ม

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปการทดลองที่ 6.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรตามเส้นทึบดังรูปการทดลองที่ 6.1
2. วัดกระแส I_M ซึ่งไหลผ่านตัวคน และแรงดันตกคร่อมตัวคน V_B

I_M = 0 mA

V_B = 0 V

สรุปผลการทดลอง

การที่เครื่องใช้เกิดฟอลต์ลงโครงอย่างรุนแรงและระบบมีการป้องกันโดยใช้หม้อแปลงแบบแยกขดที่มีสภาพดีจะไม่เป็นอันตรายต่อชีวิตคนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 การป้องกันโดยการแยกโหลดออกจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าเมื่อไฟฟ้าเกิดรั่วสองแห่งทางด้านทุติยภูมิ

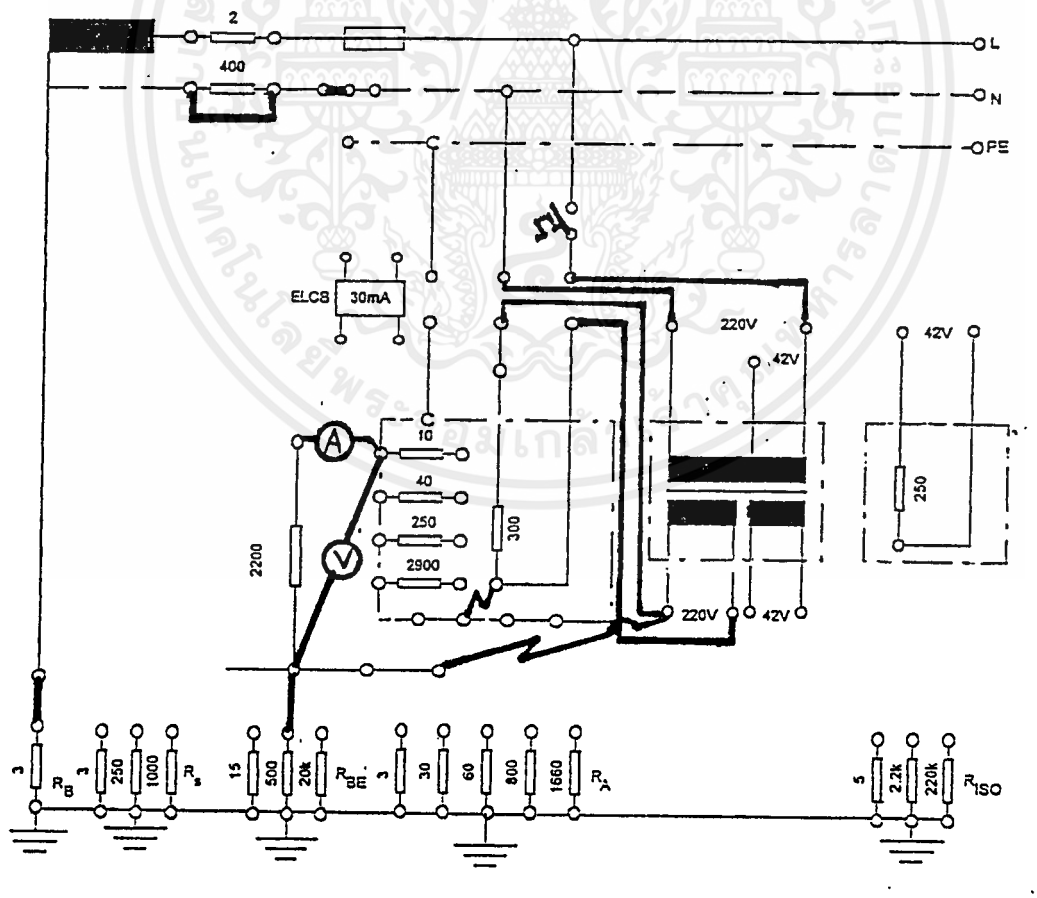
จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการป้องกันโดยการแยกโหลดออกจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า และเมื่อสายอีกด้านหนึ่งของหม้อแปลงด้านทุติยภูมิเกิดรั่วลงพื้นที่เป็นโลหะที่คนทำงานอยู่และเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วรุนแรง

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L) = 2 โอห์ม

ค่าความต้านทานตรงจุดที่เกิดไฟฟ้ารั่ว (R_K) = 0 โอห์ม

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปการทดลองที่ 6.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรตามเส้นทึบดังรูปการทดลองที่ 6.2
2. วัดกระแสรวม I_T กระแสไหลผ่านตัวคน I_M และแรงดันตกคร่อมตัวคน V_B

$I_T = 900$ A

$I_M = 100$ mA

$V_B = 220$ V

3. คำนวณกระแส รวม I_T กระแสไหลผ่านตัวคน I_M และแรงดันตกคร่อมตัวคน V_B

$$I_T = \frac{V}{R_M // R_V}$$

$$= \frac{220}{2200 // 300}$$

$$= 900 \text{ mA}$$

$$I_M = \frac{V}{R_M}$$

$$= \frac{220}{2200}$$

$$= 100 \text{ mA}$$

$$V_B = I_M \times R_M$$

$$= 0.1 \times 2200$$

$$= 220 \text{ V}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

โครงของเครื่องใช้ไฟฟ้ามีความต่างศักย์เทียบกับพื้นโลหะ 220 โวลท์ แรงดันนี้เป็นแรงดันสัมผัสคร่อมตัวคน ทำให้มีกระแสไหลผ่านตัวคน ซึ่งเป็นอันตรายต่อชีวิต กระแสรวมในวงจรทุติยภูมิมีค่าต่ำมาก เซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่เปิดวงจร ดังนั้นแรงดันสัมผัสยังคงปรากฏอยู่ต่อไป เมื่อพื้นที่ซึ่งคนยืนเป็นโลหะตัวนำ เช่น บนเหล็ก และใน เรือเหล็กเป็นต้นเพื่อเป็นการป้องกันอันตรายจากไฟรั่วให้ต่อโครงเครื่องใช้ลงกับพื้นโลหะด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 การป้องกันโดยการแยกโหลดออกจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าและมีการต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าลงพื้นโลหะที่คนยืนทำงาน

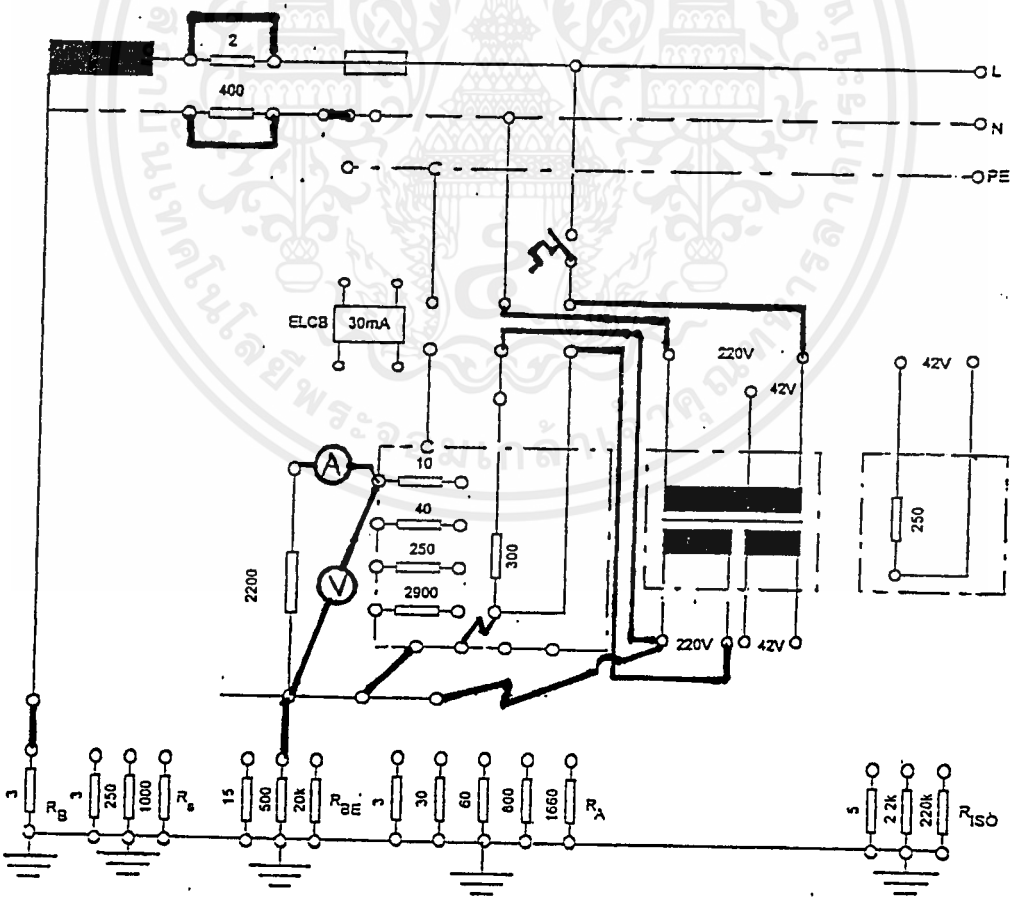
จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการป้องกันโดยการแยกโหลดออกจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า และมีการต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าลงพื้นโลหะที่คนยืนทำงาน เมื่อเกิดรั่วขึ้นสองแห่งพร้อมกัน จากการทดลองที่ 6.2

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L) = 2 โอห์ม

ค่าความต้านทานตรงจุดที่เกิดไฟฟ้ารั่ว (R_K) = 0 โอห์ม

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปการทดลองที่ 6.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรตามเส้นทึบดังรูปที่ 6.3
2. วัดกระแสไหลผ่านคน และแรงดันตกคร่อมตัวคน

   ได้ I_M = 0 A

   V_M = 0 V

สรุปผลการทดลอง

เซอร์กิตเบรกเกอร์เปิดวงจรหม้อแปลงแยกขดทันทีไม่เป็นอันตรายต่อคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. ตารางเบอร์ลวดนิโครมที่นำมาทำตัวต้านทานกระแสสูง

เบอร์ (SWG)	โอห์มต่อเมตร
14	0.385
16	0.505
17	0.670
18	0.895
19	1.26
20	1.61
21	2.02
22	2.66
23	3.64
24	4.55
25	5.00
26	6.46
27	7.87
28	9.47
30	13.40
35	28.80
36	35.00
38	60.70
40	94.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานเรื่อง ชุดสาธิตการทดลองการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้ารั่วนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดีโดยคำแนะนำของอาจารย์ ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล และอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาและแนวทางในการออกแบบชุดทดลองนี้ จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง และขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Ronald P. o9 Riley. "Electrical Grounding" ; 3rd, New York : Delmar Publishers Inc , 1993.

[2] การไฟฟ้านครหลวง. "ใช้ไฟฟ้ามั่นใจปลอดภัยด้วยสายดิน"; เอกสารประกอบการสัมนา เรื่อง ชีวิตปลอดภัยเมื่อใช้ระบบสายดิน , 2539.

[3] ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ , ผ.ศ. " การออกแบบและการติดตั้งระบบไฟฟ้า" ; ภาควิชาวิศกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[4] ธนบรูณ์ ศศิภานุเดช. "การป้องกันระบบไฟฟ้ากำลัง"; บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด (มหาชน) , 2538.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้