สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ชุดสาธิตการศึกษา การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ

STUDIES OF LOW VOLTAGE GROUNDING SYSTEMS

โดย

นาย โกสินทร์ คล่องเชิงสาน

นาย ศิริพันธ์ บุญนันท์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน... 62416
วัน,เดือน,ปี..... 17 ส.ค. 2549

b.....11623305.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2548

ชุดสาธิตการศึกษา การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ
STUDIES OF LOW VOLTAGE GROUNDING SYSTEMS

โดย

นาย โกสินทร์ คล่องเชิงสาน

นาย ศิริพันธ์ บุญนันท์

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. อานันทวัฒน์ คุณากร

อ. ชายชาญ โพธิสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดสาธิตการศึกษา การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ

ผู้จัดทำ

1. นาย โกสินทร์ คล่องเชิงสาน
2. นาย ศิริพันธ์ บุญนันท์

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.อานันทวัฒน์ คุณากร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ชายชาญ โพธิสาร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดสาธิตการศึกษา การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ

นาย โกสินทร์ คล่องเชิงสาน
นาย ศิริพันธ์ บุญนันท์
รศ.ดร.อานันทวัฒน์ คุณากร อาจารย์ที่ปรึกษา
อ. ชายชาญ โพธิสาร อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการสร้างชุดสาธิตการศึกษา การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ เพื่อให้เข้าใจถึงสาเหตุและเลือกวิธีการป้องกันได้อย่างถูกต้องในกรณีเมื่อเกิดไฟฟ้ารั่วลงโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้า โดยการจำลองอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ ความต้านทานของสาย, ความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้า, ความต้านทานของร่างกายมนุษย์ และความต้านทานของการต่อลงดิน เป็นต้น ซึ่งแรงดันที่ใช้จริงในชุดทดลองนี้จะลดลง 10 เท่าเพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้แผงสาธิตนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDIES OF LOW VOLTAGE GROUNDING SYSTEMS

Kosin Klongcheongsan
Siripun Boonnun
Assoc.Prof.Dr. Anantawat Kunakorn Advisor
Chaichan Pothisarn Advisor
2005

ABSTRACT

This thesis presents the construction of experimental kits for studying the characteristics of low voltage grounding systems and leakage current protections. The causes and proper selection method for the grounding system and the leakage current protection are concerned. In the experimental kits, various models are used suck as wire resistances, electrical appliance resistance, human body resistances and ground resistances. The voltage level used in these experimental kits is reduced ten times less than the normal level for safety reasons.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงาน II เรื่อง ชุดสาธิตการศึกษา การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ (ระบบTT,TN,IT)นี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีโดยคำแนะนำของท่าน รศ.ดร. อานันทวัฒน์ คุณากร ท่านอาจารย์ ชายชาญ โพธิสาร ท่านอาจารย์ ชัยทัต มณีอินทร์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือในการจัดทำอุปกรณ์ในชุดสาธิตการศึกษานี้ และอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านซึ่งให้คำปรึกษาและแนวทางในการออกแบบชุดสาธิตการทดลองนี้ จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง และขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด

นอกจากนั้นผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ คุณบุญมี คุณนครศักดิ์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้เบิกใช้เครื่องมือ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิกใบเสร็จของโครงงาน และผู้จัดทำต้องขอบคุณพี่ๆป.โทและน้องๆห้องB ร่วมห้องปฏิบัติการ(lab)ทุกคน ที่คอยเอาใจใส่คอยถามไถ่ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ..... I
ABSTRACT..... II
สารบัญ..... III
สารบัญรูป..... VIII
สารบัญตาราง..... XI
บทที่ 1 บทนำ..... 1
1.1 ความสำคัญของปัญหา..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย..... 2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน..... 2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย..... 5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 6
2.1 ผลของกระแสไฟฟ้าที่มีต่อร่างกายมนุษย์..... 6
2.2 หลักและวิธีป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าดูดตามมาตรฐานสากล..... 9
2.2.1 การป้องกันอันตรายจากการสัมผัสโดยตรง..... 9
2.2.2 การป้องกันอันตรายจากการสัมผัสโดยอ้อม..... 9
2.2.3 การป้องกันอันตรายทั้งสัมผัสโดยตรงและสัมผัสโดยอ้อม..... 10
2.3 หลักการของเครื่องตัดวงจรกระแสไฟฟ้ารั่ว..... 11
2.4 การต่อลงดิน..... 14
2.4.1 ชนิดการต่อลงดินและส่วนประกอบต่าง ๆ..... 14
2.4.2 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า (System Grounding)..... 15
2.4.3 สายต่อหลักดิน (Grounding Electrode Conductor)..... 18
2.4.4 สายที่มีการต่อลงดิน (Grounded Conductor)..... 19
2.4.5 การต่อลงดินของบริภัณฑ์ประธาน (Service Equipment Grounding)..... 21
2.4.6 การต่อฝากหลัก (Main Bonding Jumper)..... 22
2.4.7 การต่อลงดินของวงจรที่มีบริภัณฑ์ประธานชุดเดียวจ่ายไฟให้อาคาร 2 หลังหรือมากกว่า..... 23
2.4.8 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าที่มีตัวจ่ายแยกต่างหาก (Separately Derived System)..... 25
2.4.9 การต่อลงดินของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้า (Equipment Grounding)..... 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.4.10 ระบบหลักดิน (Grounding Electrode System).....28
2.4.11 หน้าที่ของระบบหลักดิน.....29
2.4.12 ชนิดของหลักดิน.....29
2.4.13 ระบบหลักดินแบบต่างๆ.....30
2.4.14 การต่อกราวด์.....32
2.5 การต่อลงดินตามระบบ TT, IT , TN-C , TN-S , TN-C-S.....34
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง.....40
3.1 แผงแสดงสัญลักษณ์ต่างๆของชุดสาธิตการศึกษาการต่อลงดิน
ของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ.....40
3.1.1 ระบบ TT.....40
3.1.2 ระบบ TN.....41
3.1.3 ระบบ IT.....41
3.2 แผงแหล่งจ่ายไฟและอุปกรณ์ต่างๆ.....42
3.3 อุปกรณ์ภายในชุดสาธิต.....42
3.3.1 หม้อแปลงไฟฟ้า.....42
3.3.2 ตัวต้านทาน.....43
บทที่ 4 ใบงานการทดลอง.....44
4.1 ใบงานการทดลองระบบ TT.....44
4.1.1 การต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าลงดินตามระบบ TT เมื่อค่าความต้าน
ของหลักดินต่อดินของอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ตามมาตรฐาน.....45
4.1.2 การต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าลงดินตามระบบ TT เมื่อค่าความต้าน
ทานของหลักดินต่อดินของอุปกรณ์ไฟฟ้าไม่ได้ตามมาตรฐาน.....48
4.1.3 การต่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้า TT เมื่อไม่ได้ต่ออุปกรณ์
ไฟฟ้าลงดินซึ่งเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงอย่างรุนแรง.....51
4.1.4 การต่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้า TT เมื่อไม่ได้ต่ออุปกรณ์
ไฟฟ้าลงดินซึ่งเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดการรั่วลงโครงอย่างไม่รุนแรง.....54
4.1.5 การต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายนิวทรัลของระบบไฟฟ้า TT
ซึ่งเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงอย่างรุนแรง.....57
4.1.6 การต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายนิวทรัลของระบบไฟฟ้า TT
ซึ่งเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงอย่างไม่รุนแรง.....60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.1.7 การป้องกันระบบไฟฟ้า TT โดยการใช้แรงดันต่ำ 42 โวลท์จากหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแยกขดและโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าไม่ได้ต่อลงดิน.....63
4.1.8 การป้องกันของระบบไฟฟ้า TT โดยการใช้แรงดันต่ำ 42 โวลท์ จากหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแยกขดโดยที่สายเฟสด้านแรงสูงแตะกับปลายสายด้านแรงต่ำ เนื่องจากฉนวนของหม้อแปลงชำรุดและโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าไม่ได้ต่อลงดิน..... 66
4.1.9 การป้องกันของระบบไฟฟ้า TT โดยการใช้แรงดันต่ำ 42 โวลท์ จากหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแยกขดโดยที่สายเฟสด้านแรงสูงแตะกับปลายสายด้านแรงต่ำ เนื่องจากฉนวนของหม้อแปลงชำรุดและโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าได้มีการต่อลงดิน.....69
4.1.10 การป้องกันของระบบไฟฟ้า TTโดยการใช้แรงดันต่ำ 42 โวลท์ จากหม้อแปลงแบบขดร่วมในขณะที่เครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงอย่างรุนแรง.....72
4.1.11 การป้องกันโดยการแยกโหลดออกจากระบบไฟฟ้า TT เมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงอย่างรุนแรง..... 75
4.1.12 การป้องกันโดยการแยกโหลดออกจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าระบบไฟฟ้า TT เมื่อเกิดรั่วสองแห่งอย่างรุนแรงทางด้านทุติยภูมิ..... 78
4.2 ใบงานการทดลองระบบ TN.....81
4.2.1 การต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายดินระบบ TN-S ซึ่งระบบมีการติดตั้งสายดินอย่างถูกต้อง และเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดการรั่วลงโครงอย่างรุนแรง.....82
4.2.2 การต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายดินระบบ TN-S ซึ่งระบบมีการติดตั้งสายดินอย่างถูกต้อง และเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดการรั่วลงโครงอย่างไม่รุนแรง.....85
4.2.3 การต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายดินระบบ TN-S ซึ่งสายนิวทรัลเกิดค่าความต้านทานภายในสายสูงและเครื่องใช้ไฟฟ้าอยู่ในสภาพปกติ.....88
4.2.4 การต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายดินระบบ TN-S ซึ่งสายดินป้องกันของระบบเกิดการขาดชำรุดเมื่อค่าความต้านทานผิวดินมีค่าสูงมากและเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงอย่างรุนแรง..... 91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.2.5 การต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายดินระบบ TN-S ซึ่งสายดินป้องกันของระบบเกิดการขาดชำรุดเมื่อค่าความต้านทานผิวดินมีค่าปกติและเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดการรั่วลงโครงอย่างไม่รุนแรง.....94
4.2.6 การต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายดินระบบ TN-S ซึ่งสายดินป้องกันของระบบเกิดการขาดชำรุดโดยที่เครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดการรั่วลงโครงอย่างรุนแรง ที่ค่าความต้านทานผิวดินมีค่าต่ำ.....97
4.2.7 การต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับระบบ TN-C เมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดการลัดวงจรรั่วลงโครงอย่างรุนแรง..... 100
4.2.8 การต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับระบบ TN-C เมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดการลัดวงจรรั่วลงโครงอย่างไม่รุนแรง..... 103
4.2.9 การต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับระบบ TN-C ซึ่งสายนิวทรัลมีค่ามีค่าความต้านทานในสายสูงขณะที่เครื่องใช้ไฟฟ้าอยู่ในสภาพปกติ.....106
4.2.10 การต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับระบบ TN-C ซึ่งสายนิวทรัลเกิดขาดก่อนต่อเข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้าขณะที่เครื่องใช้ไฟฟ้าอยู่ในสภาพปกติ..... 109
4.2.11 การต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับระบบ TN-C ซึ่งสายเฟสกับสายนิวทรัลที่ต่อเข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้าสลับกัน..... 112
4.2.12 การป้องกันโดยการใช้แรงดันต่ำ 42 โวลท์ จากหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแยกขดกับระบบไฟฟ้า TN-S ขณะที่เครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงอย่างรุนแรง..... 115
4.2.13 การป้องกันโดยการใช้แรงดันต่ำ 42 โวลท์ จากหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแยกขดกับระบบไฟฟ้า TN-S โดยที่สายเฟสด้านแรงดันสูงแตะกับปลายสายทางด้านแรงดันต่ำเนื่องจากฉนวนของหม้อแปลงชำรุดขณะที่เครื่องใช้ไฟฟ้ารั่วลงโครงอย่างรุนแรง..... 118
4.2.14 การป้องกันโดยการแยกโหลดออกจากระบบไฟฟ้า TN-C เมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงอย่างรุนแรง..... 121
4.2.15 การป้องกันโดยการแยกโหลดออกจากแหล่งจ่ายระบบไฟฟ้า TN-C เมื่อไฟฟ้าเกิดรั่วสองแห่งทางด้านทุติยภูมิ..... 124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.3 ใบงานการทดลองระบบ IT.....127
4.3.1 การต่อโครงของระบบไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้า IT เมื่อเกิดไฟฟ้ารั่วลงโครงอย่างรุนแรงและค่าความต้านทานหลักดินได้ตามมาตรฐาน...128
4.3.2 การต่อเครื่องใช้ไฟฟ้าให้เข้ากับระบบ IT ซึ่งฉนวนของสายนิวทรัลอยู่ในสภาพดีขณะรั่วลงโครงอย่างรุนแรง.....131
4.3.3 การต่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้า IT ซึ่งฉนวนของสายนิวทรัลอยู่ในสภาพไม่ดี และ เครื่องใช้ไฟฟ้าไม่ได้ทำการต่อลงดิน.....134
4.3.4 การต่อโครงของเครื่องเข้ากับระบบไฟฟ้า IT ซึ่งฉนวนของสายนิวทรัลอยู่ในสภาพไม่ดี และเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ทำการต่อลงดิน.....137
4.3.5 การป้องกันโดยการแยกโหลดออกจากระบบไฟฟ้า IT เมื่อเกิดไฟฟ้ารั่วสองแห่งทางด้านทุติยภูมิ.....140
4.3.6 การป้องกันโดยการแยกโหลดออกจากระบบไฟฟ้า IT เมื่อเกิดไฟฟ้ารั่วและมีการต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าลงพื้นโลหะที่คนยืนทำงาน.....143
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....146
เอกสารอ้างอิง
ภาคผนวก
กิตติกรรมประกาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 โซนของเวลา/กระแสของผลของกระแสไฟฟ้าสลับความถี่ระหว่าง 15 H_z ถึง100 H_z ที่ไหลจากมือซ้ายไปยังเท้าทั้งสอง..... 6

2.2 เมื่อกระแสสมดุล RCD ไม่ทำงาน..... 11

2.3 เมื่อกระแสไม่สมดุล RCD จะทำงาน..... 11

2.4 แสดงเงื่อนไขการสมดุล เนื่องจากฟลักซ์แม่เหล็กหักล้างกัน..... 12

2.5 แสดงเงื่อนไขการไม่สมดุล..... 12

2.6 ในสภาพสมดุล แผ่นโลหะถูกดูดด้วยแม่เหล็กถาวรตลอดเวลา..... 13

2.7 ในสภาพไม่สมดุล สนามแม่เหล็กจากแม่เหล็กไฟฟ้าจะหักล้างสนามจาก แม่เหล็กถาวร ทำให้แผ่นเหล็กถูกสปริงดึงและแผ่นเหล็กโยง ไปกลไกการเปิดวงจร..... 13

2.8 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบการต่อลงดิน..... 15

2.9 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่มีระดับแรงดันตั้งแต่ 50 V-1 kV..... 17

2.10 สายต่อหลักดิน..... 18

2.11 การต่อท่อสาย (Raceway) และสายต่อหลักดินเข้ากับหลักดิน..... 19

2.12 สายที่มีการต่อลงดิน (สายนิวทรัล)..... 20

2.13 หม้อแปลงที่มีการต่อลงดินต้องเดินสายที่มีการต่อลงดินมายัง บริภัณฑ์ประธานด้วย..... 20

2.14 แสดงสายต่าง ๆ ที่บริภัณฑ์ประธาน..... 21

2.15 การต่อลงดินที่หม้อแปลงนอกอาคารและที่บริภัณฑ์ประธาน..... 22

2.16 ความหมายของการต่อฝากหลัก..... 22

2.17 การจ่ายไฟฟ้าของอาคารประธานให้กับอาคารหลังอื่น..... 23

2.18 อาคารแต่ละหลังต้องมีหลักดินเป็นของตัวเอง..... 24

2.19 การเดินสายดินของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้าจากอาคารประธานไปยังอาคาร หลังอื่น ๆ..... 25

2.20 ระบบไฟฟ้าที่มีตัวจ่ายแยกต่างหาก..... 26

2.21 ระบบไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นตัวจ่ายแยกต่างหาก พร้อมสวิตช์สับเปลี่ยน..... 26

2.22 ระบบที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พร้อมสวิตช์สับเปลี่ยน แต่ไม่มีการตัดสายนิวทรัล ระบบนี้ไม่ใช่ระบบไฟฟ้าที่มีตัวจ่ายแยกต่างหาก..... 27

2.23 การใช้การสายตัวนำหุ้มด้วยคอนกรีตเป็นระบบหลักดิน..... 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.24 การใช้หลักดินแบบวงแหวนเป็นระบบหลักดิน....31

2.25 แสดง Typical ของกราวด์ร็อดหรือหลักดิน....32

2.26 แสดงวิธีการเดินสายต่อหลักดินไปยังหลักดินเพื่อใช้เป็น
จุดทดสอบระบบกราวด์....33

2.27 ระบบ TT....35

2.28 ระบบ TN-S....36

2.29 ระบบ TN-C....37

2.30 ระบบ TN-C-S....37

2.31 ระบบ IT....38

3.1 แผงชุดสาธิตการศึกษาการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ (ระบบ TT)....40

3.2 แผงชุดสาธิตการศึกษาการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ (ระบบ TN)....41

3.3 แผงชุดสาธิตการศึกษาการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ (ระบบ IT)....41

3.4 แผงแหล่งจ่ายไฟและอุปกรณ์ป้องกันต่างๆ....42

3.5 หม้อแปลง 220/22 V 35 A....42

3.6 หม้อแปลง 22/22/4.2 V 10 A....43

3.7 ตัวต้านทานกระเบื้องยิปซั่ม....43

4.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในแผงสาธิตการทดลองระบบ TT....44

4.2 การทดลองที่ 4.1.1....46

4.3 การทดลองที่ 4.1.2....49

4.4 การทดลองที่ 4.1.3....52

4.5 การทดลองที่ 4.1.4....55

4.6 การทดลองที่ 4.1.5....58

4.7 การทดลองที่ 4.1.6....61

4.8 การทดลองที่ 4.1.7....64

4.9 การทดลองที่ 4.1.8....67

4.10 การทดลองที่ 4.1.9....70

4.11 การทดลองที่ 4.1.10....73

4.12 การทดลองที่ 4.1.11....76

4.13 การทดลองที่ 4.1.12....79

4.14 สัญลักษณ์ที่ใช้ในแผงสาธิตการทดลองระบบ TN....81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.15 การทดลองที่ 4.2.1 83
4.16 การทดลองที่ 4.2.2 86
4.17 การทดลองที่ 4.2.3 89
4.18 การทดลองที่ 4.2.4 92
4.19 การทดลองที่ 4.2.5 95
4.20 การทดลองที่ 4.2.6 98
4.21 การทดลองที่ 4.2.7 101
4.22 การทดลองที่ 4.2.8 104
4.23 การทดลองที่ 4.2.9 107
4.24 การทดลองที่ 4.2.10 110
4.25 การทดลองที่ 4.2.11 113
4.26 การทดลองที่ 4.2.12 116
4.27 การทดลองที่ 4.2.13 119
4.28 การทดลองที่ 4.2.14 122
4.29 การทดลองที่ 4.2.15 125
4.30 สัญลักษณ์ที่ใช้ในแผงสาธิตการทดลองระบบ IT 127
4.31 การทดลองที่ 4.3.1 129
4.32 การทดลองที่ 4.3.2 133
4.33 การทดลองที่ 4.3.3 135
4.34 การทดลองที่ 4.3.4 138
4.35 การทดลองที่ 4.3.5 141
4.36 การทดลองที่ 4.3.6 144

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 แสดงขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน..... 2

2.1 โซนของ เวลา/กระแส ในรูปที่ 2.1 สำหรับไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ระหว่าง 15 Hz ถึง 100Hz..... 7

2.2 ตัวคูณกระแส (F) สำหรับทางต่างๆของกระแสที่ต่างกัน..... 8

2.3 ตัวอย่างความต้านทานจำเพาะของดินชนิดต่างๆ..... 29

2.4 สัญลักษณ์ประกอบคำอธิบายการต่อลงดินต่างๆ..... 39

ตารางภาคผนวก เบอร์ลวดนิโครมที่นำมาทำตัวต้านทานกระแสสูง

ตารางภาคผนวก ขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

ตารางภาคผนวก ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ไฟฟ้าที่เราใช้กันอยู่ทุกวันนี้นอกจากมีคุณประโยชน์อย่างมหาศาลต่อมวลมนุษย์แต่ก็ให้โทษแก่ผู้ใช้ได้อย่างมหันต์ ถ้าขาดระบบการป้องกันที่ดีและถูกต้อง ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีอย่างมาก อุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆที่อำนวยความสะดวกสบายก็มีมากขึ้นด้วย ซึ่งอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆเหล่านี้ส่วนมากก็ต้องใช้กับไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อเกิดไฟฟ้ารั่วลงตัวเครื่องใช้ที่เป็นโลหะหรือตัวนำจึงเป็นสาเหตุอันหนึ่งที่ทำให้เกิดอันตรายถึงแก่ชีวิตของผู้ใช้ไฟฟ้าได้ เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นที่เราควรต้องเรียนรู้ถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดอันตรายและวิธีป้องกันอย่างถูกต้องเพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อชีวิตมนุษย์

ดังนั้นแผงสาธิตการศึกษา การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำนี้ก็จะช่วยให้นักศึกษาได้มีความรู้ความเข้าใจในรายละเอียดต่างๆของสาเหตุและการป้องกันที่ถูกวิธี โดยแยกเป็นระบบต่างๆคือ TT,IT,TN-S,TN-C,TN-C-S เพื่อให้มีความเข้าใจมากยิ่งขึ้น เพื่อเป็นการป้องไม่ให้เกิดอันตรายต่อชีวิตมนุษย์

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างชุดสาธิตการศึกษา การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำตามระบบ TT,IT,TN-S,TN-C,TN-C-S
2. เพื่อให้เข้าใจถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดอันตรายจากไฟฟ้า
3. เพื่อให้เข้าใจถึงวิธีการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้ารั่วอย่างถูกต้อง
4. เพื่อให้เข้าใจถึงการปฏิบัติงานที่บกพร่องในการป้องกัน อันอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดอันตรายถึงแก่ชีวิต ทั้งที่เครื่องอยู่ในสภาพดี
5. สามารถเลือกวิธีป้องกันที่เหมาะสม และนำไปใช้อย่างถูกต้อง
6. เพื่อให้เห็นความสำคัญของการติดตั้งระบบสายดินตามข้อบังคับของการไฟฟ้านครหลวง
7. เพื่อเป็นสื่อการสอนสำหรับนักศึกษารุ่นน้องได้ทำความเข้าใจเกี่ยวกับการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย

1. ศึกษาการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำตามระบบต่างๆ ได้แก่ระบบ TT,IT,TN-S,TN-C,TN-C-S

2. สร้างชุดสาธิตการศึกษาการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำตามระบบ TTและออกแบบใบงานการทดลอง เพื่อให้เข้าใจถึงสาเหตุต่างๆและวิธีป้องกันอันตรายจากไฟฟ้ารั่วอย่างถูกวิธีโดยการต่อลงดินตามระบบ TT ซึ่งการทดลองจะมีหัวข้อการทดลองแสดงให้เห็นถึงสาเหตุต่างๆที่ทำให้เกิดอันตรายอันอาจจะเกิดจากมนุษย์เองและการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและวิธีการป้องกันแบบต่างๆ เพื่อจะได้สามารถนำไปปฏิบัติอย่างถูกต้อง ตลอดจนวิธีการคำนวณหาค่าต่างๆ ได้แก่ กระแสไหลผ่านตัวคน แรงดันตกคร่อมตัวคนในขณะที่ไปสัมผัสโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้า ในสภาวะที่เครื่องใช้ไฟฟ้าอยู่ในสภาพปกติและไม่ปกติหรือเกิดไฟฟ้ารั่วลงโครงเครื่องใช้ไฟฟ้า โดยที่แผงสาธิตจะจำลองระบบไฟฟ้าเริ่มจากการไฟฟ้าจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าและระบบการต่อลงดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน (Project I)

แผนการดำเนินงาน	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม
1. ค้นหางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ					
2. ทำการซ่อมแซมอุปกรณ์ที่อยู่ในแผงสาธิตการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้ารั่วชุดดั้งเดิมให้อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้					
3. ศึกษาและทำการทดลองตามการทดลองของแผงสาธิตการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้ารั่วชุดดั้งเดิม					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1(ต่อ) แสดงขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน (Project I)

แผนการดำเนินงาน	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม
4. ศึกษาทฤษฎีการต่อลงดินตามระบบ TT,IT,TN-C,TN-S,TN-C-S และออกแบบการสร้างชุดสาธิตการศึกษา การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ โดยการต่อลงดินตามระบบ TT,IT,TN-C,TN-S, TN-C-S -ศึกษาอุปกรณ์ต่างๆที่ต้องใช้ในการออกแบบสร้างชุดสาธิตการศึกษา การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ					
5. สร้างชุดสาธิตการศึกษา การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำตามระบบ TT - ทำการทดลองตามการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ของแผงสาธิตการศึกษา การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำตามระบบ TT					
6. เตรียมตัวสอบโครงงาน I					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1(ต่อ) แสดงขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน (Project II)

แผนการดำเนินงาน	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม
1. ศึกษาทฤษฎีการต่อลงดินตามระบบ TT,IT,TN-C,TN-S,TN-C-S เพิ่มเติมและออกแบบการสร้างชุดสาธิตการศึกษา การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ โดยการต่อลงดินตามระบบ TN,IT					
2. สร้างชุดสาธิตการศึกษา การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำตามระบบ TN และ IT - ทำการทดลองตามการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ของแผงสาธิตการศึกษา การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำตามระบบ TN และ IT - พิมพ์ปริญญานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์					
3. เตรียมตัวสอบโครงงาน II					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ทราบความสำคัญของการติดตั้งระบบสายดินตามข้อบังคับของการไฟฟ้านครหลวง

2. ทราบถึงวิธีการต่อลงดินตามระบบ TT,IT,TN-C,TN-S,TN-C-S

3. ทราบถึงผลของกระแสไฟฟ้าที่มีต่อร่างกายมนุษย์และการป้องกัน

4. ทราบถึงผลที่อาจจะเกิดขึ้นถ้าหากอุปกรณ์ไฟฟ้ามีกระแสไฟฟ้ารั่วลงดินเป็นระยะเวลาหนึ่ง

5. สามารถนำความรู้ความสามารถที่ได้ไปใช้ในการออกแบบการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าในงานจริงให้มีประสิทธิภาพได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผลของกระแสไฟฟ้าที่มีต่อร่างกายมนุษย์ [1]

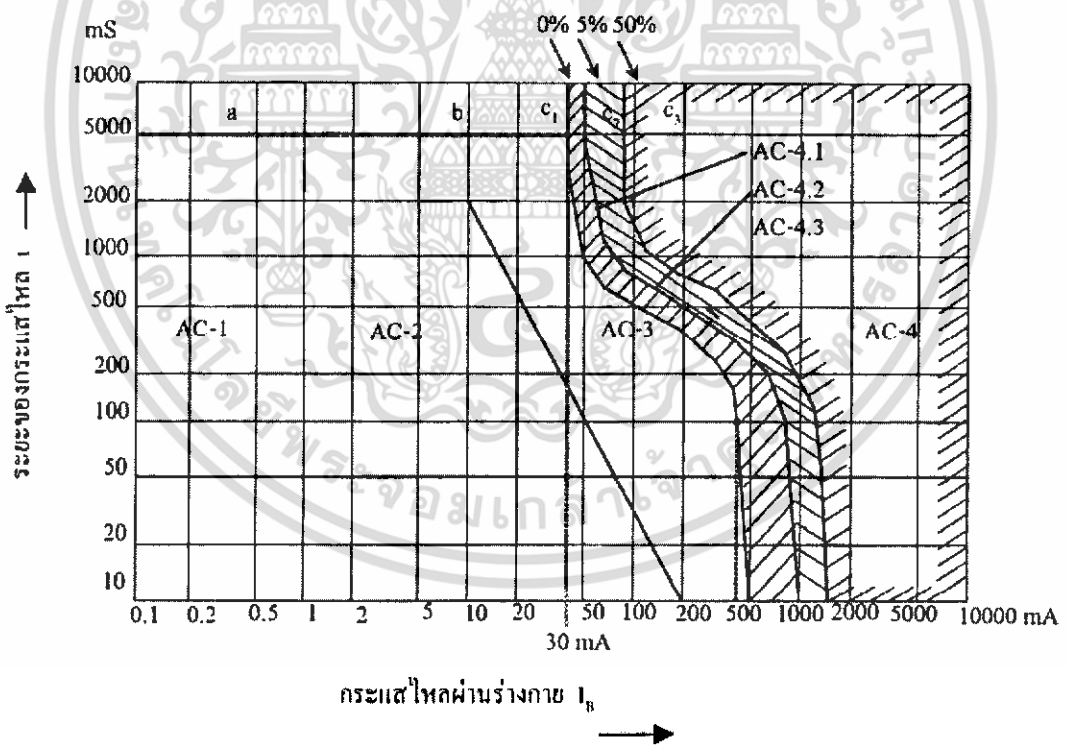
เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกาย อันเนื่องมาจากการสัมผัสกับส่วนที่มีไฟ ความรุนแรงหรืออันตรายจะขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่ไหลผ่านร่างกาย ด้วยองค์ประกอบที่มีผลต่ออันตรายหรือปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านร่างกาย เช่น

1. ชนิดของกระแสไฟฟ้า เช่น ร่างกายของมนุษย์จะทนต่อกระแสไฟตรงได้มากกว่ากระแสไฟฟ้าสลับ และทนกระแสความถี่ต่ำได้มากกว่าความถี่สูง

2. แรงดันไฟฟ้าขณะสัมผัส เช่น ถ้าแรงดันต่ำกระแสที่ไหลย่อมน้อยกว่าแรงดันสูง

3. ระยะเวลาที่สัมผัส ถ้าสัมผัสนานอันตรายยิ่งมาก

4. อื่นๆ เช่น ความชื้น อุณหภูมิ พื้นที่หน้าสัมผัส แรงกด ชนิดของผิวหนัง รวมทั้งแนวหรือทิศทางที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายเป็นต้น



รูปที่ 2.1 โซนของเวลา/กระแสของผลของกระแสไฟฟ้าสลับความถี่ระหว่าง 15 H_Z ถึง 100 H_Z ที่ไหลจากมือซ้ายไปยังเท้าทั้งสอง(ที่มา : IEC 60479 -1) **[2]**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 โซนของเวลา/กระแสในรูปที่ 2.1 สำหรับไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ระหว่าง 15 H_Z ถึง 100 H_Z (ที่มา : IEC 60479 -1)**[2]**

โซนที่กำหนด	โซนที่จำกัด	ผลทางสรีระ (Physiological effects)
AC-1	ถึง0.5 mA ไลน์ a	ปกติไม่มีปฏิกิริยา
AC-2	0.5 mA ถึงไลน์ b	ปกติไม่มีผลอันตรายต่อสรีระ
AC-3	ไลน์ b ถึงเคอร์ฟ C_1	ปกติคาดว่าไม่มีความเสียหายต่ออวัยวะ (organic damage)แต่มีการหายใจลำบากสำหรับระยะเวลาของกระแสไหลนานกว่า 2 วินาที การรบกวนแบบย้อนกลับของการก่อตัวและการนำของอิมพัลส์ในหัวใจรวมทั้งการสั่นกระตุกของห้องหัวใจห้องล่างซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสและเวลาที่เพิ่มขึ้น
AC-4	เหนือเคอร์ฟ C_1	การเพิ่มขนาดและเวลา ผลอันตรายจากความรู้สึกต่อทางสรีระ เช่น หัวใจหยุดเต้น การหายใจติดขัด และการไหม้อย่างรุนแรง อาจเกิดขึ้นเป็นผลจากการเพิ่มของผลของโซน 3
AC-4.1	C_1-C_2	ความเป็นไปได้ของการเพิ่มการสั่นกระตุกของหัวใจห้องล่าง (หัวใจห้องล่างเต้นพริ้ว) ประมาณ 5%
AC-4.2	C_2-C_3	ความเป็นไปได้ของการสั่นกระตุกของหัวใจห้องล่างถึงประมาณ 50%
AC-4.3	เกินเคอร์ฟ C_3	ความเป็นไปได้ของการสั่นกระตุกของหัวใจห้องล่างเกิน 50%

ในกรณีที่เส้นทางที่กระแสไฟฟ้าผ่านร่างกายเป็นเส้นทางอื่น ก็จะมีผลแตกต่างกันโดยมีตัวคูณดังนี้

$$I_k = \frac{I_{ref}}{F} \qquad (2.1)$$

I_k = กระแสไฟฟ้าในเส้นทางอื่นๆ ที่ความรุนแรงหรืออันตรายเดียวกันกับรูปที่ 2.1

I_{ref} = กระแสไฟฟ้าที่อ้างอิงตามรูปที่ 2.1 (เส้นทางจากมือซ้ายไปเท้าทั้ง 2)

F = ตัวคูณกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ตัวคูณกระแส (F) สำหรับทางต่างๆของกระแสที่ต่างกัน (ที่มา : IEC 60479 -1)

เส้นทางกระแสไฟฟ้า	ตัวคูณกระแส
มือซ้ายถึงเท้าซ้าย เท้าขวาหรือเท้าทั้งคู่	1.0
มือทั้งสองกับเท้าทั้งสอง	1.0
มือซ้ายถึงมือขวา	0.4
มือขวาถึงเท้าซ้าย เท้าขวาหรือเท้าทั้งสอง	0.8
หลังถึงมือขวา	0.3
หลังถึงมือซ้าย	0.7
หน้าอกถึงมือขวา	1.3
หน้าอกถึงมือซ้าย	1.5
กันถึงมือซ้าย มือขวาหรือมือทั้งสอง	0.7

ตัวอย่าง เช่น ต้องการทราบว่าถ้ามีกระแสไหลจากมือซ้ายไปมือขวาจะมีค่ากระแสเท่าใดที่มีอันตรายเทียบเท่ากรณีมีกระแส 80 mA ไหลจากมือซ้ายไปเท้าทั้งสอง

$$I_k = \frac{I_{ref}}{F}$$
$$= \frac{80}{0.4}$$
$$= 200\ mA$$

ตัวอย่างนี้แสดงให้เห็นว่าเส้นทางของกระแสไฟฟ้าที่ไหลระหว่างมือซ้ายไปยังมือขวาจะมีค่าความต้านทานสูงกว่าเส้นทางจากมือซ้ายไปยังเท้าทั้งสองหรืออาจจะบอกได้ว่าเส้นทางที่มีค่าตัวคูณกระแสน้อยจะมีผลต่อการทำงานของหัวใจน้อยกว่าเส้นทางที่มีค่าตัวคูณกระแสมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 หลักและวิธีป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าดูดตามมาตรฐานสากล [3]

หลักและวิธีป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าดูดที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ จะหมายถึงเฉพาะที่ใช้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไม่เกิน 1000 โวลท์ ความถี่ 50 H_z หรือ 60 H_z ที่ใช้ติดตั้งหรือจ่ายไฟในอาคารทั่วๆไป ซึ่งในเรื่องเกี่ยวกับมาตรฐานการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าดูดนั้น มาตรฐานสากล ได้วางหลักการพื้นฐานในการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าดูดว่า จะต้องมีการป้องกันอันตรายสำหรับการติดตั้งทางไฟฟ้ารวมทั้งเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้ง 2 สภาวะ คือ สภาวะการใช้งานปกติและสภาวะที่มีสิ่งผิดปกติ เช่น กรณีชำรุด หรือไฟฟ้ารั่ว เป็นต้น

การป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าแบ่งได้ 2 กรณี

2.2.1 การป้องกันอันตรายจากการสัมผัสโดยตรง

การป้องกันการสัมผัสโดยตรงเป็นการป้องกันเบื้องต้นที่จะต้องมีในการใช้ไฟฟ้า ซึ่งจะมีวิธีป้องกันได้หลายวิธี โดยอาจเลือกวิธีใดวิธีหนึ่งหรือหลายวิธีก็ได้ ดังนี้

1. หุ้มฉนวนส่วนที่มีไฟ ฉนวนที่หุ้มจะต้องมีความหนาเพียงพอ และทนทานปลอดภัยในสภาวะการใช้งานปกติ เช่น สายที่มีฉนวนหุ้ม เป็นต้น

2. ป้องกันโดยมีสิ่งกั้นหรือตู้ เป็นการป้องกันมิให้สัมผัสส่วนที่มีไฟโดยไม่ตั้งใจ (เป็นการป้องกันที่ค่อนข้างมิดชิดแต่อาจมีรูเล็ดลอดได้ ขนาดของรูต้องสามารถไม่ให้นิ้วมือแหย่เข้าไปได้) แต่ไม่ได้ป้องกันการสัมผัสอย่างจงใจ เช่น กรณีที่มีการเปิดสิ่งที่กั้นหรือตู้ออก ตัวอย่างการป้องกันแบบนี้ เช่น เต้ารับ สวิตซ์ไฟ ตู้แผงสวิตซ์ เป็นต้น

3. ป้องกันโดยมีสิ่งกีดขวาง ป้องกันการสัมผัสส่วนที่มีไฟโดยไม่ได้ตั้งใจต่อวัตถุที่มีขนาดใหญ่ขึ้นมาเพื่อป้องกันไม่ให้คนเข้าใกล้ ปกติจะเห็นค่อนข้างเปิดโล่ง เช่น รั้วกั้น หรือลูกกรง เป็นต้น

4. ยกให้อยู่ในระยะที่เอื้อมไม่ถึง ระยะที่เอื้อมไม่ถึงคือ 2.5 เมตร ด้านความสูงและ 1.25 เมตร ในแนวระดับหรือด้านข้าง(กฎ ฯ ของ ก.ฟ.น. กำหนดไว้ 2.4 เมตร และ 1.5 เมตร ตามลำดับ)

5. ใช้เครื่องตัดไฟรั่วเป็นการป้องกันเสริม เครื่องตัดไฟรั่วสามารถใช้เป็นอุปกรณ์เสริมเพิ่มเติมจาก 4 วิธีแรกในสภาวะการใช้งานปกติ ห้ามใช้ เป็นวิธีป้องกันหลักโดยไม่มีวิธีใดวิธีหนึ่งข้างต้นขนาดที่ใช้ต้องมีกระแสไฟรั่วไม่เกิน 30 มิลลิแอมป์ (เฉพาะในมาตรฐานของประเทศอังกฤษจะกำหนดเพิ่มเติมว่าเครื่องตัดไฟรั่วต้องตัดวงจรภายในเวลา 40 mS ที่มีกระแสไฟฟ้ารั่วขนาด 150 มิลลิแอมป์ อีกด้วย)

2.2.2 การป้องกันอันตรายจากการสัมผัสโดยอ้อม

มาตรฐานได้กำหนดให้มีการป้องกันอันตรายจากการสัมผัสโดยอ้อมเพิ่มเติมนอกเหนือจากการป้องกันการสัมผัสโดยตรง 4 ข้อแรก ด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งต่อไปนี้

1. มีการต่อลงดินเปลือกหุ้มที่เป็นตัวนำและมีระบบตัดไฟอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. ส่วนที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่อยู่ภายนอกของเครื่องใช้ไฟฟ้าและอยู่ในระยะที่จับต้องได้ ต้องมีการต่อลงดินด้วยระบบสายดิน (สายสีเขียว) ให้ถูกต้องตามระบบสายดินของระบบไฟฟ้าที่ใช้อยู่

ข. ภายในอาคารเดียวกัน จะต้องมีการโยงหรือต่อส่วนที่เป็นตัวนำเข้าหากันเพื่อให้มีแรงดันไฟฟ้าเท่ากัน โดยให้ต่อไปที่ขั้วต่อลงดินหลัก ซึ่งต่อกับสายต่อลงดินหลักก่อนก่อนที่จะลงไปยังแท่งหลักดิน เช่น ต่อกับขั้วดินที่เมนสวิตซ์ เป็นต้น ตัวนำที่ต้องต่อให้มีแรงดันเท่ากัน เช่น

-สายดินของเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า (สายสีเขียว)

-ท่อน้ำโลหะ หรือ รางโลหะอื่นๆ รวมทั้งท่อ

-เปลือกตัวนำของสายไฟระบบสื่อสาร

-เหล็กโครงสร้างหรือโลหะอื่นๆรวมทั้งระบบปรับอากาศ

-ระบบป้องกันฟ้าผ่า

ค. มีอุปกรณ์ตัดไฟอัตโนมัติที่จะตัดวงจรกระแสไฟฟ้าออก ในกรณีที่เกิดไฟรั่วที่ส่วนที่เป็นโลหะหรือตัวนำที่อยู่เปลือกนอกของเครื่องใช้ไฟฟ้า ภายในระยะเวลาอันรวดเร็วก่อนที่จะมีการสัมผัส หรือไม่มีอันตรายต่อการสัมผัส อุปกรณ์ตัดไฟอัตโนมัติ ได้แก่ เครื่องป้องกันกระแสเกิน หรืออาจเป็นเครื่องตัดไฟรั่ว (เครื่องตัดไฟรั่วห้ามใช้กับระบบ ซึ่งมีการใช้สายดินอุปกรณ์ และสายเส้นศูนย์รวมกัน)

2. ใช้ในสถานที่ไม่เป็นสื่อตัวนำ สภาพพื้นที่ๆ มีการใช้ไฟฟ้าต้องไม่อำนวยให้มีการสัมผัสพร้อมกันอย่างน้อย 2 จุดระหว่างเครื่องใช้ไฟฟ้า (ที่มีเปลือกหุ้มเป็นตัวนำ หรือมีส่วนของโลหะ) กับส่วนที่มีแรงดันเท่ากับดิน หรือระหว่างส่วนที่เป็นเปลือกหุ้มของเครื่องใช้ไฟฟ้า 2 เครื่อง เป็นต้น นั่นคือสภาพพื้นที่ต้องไม่มีการต่อลงดินหรือต้องเป็นฉนวนทั้งหมดหรือมีระยะห่างเพียงพอตามที่มาตรฐานกำหนด

3. ภายในสถานที่จะต่อโยงส่วนที่เป็นตัวนำ หรือที่เป็นสื่อไฟฟ้าได้ เข้าหากันทั้งหมด รวมทั้งเปลือกของเครื่องใช้ไฟฟ้า แต่ต้องไม่สัมผัสหรือต่อกับส่วนที่แรงดันเท่ากับดิน วิธีนี้ต้องระวังอันตรายในขณะเข้าไปยังสถานที่นี้

4. ใช้ระบบไฟฟ้าที่แยกจากกัน วิธีนี้มักจะใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าไม่กี่ชิ้น โดยออกแบบระบบจ่ายไฟที่แยกเป็นอิสระจากระบบจ่ายไฟปกติโดยผ่านหม้อแปลงแยกขดลวดชนิดปลอดภัย หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบ ที่มีความปลอดภัยเพียงพอ

2.2.3 การป้องกันอันตรายทั้งสัมผัสโดยตรงและสัมผัสโดยอ้อมมีอยู่ 2 วิธี

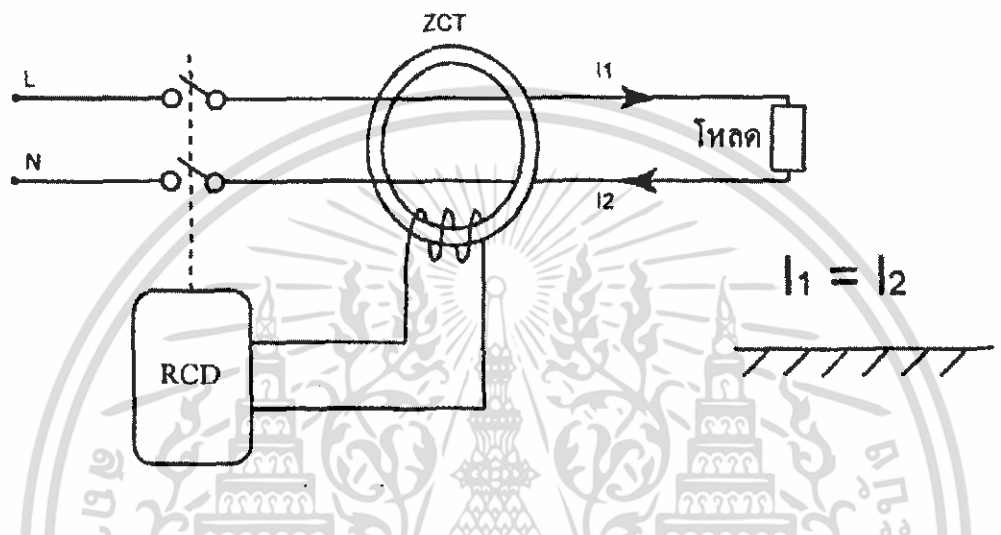
1. ใช้เครื่องที่แรงดันต่ำไม่เกิน 50 Volt หรือโดยผ่านหม้อแปลง

2. ใช้วิธีจำกัดพลังงาน วิธีจะใช้วิธีจำกัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านร่างกายให้อยู่ในระดับที่ไม่ทำอันตรายต่อมนุษย์หรือสัตว์ โดยปกติจะเป็นวงจรพิเศษที่มีการแยกจ่ายเฉพาะเช่นเดียวกับข้อ 1.

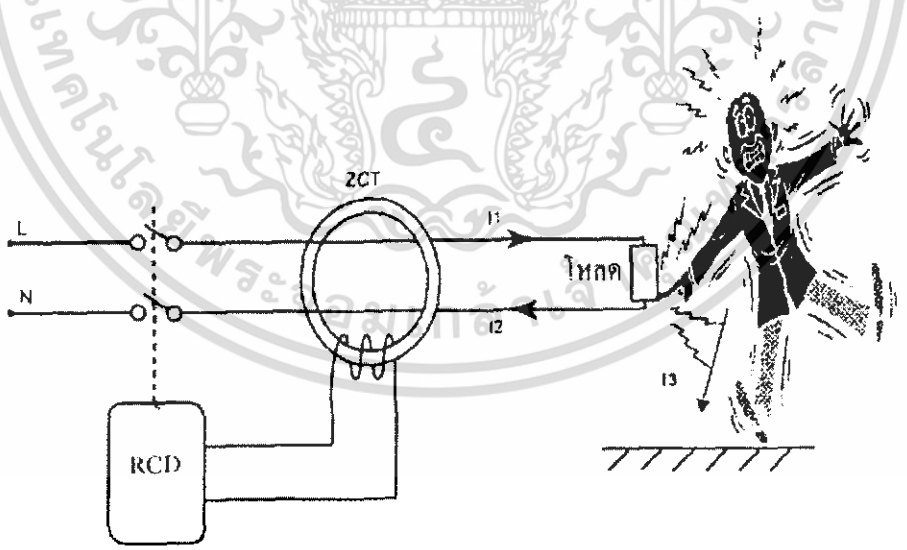
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 หลักการของเครื่องตัดวงจรกระแสไฟฟ้ารั่ว [4]

หลักการทำงานของเครื่องตัดวงจรกระแสรั่วจะให้กระแสไหลผ่านหม้อแปลงกระแส ซึ่งเป็นแบบแกนรูปโทรอยด์ กระแสไหลไปและกลับมีความสมดุลกันทำให้มีการหักล้างของทิศทางของฟลักซ์แม่เหล็กหมดไปเรียกว่าการรวมกระแสทาง เวคเตอร์ หากมีกระแสเหลือจากการรวมนี้จะทำให้เหนี่ยวนำให้โทรอยด์มีฟลักซ์แม่เหล็กเกิดขึ้นนำผลนี้ไปใช้ขยายในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หรือทำให้กลไกเกิดการทริปได้

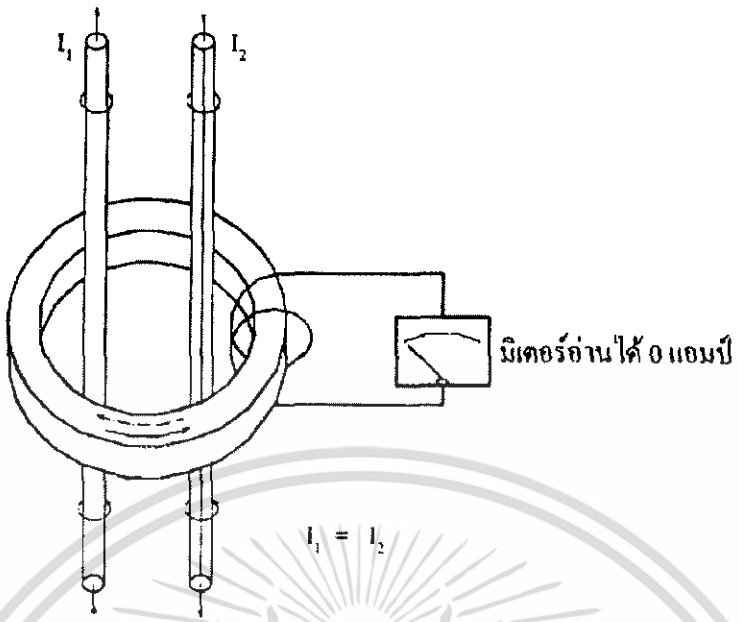


รูปที่ 2.2 เมื่อกระแสสมดุล RCD ไม่ทำงาน



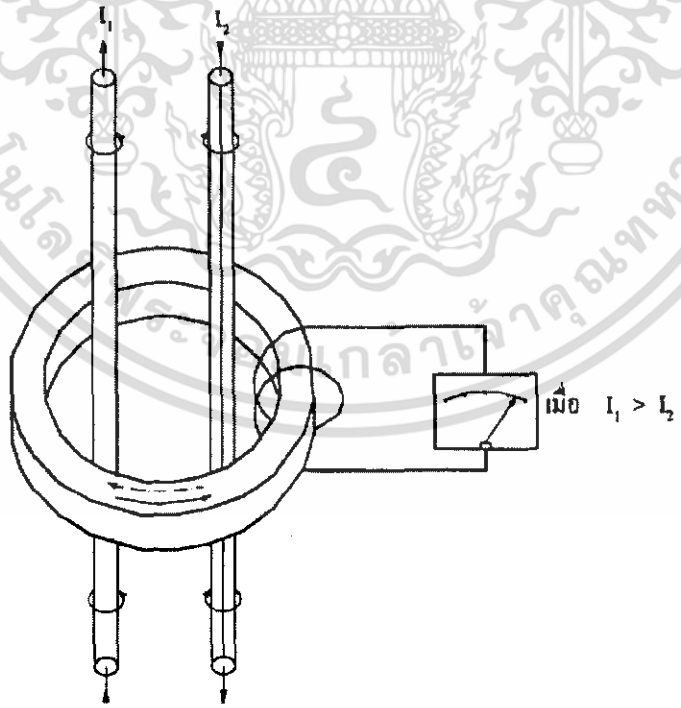
รูปที่ 2.3 เมื่อกระแสไม่สมดุล RCD จะทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงเงื่อนไขการสมดุล เนื่องจากฟลักซ์แม่เหล็กหักล้างกัน

เมื่อกระแสไม่สมดุล ผลลัพธ์การเหนี่ยวนำจากผลรวมทางเวคเตอร์เป็นกระแสเหลือจะทำให้ไม่เกิดการสมดุลในวงจรทำให้เกิดการทริปต่อไป



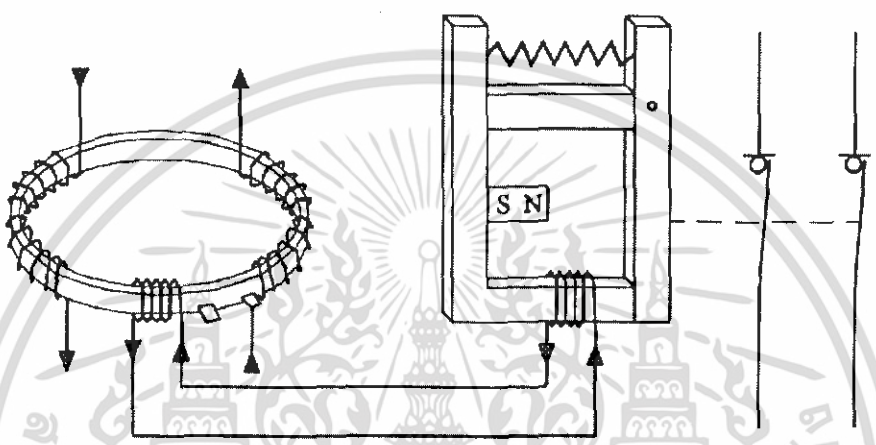
รูปที่ 2.5 แสดงเงื่อนไขการไม่สมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อการตรวจจับเริ่มจากหม้อแปลงกระแส ซึ่งขดลวดด้านปฐมภูมิเป็นสายเฟสและนิวทรัลของวงจรที่เราต้องการป้องกัน

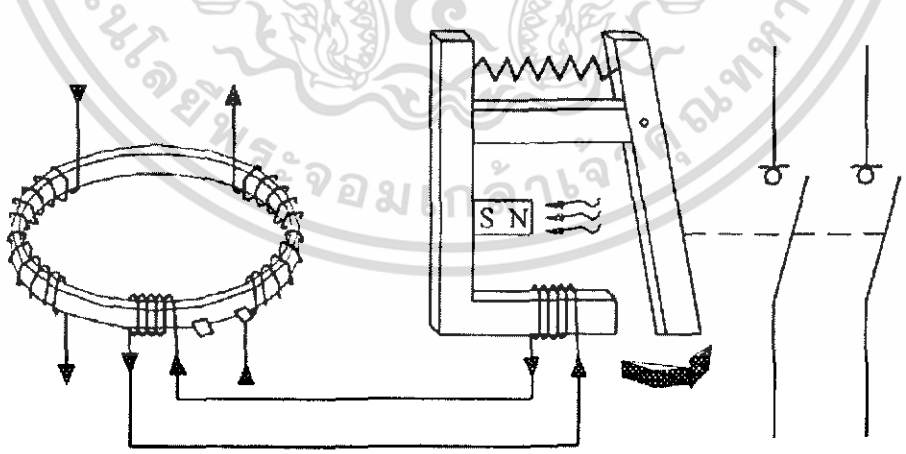
ทิศทางการพันขดลวดทั้งสองได้กำหนดให้มีกระแสหักล้างกัน ดังนั้นถ้ามีกระแสรั่วจะทำให้การสมดุลเสียไปทำให้เกิดกระแสในขดลวดทุติยภูมิ การวัดกำหนดโดยรีเลย์ทางกลซึ่งจะเปรียบเทียบสัญญาณไฟฟ้ากับค่าที่ตั้งไว้ ขีดจำกัดสำหรับการเปิดวงจรเรียกว่า ความไว

แม่เหล็กถาวรจะยึดแผ่นซึ่งมีเดือยทำให้แผ่นนี้หมุนได้โดยเชื่อมกับกลไกการเปิดวงจรซึ่งอยู่ในตำแหน่งปิด ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ในสภาพสมดุล แผ่นโลหะถูกดูดด้วยแม่เหล็กถาวรตลอดเวลา

เมื่อแม่เหล็กไฟฟ้าได้รับกระแสจากกระแสรั่ว ถ้ามีขนาดกระแสรั่วเกินค่าที่ตั้งไว้จะทำให้เกิดแรงแม่เหล็กผลักแรงแม่เหล็กถาวรทำให้เกิดการปิดวงจร



รูปที่ 2.7 ในสภาพไม่สมดุล สนามแม่เหล็กจากแม่เหล็กไฟฟ้าจะหักล้างสนามจากแม่เหล็กถาวร ทำให้แผ่นเหล็กถูกสปริงดึงและแผ่นเหล็กโยงไปกลไกการเปิดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4การต่อลงดิน [5]

การต่อลงดิน มีประโยชน์อยู่ 2 ประการ คือ

1. เพื่อป้องกันอันตราย ที่จะเกิดกับบุคคลที่บังเอิญไปสัมผัสกับส่วนที่เป็นโลหะ ของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้าและส่วนประกอบอื่น ๆ ที่มีแรงดันไฟฟ้า เนื่องจากการรั่วไหล หรือการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า

2. เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับอุปกรณ์ หรือ ระบบไฟฟ้าเมื่อเกิดการลัดวงจรลงดิน

2.4.1 ชนิดการต่อลงดินและส่วนประกอบต่าง ๆ

การต่อลงดินสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า (System Grounding)
2. การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (Equipment Grounding)

การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า หมายถึง การต่อส่วนใดส่วนหนึ่งของระบบไฟฟ้าที่มีกระแสไหลผ่านลงดิน เช่น การต่อจุดนิวทรัล (Neutral Point) ลงดิน

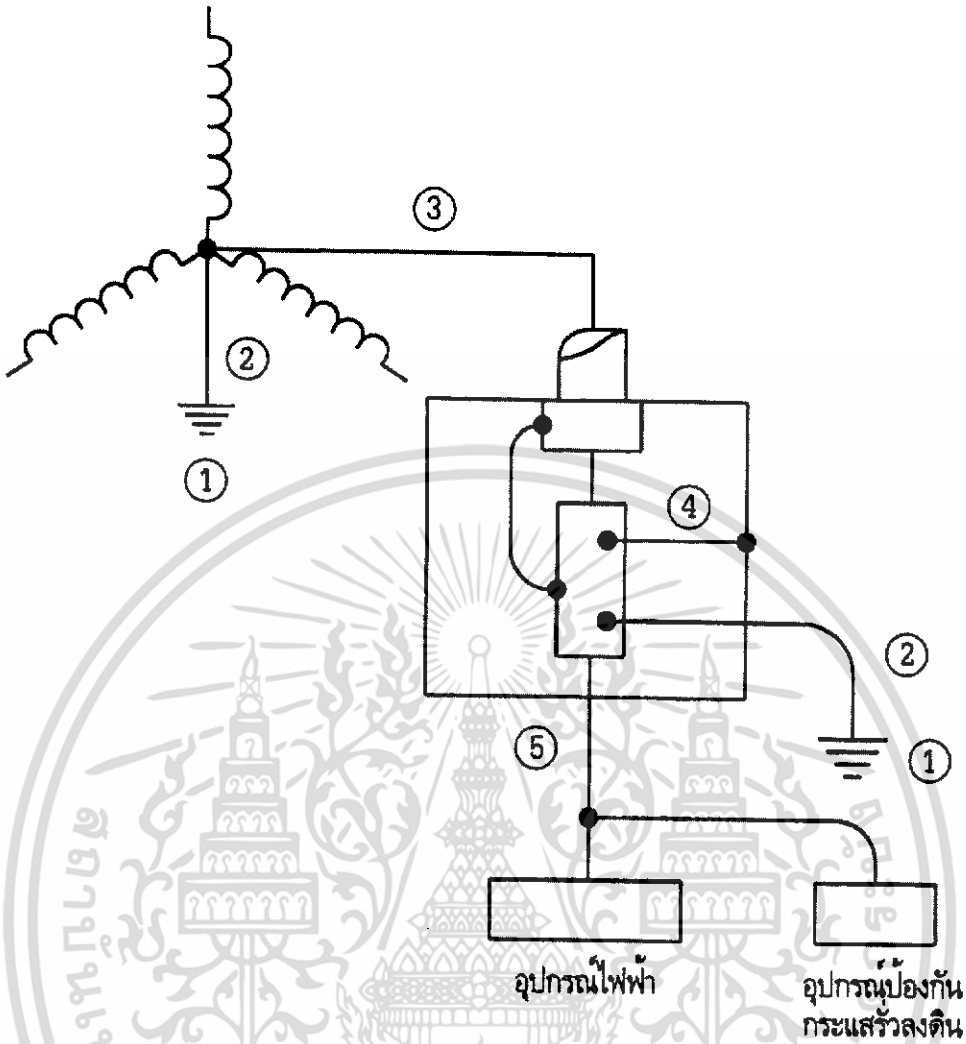
การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า หมายถึง การต่อส่วนที่เป็นโลหะ ที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านของอุปกรณ์ต่างๆ ลงดิน

การต่อลงดินมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ

1. หลักดิน หรือระบบหลักดิน (Grounding Electrode or Grounding Electrode System)
2. สายต่อหลักดิน (Grounding Electrode Conductor)
3. สายที่มีการต่อลงดิน (Grounded Conductor)
4. สายต่อฝากหลัก (Main Bonding Jumper)
5. สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (Equipment Grounding Conductor)

ดังแสดงในรูป 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบการต่อลงดิน

2.4.2 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า (System Grounding)

การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า หมายถึง การต่อส่วนใดส่วนหนึ่งของระบบไฟฟ้า ซึ่งมีกระแสไหลผ่าน เช่น จุดนิวทรัล (Neutral Point) ลงดิน

จุดประสงค์ของการต่อลงดินของระบบไฟฟ้ามีดังต่อไปนี้ คือ

1. เพื่อจำกัดแรงดันเกิน (Over Voltage) ที่ส่วนต่างๆ ของระบบไฟฟ้า ซึ่งอาจเกิดจากฟ้าผ่า (Lightning)

2. เพื่อให้ค่าแรงดันเทียบกับดินขณะระบบทำงานปกติมีค่าอยู่ตัว

3. เพื่อช่วยให้อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินทำงานได้รวดเร็วขึ้น เมื่อเกิดการลัดวงจรลงดิน

การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามลักษณะของกระแส ดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสตรง
2. การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

ในที่นี้จะขอกล่าวถึงแต่การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับเท่านั้น

1. การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (AC System Grounding)

การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับอาจแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

1.1 ระบบซึ่งทำงานที่ระดับแรงดันต่ำกว่า 50 V

1.2 ระบบซึ่งทำงานที่ระดับแรงดันตั้งแต่ 50 – 1000 V

1.3 ระบบซึ่งทำงานที่ระดับแรงดันตั้งแต่ 1 kV ขึ้นไป

1.1 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่มีระดับแรงดันต่ำกว่า 50 V

ระบบซึ่งทำงานที่ระดับแรงดันต่ำกว่า 50 V จะต้องทำการต่อลงดิน เมื่อ

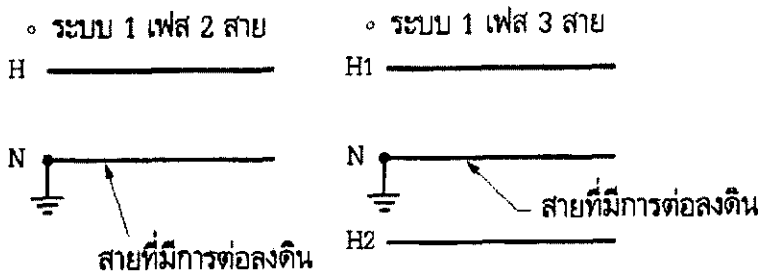
- แรงดันที่ได้รับไฟจากหม้อแปลง ซึ่งมีแหล่งจ่ายไฟแรงดันเกิน 150 V
- หม้อแปลงได้รับจากไฟแหล่งจ่ายไฟ ที่ไม่มีการต่อลงดิน (Ungrounded System)
- ตัวนำแรงดันต่ำ ติดตั้งแบบสายเหนือดินนอกอาคาร

1.2 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่มีระดับแรงดันตั้งแต่ 50 -1000 V

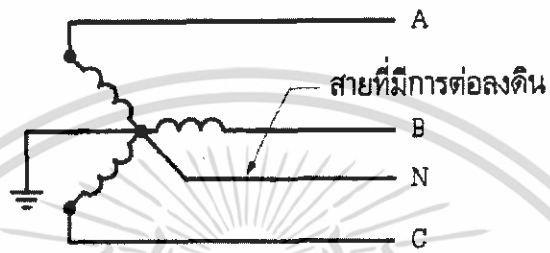
การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแบบนี้ มีลักษณะดังรูป 2.9 ซึ่งเป็นตัวอย่างการต่อลงดินของระบบไฟฟ้า ชนิด 1 เฟส 2 สาย, 1 เฟส 3 สาย 3 เฟส 3 สาย และ 3 เฟส 4 สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

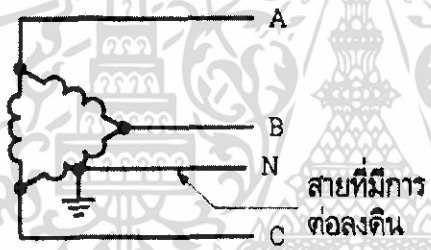
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



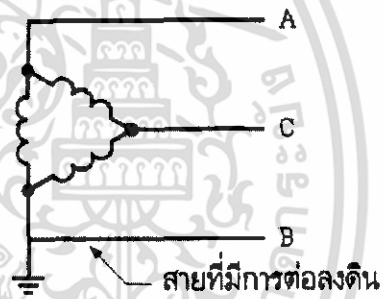
◦ ระบบ 3 เฟส 4 สาย และตัวนำนิวทรัลเป็นสายวงจรด้วย



◦ ระบบ 3 เฟส 4 สาย
และจุดกึ่งกลางของเฟสใดเฟสหนึ่งเป็นสายวงจร



◦ ระบบ 3 เฟส 3 สาย



รูปที่ 2.9 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่มีระดับแรงดันตั้งแต่ 50 V-1 kV

1.3 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่มีระดับแรงดันตั้งแต่ 1 kV ขึ้นไป

บริภัณฑ์ไฟฟ้าที่เคลื่อนย้ายได้ (Mobile Portable Equipment) ซึ่งได้รับไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้า ที่มีแรงดันตั้งแต่ 1 kV ขึ้นไป ต้องต่อลงดิน

สำหรับระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันตั้งแต่ 1kV ขึ้นไป ซึ่งจ่ายไฟให้กับบริภัณฑ์ทั่วไป อาจต่อลงดินได้ตามต้องการ

62416

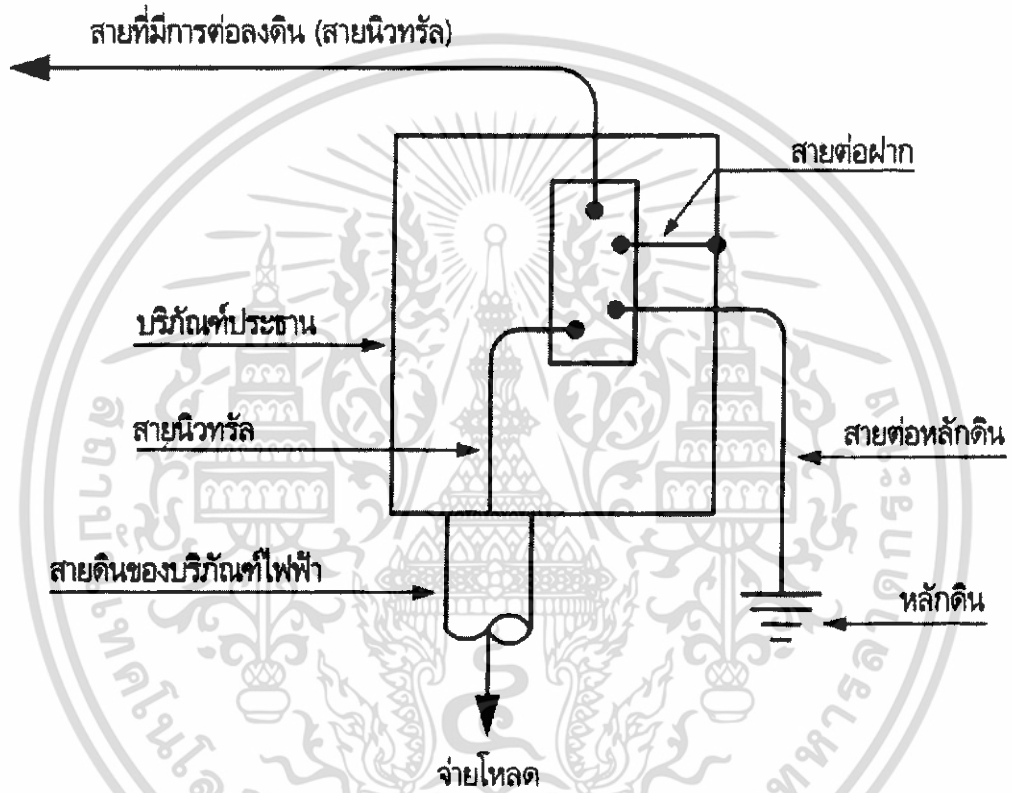
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 สายต่อหลักดิน (Grounding Electrode Conductor)

สายต่อหลักดิน หมายถึง ตัวนำที่ใช้ต่อระหว่างหลักดินกับส่วนทั้งสามดังต่อไปนี้ คือ

1. สายที่มีการต่อลงดิน (Grounded Conductor)
2. สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (Equipment Grounding Conductor)
3. สายต่อฝากที่บริภัณฑ์ประธาน (Main Bonding Jumper)

ดังแสดงในรูปที่ 2.10



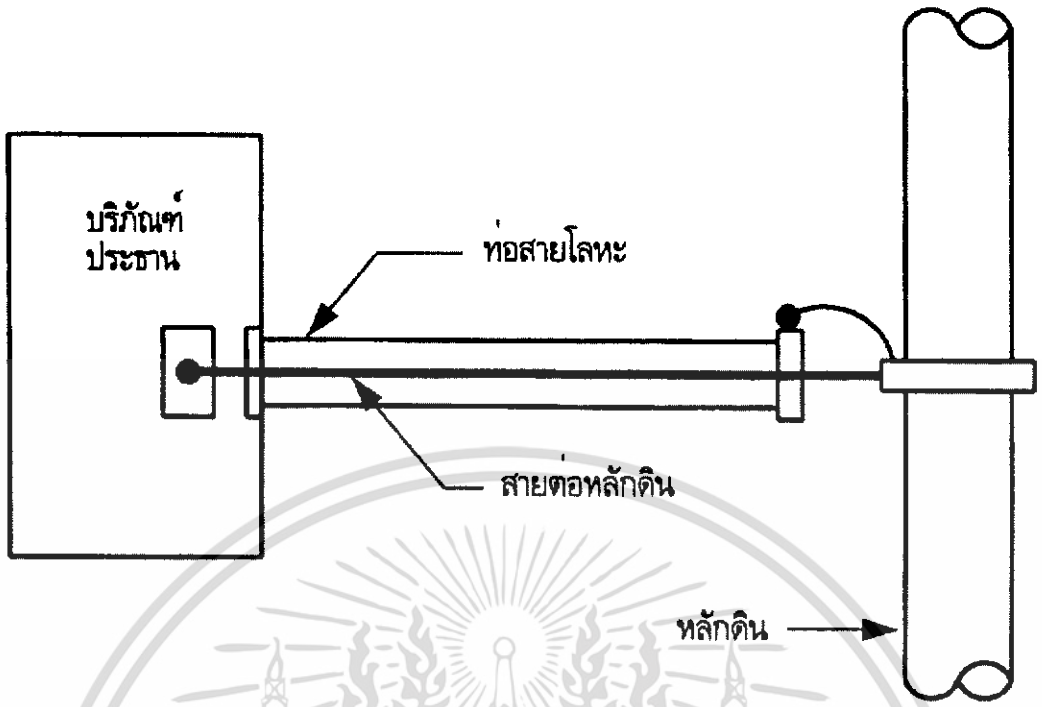
รูปที่ 2.10 สายต่อหลักดิน

ชนิดของสายต่อหลักดิน

สายต่อหลักดินต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- เป็นตัวนำทองแดง ตัวนำเดี่ยว หรือตีเกลียวหุ้มฉนวน
- ต้องมีฉนวนหุ้ม
- ต้องเป็นสายเส้นเดียวยาวต่อเนื่องตลอด ไม่มีการตัดต่อ แต่ถ้าเป็นบัสบาร์อนุญาตให้มีการต่อได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

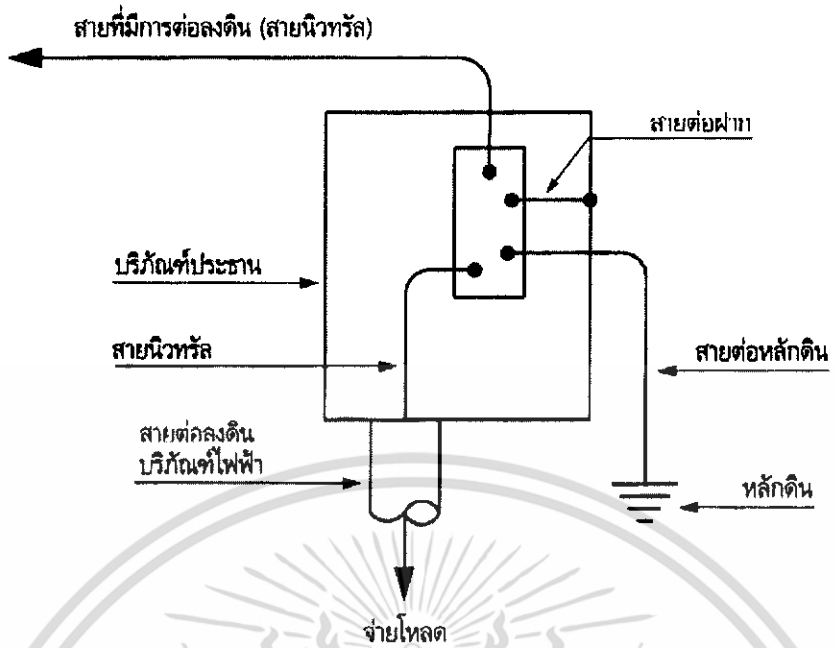


รูปที่ 2.11 การต่อท่อสาย (Raceway) และสายต่อหลักดินเข้ากับหลักดิน

2.4.4 สายที่มีการต่อลงดิน (Grounded Conductor)

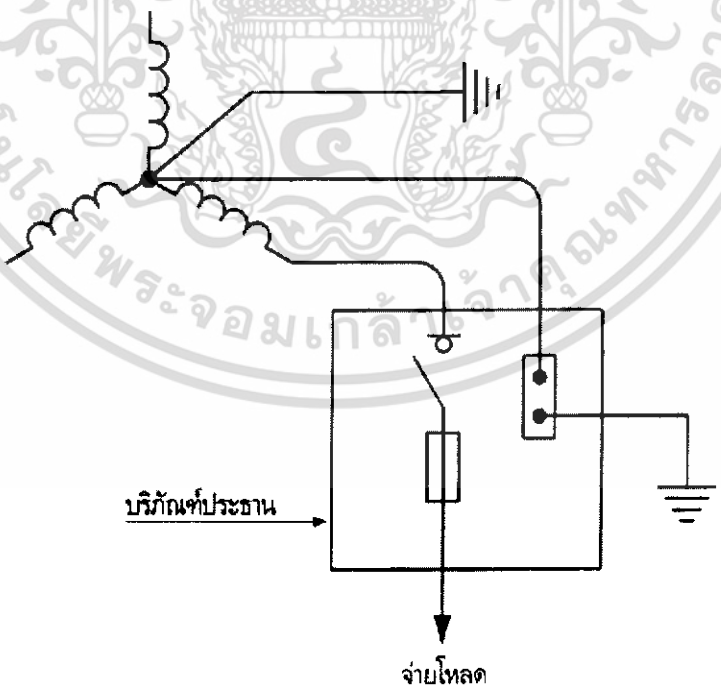
สายที่มีการต่อลงดิน (Grounded Conductor) คือ สายของวงจรไฟฟ้าที่มีส่วนหนึ่งส่วนใดต่อถึงดินอย่างจงใจในกรณีที่เกิดกระแสลัดวงจรลงดินสายที่มีการต่อลงดินจะทำหน้าที่เป็นสายดินของอุปกรณ์ด้วย เพื่อนำกระแสลัดวงจรกลับไปยังแหล่งจ่ายไฟ ในระบบไฟฟ้าโดยทั่วไป สายที่มีการต่อลงดินคือ สายนิวทรัล แต่ไม่จำเป็นต้องเป็นสายนิวทรัลเสมอไป ดังแสดงในรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 สายที่มีการต่อลงดิน (สายนิวทรัล)

สำหรับระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแรงดันกว่า 1 kV และเป็นระบบที่มีการต่อลงดิน จะต้องเดินสายที่มีการต่อลงดินจากหม้อแปลงมายังบริภัณฑ์ประธานเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 หม้อแปลงที่มีการต่อลงดินต้องเดินสายที่มีการต่อลงดินมายังบริภัณฑ์ประธานด้วย

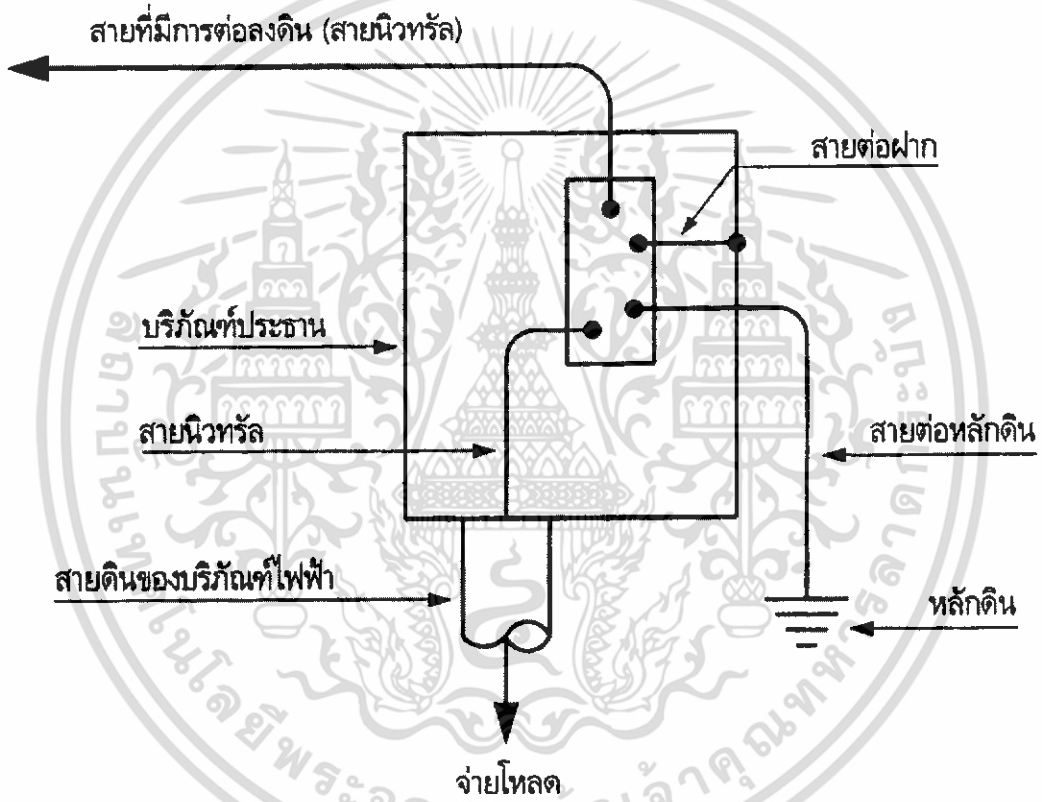
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 การต่อลงดินของบริภัณฑ์ประธาน (Service Equipment Grounding)

การต่อลงดินที่บริภัณฑ์ประธาน หมายถึง การต่อสิ่งห่อหุ้มโลหะต่างๆ และสายนิวทรัลที่บริภัณฑ์ประธานลงดินบริภัณฑ์ประธานจะเป็นจุดต่อรวมของสายดิน ดังต่อไปนี้

1. สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (Equipment Grounding Conductor)
2. สายที่มีการต่อลงดิน (Grounded Conductors)
3. สายต่อฝากหลัก (Main Bonding Jumper)
4. สายต่อหลักดิน (Grounding Electrode Conductors)

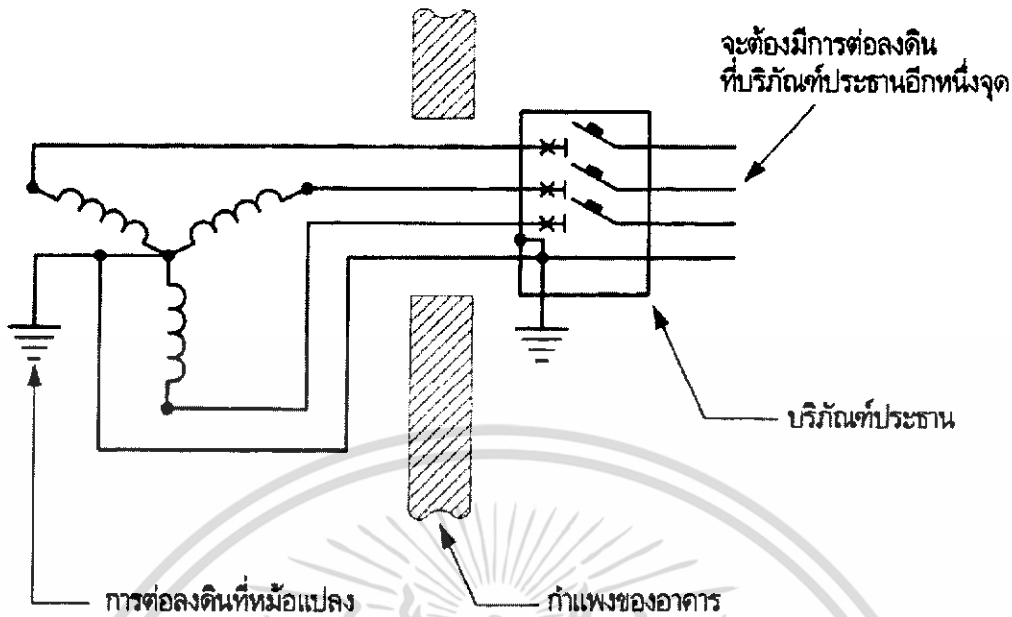
การต่อลงดินของบริภัณฑ์ประธานจะต้องกระทำด้านไฟเข้าเสมอ (Supply Side) ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ **2.14** แสดงสายต่าง ๆ ที่บริภัณฑ์ประธาน

สถานประกอบการที่รับไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงที่ติดตั้งนอกอาคารจะต้องมีการต่อลงดิน 2 จุด คือ ที่ใกล้หม้อแปลงหนึ่งจุด และที่บริภัณฑ์ประธานอีกหนึ่งจุด ดังแสดงในรูปที่ 2.15

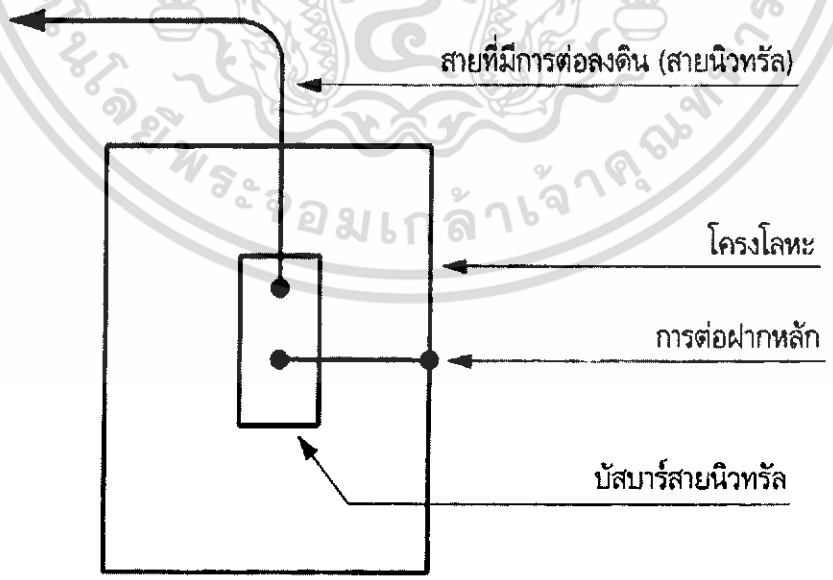
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ **2.15** การต่อลงดินที่หม้อแปลงนอกอาคารและที่บริภัณฑ์ประธาน

2.4.6 การต่อฝากหลัก (Main Bonding Jumper)

การต่อที่สำคัญอีกอย่างที่บริภัณฑ์ประธาน คือ การต่อฝากหลัก (Main Bonding Jumper) ซึ่งหมายถึงการต่อโครงโลหะของบริภัณฑ์ประธานกับตัวนำที่มีการต่อลงดิน ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ตัวนำที่มีการต่อลงดินอาจเป็นบัสบาร์สายดิน บัสบาร์สายนิวทรัล หรือ สายนิวทรัล ก็ได้



รูปที่ 2.16 ความหมายของการต่อฝากหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายต่อฝากหลัก

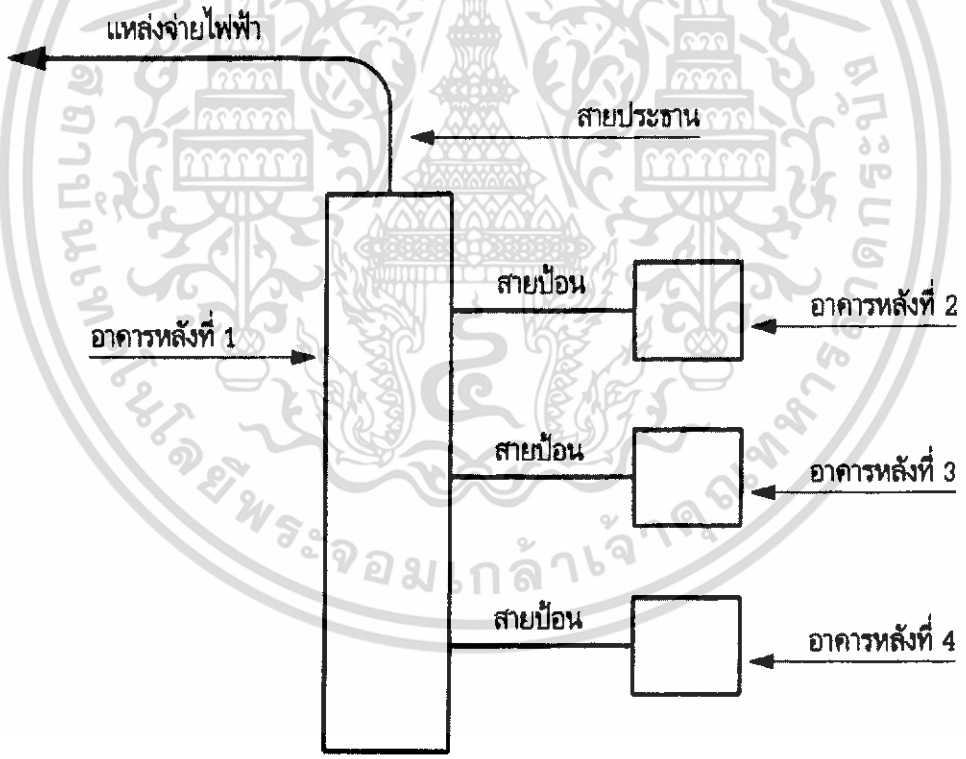
- สายต่อฝากจะต้องเป็นตัวนำทองแดง

การต่อสายฝากหลัก

- การเชื่อมด้วยความร้อน (Exothermic Welding)
- หัวต่อแบบบีบ
- ประกับจับสาย
- วิธีอื่นที่ได้รับการรับรองแล้ว
- ห้ามต่อโดยการใช้ตะกั่วบัดกรีเพียงอย่างเดียว

2.4.7 การต่อลงดินของวงจรที่มีบริภัณฑ์ประธานชุดเดียวจ่ายไฟให้อาคาร 2 หลังหรือมากกว่า

สถานประกอบการที่มีอาคารหลายหลังและมีอาคารประธานจ่ายไฟฟ้าให้กับอาคารหลังอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.17



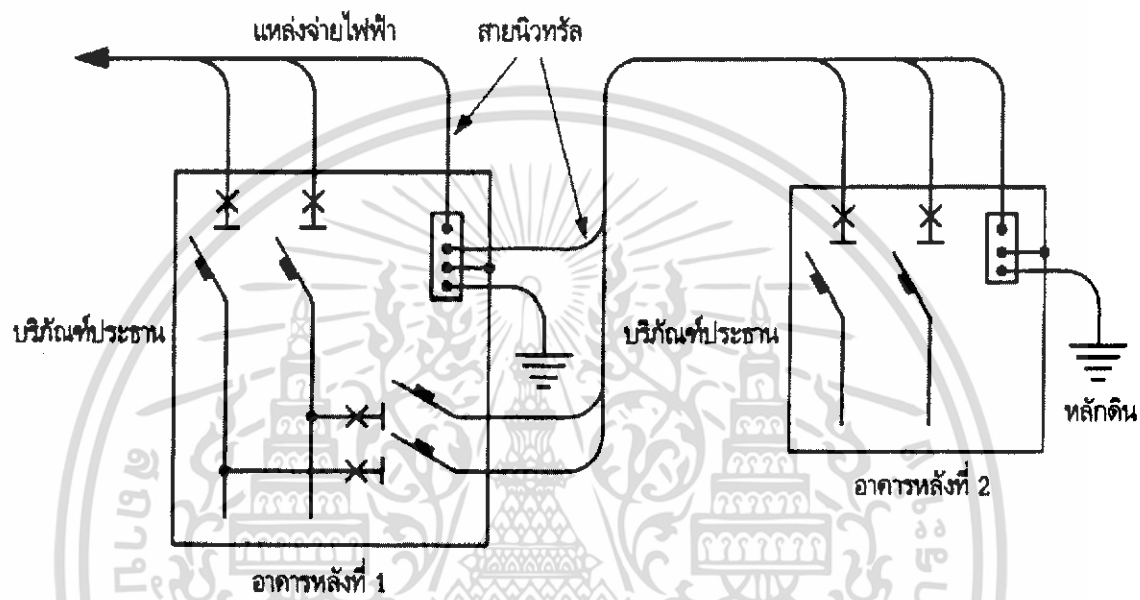
รูปที่ 2.17 การจ่ายไฟฟ้าของอาคารประธานให้กับอาคารหลังอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่อลงดินของสถานประกอบการแบบนี้ มีข้อกำหนดดังนี้คือ

- อาคารประธาน (อาคารหลังที่ 1) การต่อลงดินให้เป็นไปตามข้อกำหนดของการต่อลงดินที่บริภัณฑ์ประธาน

- อาคารหลังอื่น จะต้องมีหลักดินเป็นของตนเอง และมีการต่อลงดินเช่นเดียวกับบริภัณฑ์ประธาน คือ สายที่มีการต่อลงดิน สายต่อฝาก สายต่อหลักดิน และโครงโลหะของบริภัณฑ์ประธาน จะต้องต่อร่วมกันและต่อเข้ากับหลักดิน ดังรูปที่ 2.18

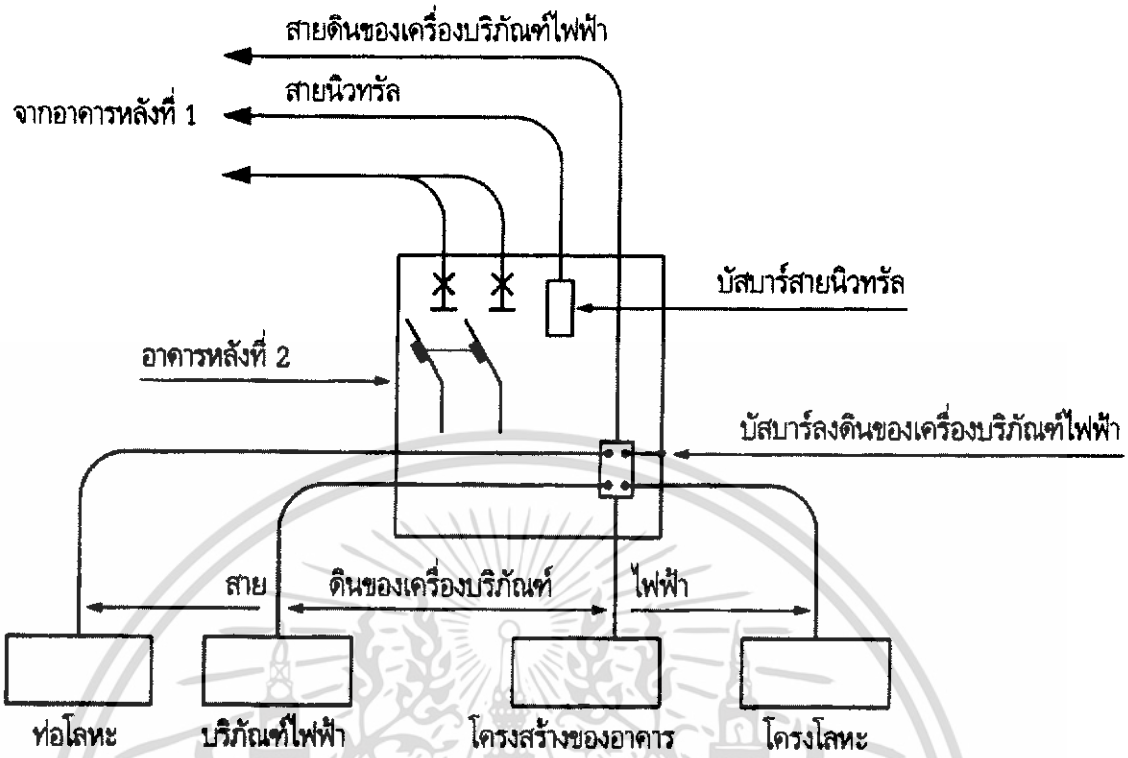


รูปที่ 2.18 อาคารแต่ละหลังต้องมีหลักดินเป็นของตัวเอง

อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่อาคารหลังอื่นมีวงจรย่อยเพียงวงจรเดียว อนุญาตให้ไม่ต้องมีหลักดินได้

ในกรณีที่เดินสายดินของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้า (Equipment Grounding Conductor) ไปพร้อมกับสายเฟสจากอาคารประธาน เพื่อการต่อลงดินของส่วนโลหะของบริภัณฑ์ไฟฟ้า ท่อโลหะ และส่วนโครงสร้างของอาคาร สายดินของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้านี้จะต้องต่อกับหลักดินที่มีอยู่ (ถ้าไม่มีหลักดินจะต้องสร้างขึ้น) และจะต้องเป็นสายหุ้มฉนวนด้วย นอกจากนี้สายนิวทรัลที่เดินมาจากอาคารประธานอนุญาตให้ไม่ต้องต่อเข้ากับหลักดินที่อาคารหลังอื่นได้ ดังรูปที่ 2.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

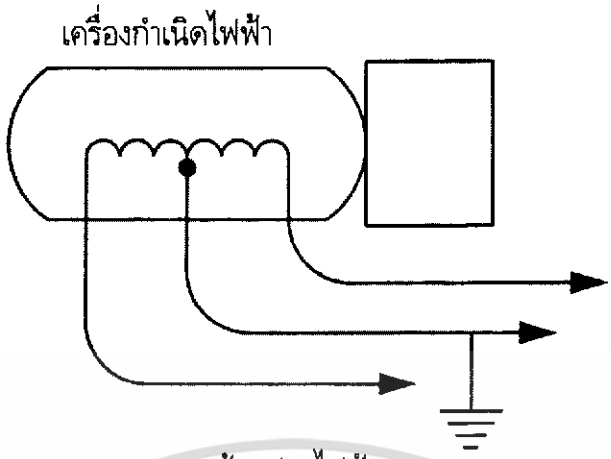


รูปที่ **2.19** การเดินสายดินของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้าจากอาคารประธานไปยังอาคารหลังอื่น ๆ

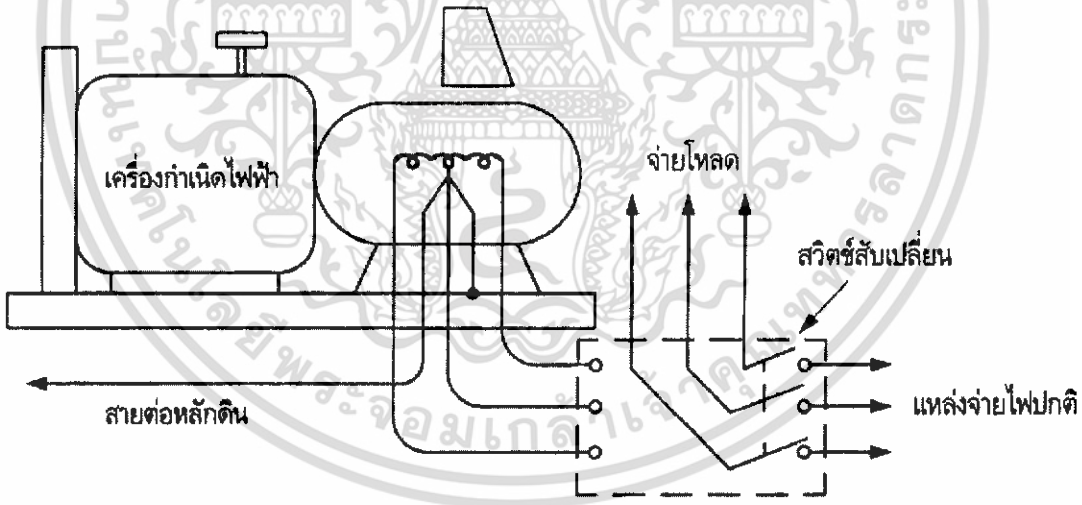
2.4.8 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าที่มีตัวจ่ายแยกต่างหาก (Separately Derived System)

ระบบที่มีตัวจ่ายแยกต่างหาก หมายถึง ระบบการเดินสายภายใน ซึ่งจ่ายไฟฟ้าโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า หรือขดลวดคอนเวอร์เตอร์ และไม่มีการต่อถึงกันทางไฟฟ้าโดยตรง รวมทั้งระบบสายดินกับสายจ่ายไฟฟ้าจากระบบอื่น ตัวอย่างระบบไฟฟ้าที่มีตัวจ่ายแยกต่างหาก ดังแสดงในรูปที่ 2.20,2.21,และ 2.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

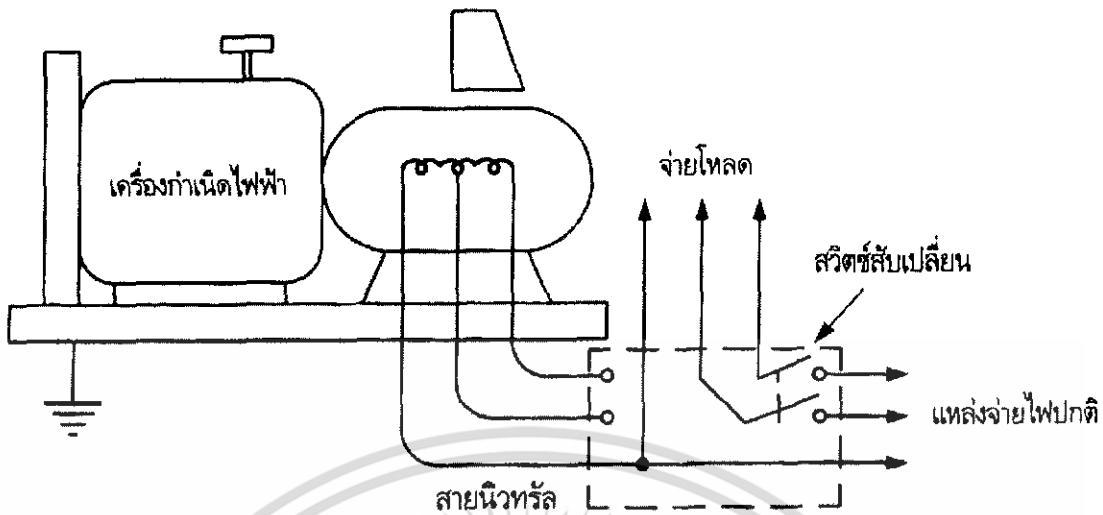


รูปที่ 2.20 ระบบไฟฟ้าที่มีตัวจ่ายแยกต่างหาก



รูปที่ 2.21 ระบบไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นตัวจ่ายแยกต่างหากพร้อมสวิตช์สับเปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 ระบบที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พร้อมสวิตช์สับเปลี่ยน แต่ไม่มีการตัดสายนิวทรัล ระบบนี้ไม่ใช่ระบบไฟฟ้าที่มีตัวจ่ายแยกต่างหาก

การต่อลงดิน

ถึงแม้ว่าระบบไฟฟ้าที่มีตัวจ่ายแยกต่างหาก จะไม่ใช่ระบบประธาน (Service) แต่ในทางปฏิบัติจะถือว่าเป็นระบบประธาน ดังนั้น การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าที่มีตัวจ่ายแยกต่างหาก จึงใช้ตามหลักการของบริภัณฑ์ประธาน คือ จะประกอบด้วยสายที่มีการต่อลงดิน สายต่อฝากหลัก สายต่อหลักดิน โดยอุปกรณ์เหล่านี้จะต่อร่วมกันเข้ากับหลักดิน

นอกจากนี้จะต้องใช้หลักดินที่อยู่ใกล้กับตัวจ่ายแยกต่างหากมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

2.4.9 การต่อลงดินของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้า (Equipment Grounding)

การต่อลงดินของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้า หมายถึง การต่อส่วนที่เป็นโลหะที่ไม่มีกระแสไหลผ่านของสถานประกอบการให้ถึงกันตลอด แล้วต่อลงดิน

การต่อลงดินของเครื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้า มีจุดประสงค์ดังนี้คือ

1. เพื่อให้ส่วนโลหะที่ต่อถึงกันตลอดมีศักดาไฟฟ้าเท่ากับดิน ทำให้ปลอดภัยจากการโดนไฟดูด
2. เพื่อให้อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินทำงานได้รวดเร็วขึ้น เมื่อตัวนำไฟฟ้าแตะเข้ากับส่วนโลหะใด ๆ เนื่องจากฉนวนของสายไฟฟ้าชำรุด หรือเกิดอุบัติเหตุ
3. เป็นทางผ่านให้กระแสรั่วไหล และกระแสเนื่องมาจากไฟฟ้าสถิตลงดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.10 ระบบหลักดิน (Grounding Electrode System)

ดิน (Earth)

ดินใช้เป็นจุดอ้างอิง ถือว่าศักดามนุษย์เป็นศูนย์ โดยจะทำหน้าที่รองรับกระแสต่าง ๆ ที่รั่วไหลลงดิน และเป็นที่ต่อของส่วนที่เป็นโลหะของสถานประกอบการต่าง ๆ เพื่อให้ส่วนของโลหะเหล่านั่นมีศักดาไฟฟ้าเท่ากับดิน คือเป็นศูนย์

สภาพการนำไฟฟ้าของดิน (σ)

สภาพการนำไฟฟ้าของดินเกิดขึ้นเนื่องจากขบวนการอิเล็กโตรไลติก (Electrolytic) หรือขบวนการนำไฟฟ้าของไอออนในดินนั่นเอง ความสามารพในการนำไฟฟ้าของดินจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- สัดส่วนของเกลือแร่ที่ละลายในดิน (Saline Water)
- องค์ประกอบของดิน (Compositions)
- ขนาดของอนุภาคดิน (Size of Particles)
- ความหนาแน่นของดิน (Compactness)
- อุณหภูมิ (Moisture)
- เงื่อนไขของสภาพภูมิอากาศ (Weather Conditions)

สภาพภูมิอากาศจะมีอิทธิพลต่อสภาพการนำไฟฟ้าของดินชั้นบน (จากผิวดินถึงความลึก 1.5 m) เป็นอย่างมากดังนั้นการฝังหลักดินจึงควรทำที่ระดับของดินชั้นล่างมีความชื้น และเกลือแร่ต่าง ๆ มากกว่า จึงมีสภาพการนำไฟฟ้าดีกว่า

เมื่ออุณหภูมิ และความชื้นของดินเพิ่มขึ้นสภาพการนำไฟฟ้าของดินจะมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย ตามปกติแล้วดินจะความชื้นอยู่ระหว่าง 5-40% โดยน้ำหนัก ในกรณีที่ดินมีความชื้นต่ำ คือ 4-18 % สภาพการนำไฟฟ้าของดินจะต่ำ ดังนั้นถ้าเราต้องใช้ดินบริเวณนี้เพื่อทำระบบหลักดิน เราจะต้องมีการปรับปรุงสภาพการนำไฟฟ้าของดินที่มีค่าต่ำนี้ให้สูงขึ้นก่อน เพื่อการออกแบบระบบการต่อลงดินที่ดี

ในการศึกษาสภาพการนำไฟฟ้าของดินนั้น เราจะทำการศึกษาความต้านทานจำเพาะของดิน (ρ) แทน
โดยที่

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \qquad (2.2)$$

โดยที่ ρ คือ ความต้านทานจำเพาะของดิน(Ω.m)

σ คือ สภาพการนำไฟฟ้าของดิน(Mho/m)

เราให้คำจำกัดความของความต้านทานจำเพราะของดิน คือ "ค่าของความต้านทานระหว่างพื้นผิวทั้งสองด้านที่อยู่ตรงข้ามกันของปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร (m^3) ของตัวอย่างดิน "ดินมีความต้านทานจำเพาะต่ำ (10 -100Ω-m) แสดงว่ามีสภาพการนำไฟฟ้าดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างความต้านทานจำเพาะของดินชนิดต่าง ๆ

ชนิดของดิน	ความต้านทานจำเพาะเฉลี่ย (Ω.m)
ดินผสมวัชพืชเปียก	10
ดินชื้น	100
ดินแห้ง	1000
ทราย	500 – 1000
หินแข็ง	10000

2.4.11 หน้าที่ของระบบหลักดิน

ระบบหลักดิน ประกอบด้วยหลักดินหลายแบบซึ่งต่อถึงกัน ในสถานประกอบการหนึ่ง ๆ อาจมีหลักดินแบบเดียว หรือหลายแบบก็ได้ ถ้าหลักดินมีหลายแบบ จะต้องต่อหลักดินนั้น ๆ ให้ต่อเนื่องถึงกันตลอดเป็นระบบหลักดินระบบหลักดินมีหน้าที่ดังต่อไปนี้

1. ให้เกิดการต่อถึงกันอย่างดีระหว่างดิน และส่วนที่เป็นโลหะที่ไม่มีกระแสไหลผ่านของสถานประกอบการ เพื่อให้ส่วนโลหะเหล่านี้มีศักดาไฟฟ้าเป็นศูนย์ คือที่ระดับดิน

2. เพื่อให้เป็นทางผ่านเข้าสู่ดินอย่างสะดวกสำหรับอิเล็กตรอนจำนวนมาก ในกรณีที่เกิดฟ้าผ่า หรือแรงดันเกิน

3. เพื่อถ่ายทอดกระแสรั่วไหล หรือ กระแสที่เกิดจากไฟฟ้าสถิตลงสู่ดิน

มักมีผู้เข้าใจผิดอยู่เสมอว่าหลักดินมีหน้าที่ในการนำกระแสลัดวงจร เพื่อให้อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินทำงานแต่ในความเป็นจริงแล้วหลักดินไม่อาจทำหน้าที่ได้ เนื่องจากทางผ่านระหว่างหลักดิน กับอุปกรณ์ป้องกันมีอิมพีแดนซ์สูง ทำให้กระแสไม่เพียงพอที่จะทำให้อุปกรณ์ป้องกันทำงาน

2.4.12 ชนิดของหลักดิน

หลักดินอาจแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. หลักดินที่มีอยู่แล้ว (Existing Electrode)
2. หลักดินที่ทำขึ้น (Made Electrode)

1. หลักดินที่มีอยู่แล้ว คือ หลักดินที่สถานประกอบการมีอยู่แล้วและทำขึ้น เพื่อจุดประสงค์อย่างอื่น ซึ่งไม่ใช่เพื่อการต่อลงดิน หลักดินที่มีอยู่แล้วประกอบด้วย

- ท่อโลหะใต้ดิน
- โครงโลหะของอาคาร
- เสาเข็มหลัก
- โครงสร้างโลหะใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หลักดินที่ทำขึ้น คือหลักดินที่จัดหา และติดตั้งสำหรับงานระบบการต่อลงดินโดยเฉพาะ หลักดินประเภทนี้ประกอบด้วย

- แท่งดิน (Ground Rods)
- หลักดินที่หุ้มด้วยคอนกรีต (Concrete Encased Electrode)
- แผ่นผัง (Buried Plate)
- ระบบหลักดินแบบวงแหวน (Ring)
- กริด (Grid)

2.4.13 ระบบหลักดินแบบต่าง ๆ

1. แท่งดิน (Ground Rod)

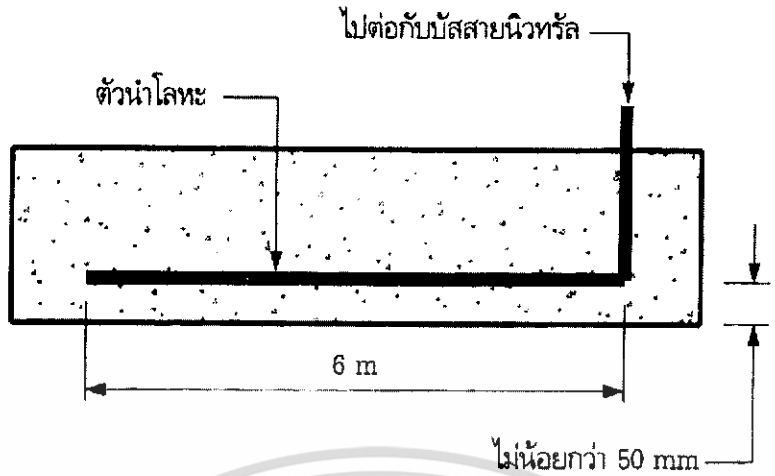
เป็นหลักดินที่นิยมใช้มากที่สุด เพราะราคาถูก และติดตั้งง่าย ใช้ได้ดีกับดินที่มีชั้นหินอยู่ลึกเกิน 3 m แท่งดินที่ใช้ต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 5/8 นิ้ว (16mm) และความยาวไม่น้อยกว่า 2.4 m การเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางจะช่วยลดความต้านทานดินได้เพียงเล็กน้อย แต่จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงทางกล และทนต่อการสึกกร่อน แท่งดินที่ตอกลึกเพียงไม่กี่แท่งจะได้ผลดีกว่าแท่งดินสั้นหลาย ๆ แท่ง เนื่องจากความต้านทานจำเพาะของดินจะลดลงที่ระดับดินลึก ๆ เพราะความชื้นมีมากกว่า ทองแดงเป็นโลหะที่ดีที่สุดสำหรับใช้เป็นแท่งดิน เพราะมันทนต่อการสึกกร่อนได้ดี เพื่อให้ความแข็งแรงทางกลดีขึ้น และราคาถูกลง อาจใช้เป็นเหล็กหุ้มทองแดง (Copper Clad or Copper Encased Steel) เป็นแท่งดินได้

2. หลักดินที่หุ้มด้วยคอนกรีต (Concrete Encased Electrode)

คอนกรีตที่อยู่ต่ำกว่าระดับดินซึ่งมีความชื้นอยู่รอบ ๆ จะเป็นวัตถุตัวกึ่งนำไฟฟ้า (Semi-Conducting Medium) และมีความต้านทานจำเพาะประมาณ 30 Ω.m ที่ 20 °C ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าเกณฑ์เฉลี่ยของดินทั่วไป ดังนั้นตัวนำไฟฟ้า หรือแท่งโลหะที่ฝังอยู่ในฐานรากคอนกรีต (Concrete Foundation) ที่มีเหล็กเสริม (Reinforcing Bar) เป็นจำนวนมาก จึงสามารถใช้เป็นหลักดินได้เป็นอย่างดี เพียงแต่ต้องมีตัวต่อทางไฟฟ้า (Connector) เข้ากับเหล็กเสริมแล้วนำออกมาด้วยสายดิน

ระบบหลักดินชนิดนี้ จะใช้เหล็กเส้นที่ฝังลึกอยู่ในคอนกรีตไม่น้อยกว่า 2 นิ้ว (50 mm)มีความยาวไม่น้อยกว่า 20 ฟุต (6 m) และมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เล็กกว่า 12.7 mmเป็นหลักดิน หรือถ้าใช้สายทองแดงเปลือย ต้องใช้สายขนาดไม่เล็กกว่า 25 mm^2 และยาวไม่น้อยกว่า 20 ฟุต (6 m) เนื่องจากรอยต่อระหว่างพื้นผิวของเหล็กเส้นกับคอนกรีตต่อกันอย่างดี ส่วนคอนกรีตก็มีพื้นที่ขนาดใหญ่ต่อเข้ากับพื้นดิน และเหล็กเส้นนั้นก็เสมือนว่าต่อขนานกันด้วย ดังนั้นระบบหลักดินนี้จึงมีความต้านทานต่ำ จึงเป็นที่นิยมใช้กันมากที่สุด ดังแสดงในรูป 2.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



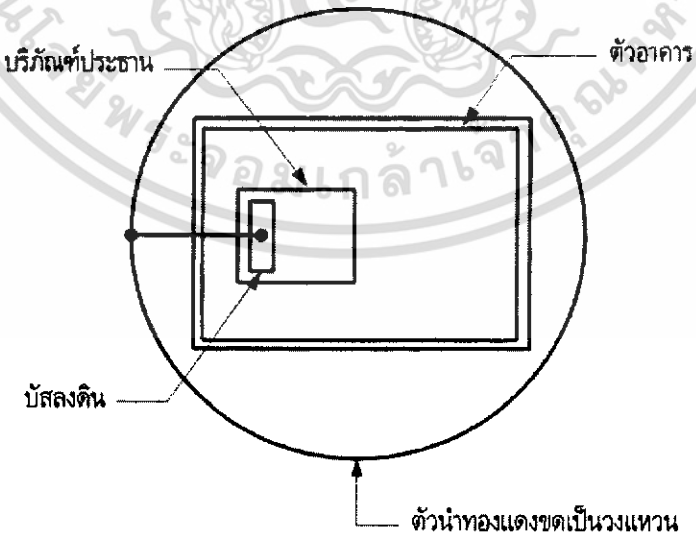
รูปที่ 2.23 การใช้การสายตัวนำหุ้มด้วยคอนกรีตเป็นระบบหลักดิน

3. แผ่นโลหะ (Buried Plate)

หลักดินที่เป็นแผ่นตัวนำใช้เมื่อไม่ต้องการขุดดินลงไปลึก ๆ แผ่นตัวนำต้องเป็นชนิดกันการผุกร่อน มีพื้นผิวสัมผัสไม่น้อยกว่า 0.18 m^2 ในกรณีที่เป็นเหล็กอาบโลหะชนิดกันการผุกร่อนต้องหนาไม่น้อยกว่า 6 mm หากเป็นโลหะกันการผุกร่อนชนิดอื่น ที่ไม่ใช่เหล็กต้องหนาไม่น้อยกว่า 1.5 mm

4. หลักดินแบบวงแหวน (Ring)

หลักดินแบบนี้ จะใช้สายตัวนำทองแดงเปลือยยาวไม่น้อยกว่า 20 ฟุต (6 m) ขนาดไม่เล็กกว่า 35 mm^2 มาขดเป็นวงแหวน และฝังลึกใต้ดินไม่น้อยกว่า 2.5 ฟุต (0.76 m) ดังแสดงในรูป 2.24



รูปที่ 2.24 การใช้หลักดินแบบวงแหวนเป็นระบบหลักดิน

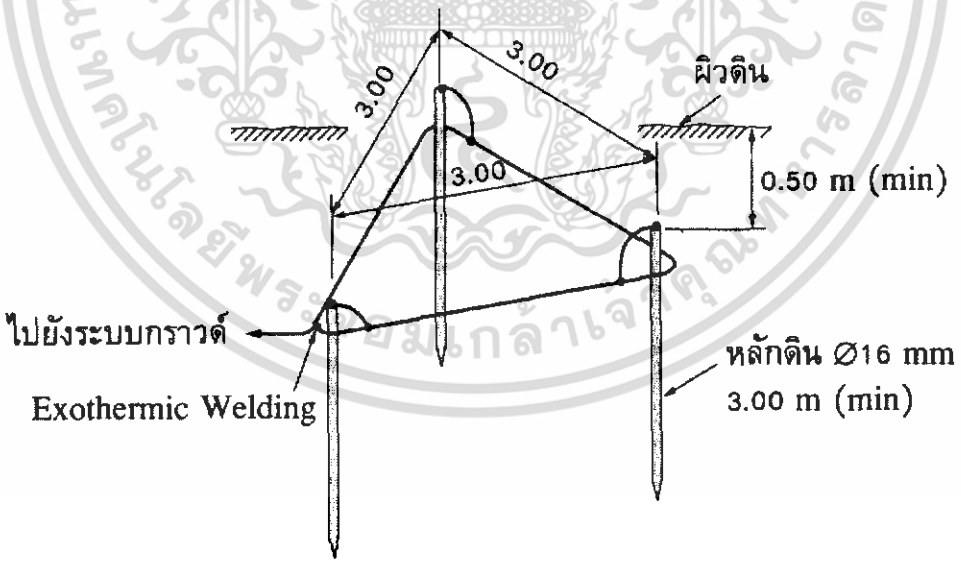
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.14 การต่อกราวด์ **[6]**

ในความหมายทางวิชาไฟฟ้าแล้ว คำว่า กราวด์ นั้นจะมีความหมายคนละอย่างกับคำว่า ลงดิน(earth) ยกตัวอย่างในกรณีของ กราวด์บัส ซึ่งจะหมายถึงว่าในระบบไฟฟ้านั้นจะมีการนำส่วนที่ต้องการจะต่อลงดินมาต่อร่วมกัน โดยอาจจะเป็นจุดเดียวกันหรือหลายจุดเพื่อพร้อมที่จะต่อลงดินต่อไป

โดยธรรมชาติแล้ว การต่อลงดินจะไม่ใช่ตัวนำไฟฟ้าที่ดี ทั้งนี้เพราะค่าสภาพความต้านทานของดิน (resistivity) จะมีค่าประมาณ 1 พันล้านเท่าของทองแดง เช่น กราวด์ร็อด (ground rod)ยาวไม่น้อยกว่า 2.4 m ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดไม่น้อยกว่า 16 mm เมื่อถูกตีฝังลงในดินแล้วพบว่ามีค่าความต้านทานประมาณ 25 โอห์ม(เป็นลักษณะของดินในสภาวะหนึ่ง) ดังนั้นในกรณีที่ต้องการให้ค่าความต้านทานมีค่าน้อยกว่า 25 โอห์ม จึงจำเป็นต้องใช้กราวด์ร็อดจำนวนหลายๆชุดนั้นเอง กราวด์ร็อดโดยทั่วๆ ไปเหมาะที่จะใช้เป็นระบบกราวด์ได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้เพราะประหยัด และโดยปกติแล้วกราวด์ร็อดจะทำด้วยทองแดง แต่อาจจะห่อหุ้มด้วยกัลป์วาไนซ์(galvanized)หรือมีทองแดงหุ้มเหล็กอีกทีหนึ่ง และตามความนิยมแล้วจะเรียกร็อดนี้ว่า คอปเปอร์แคลด(copper clad)

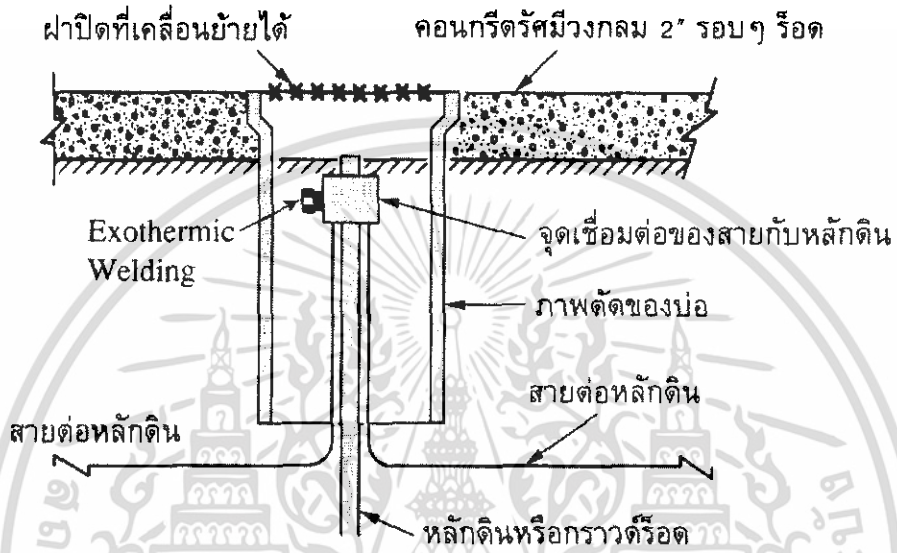
เนื่องจากว่าประมาณ 93% ของแรงดันไฟฟ้าตกทั้งหมดจะเกิดขึ้นได้ถ้ารัศมีของร็อด(ที่เป็นกลุ่ม)ห่างกัน 1.8 m และถ้าเป็นกรณี 82 % ของแรงดันไฟฟ้าตกทั้งหมดจะเกิดจากรัศมี 3 m ดังนั้นในทางปฏิบัติแล้วนิยมให้รัศมีของร็อดห่างกัน 3 m ในรูปของสามเหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 2.25



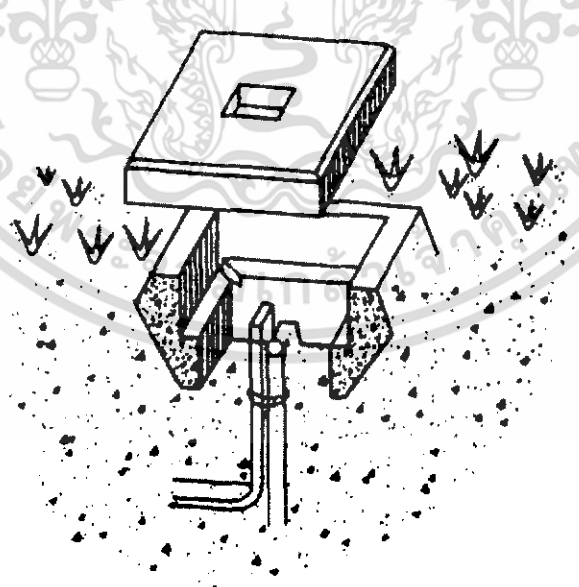
รูปที่ 2.25 แสดง Typical ของกราวด์ร็อดหรือหลักดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และตามมาตรฐานของNEC กำหนดให้ค่าความต้านทานของร็อดจะต้องน้อยกว่า 25 โอห์ม ดังนั้นในกรณีที่ทำการออกแบบกราวด์ดังแสดงในรูปที่ 2.25 และไม่สามารถทำให้ค่าความต้านทานน้อยกว่า 25 โอห์มได้ จะต้องทำการเพิ่มกราวด์ร็อดเข้าไปให้เป็นในลักษณะของสามเหลี่ยมเรื่อย ๆจนกระทั่งค่าความต้านทานมีค่าต่ำกว่า 25 โอห์ม ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วจำเป็นต้องมีการทดสอบระบบกราวด์ด้วย ดังนั้นจึงมีวิธีการในการติดตั้งกราวด์ร็อดเป็นดังรูปที่ 2.26



(ก) แสดงภาพตัดจุดทดสอบหรือ Pit ซึ่งจะติดตั้ง Pit ที่มุมของรูปสามเหลี่ยมของรูปที่ 2.25



(ข) แสดง Typical ของ Pit

รูปที่ 2.26 แสดงวิธีการเดินสายต่อหลักดินไปยังหลักดินเพื่อใช้เป็นจุดทดสอบระบบกราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การต่อลงดินตามระบบ TT,IT,TN-C,TN-S,TN-C-S [7]

ระบบไฟฟ้าของสถานประกอบการอาจแบ่งตามวิธีการต่อลงดินได้ เพื่อให้เข้าใจการเรียกชื่อ ระบบการลงดินได้ถูกต้อง และมีระบบ จึงกำหนดวิธีเรียกระบบไฟฟ้าตามวิธีการต่อลงดิน วิธีเรียกชื่อนี้กำหนดด้วยตัวอักษร 3 หรือ 4 ตัวดังนี้คือ

อักษรตัวแรก บอกถึงการจัดการต่อลงดินของแหล่งจ่ายไฟฟ้า

" T " แสดงว่าหนึ่งจุดของแหล่งจ่ายไฟฟ้าต่อลงดินโดยตรง

" I " แสดงว่าแหล่งจ่ายไม่ได้ต่อลงดิน หรือ ต่อลงดินผ่านอิมพีแดนซ์จำกัดกระแส

อักษรตัวที่สอง บอกถึงการต่อลงดินของสถานประกอบการ

" T " แสดงว่าส่วนที่นำกระแสที่เปิดโล่งทั้งหมดต่อลงดินโดยตรง

" N " แสดงว่าส่วนที่นำกระแสที่เปิดโล่งทั้งหมดต่อเข้าสายดิน

อักษรตัวที่สามและสี่ แสดงการจัดการของสายดิน

" S " สายนิวทรัลและสายดินแยกจากกัน

" C " สายนิวทรัลและสายดิน รวมเป็นเส้นเดียวกัน

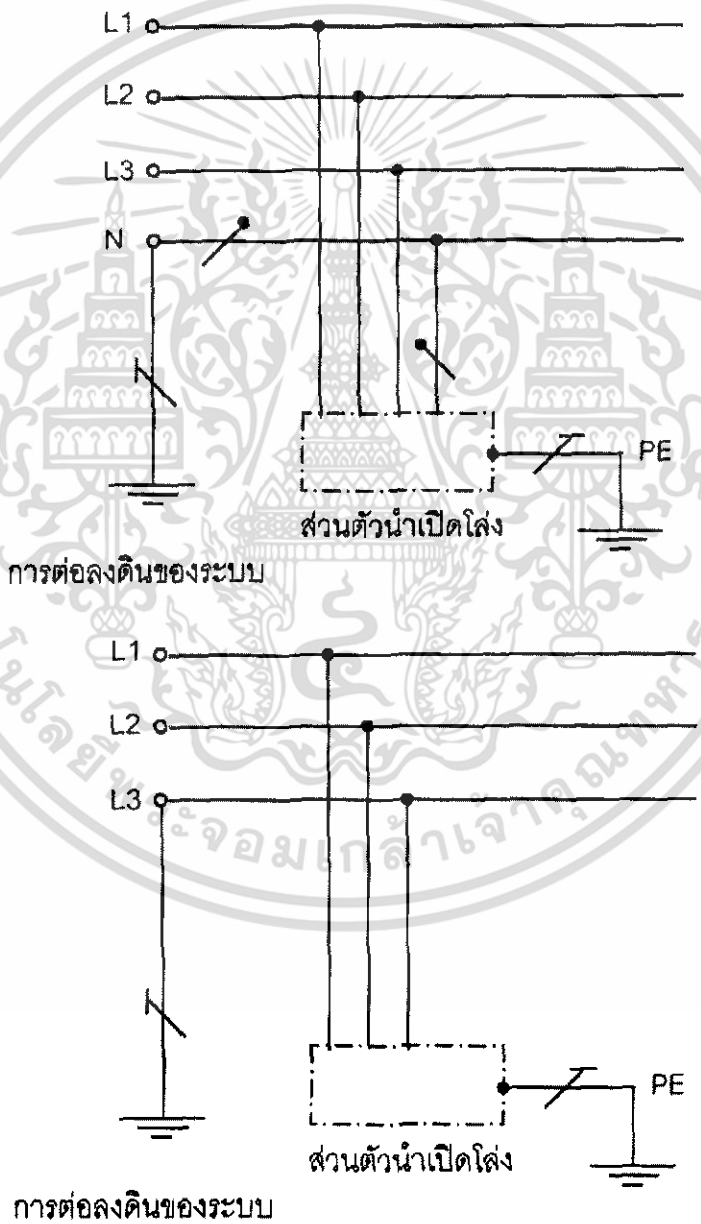
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อกำหนดตัวอักษรดังกล่าว ระบบไฟฟ้าสามารถแบ่งเป็นหลายระบบคือ

1. ระบบไฟฟ้า TT

ในระบบไฟฟ้า TT มีจุดเดียวที่ต่อลงดินโดยตรง ส่วนที่นำกระแสที่เปิดโล่งของการติดตั้งต่อลงหลักดินเป็นอิสระทางไฟฟ้าจากหลักดินของระบบไฟฟ้า

ระบบนี้เป็นมาตรฐานของสถานประกอบการ ซึ่งรับไฟฟ้าจากสายเหนือดินและสายนิวทรัลแยกกันทางการไฟฟ้าไม่ได้จัดขั้วสายดินให้ สถานประกอบการต้องทำหลักดินเอง ดังนั้นการต่อถึงกันระหว่างสายดินของการไฟฟ้า และสถานประกอบการ จึงไม่ค่อยมีประสิทธิภาพ เนื่องจากความต้านทานดินมีค่าสูง



รูปที่ 2.27 ระบบ TT **[8]**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

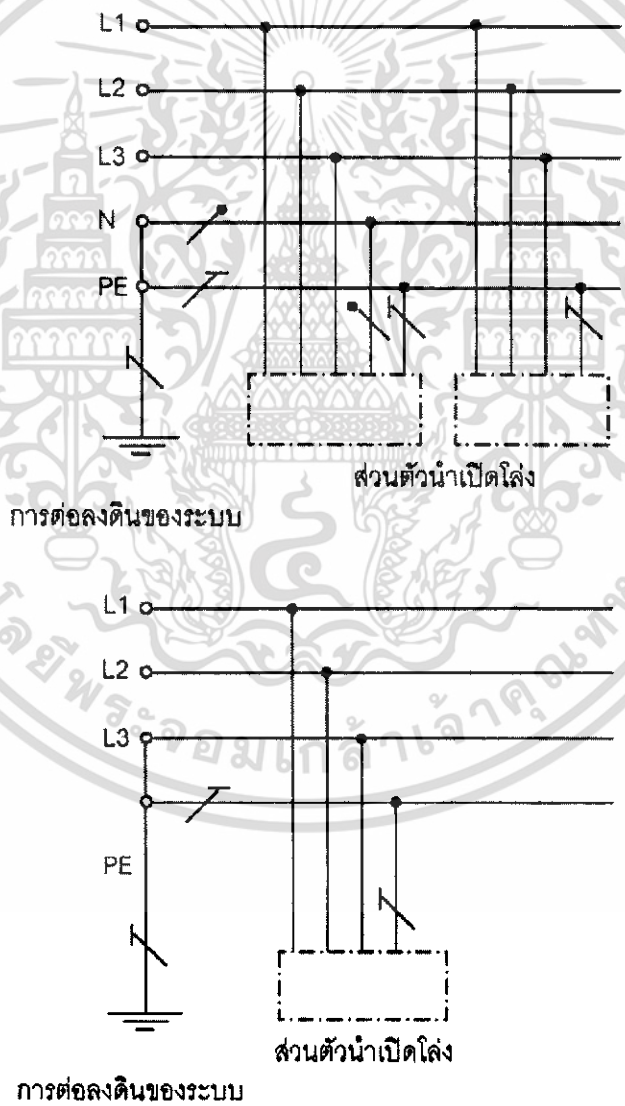
2. ระบบไฟฟ้า TN

ระบบไฟฟ้า TN มีจุดหนึ่งที่ต่อลงดินโดยตรง ส่วนที่นำกระแสที่เปิดโล่งของการติดตั้งต่อเข้าจุดนั้นโดยสายดินป้องกัน (PE) ระบบ TN แบ่งเป็น 3 ชนิด ซึ่งพิจารณาจากการจัดตัวนำและสายนิวทรัลดังนี้

2.1 ระบบไฟฟ้า TN-S

ในระบบ TN-S สายนิวทรัลและสายดินติดตั้งแยกจากกันทั้งระบบ

สถานประกอบการส่วนมากที่ได้รับไฟฟ้าจากระบบสายไฟฟ้าใต้ดินจะใช้ระบบนี้ ขั้วดินของสถานประกอบการจะต่อเข้ากับระบบสายดินของการไฟฟ้าซึ่งเป็นเปลือกหุ้มโลหะหรือเกราะของสายเคเบิล ทำให้มีส่วนโลหะที่ต่อเนื่องกลับไปจุดสตาร์ของหม้อแปลงได้ และที่จุดสตาร์นี้จะต้องต่อลงดินผ่านสายต่อหลักดินเข้ากับแท่งหลักดิน

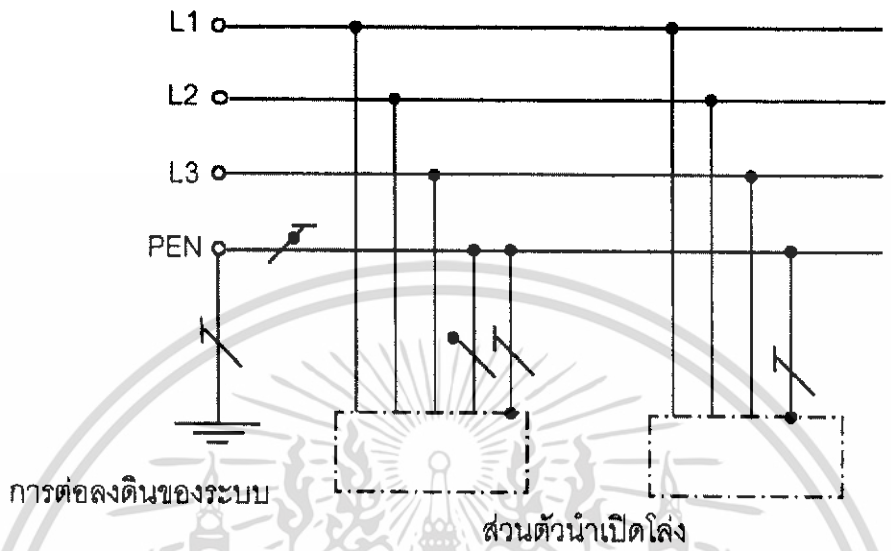


รูปที่ 2.28 ระบบ TN-S **[8]**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ระบบไฟฟ้า TN-C

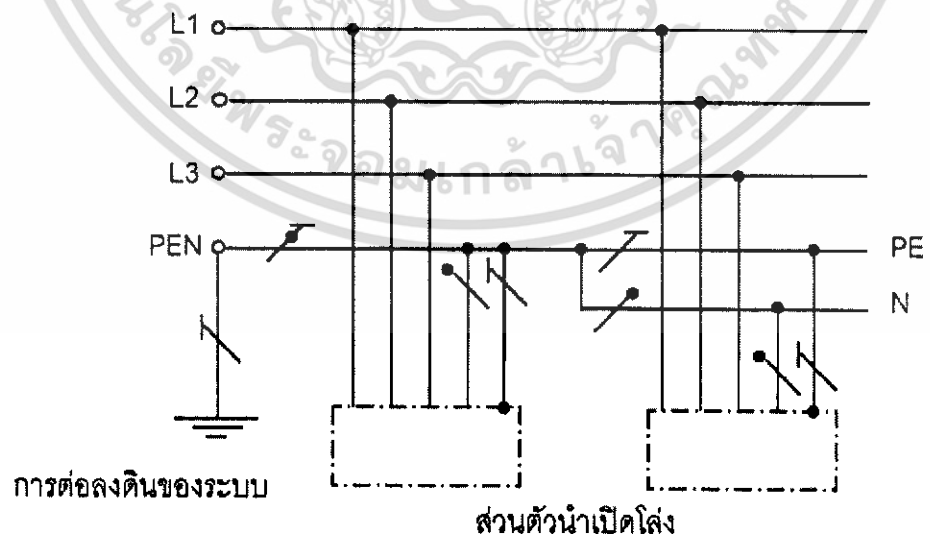
ในระบบ TN-C สายนิวทรัลและสายดินรวมเป็นสายเดียวกันตลอดทั้งระบบ และเป็นสาย PEN ด้วย ส่วนโลหะทั้งหมดของสถานประกอบการจะต่อเข้ากับสาย PEN



รูปที่ 2.29 ระบบ TN-C **[8]**

2.3 ระบบไฟฟ้า TN-C-S

ในระบบนี้ ฟังก์ชันสายนิวทรัลและสายป้องกันต่อร่วมกันเป็นสายตัวนำเดียวในส่วนหนึ่งของระบบ

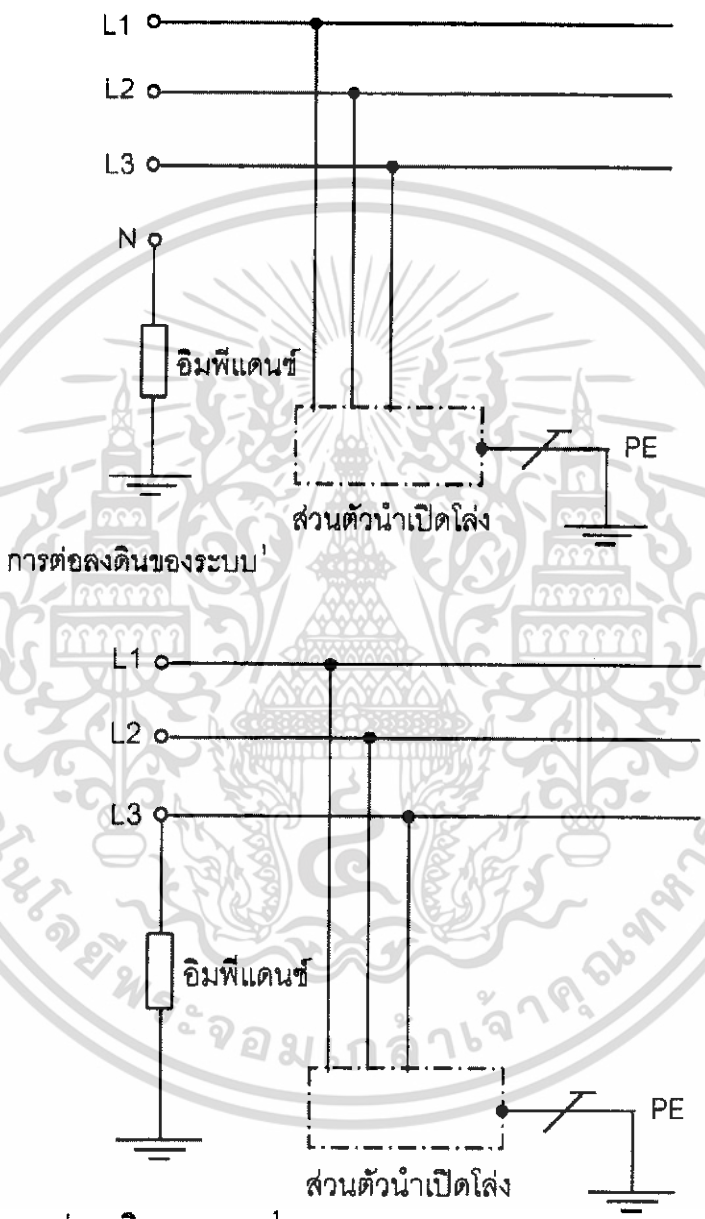


รูปที่ 2.30 ระบบ TN-C-S **[8]**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ระบบไฟฟ้า IT

ในระบบนี้ จุดนิวทรัลของแหล่งจ่ายไฟฟ้าไม่ได้ต่อลงดิน หรือ ต่อลงดินผ่านค่าอิมพีแดนซ์ ด้วยค่าที่สูง (ปกติ 1kΩ ถึง 2kΩ) ส่วนที่นำกระแสที่เปิดโล่งของการติดตั้งไฟฟ้าต่อลงดินเป็นอิสระ

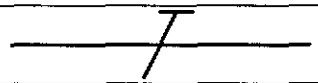


1)ระบบอาจแยกจากดิน ตัวนำนิวทรัลอาจจะต่อหรือไม่ต่อก็ได้

รูปที่ 2.31 ระบบ IT **[8]**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 สัญลักษณ์ประกอบคำอธิบายของการต่อลงดินต่างๆ **[8]**

สัญลักษณ์	รายละเอียด
	ตัวนำดิน(PE)
	ตัวนำนิวทรัล(N)
	ตัวนำนิวทรัลและตัวนำดิน(PEN)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและการสร้าง

ส่วนประกอบของโครงงานมีอยู่ 3 ส่วน

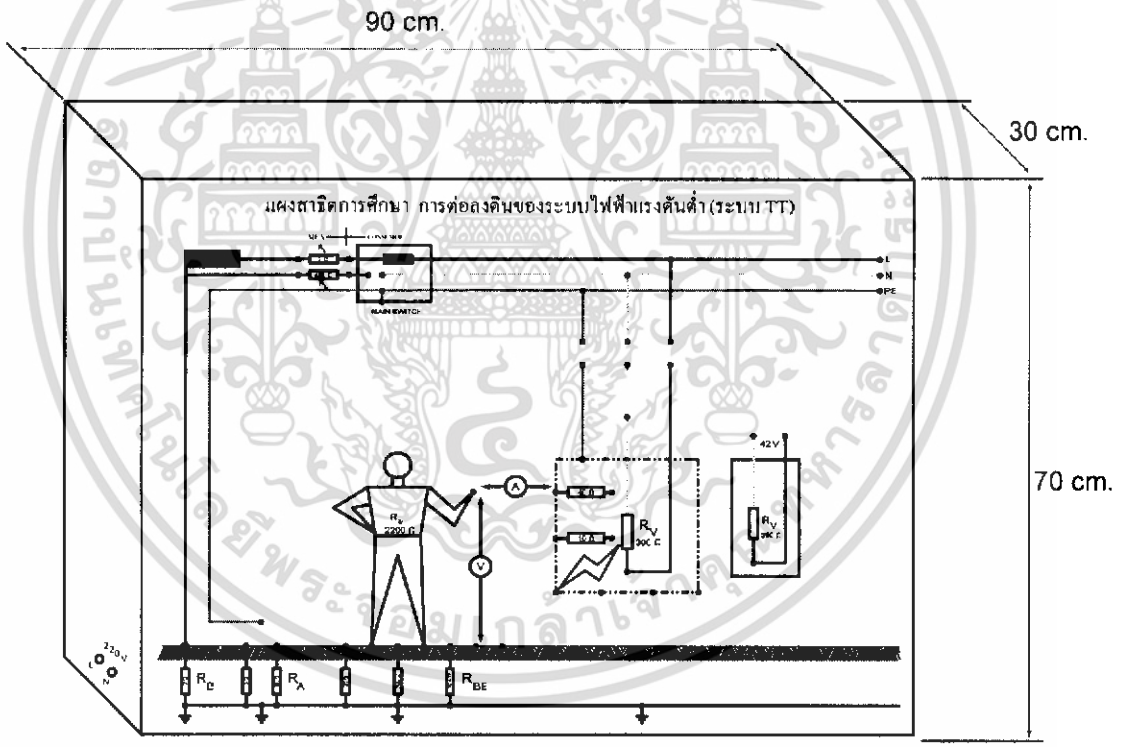
3.1 แผงแสดงสัญลักษณ์ต่าง ๆของชุดสาธิต

3.2 แผงแหล่งจ่ายไฟและอุปกรณ์ป้องกันต่าง ๆ

3.3 อุปกรณ์ภายในชุดสาธิต

3.1 แผงแสดงสัญลักษณ์ต่าง ๆของชุดสาธิตการศึกษาการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ

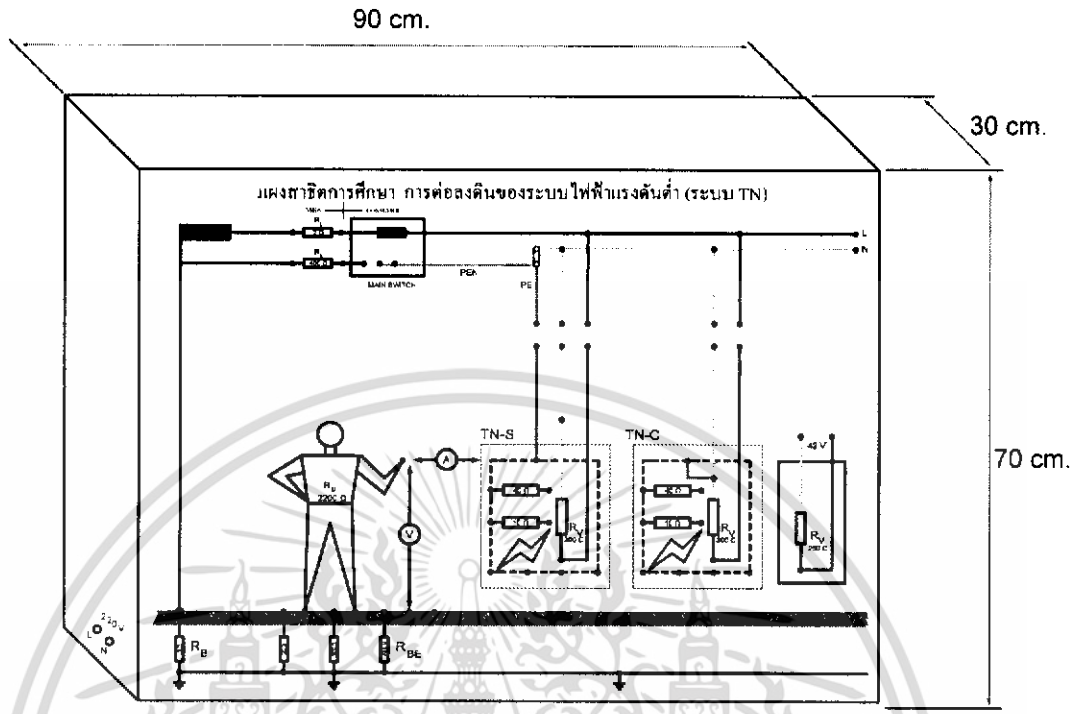
3.1.1 ระบบ TT



รูปที่ 3.1 แผงชุดสาธิตการศึกษาการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ (ระบบ TT)

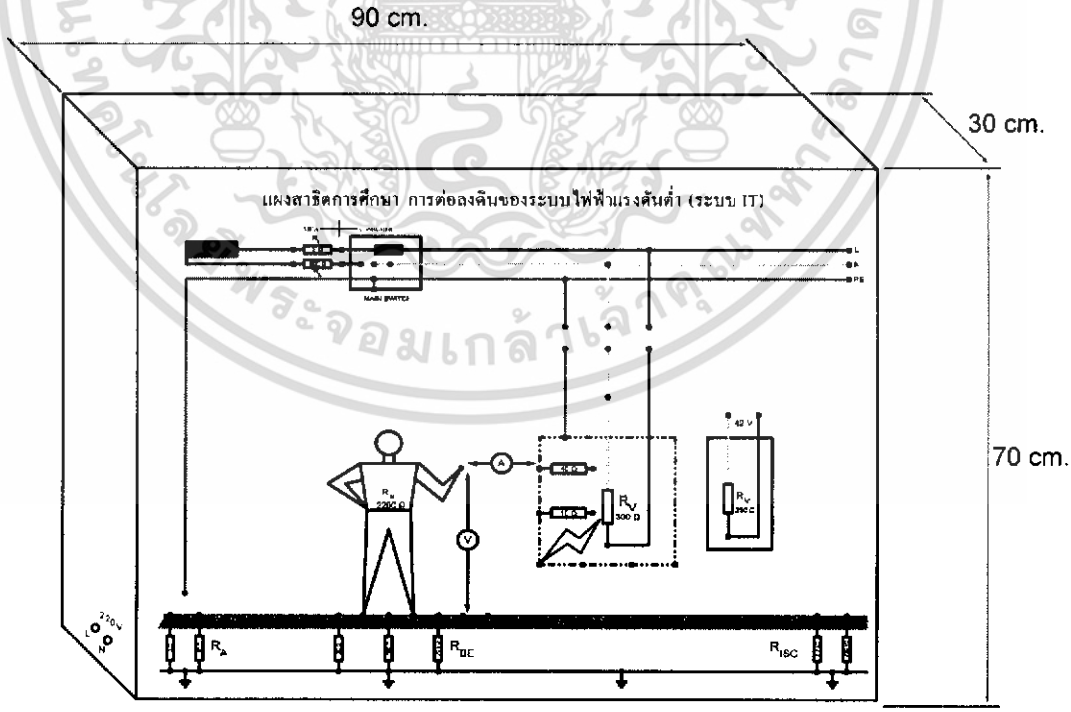
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ระบบ TN



รูปที่ 3.2 แผงชุดสาธิตการศึกษาการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงต่ำ (ระบบ TN)

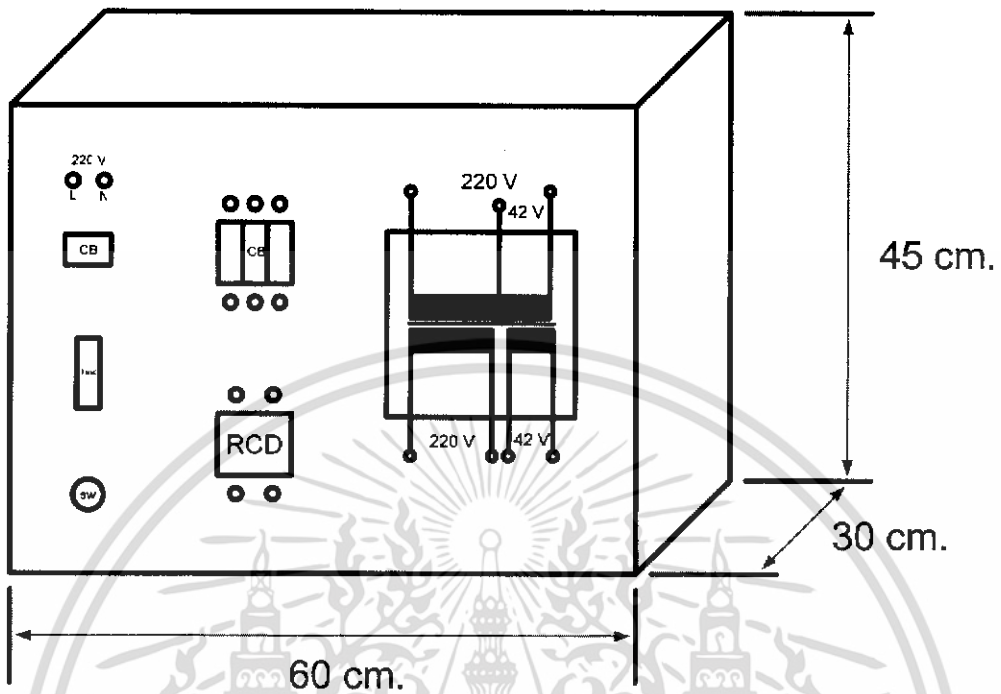
3.1.3 ระบบ IT



รูปที่ 3.3 แผงชุดสาธิตการศึกษาการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงต่ำ (ระบบ IT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 แผงแหล่งจ่ายไฟและอุปกรณ์ป้องกันต่าง ๆ

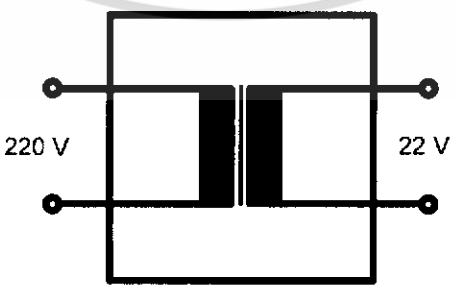


รูปที่ 3.4 แผงแหล่งจ่ายไฟและอุปกรณ์ป้องกันต่างๆ

3.3 อุปกรณ์ภายในชุดสาธิต

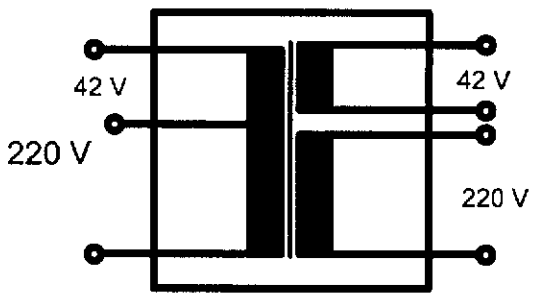
3.3.1 หม้อแปลงไฟฟ้ามีอยู่ 2ตัว

หม้อแปลงตัวแรกเป็นแบบแยกขดขนาด 220/22 V 35A เป็นหม้อแปลงที่จำลองแทนหม้อแปลงการไฟฟ้าโดยลดแรงดันลง 10 เท่า เพื่อป้องกันอันตรายจากผู้ใช้ชุดทดลอง ส่วนหม้อแปลงตัวที่สองเป็นหม้อแปลงแบบขดลวดร่วมกับแบบแยกขดอยู่ในตัวเดียวกัน ซึ่งแบบขดลวดร่วมนั้นมีพิกัดแรงดัน 22/4.2 10A และแบบแยกขดมีพิกัดแรงดัน 22/22/4.2 10A ดังแสดงไว้ดังรูปที่ 3.5 และ 3.6



รูปที่ 3.5 หม้อแปลง 220/22 V 35 A

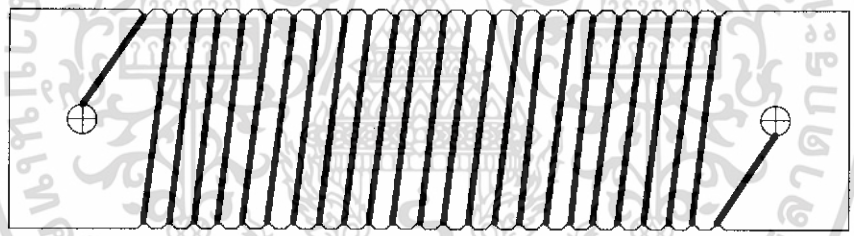
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 หม้อแปลง 22/22/4.2 V 10 A

3.3.2 ตัวต้านทาน

ค่าความต้านทานที่ใช้จริงในวงจรภายในกล่องชุดทดลองจะลดลง 10 เท่า ของค่าที่แสดงไว้ที่แผงทดลอง เนื่องจากเราลดแรงดันลง 10 เท่า เพื่อให้ได้กระแสเท่าเดิมซึ่งความต้านทานบางตัวนั้นใช้กับการทดลองที่ทนกระแสได้สูงๆ ซึ่งหาซื้อได้ยากตามท้องตลาดหรือมีแต่ราคาแพง ดังนั้นต้องออกแบบตัวต้านทานเองโดยใช้ลวดนิโครมเบอร์ต่างๆ พันกับยิปซั่มเพื่อกันความร้อน เช่น ความต้านทาน 0.2,0.3, และ 1 โอห์ม ใช้ลวดนิโครมเบอร์ 16 ส่วนค่าความต้านทาน 4 และ 6 โอห์ม ใช้ลวดนิโครมเบอร์ 18 เป็นต้น



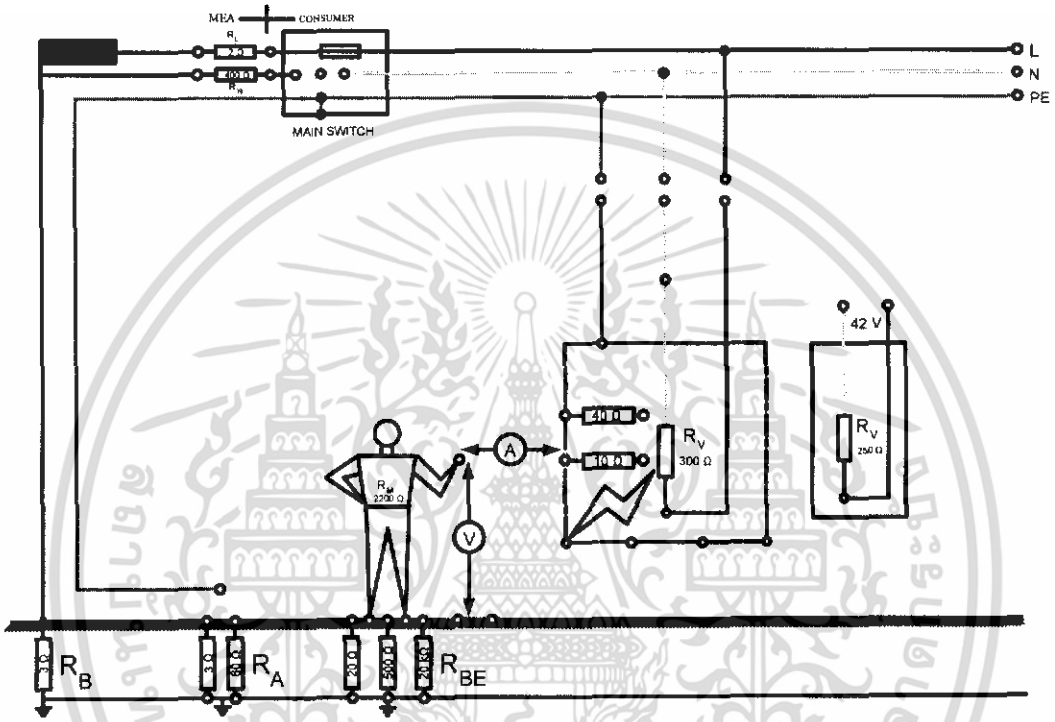
รูปที่ 3.7 ตัวต้านทานกระเบื้องยิปซั่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง
4.1 ใบงานการทดลองของระบบไฟฟ้า TT [9]

แผงสาธิตการศึกษาการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำระบบ TT

แผงสาธิตการศึกษา การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ(ระบบ TT)



รูปที่ 4.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในแผงสาธิตการทดลองระบบ TT

R_K = ความต้านทานตรงจุดที่เกิดฟอลต์ระหว่างตัวเครื่องใช้กับตัวนำของเครื่องใช้

R_L = ความต้านทานของสายเฟส

R_M = ความต้านทานของคน

R_{BE} = ความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนยืนสัมผัสกับดิน

R_V = ความต้านทานของโหลด

R_B = ความต้านทานของหลักดินต่อดินของระบบไฟฟ้า (System grounding)

R_A = ความต้านทานของหลักดินต่อดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า (Equipment grounding)

R_N = ความต้านทานที่ปรากฏในสายนิวทรัล

I_M = กระแสไหลผ่านตัวคน

V_B = แรงดันสัมผัสตัวคน (Touch Voltage)

V_V = แรงดันตกคร่อมเครื่องใช้ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 การต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าลงดินตามระบบ TT เมื่อค่าความต้านทานของหลักดินต่อดินของอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ตามมาตรฐาน

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นกับคนซึ่งสัมผัสโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเมื่อเกิดไฟฟ้ารั่วอย่างรุนแรงและเครื่องใช้ไฟฟ้าปราศจากการป้องกันของเครื่องตัดวงจรกระแสไฟฟ้ารั่ว ซึ่งค่าความต้านทานของการต่อลงดินของเครื่องใช้ไฟฟ้ามีค่าตามมาตรฐาน ที่ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนยืนสัมผัสกับดิน (R_{BE}) มีค่าต่างๆกัน

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานที่จุดเกิดไฟฟ้ารั่วลงโครง (R_K) = 0 โอห์ม

ค่าความต้านทานของหลักดินต่อดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า (R_A) = 3 โอห์ม

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L) = 2 โอห์ม

ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนยืนสัมผัสกับดิน (R_{BE}) มีค่าต่างๆคือ 20 Ω 500 Ω และ 20 kΩ

ขั้นตอนการทดลอง

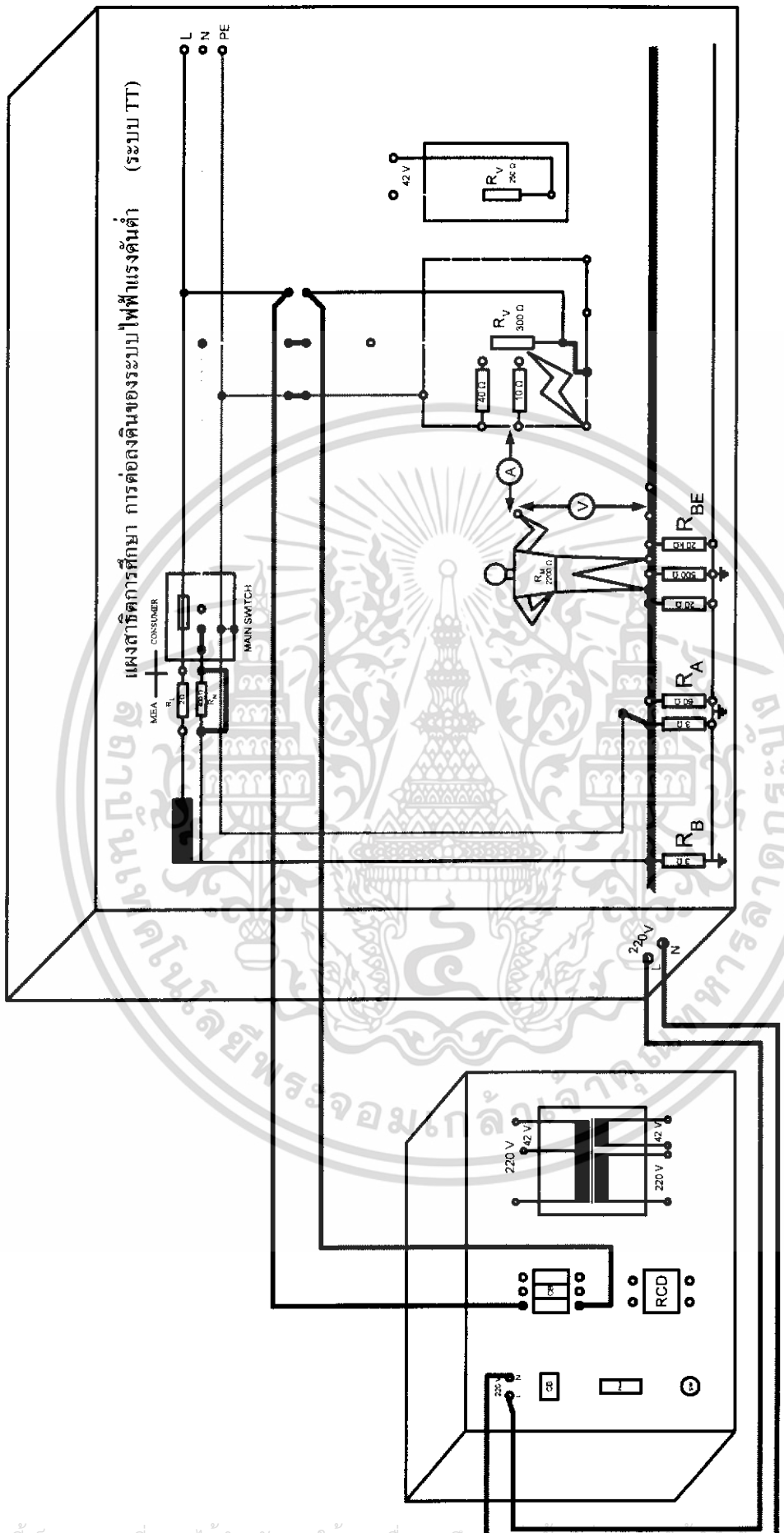
1. ต่อวงจรตามรูปการทดลองที่ 4.2
2. ทำการวัดค่าต่างๆของวงจร

ค่าที่วัดได้

R_{BE} (Ω)	20	500	20k
I_M (mA)	32.96	29.6	3.45
V_B (V)	64.7	59.3	7.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.2 การทดลองที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณหาค่ากระแสไหลผ่านตัวคน (I_M) แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B) เมื่อความต้านทานที่หลักดินต่อดินของอุปกรณ์ไฟฟ้ามีค่าตามมาตรฐาน ที่ความต้านทานระหว่างผิวดินมีค่าต่างๆกัน

$$I_T = I_F + I_M$$

$$I_T = \frac{V}{R_T}$$

$$R_T = \left[R_A // (R_M + R_{BE})\right] + R_L + R_B$$

$$= \left[3 // (2200 + 20)\right] + 2 + 3$$

$$= 8\ \Omega$$

$$I_T = 27.5\ A$$

กระแสไหลผ่านตัวคน (I_M) $= (I_T \times R_A)/(R_M + R_A + R_{BE})$

$$= \frac{(27.5 \times 3)}{(2200 + 3 + 20)}$$

$$= 37.11\ mA$$

แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B) $= I_M \times R_M$

$$= 37.11 \times 10^{-3} \times 2200$$

$$= 81.64\ V$$

ค่าที่ได้จากการคำนวณ

R_{BE} (Ω)	20	500	20k
I_M (mA)	37.11	30.52	3.72
V_B (V)	81.64	67.15	8.18

สรุปผลการทดลอง

ถ้ามนุษย์เราทำการต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าลงดินแล้ว โดยที่ค่าความต้านทานหลักดินต่อดินของอุปกรณ์ไฟฟ้ามีค่าตามมาตรฐานแล้ว ค่าของกระแสจะเปลี่ยนแปลงตามค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนยืนสัมผัสกับดิน ถ้าค่าความต้านทานของดินต่ำ (พื้นเปียก , พื้นคอนกรีต) แรงดันตกคร่อมตัวคนจะมีค่ามากที่สุด และในกรณีที่ค่าความต้านทานระหว่างคนกับดินมีค่าสูงจะมีกระแสไหลผ่านตัวคนน้อยที่สุด แต่ในกรณีนี้ค่าของกระแสไฟฟ้าฟอลต์มีค่าสูงมากจึงทำให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ตัดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าลงดินตามระบบ TT เมื่อค่าความต้านทานของหลักดินต่อดินของอุปกรณ์ไฟฟ้าไม่ได้ตามมาตรฐาน

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นกับคนซึ่งสัมผัสโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเมื่อเกิดไฟฟ้ารั่วอย่างรุนแรงและเครื่องใช้ไฟฟ้าปราศจากการป้องกันของเครื่องตัดวงจรกระแสไฟฟ้ารั่ว ซึ่งค่าความต้านทานของการต่อลงดินของเครื่องใช้ไฟฟ้ามีค่าไม่ได้ตามมาตรฐาน ที่ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนยืนสัมผัสกับดิน (R_{BE}) มีค่าต่าง ๆกัน

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานที่จุดเกิดไฟฟ้ารั่วลงโครง (R_K) = 0 โอห์ม

ค่าความต้านทานของหลักดินต่อดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า (R_A) = 60 โอห์ม

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L) = 2 โอห์ม

ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนยืนสัมผัสกับดิน (R_{BE}) มีค่าต่าง ๆคือ 20 Ω 500 Ω และ 20 kΩ

ขั้นตอนการทดลอง

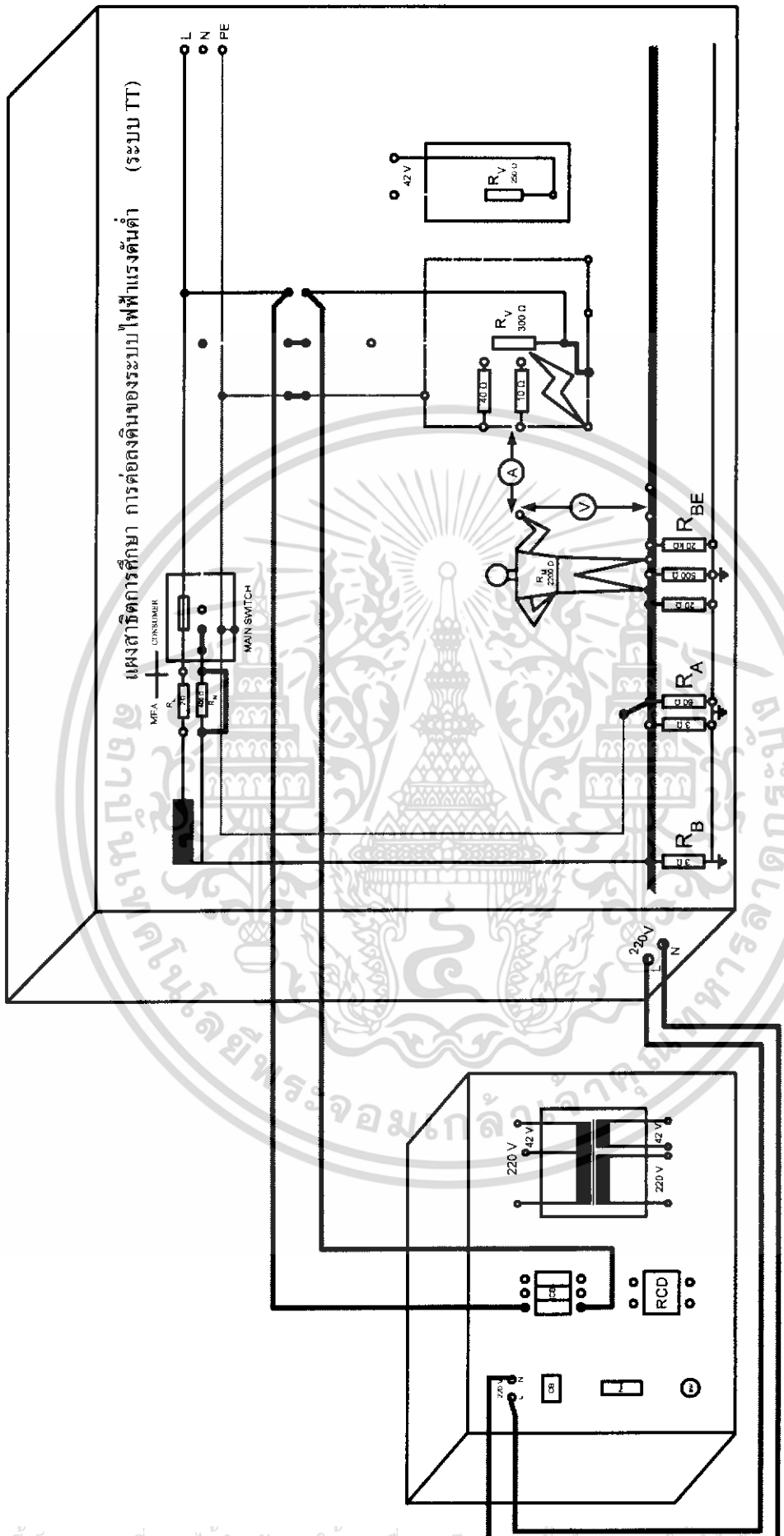
1. ต่อวงจรตามรูปการทดลองที่ 4.3
2. ทำการวัดค่าต่าง ๆของวงจร

ค่าที่วัดได้

R_{BE} (Ω)	20	500	20k
I_M (mA)	96.8	77.8	8.59
V_B (V)	182.5	147.2	18.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.3 การทดลองที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณหาค่ากระแสไหลผ่านตัวคน (I_M) แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B) เมื่อความต้านทานที่หลักดินต่อดินของอุปกรณ์ไฟฟ้ามีค่าไม่ได้ตามมาตรฐาน ที่ความต้านทานระหว่างผิวดินมีค่าต่างๆกัน

$$I_T = I_F + I_M$$

$$I_T = \frac{V}{R_T}$$

$$R_T = \left[R_A // (R_M + R_{BE}\right] + R_L + R_B$$

$$= \left[60 // (2200 + 20)\right] + 2 + 3$$

$$= 63.42\ \Omega$$

$$I_T = 3.47A$$

$$\text{กระแสไหลผ่านตัวคน } (I_M) = (I_T \times R_A)/(R_M + R_A + R_{BE})$$

$$= \frac{(3.47 \times 60)}{(2200 + 60 + 20)}$$

$$= 91.31\ mA$$

$$\text{แรงดันตกคร่อมตัวคน } (V_B) = I_M \times R_M$$

$$= 91.31 \times 10^{-3} \times 2200$$

$$= 200.88\ V$$

ค่าที่ได้จากการคำนวณ

R_{BE} (Ω)	20	500	20k
I_M (mA)	91.31	75.43	9.35
V_B (V)	200.88	165.95	20.57

สรุปผลการทดลอง

เมื่อความต้านทานของหลักดินต่อดินของอุปกรณ์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นนั้น จะเห็นได้ว่าค่าของกระแสที่ไหลผ่านตัวคน (I_M) เริ่มมีค่าเพิ่มมากขึ้นซึ่งทำให้แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B) มีค่าเพิ่มขึ้นตามด้วย ซึ่งค่ากระแสมีค่าน้อยจึงไม่ทำให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ตัดวงจร แต่กระแสไฟฟ้าก็มีค่าที่เป็นอันตรายต่อตัวคน เราจึงควรติดตั้งติดตั้งเครื่องตัดวงจรกระแสไฟฟ้ารั่วเพื่อเป็นการป้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การต่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้า TT เมื่อไม่ได้ต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าลงดินซึ่งเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดการรั่วลงโครงอย่างรุนแรง

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาถึงผลที่เกิดขึ้นกับคนซึ่งสัมผัสโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เกิดการรั่วอย่างรุนแรง และเครื่องใช้ไฟฟ้าไม่ได้ทำการต่อลงดินไว้

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานที่จุดเกิดไฟฟ้ารั่วลงโครง (R_K) = 0 โอห์ม

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L) = 2 โอห์ม

ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนยืนสัมผัสกับดิน (R_{BE}) มีค่าต่างๆคือ 20 Ω 500 Ω และ 20 kΩ

ขั้นตอนการทดลอง

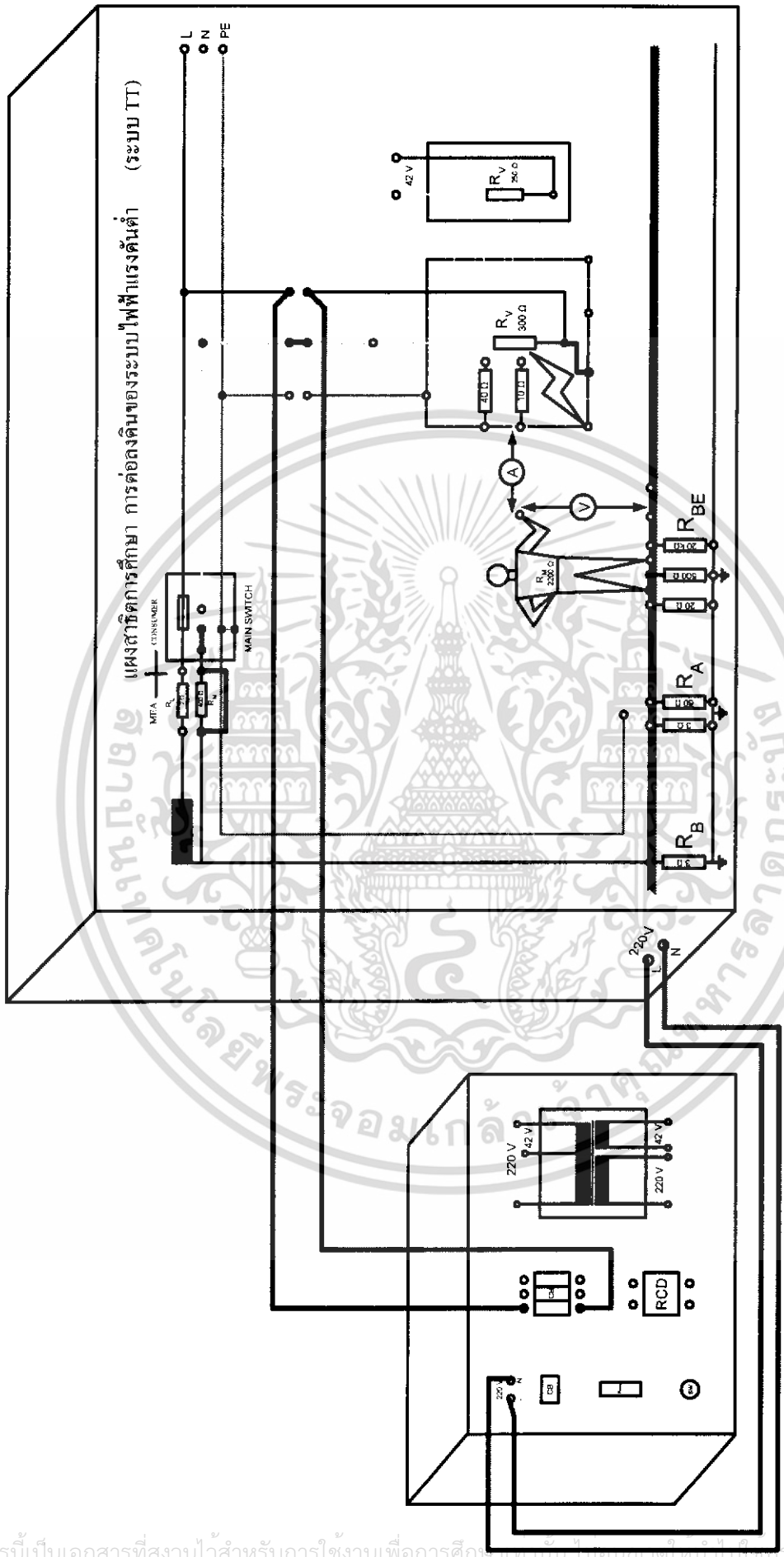
1. ต่อวงจรตามรูปการทดลองที่ 4.4
2. ทำการวัดค่าต่างๆของวงจร

ค่าที่วัดได้

R_{BE} (Ω)	20	500	20k
I_M (mA)	114.8	92.1	10.13
V_B (V)	215.9	173.8	21.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.4 การทดลองที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณกระแส I_M ซึ่งไหลผ่านตัวคนและแรงดันตกคร่อมตัวคน V_B

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

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

= $81.33 \quad mA$

แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B) = $I_M \times R_M$

= $81.33 \times 10^{-3} \times 2200$

= $178.93 \ V$

ค่าที่ได้จากการคำนวณ

R_{BE} (Ω)	20	500	20k
I_M (mA)	98.88	81.33	9.91
V_B (V)	217.53	178.93	21.80

สรุปผลการทดลอง

เมื่อเราไม่ต่อโครงโลหะของอุปกรณ์ไฟฟ้าลงดินแล้ว ถ้าเกิดฟอลต์ลงโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าอย่างรุนแรง แรงดันตกคร่อมตัวคนจะมีค่าสูงเกินกว่ามาตรฐาน (50V) ที่ค่าความต้านทานระหว่างผิวดิน 500 Ω และ 20 Ω กระแสที่ไหลผ่านตัวคน ไม่สามารถทำให้เซอร์กิตเบรคเกอร์เปิดวงจรได้จึงเป็นอันตรายต่อคนที่สัมผัสโครงโลหะถึงชีวิต ส่วนที่ค่าความต้านทานพื้นดิน 20 kΩ นั้นยังอยู่ในโซนของกระแสที่ปลอดภัย เราจึงควรติดตั้งเครื่องตัดวงจรกระแสไฟฟ้ารั่วเพื่อเป็นการป้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 การต่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้า TT เมื่อไม่ได้ต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าลงดินซึ่งเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดการรั่วลงโครงอย่างไม่รุนแรง

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาถึงผลที่เกิดขึ้นกับคนซึ่งสัมผัสโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เกิดการรั่วอย่างไม่รุนแรง และเครื่องใช้ไฟฟ้าไม่ได้ทำการต่อลงดินไว้

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานที่จุดเกิดไฟฟ้ารั่วลงโครง (R_K) = 40 โอห์ม

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L) = 2 โอห์ม

ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนยืนสัมผัสกับดิน (R_{BE}) มีค่าต่าง ๆคือ 20 Ω 500 Ω และ 20 kΩ

ขั้นตอนการทดลอง

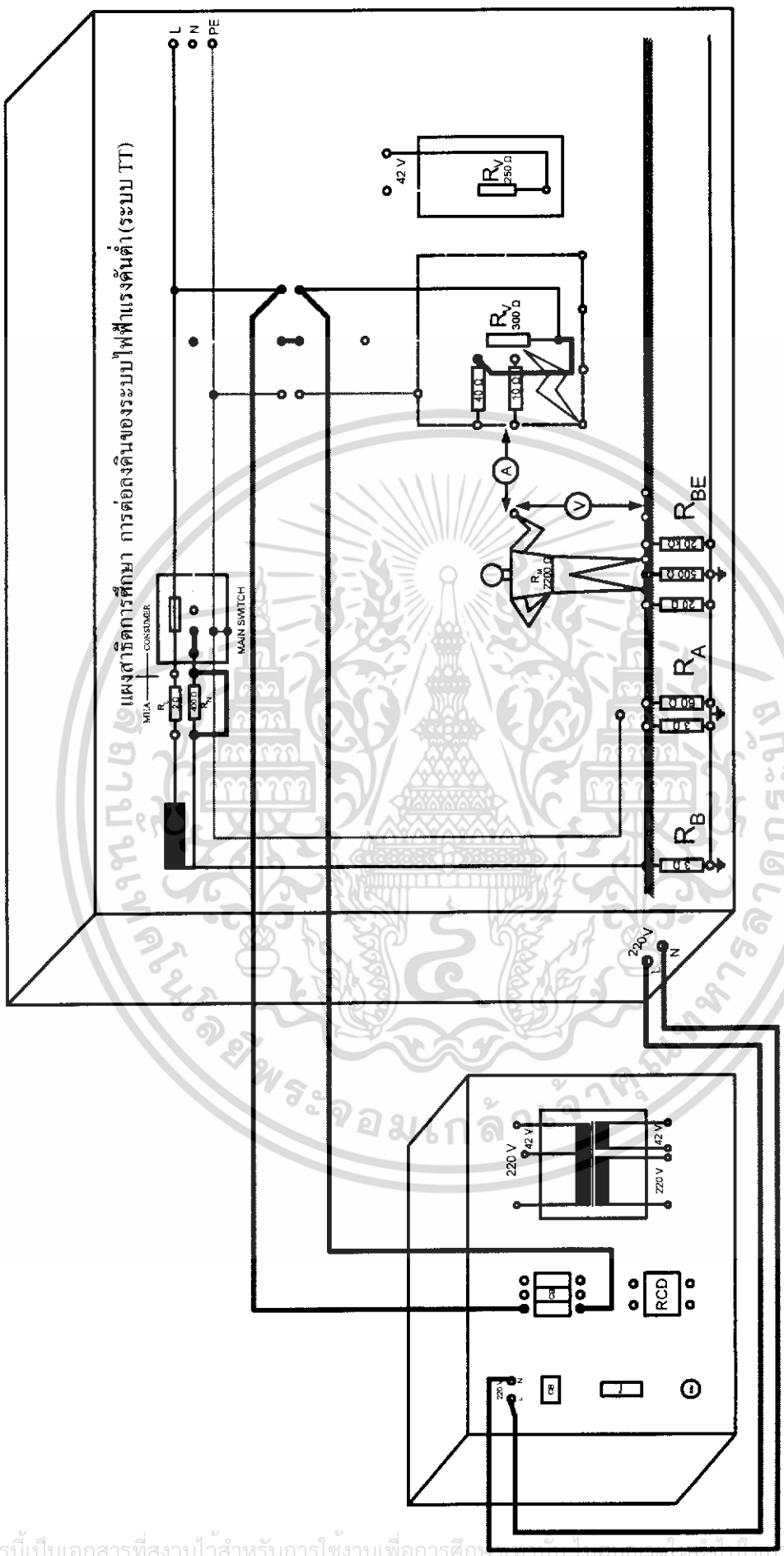
1. ต่อวงจรตามรูปการทดลองที่ 4.5
2. ทำการวัดค่าต่างๆของวงจร

ค่าที่วัดได้

	R_K = 40 Ω		
R_{BE} (Ω)	20	500	20k
I_M (*mA*)	112.3	90.5	10.1
V_B (*V*)	210	170.7	21.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.5 การทดลองที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณกระแส I_M ซึ่งไหลผ่านตัวคนและแรงดันตกคร่อมตัวคน V_B

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

= $\dfrac{220}{2 + 2200 + 20 + 3 + 40}$

= $97.13 \quad mA$

แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B) = $I_M \times R_M$

= $97.13 \times 10^{-3} \times 2200$

= $213.69 \quad V$

ค่าที่ได้จากการคำนวณ

	R_K = 40 Ω		
R_{BE} (Ω)	20	500	20k
I_M (mA)	97.13	80.15	9.89
V_B (V)	213.69	176.33	21.76

สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองที่ 4 นั้นคล้ายกับผลการทดลองที่ 3 แต่ค่าของกระแสที่ไหลผ่านตัวคน และแรงดันที่ตกคร่อมตัวคนนั้นมีค่าลดลงซึ่งถ้าค่าความต้านทานที่จุดเกิดไฟฟ้ารั่วลงโครง (R_K) มีค่ามากขึ้นแล้วก็จะทำให้อันตรายที่จะเกิดขึ้นกับผู้ที่สัมผัสโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าลดลงได้ เราจึงควรติดตั้งเครื่องตัดวงจรกระแสไฟฟ้ารั่วเพื่อเป็นการป้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 การต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายนิวทรัล เมื่อระบบไฟฟ้าเป็นแบบระบบ TT ซึ่งเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงอย่างรุนแรง

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายนิวทรัลของระบบไฟฟ้า TT ซึ่งเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงอย่างรุนแรง

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานที่จุดเกิดไฟฟ้ารั่วลงโครง (R_K) = 0 โอห์ม

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L) = 2 โอห์ม

ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนสัมผัสกับดิน (R_{BE}) = 500 โอห์ม

ขั้นตอนการทดลอง

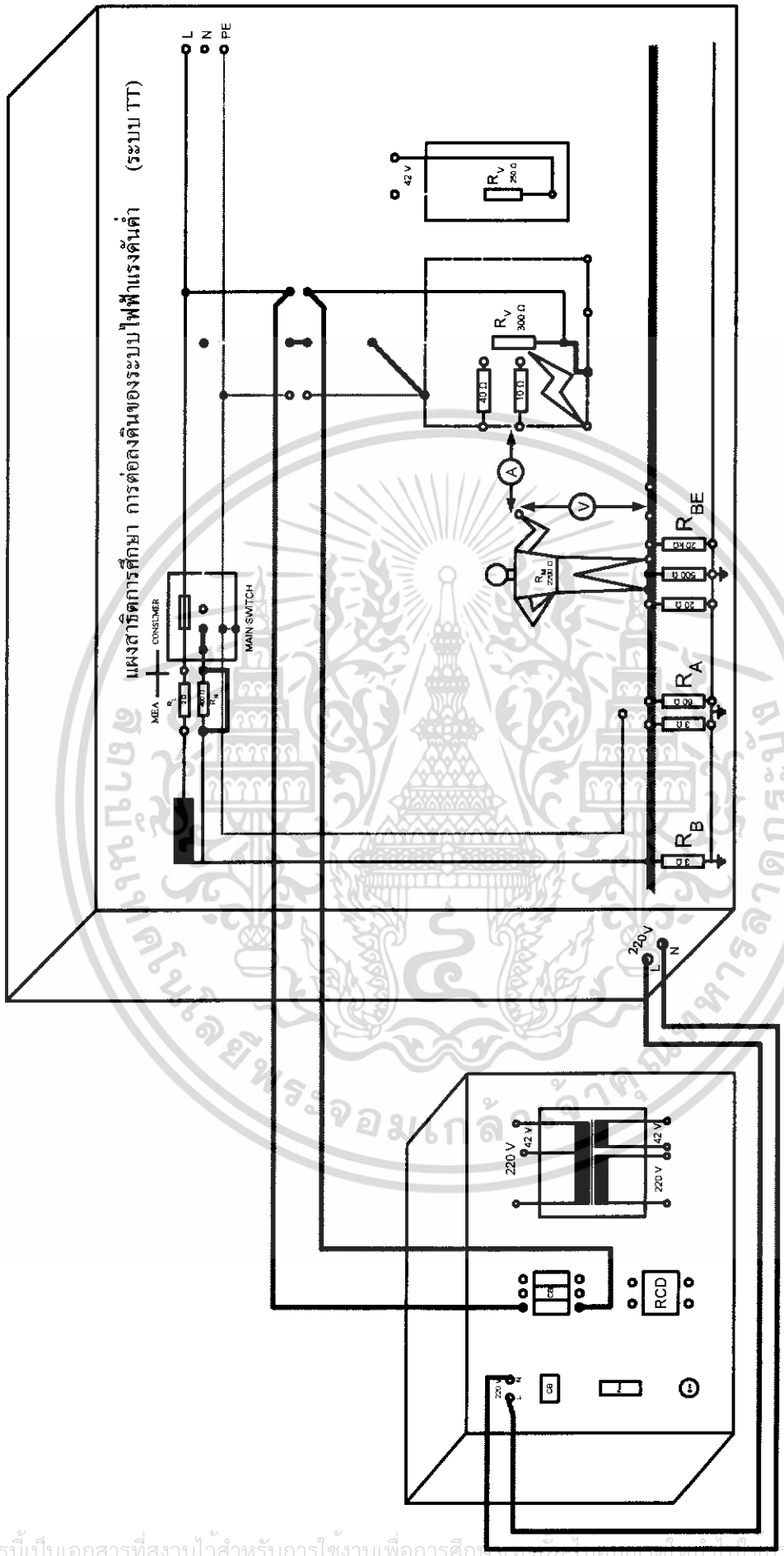
1. ต่อวงจรตามรูปการทดลองที่ 4.6
2. ทำการวัดค่าต่าง ๆของวงจร

I_M = 0 mA

V_B = 0 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.6 การทดลองที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณหาค่ากระแสลัดวงจร

กระแสลัดวงจร I_{SC} = $\frac{V}{R_L}$

= $\frac{220}{2}$

= 110 A

สรุปผลการทดลอง

เซอร์กิตเบรคเกอร์ตัดวงจรทันที ดังนั้นแรงดันตกคร่อมตัวคนจึงเป็นศูนย์ไม่เป็นอันตรายต่อคนที่ไปสัมผัสตัวโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้า นอกจากนี้ยังไม่เป็นอันตรายต่อไฟไหม้อีกด้วย เพราะเซอร์กิตเบรคเกอร์ตัดวงจรอย่างรวดเร็ว เนื่องจากกระแสไฟฟ้ามีค่ามาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6 การต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายนิวทรัลของระบบไฟฟ้า TT ซึ่งเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงอย่างไม่รุนแรง

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายนิวทรัลของระบบไฟฟ้า TT ซึ่งเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงอย่างไม่รุนแรง

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

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

ขั้นตอนการทดลอง

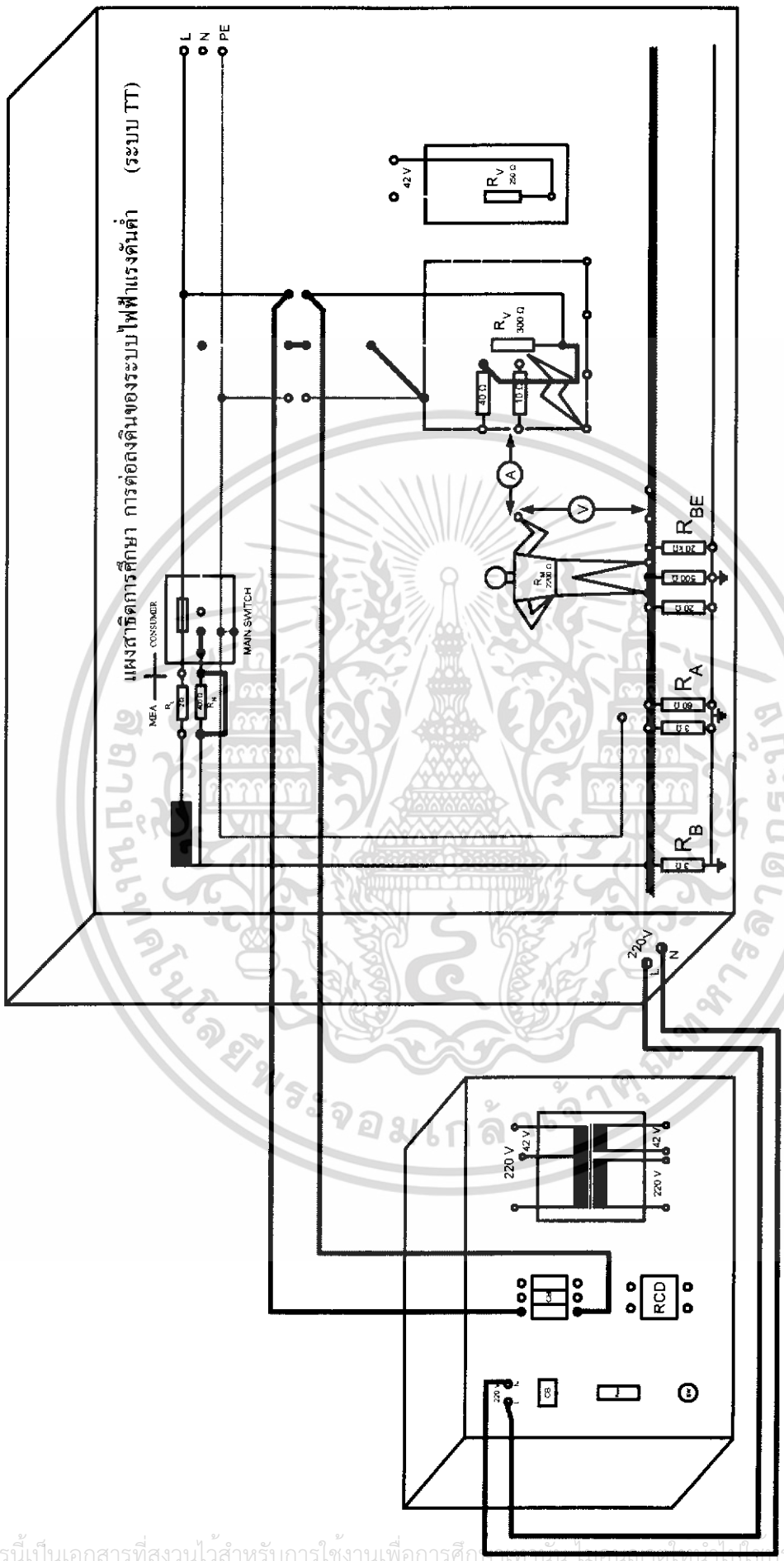
1. ต่อวงจรตามรูปการทดลองที่ 4.7
2. ทำการวัดค่าต่างๆของวงจร

$I_M = 1.5\ mA$

$V_B = 0.3\ V$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.7 การทดลองที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณหาค่ากระแสลัดวงจร

$$\text{กระแสฟอลต์ } I_F = \frac{V}{R_K + R_L}$$

$$= \frac{220}{40+2}$$

$$= 5.24 \ A$$

$$\text{แรงดันฟอลต์ } V_F = 220 \ V$$

สรุปผลการทดลอง

เซอร์กิตเบรคเกอร์ไม่ตัดวงจรเพราะปริมาณของกระแสฟอลต์ไม่เพียงพอที่จะทำให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ตัดวงจรได้ดังนั้นจึงอาจเกิดอันตรายจากไฟไหม้ได้แต่จะไม่เป็นอันตรายต่อคนที่สัมผัสเครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งแรงดันที่ตกคร่อมและกระแสที่ไหลผ่านร่างกายมีค่าน้อยมากๆ จนทำให้ โวลท์มิเตอร์และแอมมิเตอร์ไม่สามารถวัดค่าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.7 การป้องกันระบบไฟฟ้า TT โดยการใช้แรงดันต่ำ 42 โวลท์ จากหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแยกขด และโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าไม่ได้ต่อลงดิน

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการป้องกันโดยใช้แรงดันต่ำ 42 โวลท์ จากหม้อแปลงแบบแยกขดจ่ายให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้า 42 โวลท์ และเมื่อมีคนไปสัมผัสเครื่องใช้ไฟฟ้าในขณะที่เครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงอย่างรุนแรงและโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าไม่ได้ต่อลงดิน

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานที่จุดเกิดไฟฟ้ารั่วลงโครง (R_K) = 0 โอห์ม

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L) = 2 โอห์ม

ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนสัมผัสกับดิน (R_{BE}) = 500 โอห์ม

ขั้นตอนการทดลอง

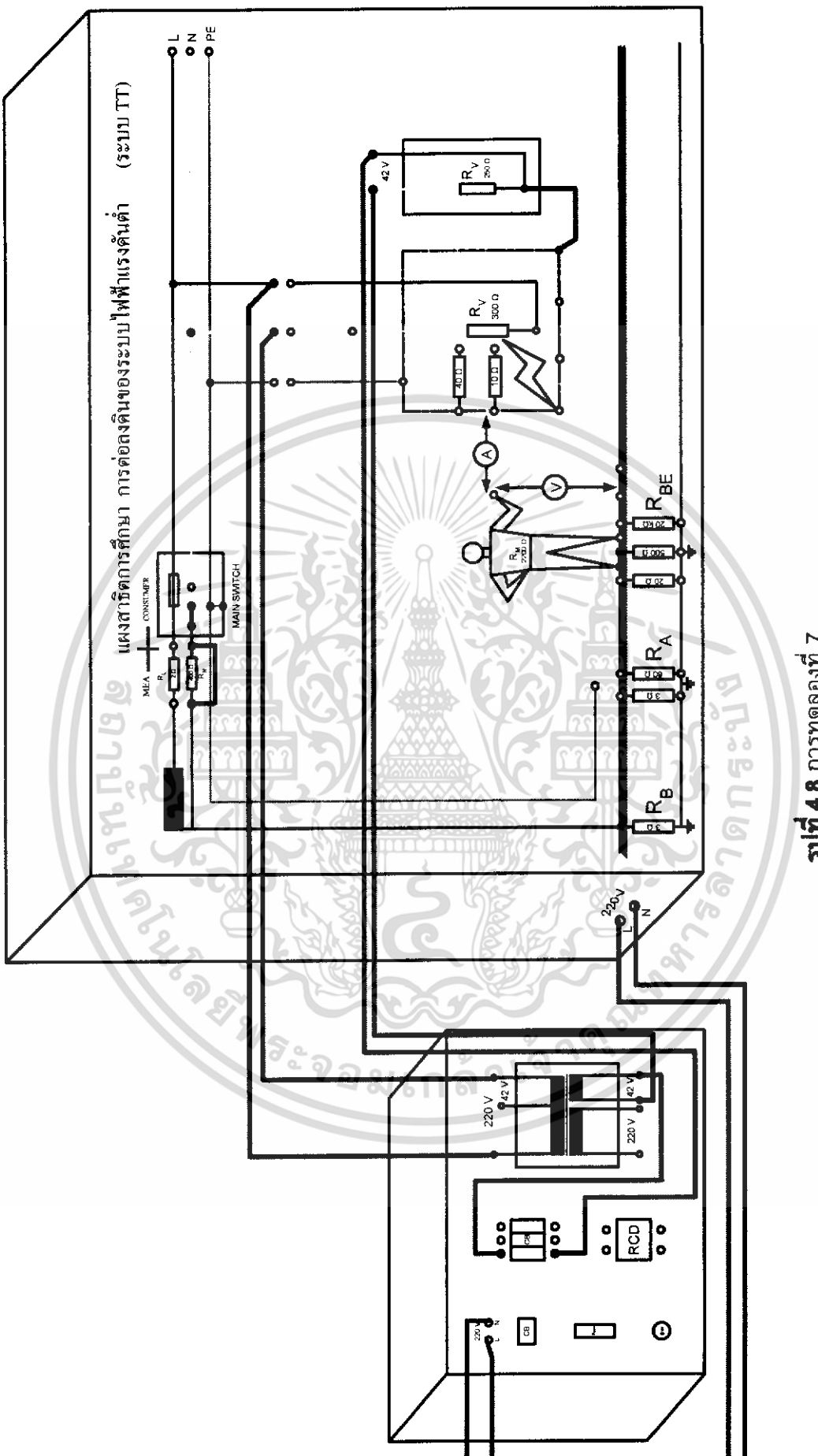
1. ต่อวงจรตามรูปการทดลองที่ 4.8
2. ทำการวัดค่าต่าง ๆของวงจร

แรงดันจ่ายให้เครื่องใช้ V_V = 42 V

แรงดันคร่อมตัวคน V_B = 0 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.8 การทดลองที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

เมื่อเกิดไฟฟ้าลัดวงจรลงตัวเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้กับแรงดันต่ำ แรงดันตกคร่อมตัวคนจะไม่ปรากฏขึ้น เนื่องจากว่าแรงดันต่ำทางขดทุติยภูมิของหม้อแปลงไม่ได้ต่อลงดินจึงไม่มีกระแสฟอลต์ไหลผ่านตัวเครื่องใช้ไฟฟ้าลงดิน ผลก็คือไม่เกิดอันตรายต่อผู้สัมผัสตัวเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เกิดฟอลต์นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.8 การป้องกันของระบบไฟฟ้า TT โดยการใช้แรงดันต่ำ 42 โวลท์ จากหม้อแปลงไฟฟ้า แบบแยกขดโดยที่สายเฟสด้านแรงสูงแตะกับปลายสายด้านแรงต่ำ เนื่องจากฉนวนของหม้อแปลงชำรุดและโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าไม่ได้ต่อลงดิน

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการป้องกันของระบบไฟฟ้า TT โดยการใช้แรงดันต่ำ 42 โวลท์ จากหม้อแปลงแบบแยกขดโดยที่สายเฟสด้านแรงดันสูงแตะกับปลายสายทางด้านแรงดันต่ำ เนื่องจากฉนวนของหม้อแปลงชำรุด และผลที่จะเกิดขึ้นกับคน เมื่อสัมผัสโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้า เมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้ารั่วอย่างรุนแรง และโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าไม่ได้ต่อลงดิน

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

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

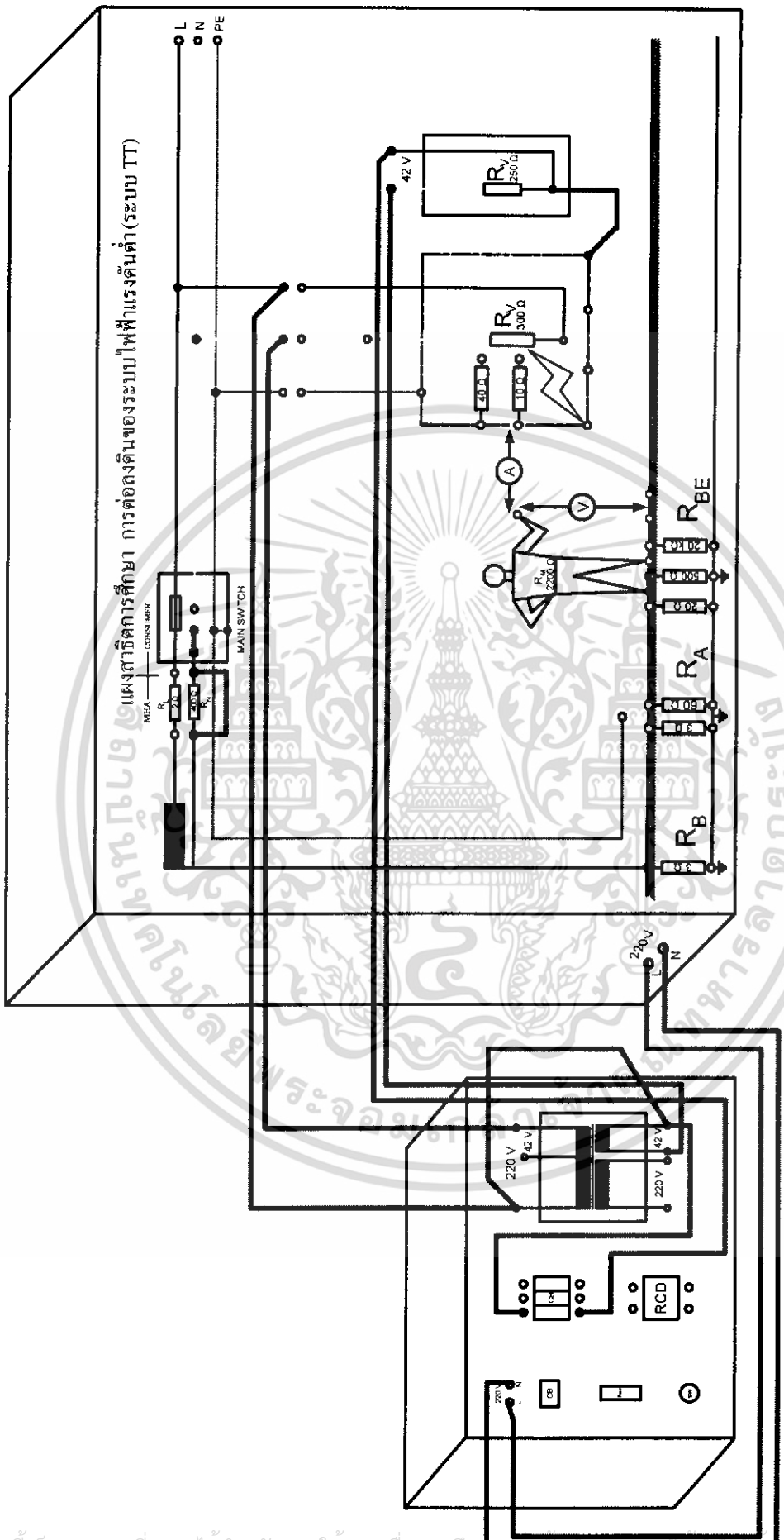
ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูปแบบการทดลองที่ 4.9
2. ทำการวัดค่าต่าง ๆของวงจรการทดลอง

กระแสไหลผ่านตัวคน I_M	=	92.8	*mA*
แรงดันคร่อมตัวคน V_B	=	175	*V*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.9 การทดลองที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณกระแสไหลผ่านตัวคน (I_M) และแรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B)

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

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

= $81.33 \ mA$

แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B) = $I_M \times R_M$

= $81.33 \times 10^{-3} \times 2200$

= $178.93 \ V$

สรุปผลการทดลอง

การที่ฉนวนของหม้อแปลงชำรุดทำให้สายด้านแรงดันสูง แตะกับปลายสายด้านแรงดันต่ำ และโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าไม่ได้ทำการต่อสายดินไว้มีผลทำให้เกิดอันตรายแก่ผู้สัมผัสด้านเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เกิดฟอลต์นี้ ดังนั้นจึงควรมีการต่อสายดินป้องกันที่โครงของเครื่องใช้ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.9 การป้องกันของระบบไฟฟ้า TT โดยการใช้แรงดันต่ำ 42 โวลท์ จากหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแยกขดโดยที่สายเฟสด้านแรงสูงแตะกับปลายสาย ด้านแรงต่ำเนื่องจากฉนวน ของหม้อแปลงชำรุด และโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าได้มีการต่อลงดิน

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการป้องกันของระบบไฟฟ้า TT โดยการใช้แรงดันต่ำ 42 โวลท์ จากหม้อแปลงแบบแยกขดโดยที่สายเฟสด้านแรงสูง แตะกับปลายทางด้านแรงต่ำเนื่องจากฉนวนของหม้อแปลงชำรุด และผลที่จะเกิดขึ้นกับคน เมื่อสัมผัสกับโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้า เมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้ารั่วอย่างรุนแรง และโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ทำการต่อลงดิน

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานที่จุดเกิดไฟฟ้ารั่วลงโครง (R_K)	=	0	โอห์ม
ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L)	=	2	โอห์ม
ค่าความต้านทานของหลักดินต่อดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า (R_A)	=	3	โอห์ม
ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนสัมผัสกับดิน (R_{BE})	=	500	โอห์ม

ขั้นตอนการทดลอง

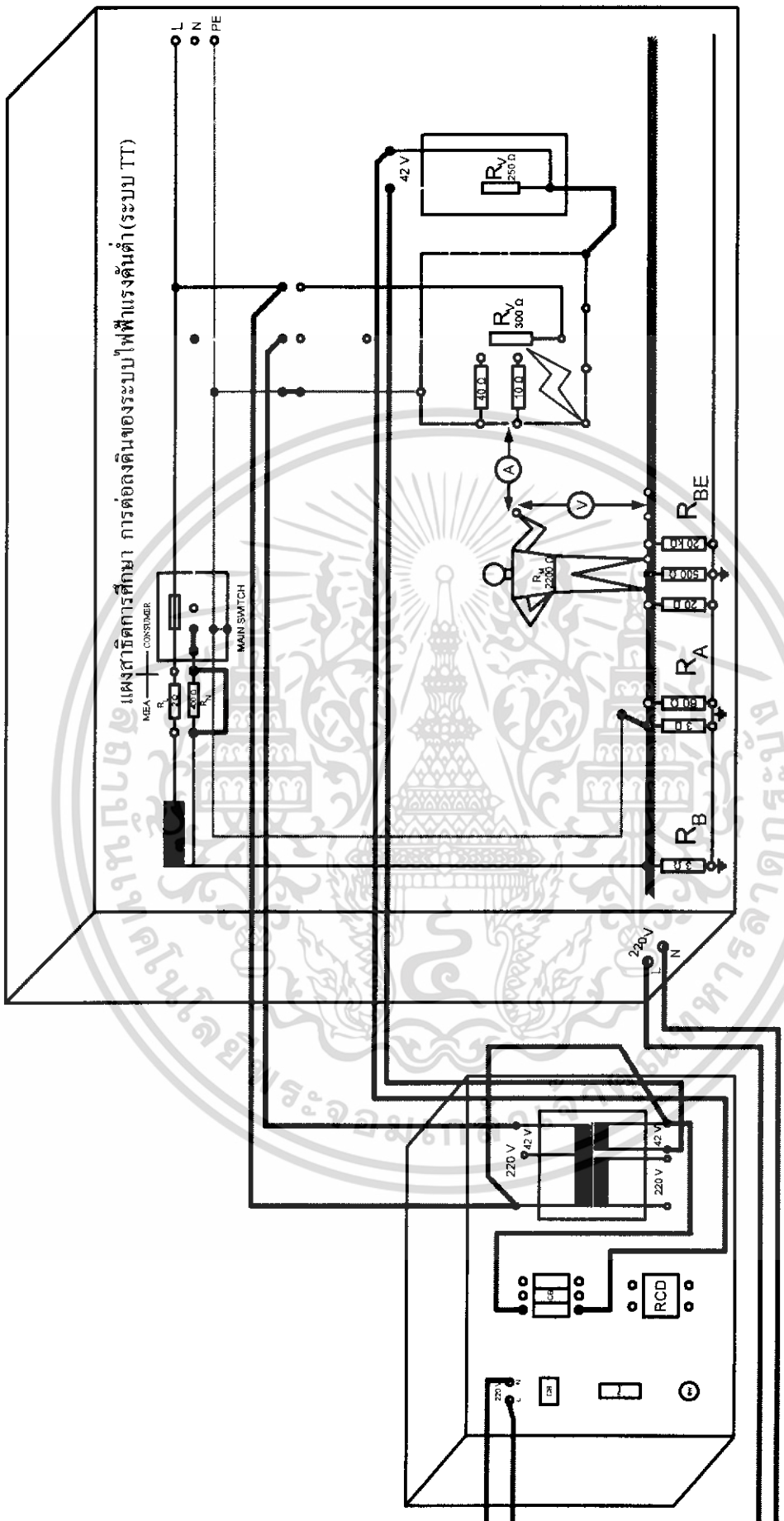
1. ต่อวงจรตามรูปการทดลองที่ 4.10
2. ทำการวัดค่าต่าง ๆของวงจรการทดลอง

I_M = 29.8 mA

V_B = 57 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.10 การทดลองที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณกระแสที่ไหลผ่านตัวคน (I_M) และแรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B)

กระแสไหลผ่านเบรคเกอร์ (I_{CB}) = $\frac{V}{[R_A // (R_M + R_{BE})] + R_L + R_B}$

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

= $27.5 \ A$

กระแสไหลผ่านตัวคน (I_M) = $\frac{(I_T \times R_A)}{R_M + R_{BE} + R_A}$

= $30.5 \ mA$

แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B) = $I_M \times R_M$

= $30.5 \times 10^{-3} \times 2200$

= $67.1 \ V$

สรุปผลการทดลอง

เมื่อเราทำการต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าลงดินแล้วจะเห็นได้ว่า ค่าของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวคนต่ำลงมามากจึงทำให้ไม่เกิดอันตรายถึงชีวิตของผู้สัมผัส แต่อาจเกิดการหายใจลำบากบ้าง ถ้าเราจับค้างไว้นานเกิน 2 วินาที แต่ร่างกายจะสามารถคลายมือออกได้เมื่อสัมผัสโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เกิดฟอลต์นี้ จากการทดลอง CB จะทำการเปิดวงจรที่เวลา 5 วินาที จึงทำให้ลดอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับคนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.10 การป้องกันของระบบไฟฟ้า TT โดยการใช้แรงดันต่ำ 42 โวลท์ จากหม้อแปลงแบบขดร่วมในขณะที่เครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงอย่างรุนแรง

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการป้องกันของระบบไฟฟ้า TT โดยการใช้แรงดันต่ำ 42 โวลท์ จากหม้อแปลงแบบขดร่วม ค่าของกระแสที่ไหลผ่านคนเมื่อสัมผัสโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้า ในขณะที่เครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงอย่างรุนแรง

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานที่จุดเกิดไฟฟ้ารั่วลงโครง (R_K) = 0 โอห์ม

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L) = 2 โอห์ม

ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนสัมผัสกับดิน (R_{BE}) = 500 โอห์ม

ขั้นตอนการทดลอง

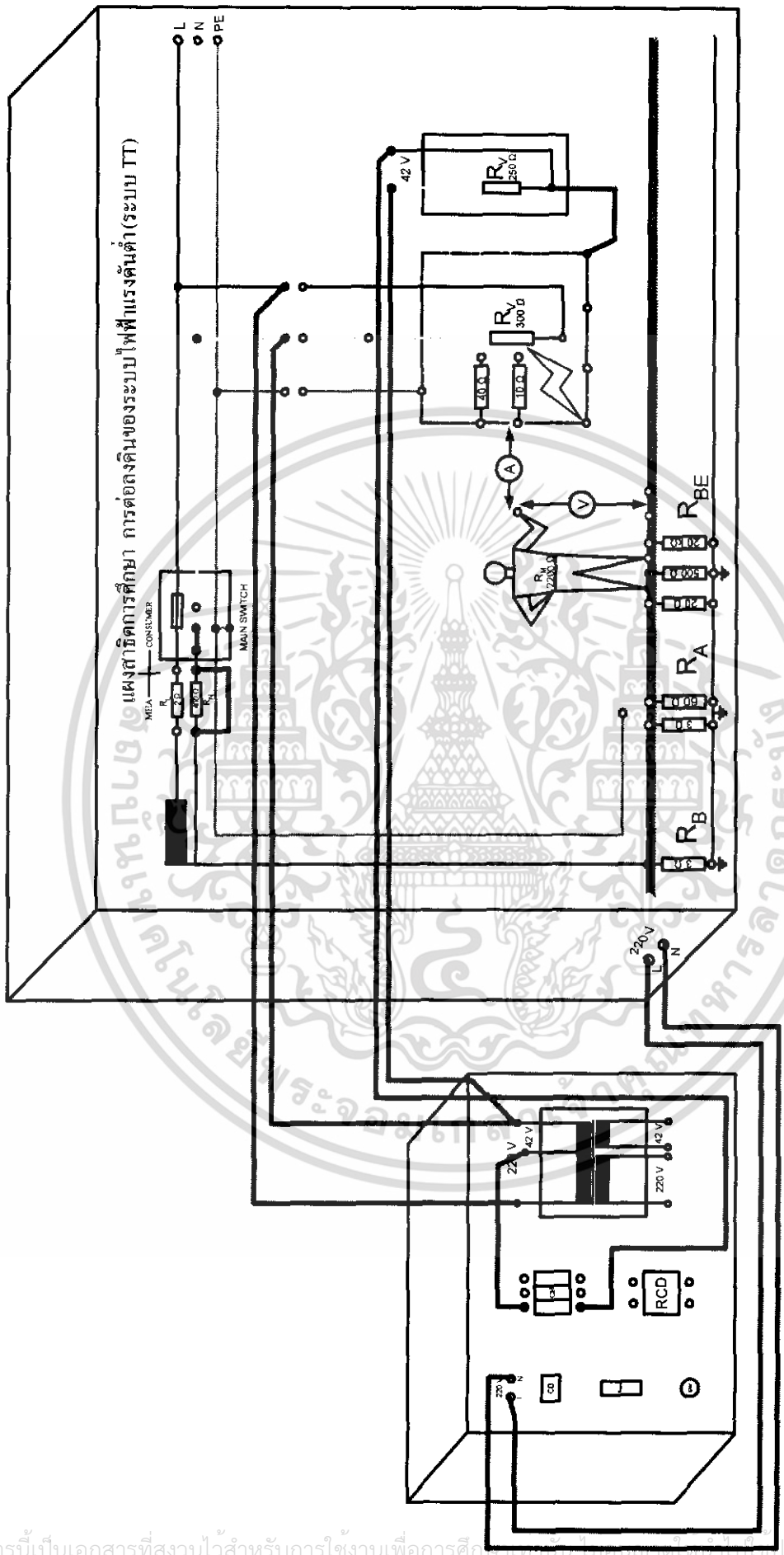
1. ต่อวงจรการทดลองตามรูปการทดลองที่ 4.11
2. วัดกระแสไหลผ่านตัวคน (I_M) และแรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B)

กระแสไหลผ่านตัวคน I_M = 17.2 *mA*

แรงดันคร่อมตัวคน V_B = 34.6 *V*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.11 การทดลองที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณค่าต่าง ๆในวงจรการทดลอง

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

= $\frac{42}{2200 + 500 + 3}$

= 15.54 mA

แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B) = $I_M \times R_M$

= $15.54 \times 10^{-3} \times 2200$

= 34.2 V

สรุปผลการทดลอง

เมื่อเราใช้แรงดันไฟฟ้าด้านแรงดันต่ำ ของหม้อแปลงชนิดขดร่วม (Auto – Transformer) เกิดลัดวงจรลงตัวเครื่องใช้อย่างรุนแรงมีผลทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมและกระแสไหลผ่านตัวคน ซึ่งค่าแรงดันตกคร่อมและกระแสไหลผ่านตัวคนนี้ มีค่าต่ำจึงไม่เป็นอันตรายต่อผู้ที่สัมผัสโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.11 การป้องกันโดยการแยกโหลดออกจากระบบไฟฟ้า TT เมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงอย่างรุนแรง

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการป้องกันโดยการแยกโหลดออกจากระบบไฟฟ้า TT เมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงอย่างรุนแรง และคนมาสัมผัสโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้า

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

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

สำดับขั้นในการทดลอง

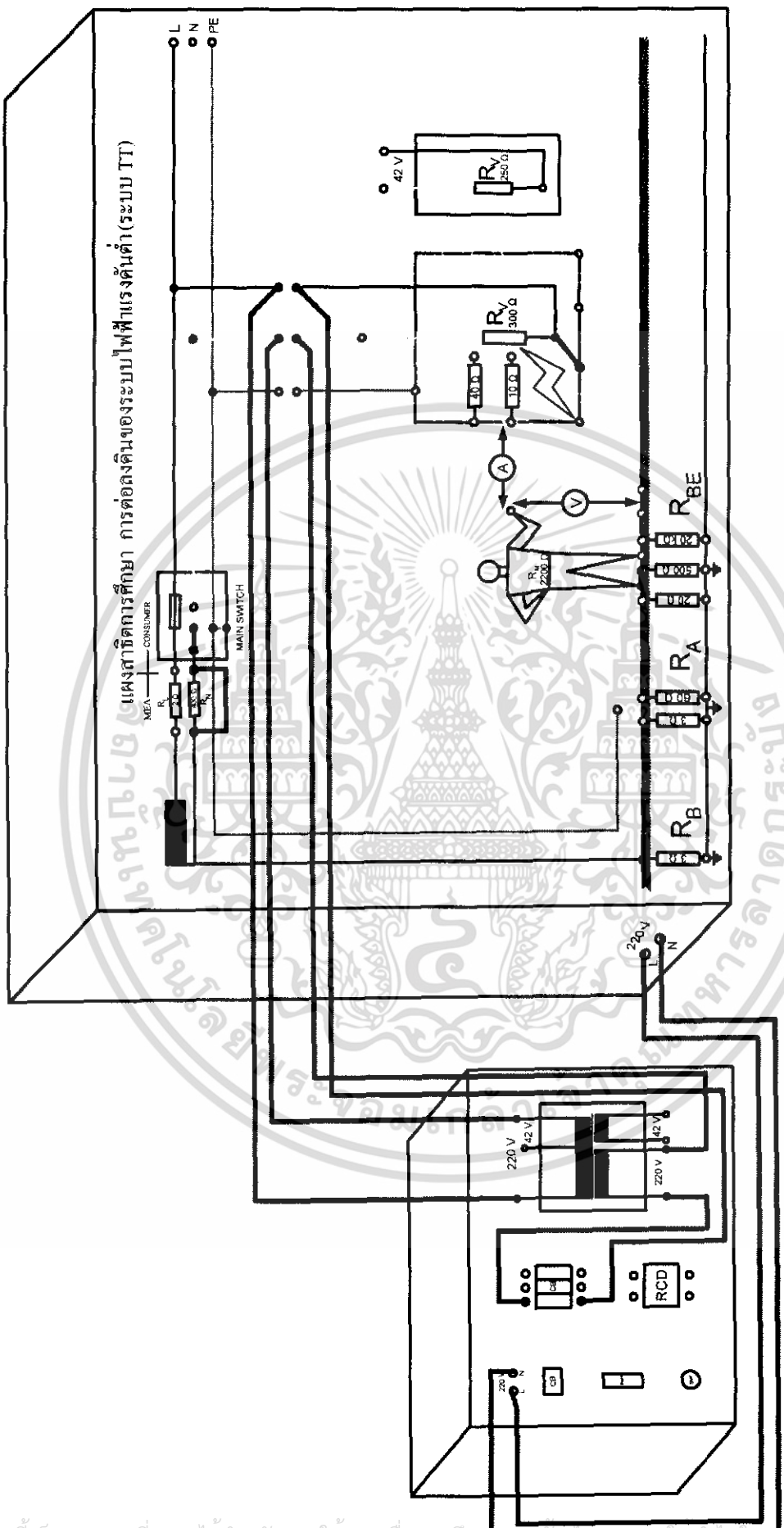
1. ต่อวงจรตามรูปการทดลองที่ 4.12
2. วัดกระแสที่ไหลผ่านตัวคน (I_M) และแรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B)

I_M = 0 V

V_B = 0 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.12 การทดลองที่ 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

การที่เครื่องใช้เกิดฟอลต์อย่างรุนแรง และระบบมีการป้องกันโดยการใช้หม้อแปลงแบบแยกขดที่มีสภาพดี จะไม่เป็นอันตรายต่อคนที่มาสัมผัสโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.12 การป้องกันโดยการแยกโหลดออกจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าระบบ TT เมื่อเกิดรั่วสองแห่งอย่างรุนแรงทางด้านทุติยภูมิ

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการป้องกันโดยการแยกโหลดออกจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าระบบ TT และเมื่อสายอีกด้านหนึ่งของหม้อแปลงด้านทุติยภูมิ เกิดการรั่วลงพื้นที่เป็นโลหะที่คนทำงานอยู่และเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วอย่างรุนแรง

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

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

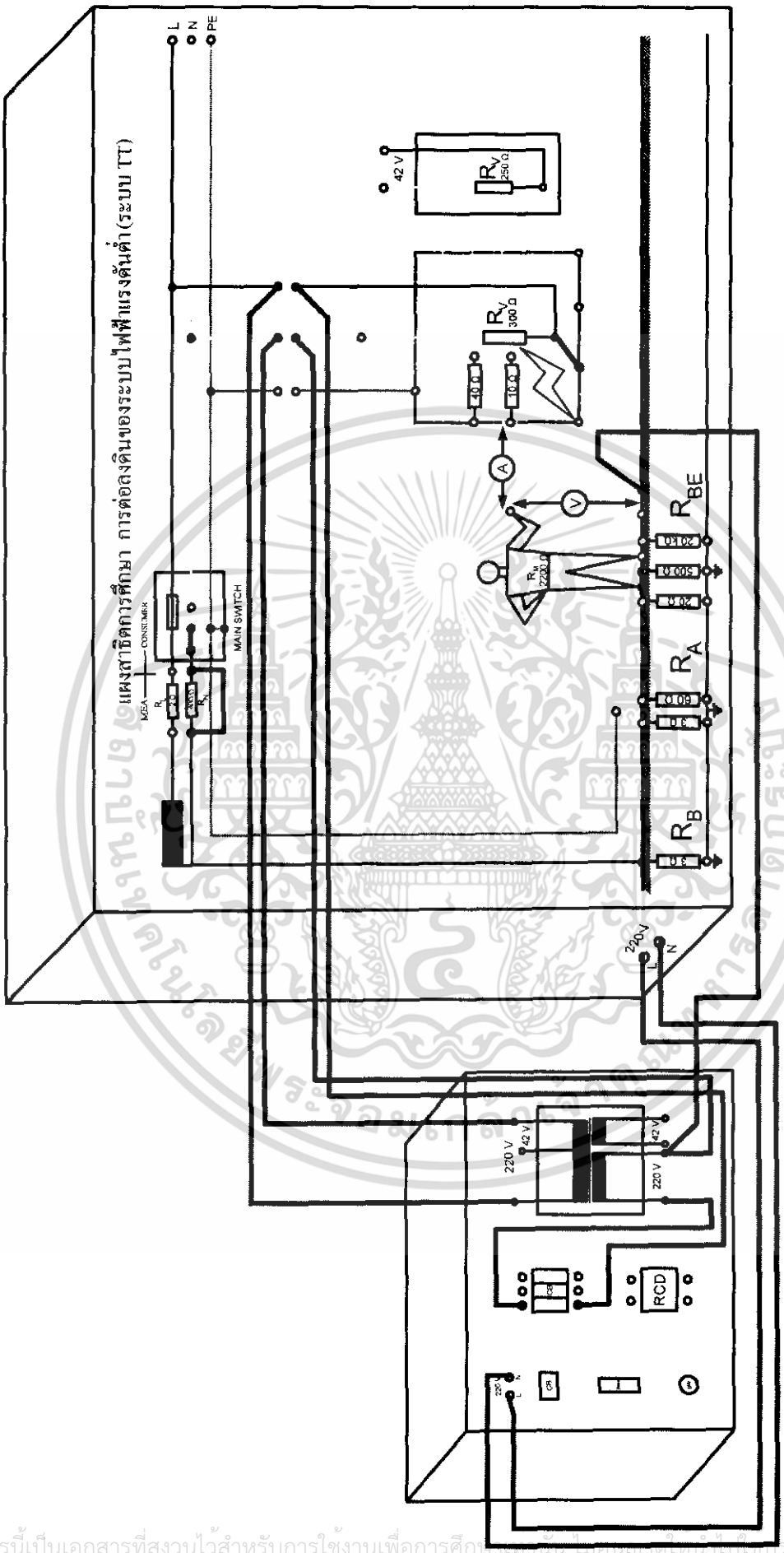
ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูปแบบการทดลองที่ 4.13
2. วัดกระแสรวม I_T กระแสไหลผ่านตัวคน I_M และแรงดันตกคร่อมตัวคน V_B

กระแสรวม I_T	=	863	mA
กระแสไหลผ่านตัวคน I_M	=	114	mA
แรงดันคร่อมตัวคน V_B	=	217	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.13 การทดลองที่ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการคำนวณค่าต่าง ๆในวงจรการทดลอง

$$\text{กระแสรวม } (I_T) = \frac{V}{(R_M // R_V)}$$

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

$$= 833 \ mA$$

$$\text{กระแสไหลผ่านตัวคน } (I_M) = \frac{I_T \times R_V}{R_M + R_L}$$

$$= \frac{0.833 \times 300}{2200 + 300}$$

$$= 99.96 \ mA$$

$$\text{แรงดันตกคร่อมตัวคน } (V_B) = I_M \times R_M$$

$$= 99.96 \times 10^{-3} \times 2200$$

$$= 219.9 \ V$$

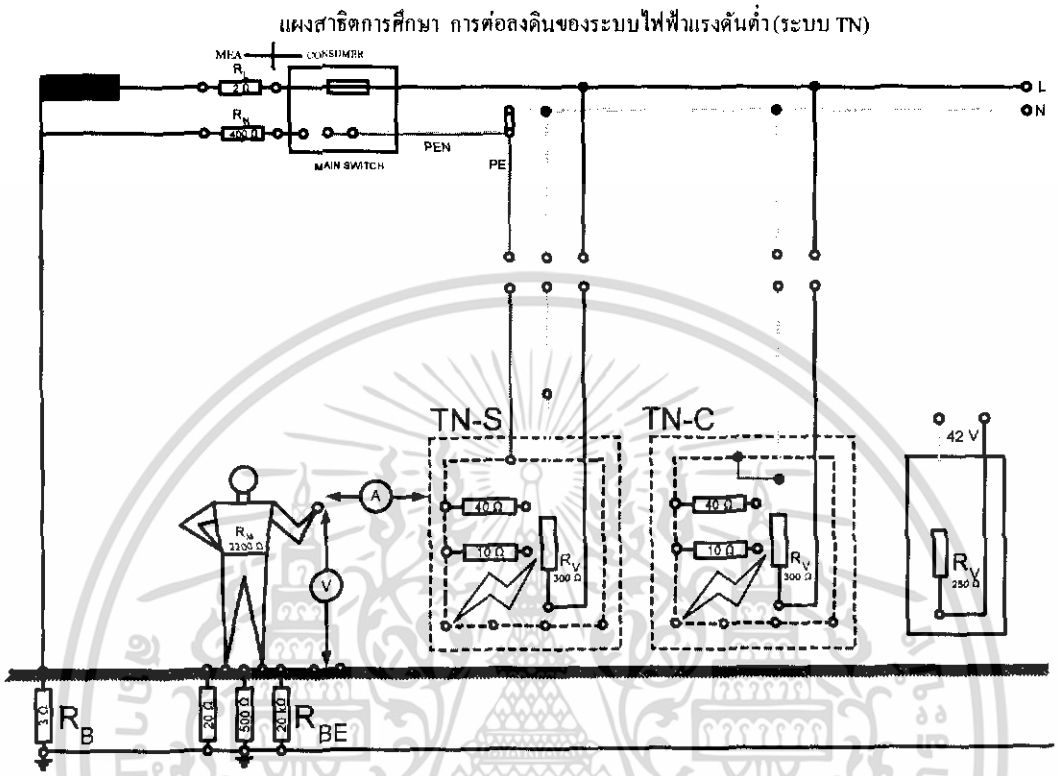
สรุปผลการทดลอง

โครงของเครื่องใช้ไฟฟ้ามีความต่างศักย์เทียบกับพื้นโลหะ 200 โวลท์ แรงดันนี้เป็นแรงดันสัมผัสตกคร่อมตัวคน ทำให้มีกระแสไหลผ่านตัวคนซึ่งเป็นอันตรายต่อชีวิต กระแสรวมในวงจร ทุติยภูมิ มีค่าต่ำมาก เซอร์กิตเบรคเกอร์ไม่เปิดวงจร ดังนั้นแรงดันสัมผัสยังคงปรากฏอยู่ต่อไป เมื่อพื้นที่ซึ่งคนยืนเป็นโลหะตัวนำ เช่น ขนเหล็ก และในเรือเหล็ก เป็นต้น เพื่อเป็นการป้องกันอันตรายจากไฟรั่วให้ต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าลงกับพื้นโลหะด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ใบงานการทดลองของระบบไฟฟ้า TN [9]

แผงสาธิตการศึกษาการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำระบบ TN



รูปที่ 4.14 สัญลักษณ์ที่ใช้ในแผงสาธิตการทดลองระบบ TN

R_K = ความต้านทานตรงจุดที่เกิดฟอลต์ระหว่างตัวเครื่องใช้กับตัวนำของเครื่องใช้

R_L = ความต้านทานของสายเฟส

R_M = ความต้านทานของคน

R_{BE} = ความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนยืนสัมผัสกับดิน

R_V = ความต้านทานของโหลด

R_B = ความต้านทานของหลักดินต่อดินของระบบไฟฟ้า (System grounding)

R_N = ความต้านทานที่ปรากฏในสายนิวทรัล

I_M = กระแสไหลผ่านตัวคน

V_B = แรงดันสัมผัสตัวคน (Touch Voltage)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 การต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายดินระบบ TN-S ซึ่งระบบมีการติดตั้งสายดินอย่างถูกต้อง และเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดการรั่วลงโครงอย่างรุนแรง

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายดินระบบ TN-S และผลที่จะเกิดขึ้นกับคนเมื่อเข้าไปสัมผัสโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้ารั่วลงโครงอย่างรุนแรง

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

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

ขั้นตอนการทดลอง

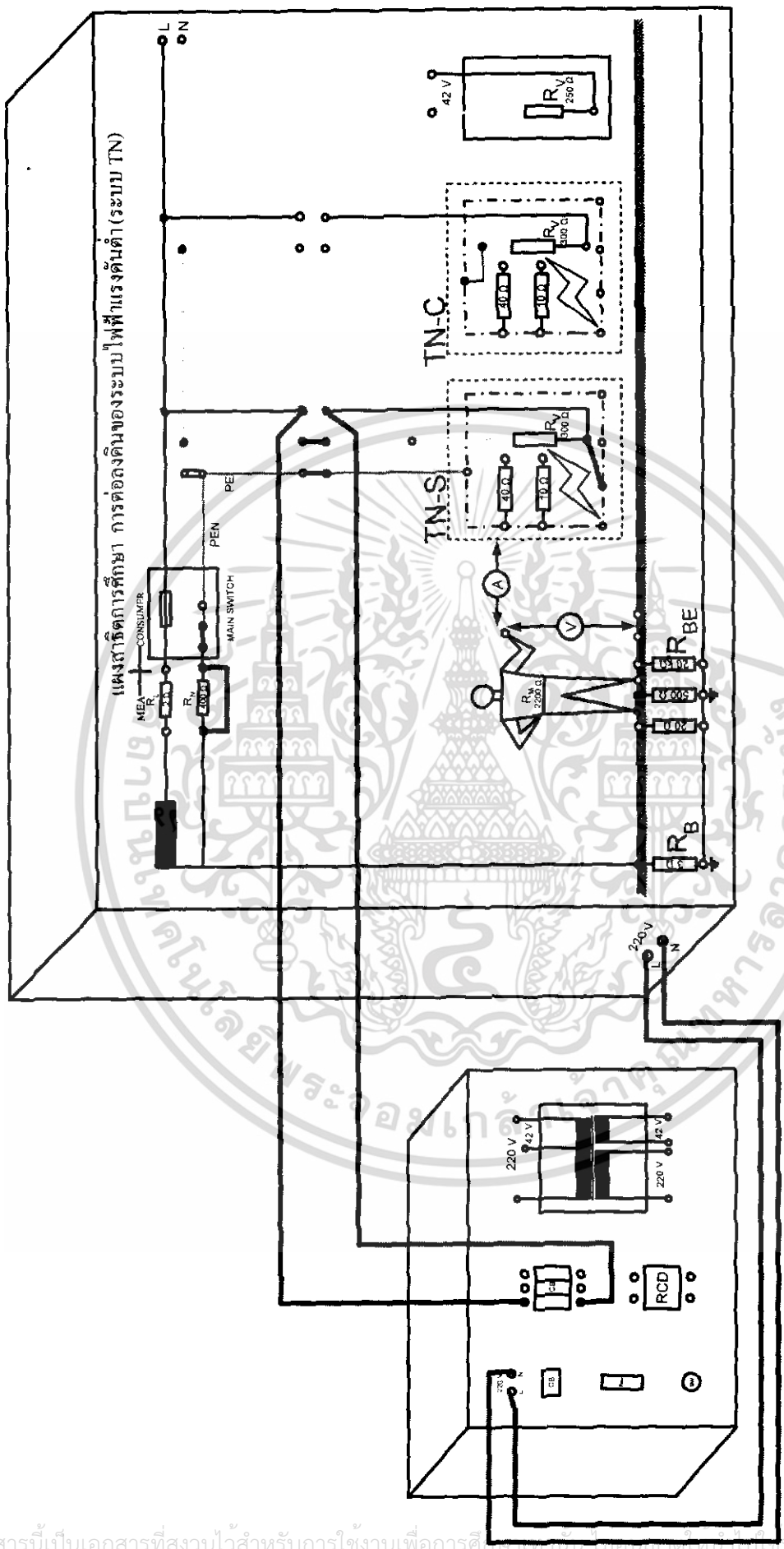
1. ต่อวงจรตามรูปการทดลองที่ 4.15
2. วัดค่ากระแสไหลผ่านคน (I_M) และแรงดันตกคร่อมคน (V_B)

I_M = 0 *mA*

V_B = 0 *V*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.15 การทดลองที่ 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณค่าต่าง ๆในการทดลอง

$$\text{กระแสฟอลต์ } I_F = \frac{V}{R_L}$$

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

$$= 110 \ A$$

สรุปผลการทดลอง

เซอร์กิตเบรคเกอร์ตัดวงจรทันที เมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดไฟรั่ว กระแสไฟฟ้าจำนวนมากจะไหลครบวงจรผ่านสายดินป้องกันหรือสาย (PE) ของระบบ TN-S เนื่องจากความต้านทานในสายมีค่าต่ำ ดังนั้นจึงทำให้ไม่เป็นอันตรายต่อผู้สัมผัสโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายดินระบบ TN-S ซึ่งระบบมีการติดตั้งสายดินอย่างถูกต้อง และเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดการรั่วลงโครงอย่างไม่รุนแรง

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับระบบ TN-S และผลที่เกิดขึ้นกับคนเมื่อเข้าไปสัมผัสโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้า เมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงอย่างไม่รุนแรง

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

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

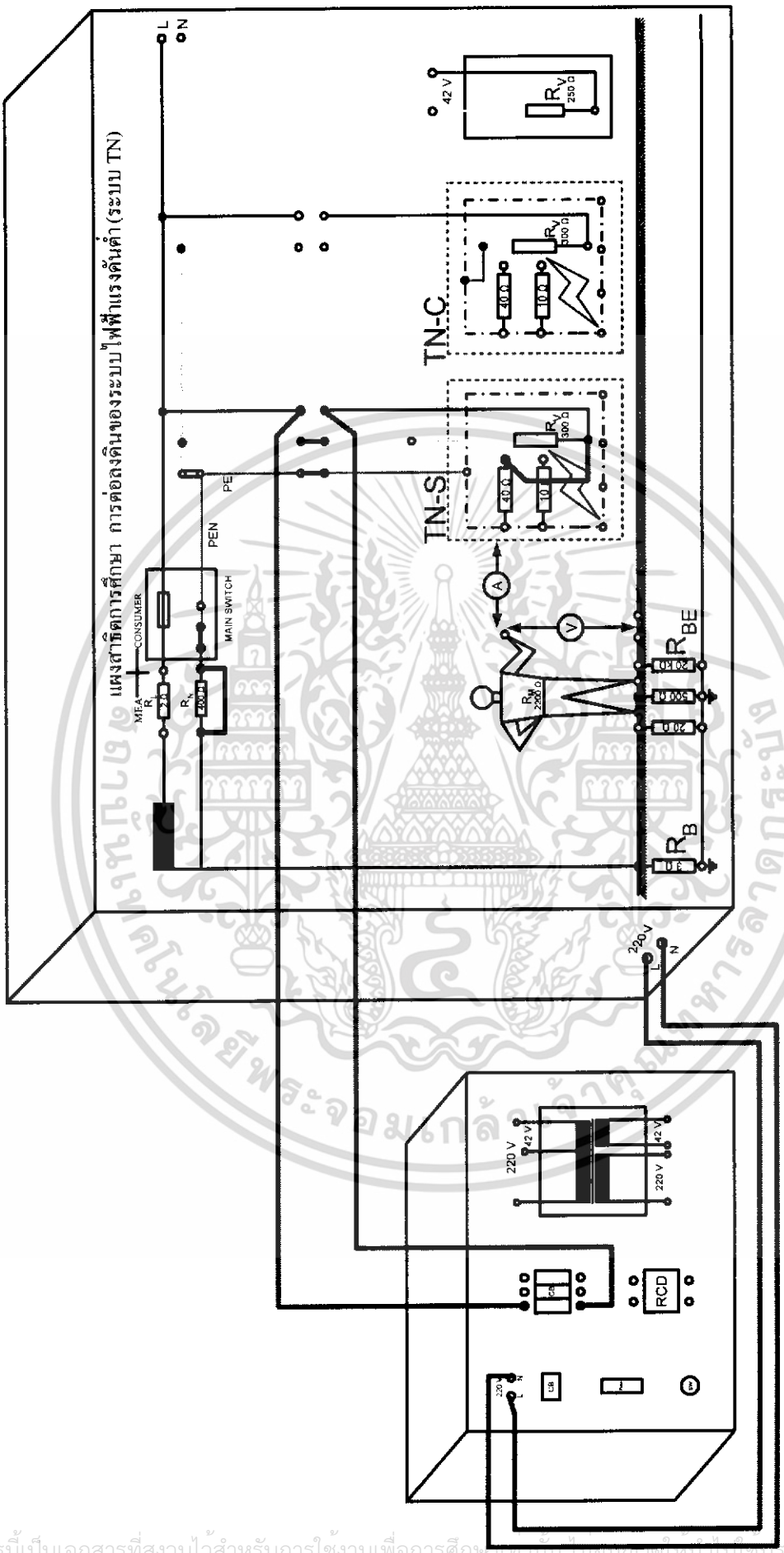
ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูปการทดลองที่ 4.16
2. วัดค่าต่าง ๆในวงจรการทดลอง

แรงดันฟอลต์ (V_F)	=	191.2	V
กระแสไหลผ่านตัวคน (I_M)	=	1.36	mA
กระแสฟอลต์ (I_F)	=	4.9	A
แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B)	=	0.27	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.16 การทดลองที่ 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณค่าต่างๆในการทดลอง

กระแสฟอลต์ I_F $= \frac{V}{R_L + R_K}$

$= \frac{220}{42}$

$= 5.24 \ A$

สรุปผลการทดลอง

เซอร์กิตเบรคเกอร์ไม่ตัดวงจรเพราะปริมาณกระแสไฟฟ้าที่รั่วมีค่าต่ำกว่ากระแสพิกัดของเซอร์กิตเบรคเกอร์ และไม่เป็นอันตรายต่อผู้สัมผัสโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่อาจเกิดอันตรายจากไฟไหม้ได้ ดังนั้นต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้ารั่วที่เมนสวิตซ์ด้วย เช่น RCD (Residual Current Devices)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายดินระบบ TN-S ซึ่งสายนิวทรัลเกิดค่าความต้านทานภายในสายสูงและเครื่องใช้ไฟฟ้าอยู่ในสภาพปกติ

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายดินระบบ TN-S และมีความต้านทานปรากฏในสายนิวทรัลสูงเนื่องจากจุดต่อสายนิวทรัลหลวม เมื่อคนไปสัมผัสโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าในขณะเครื่องใช้ไฟฟ้าอยู่ในสภาพปกติ

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L)	=	2	โอห์ม
ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนสัมผัสกับดิน (R_{BE})	=	20	โอห์ม
ค่าความต้านทานที่ปรากฏในสายนิวทรัล (R_N)	=	400	โอห์ม

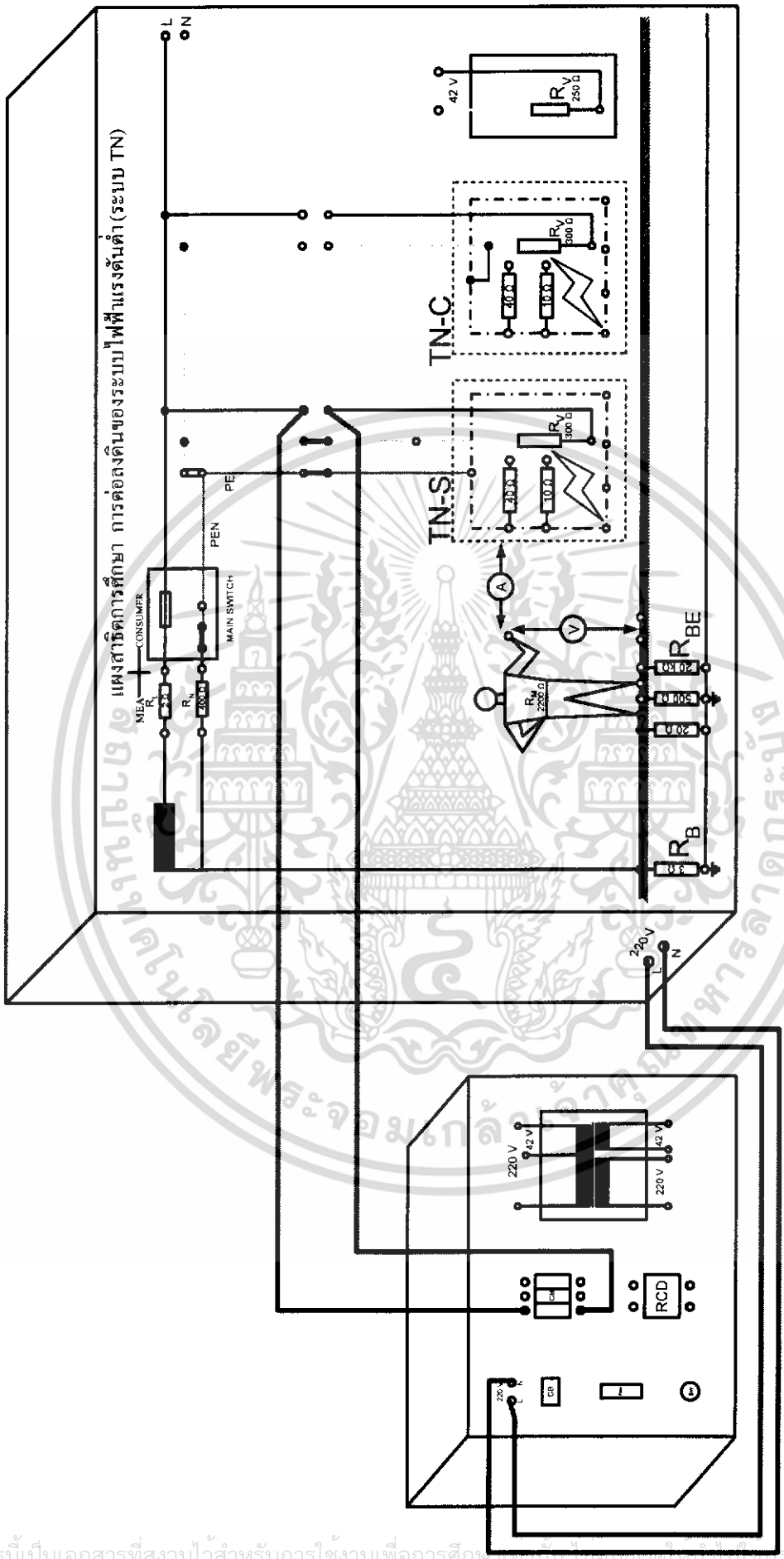
ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูปการทดลองที่ 4.17
2. ทำการวัดค่าต่าง ๆของวงจร

กระแสฟอลต์ (I_F)	=	345	*mA*
แรงดันฟอลต์ (V_F)	=	113	*V*
กระแสไหลผ่านตัวคน (I_M)	=	61	*mA*
แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B)	=	116.2	*V*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.17 การทดลองที่ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณค่าต่าง ๆของวงจร

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

$$= \frac{220}{2 + 300 + \left[\left(2200 + 20 + 3\right) // 400\right]}$$

$$= 343 \ mA$$

แรงดันฟอลต์ (V_F)

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

$$= \frac{0.343 \times \left(2200 + 20 + 3\right) \times 400}{2200 + 20 + 3 + 400}$$

$$= 116.28 \ V$$

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

$$= \frac{116.28}{2200 + 20 + 3}$$

$$= 52.31 \ mA$$

แรงดันตกคร่อมคน (V_B)

$$= I_M \times R_M$$

$$= 52.31 \times 10^{-3} \times 2200$$

$$= 115.082 \ V$$

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า ถ้าจุดต่อสายนิวทรัลที่มาจากหม้อแปลงของการไฟฟ้ามายังตัวเมนสวิตช์เกิดขาดหรือหลวมหรือต่อไม่ดี ซึ่งทำให้เกิดความต้านทานของสายนิวทรัลขึ้น กรณีนี้จะมีแรงดันปรากฏขึ้นที่โครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าในขณะที่เครื่องใช้ไฟฟ้าไม่ได้เกิดฟอลต์ ซึ่งทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ที่สัมผัสโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ ถึงแม้มีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันไฟรั่วก็ตาม เพราะอุปกรณ์ป้องกันไฟรั่วไม่ทำงาน ดังนั้นจึงต้องทำการต่อสายลงหลักดินที่เมนสวิตช์ และตรวจสอบค่าความต้านทานในสายนิวทรัลตลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 การต่อโครงเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายดินระบบ TN-S ซึ่งสายดินป้องกันของระบบเกิดการขาดชำรุดเมื่อค่าความต้านทานผิวดินมีค่าสูงมากและเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงอย่างรุนแรง

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาผลของกระแสที่ไหลผ่านคน เมื่อสายดินของระบบ TN-S เกิดการขาดชำรุดเมื่อค่าความต้านทานผิวดินมีค่าสูงมากและเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงอย่างรุนแรง

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L)	=	2	โอห์ม
ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนสัมผัสกับดิน (R_{BE})	=	20000	โอห์ม
ค่าความต้านทานที่จุดเกิดไฟฟ้ารั่วลงโครง (R_K)	=	40	โอห์ม

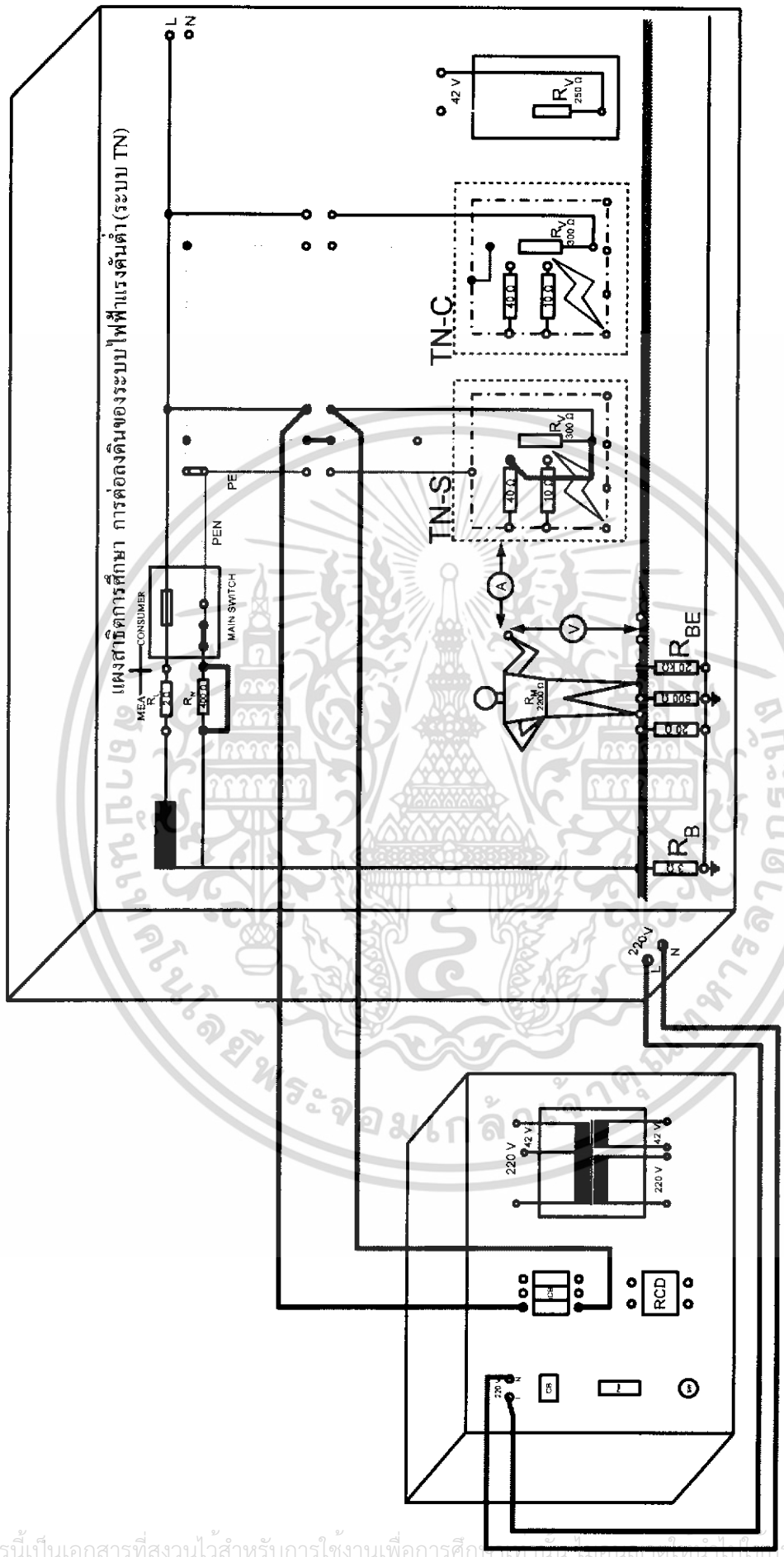
ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูปการทดลองที่ 4.18
2. ทำการวัดค่าต่างๆของวงจร

กระแสฟอลต์ (I_F)	=	10.3	*mA*
แรงดันตกคร่อมตัวตน (V_B)	=	21.36	*V*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.18 การทดลองที่ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณค่าต่างๆของการทดลอง

กระแสฟอลต์ (I_F) $= \dfrac{V}{R_L + R_K + R_M + R_{BE} + R_B}$

$= \dfrac{220}{2 + 40 + 2200 + 20000 + 3}$

$= 9.89 \ mA$

$V_B = I_M \times R_M$; $I_M = I_F$

$= 9.89 \times 10^{-3} \times 2200$

$= 21.76 \ V$

สรุปผลการทดลอง

เนื่องจากเป็นการรั่วอย่างไม่รุนแรง และค่าความต้านทานระหว่างผิวดินกับคนมีค่าสูงมาก จึงทำให้กระแสไหลผ่านตัวคนมีค่าน้อยแรงดันตกคร่อมตัวคนมีค่าต่ำ จึงทำให้ไม่เกิดอันตรายกับคนที่เข้าไปสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 การต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายดินระบบ TN-S ซึ่งสายดินป้องกันของระบบเกิดการขาดชำรุดเมื่อค่าความต้านทานผิวดินมีค่าปกติ และเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดการรั่วลงโครงอย่างไม่รุนแรง

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาผลของกระแสที่ไหลผ่านคน เมื่อสายดินของระบบ TN-S เกิดการขาดชำรุดเมื่อค่าความต้านทานผิวดินมีค่าปกติ และเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดการรั่วลงโครงอย่างไม่รุนแรง

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L)	=	2	โอห์ม
ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนสัมผัสกับดิน (R_{BE})	=	500	โอห์ม
ค่าความต้านทานที่จุดเกิดไฟฟ้ารั่วลงโครง (R_K)	=	10	โอห์ม

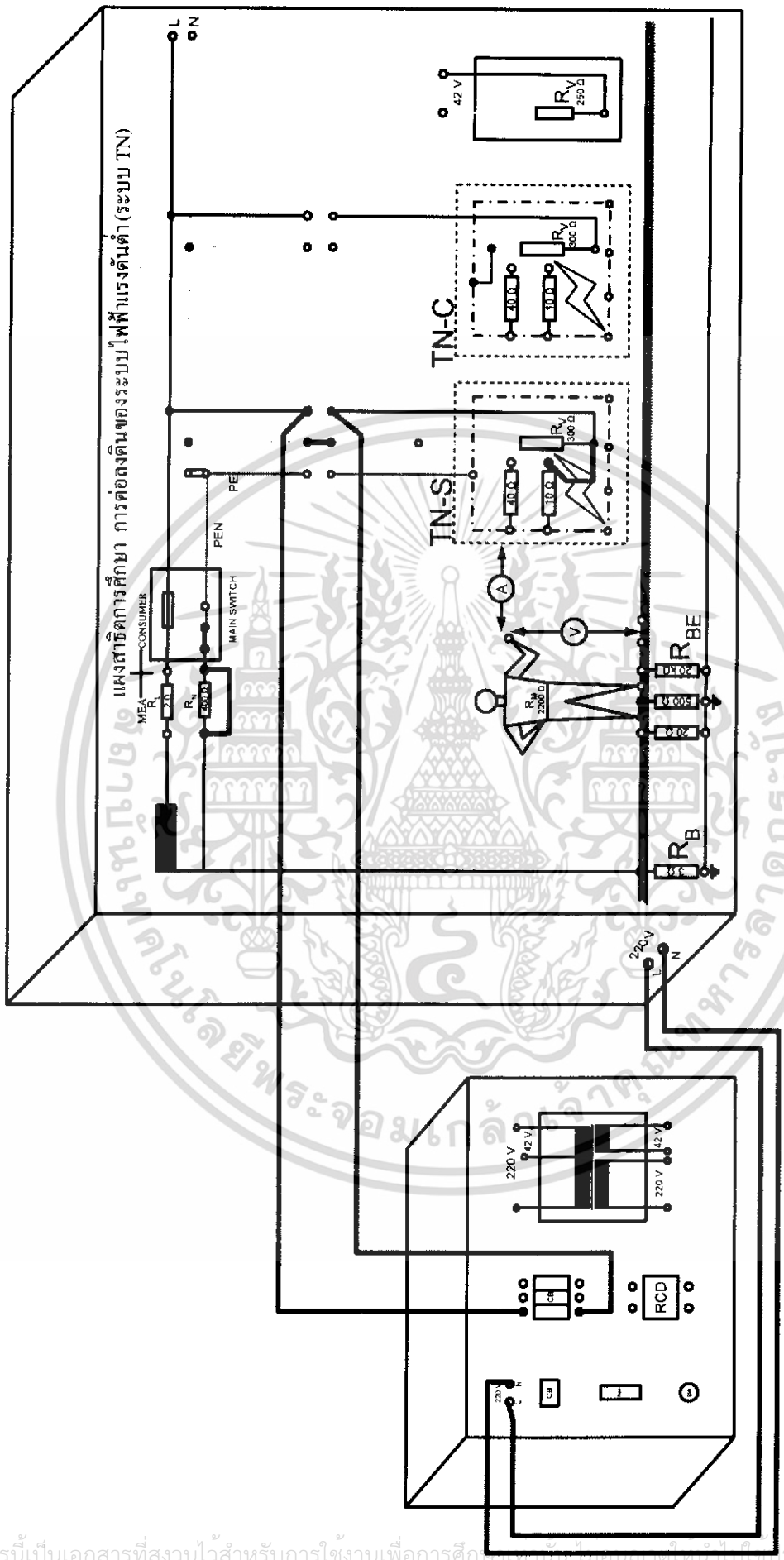
ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูปการทดลองที่ 4.19
2. ทำการวัดค่าต่างๆของวงจร

กระแสฟอลต์ (I_F)	=	91.4	*mA*
แรงดันตกคร่อมตัวตน (V_B)	=	172.8	*V*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.19 การทดลองที่ 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณค่าต่าง ๆของวงจร

$$\text{กระแสฟอลต์ } (I_F) = \frac{V}{R_L + R_K + R_M + R_{BE} + R_B}$$

$$= \frac{220}{2+10+2200+500+3}$$

$$= 81.03 \ mA$$

$$V_B = I_M \times R_M \quad ; \quad I_F = I_M$$

$$= 81.03 \times 10^{-3} \times 2200$$

$$= 178.27 \ V$$

สรุปผลการทดลอง

เนื่องจากความต้านทานผิวดินมีค่าปกติ แต่สายดินป้องกันของระบบไฟฟ้าเกิดการขาดชำรุด จึงทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวคนมีค่ามากพอที่จะทำให้เกิดอันตรายถึงชีวิตได้ กระแสฟอลต์ที่มีค่าน้อยไม่สามารถทำให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ทำงาน เราจึงต้องติดเครื่องตัดวงจรกระแสไฟฟ้ารั่ว (RCD) เพื่อทำการตัดวงจรไฟฟ้าและป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าดูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6 การต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายดินระบบ TN-S ซึ่งสายดินป้องกันของระบบเกิดการขาดชำรุดโดยที่เครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดการรั่วลงโครงอย่างรุนแรง ที่ค่าความต้านทานผิวดินมีค่าต่ำ

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นกับคน เมื่อสายดินของระบบ TN-S เกิดการขาดชำรุด โดยที่เครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดการรั่วลงโครงอย่างรุนแรง ที่ค่าความต้านทานผิวดินมีค่าต่ำ (พื้นเปียกชื้น)

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L) = 2 โอห์ม

ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนสัมผัสกับดิน (R_{BE}) = 20 โอห์ม

ค่าความต้านทานที่จุดเกิดไฟฟ้ารั่วลงโครง (R_K) = 0 โอห์ม

ขั้นตอนการทดลอง

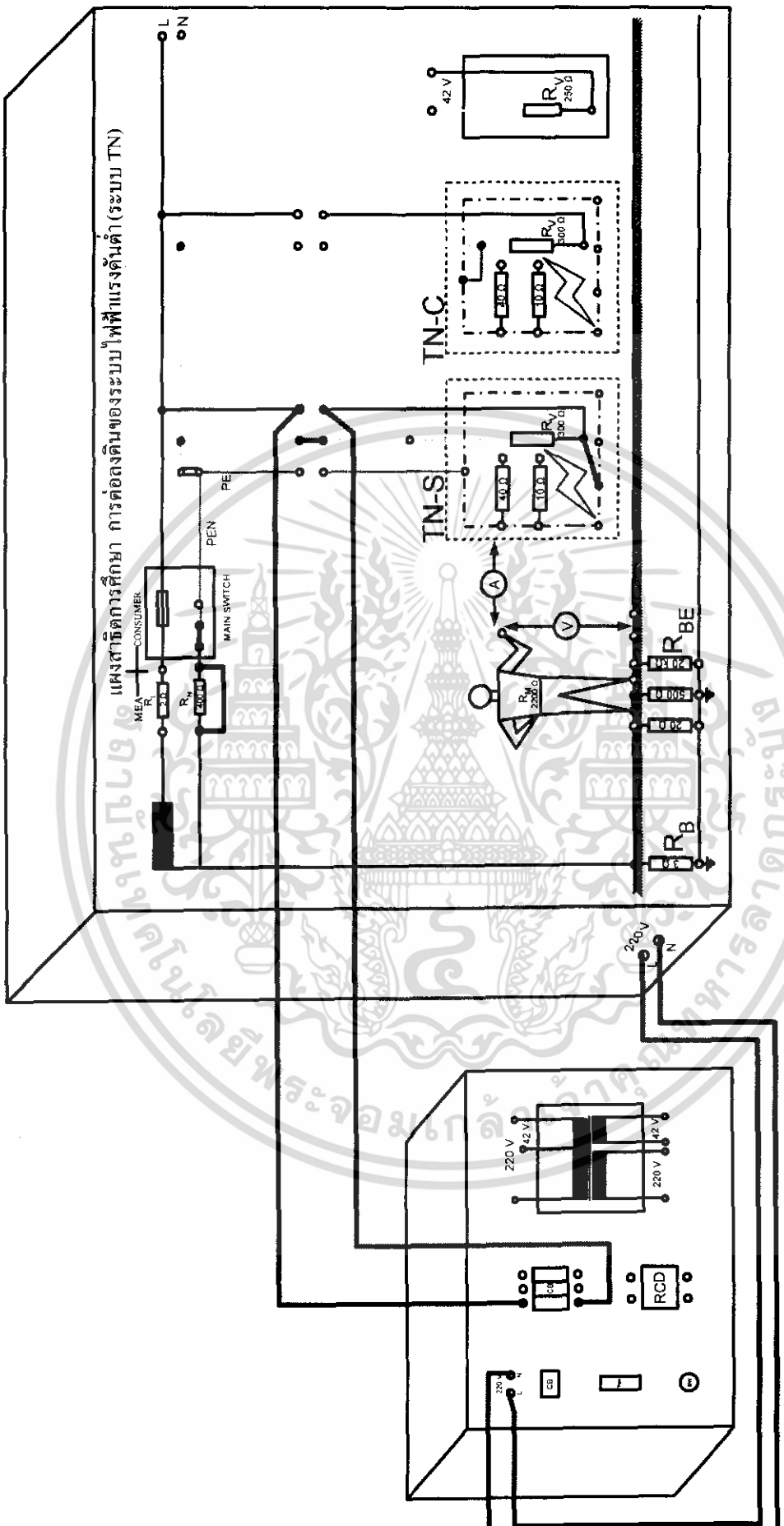
1. ต่อวงจรตามรูปการทดลองที่ 4.20
2. ทำการวัดค่าต่าง ๆในวงจรการทดลอง

กระแสไหลผ่านตัวคน (I_M) = 114.6 *mA*

แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B) = 216 *V*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.20 การทดลองที่ 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.คำนวณค่าต่าง ๆในวงจรการทดลอง

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

= $\frac{220}{2+0+2200+20+3}$

= $98.88\ mA$

V_B = $I_M \times R_M$

= $98.88 \times 10^{-3} \times 2200$

= $217.536\ V$

สรุปผลการทดลอง

ค่าของกระแสที่ไหลผ่านตัวคนมีค่าสูงมาก ซึ่งทำให้เกิดอันตรายถึงชีวิต ค่าของแรงดันตกคร่อมตัวคนมีค่าสูงเกือบเท่ากับแหล่งจ่าย เนื่องจากเป็นการรั่วลงโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าอย่างรุนแรงและบริเวณพื้นผิวดินที่คนยืนมีค่าความต้านทานดินต่ำ (พื้นเปียกชื้น , พื้นคอนกรีต) ค่าของกระแสนั้นไม่สามารถทำให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ตัดวงจรได้เนื่องจากกระแสต่ำกว่าค่าการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรคเกอร์ จึงควรติดตั้งเครื่องตัดวงจรกระแสไฟฟ้ารั่ว (RCD) เพื่อป้องกันอันตราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.7 การต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับระบบ TN-C เมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดการลัดวงจรรั่วลงโครงอย่างรุนแรง

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับระบบ TN-C เมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดการรั่วลงโครงอย่างรุนแรง

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

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

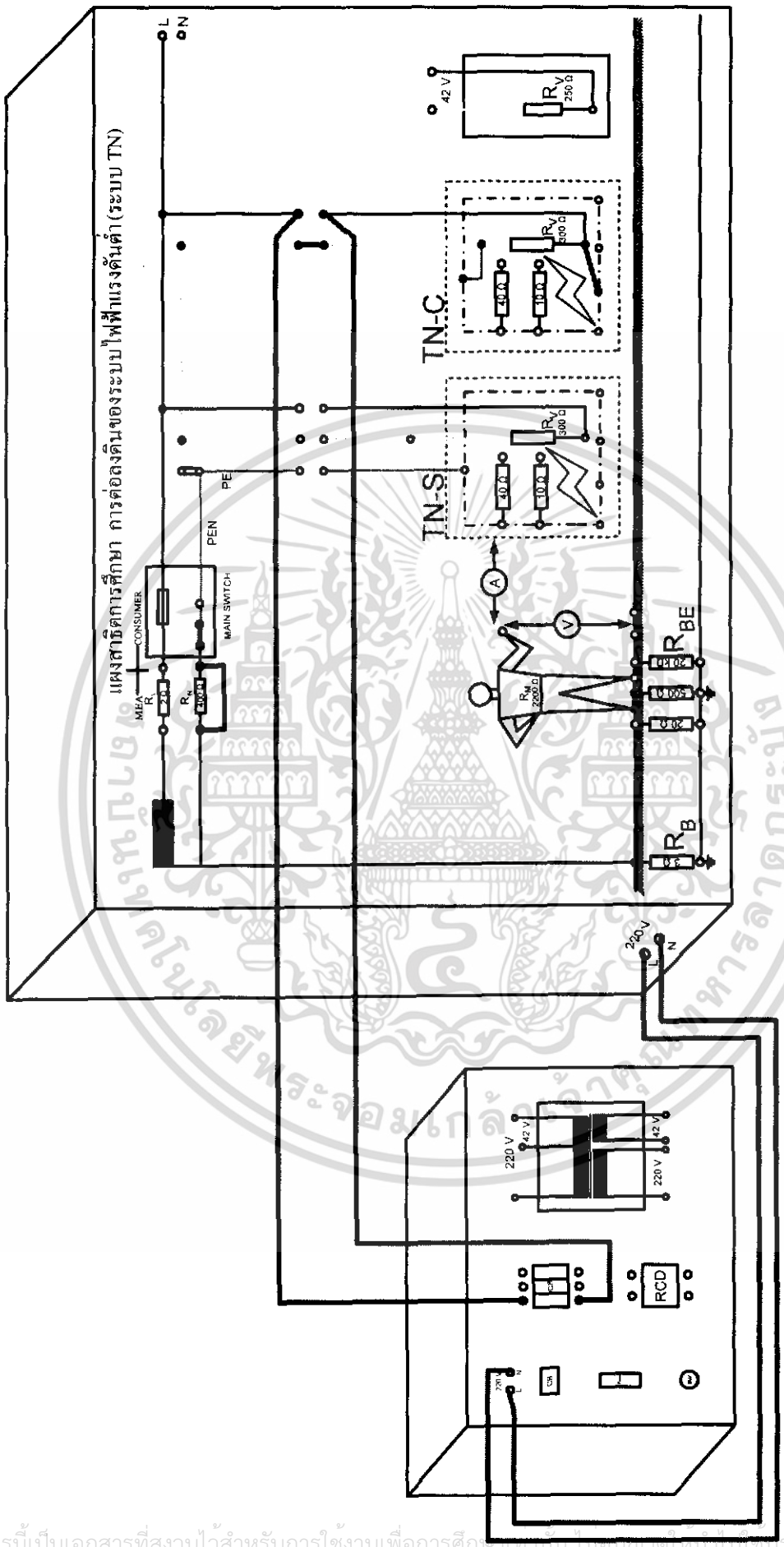
ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูปการทดลองที่ 4.21
2. ทำการวัดค่าต่าง ๆในวงจรการทดลอง

กระแสลัดวงจร (I_{SC}) = 0 *mA*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.21 การทดลองที่ 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณค่ากระแสลัดวงจร

$$\text{กระแสลัดวงจร}(I_{SC}) = \frac{V}{R_L}$$

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

$$= 110 \ A$$

สรุปผลการทดลอง

เนื่องจากค่าของกระแสลัดวงจรมีค่ามาก จึงทำให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ตัดวงจรทันทีทำให้กระแสไม่ไหลผ่านมายังตัวคน แรงดันตกคร่อมตัวคนจึงมีค่าเป็นศูนย์ จึงทำให้ทราบว่าเครื่องใช้ไฟฟ้ารั่ว เพราะเมื่อเปิดสวิตช์ก็จะทำให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ตัดวงจรอย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.8 การต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับระบบ TN-C เมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดการลัดวงจรรั่วลงโครงอย่างไม่รุนแรง

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับระบบ TN-C เมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเมื่อการรั่วลงโครงอย่างไม่รุนแรง

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

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

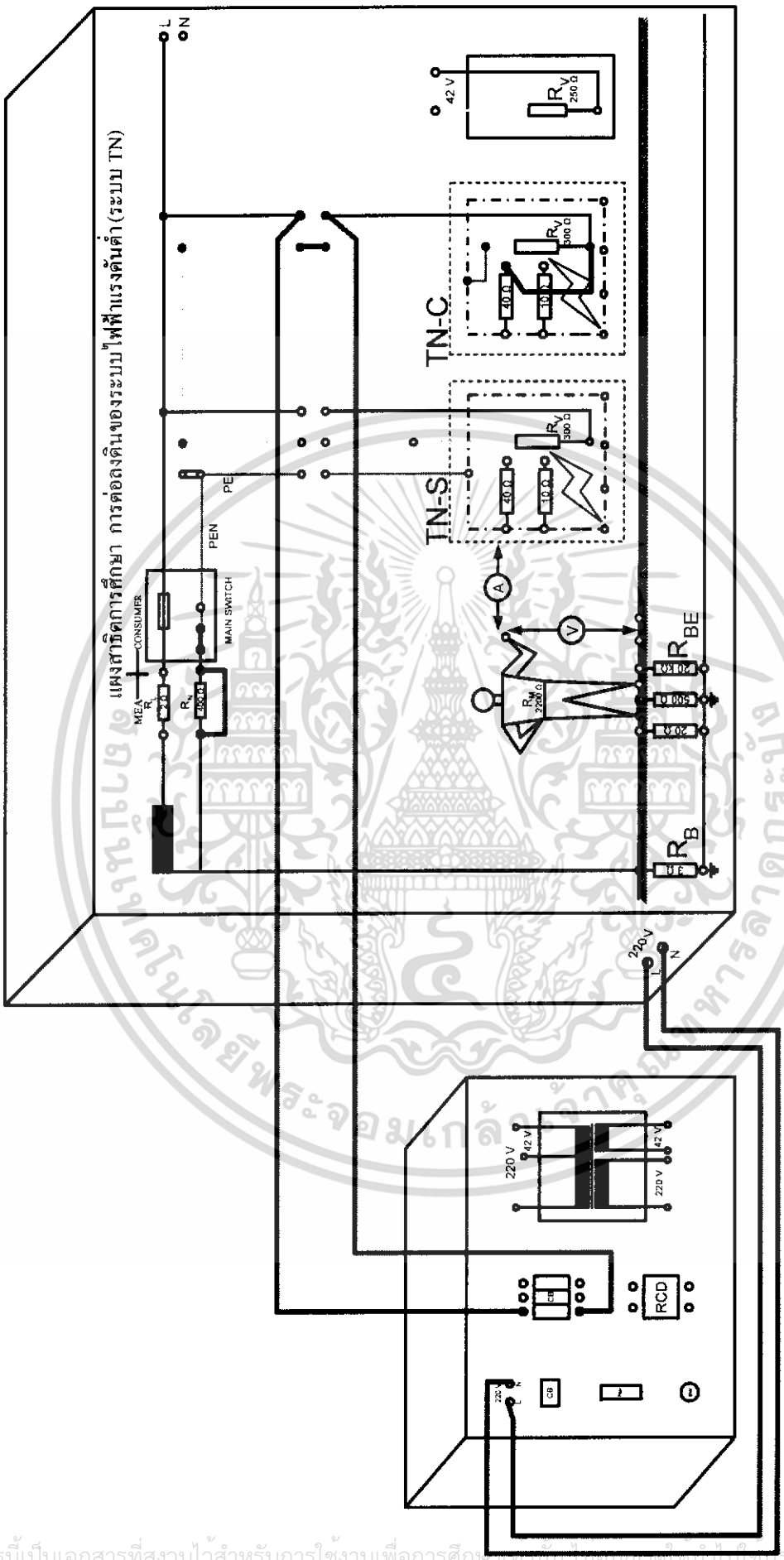
ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูปการทดลองที่ 4.22
2. ทำการวัดค่าต่าง ๆในวงจรการทดลอง

กระแสฟอลต์ (I_F)	=	5.61	A
กระแสไหลผ่านตัวคน (I_M)	=	1.1	mA
แรงดันตกคร่อมตัวตน (V_B)	=	2.4	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.22 การทดลองที่ 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณค่าต่างๆในการทดลอง

$$\text{กระแสฟอลต์}(I_F) = \frac{V}{R_K + R_L}$$
$$= \frac{220}{40+2}$$
$$= 5.24 \ A$$

สรุปผลการทดลอง

ค่าของกระแสลัดวงจรที่ไหลผ่านเซอร์กิตเบรคเกอร์มีค่าน้อยกว่าพิกัดกระแสของ CB จึงทำให้ CB ไม่สามารถตัดวงจรได้ ดังนั้นอาจทำให้เกิดอันตรายจากไฟไหม้ได้ แต่จะไม่เป็นอันตรายต่อคนที่สัมผัสเครื่องใช้ไฟฟ้าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.9 การต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับระบบ TN-C ซึ่งสายนิวทรัลมีค่าความต้านทานในสายสูงขณะที่เครื่องใช้ไฟฟ้าอยู่ในสภาพปกติ

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับระบบ TN-C ซึ่งสายนิวทรัลของระบบ TN-C มีค่าความต้านทานในสายสูง และผลที่จะเกิดขึ้นกับคนเมื่อสัมผัสโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าในขณะที่เครื่องใช้ไฟฟ้าอยู่ในสภาพปกติ

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

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

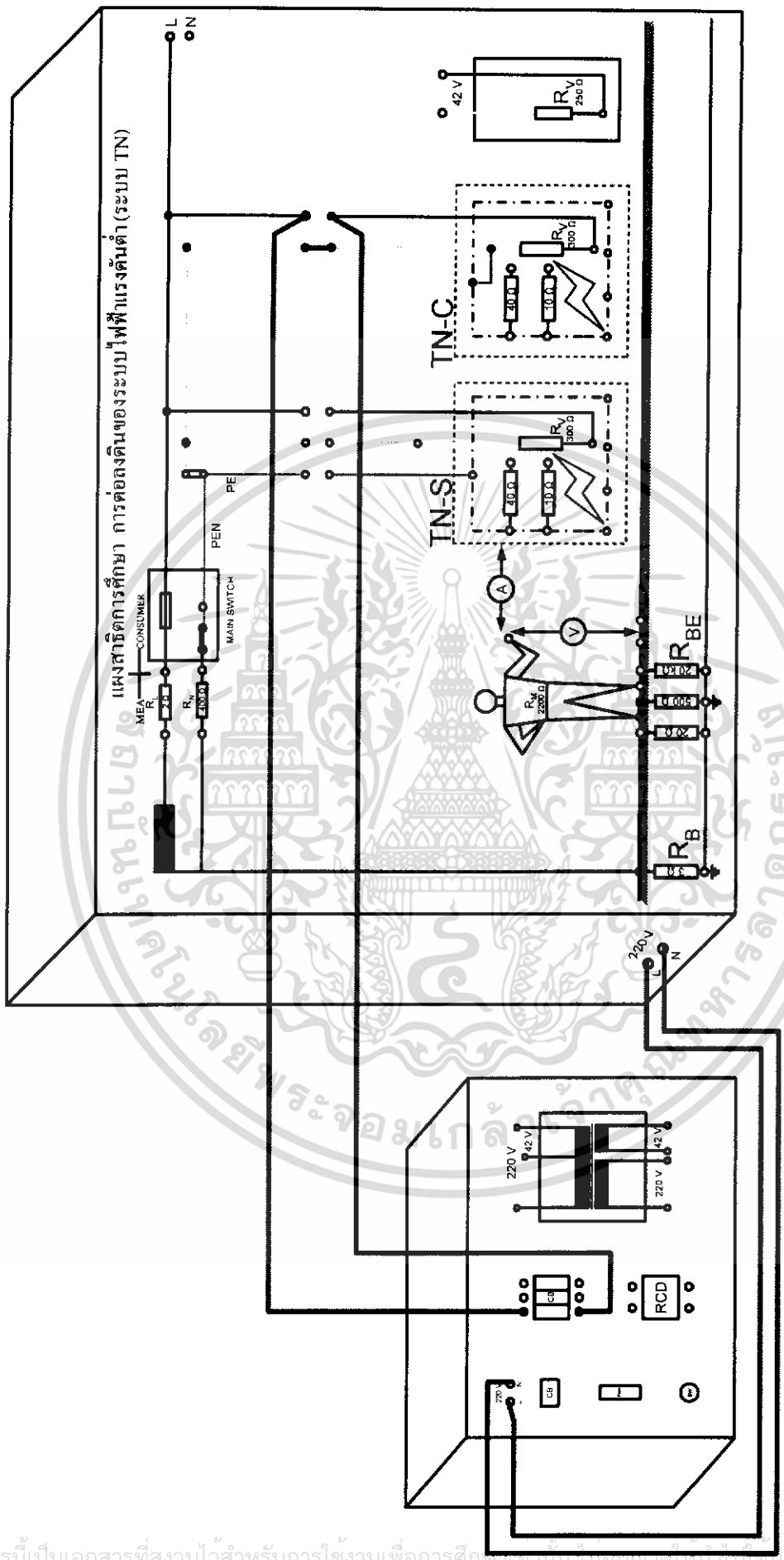
ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูปการทดลองที่ 4.23
2. ทำการวัดค่าต่าง ๆในวงจรการทดลอง

กระแสฟอลต์ (I_F)	=	0.293	A
กระแสไหลผ่านตัวคน (I_M)	=	49.6	mA
แรงดันตกคร่อมตัวตน (V_B)	=	96.3	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.23 การทดลองที่ 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณค่าต่างๆในวงจรการทดลอง

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

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

$= 0.3382 \ \ A$

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

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

$= 0.2946 \ \ A$

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

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

$= 0.0436 \ \ A$

แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B) $= I_M \times R_M$

$= 0.436 \times 2200$

$= 95.91 \ V$

สรุปผลการทดลอง

เมื่อความต้านทานที่ปรากฏภายในสายนิวทรัลมีค่าสูง จะทำให้เครื่องใช้ไฟฟ้าซึ่งไม่ได้เกิดการลัดวงจร มีแรงดันปรากฏที่เครื่องใช้ไฟฟ้าซึ่งเทียบกับดินซึ่งแรงดันมีค่าสูงทำให้เกิดอันตรายต่อผู้สัมผัสได้ ถ้าความต้านทานของเครื่องใช้ไฟฟ้า (R_V) ต่ำกว่าค่าความต้านทานในสายนิวทรัลมาก ๆยิ่งทำให้แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B) สูงขึ้นเป็นอันตรายต่อผู้ที่สัมผัสเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ไม่ได้เกิดฟอลต์นี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.10 การต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับระบบ TN-C ซึ่งสายนิวทรัลเกิดขาดก่อนต่อเข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้าขณะที่เครื่องใช้ไฟฟ้าอยู่ในสภาพปกติ

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับระบบ TN-C ซึ่งสายนิวทรัลเกิดขาดก่อนต่อเข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้า ผลที่เกิดขึ้นกับคนเมื่อสัมผัสเครื่องใช้ไฟฟ้าในขณะที่เครื่องใช้ไฟฟ้าอยู่ในสภาพปกติ

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L) = 2 โอห์ม

ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนยืนสัมผัสกับดิน (R_{BE}) มีค่าต่าง ๆคือ 20 Ω 500 Ω และ 20 kΩ

ขั้นตอนการทดลอง

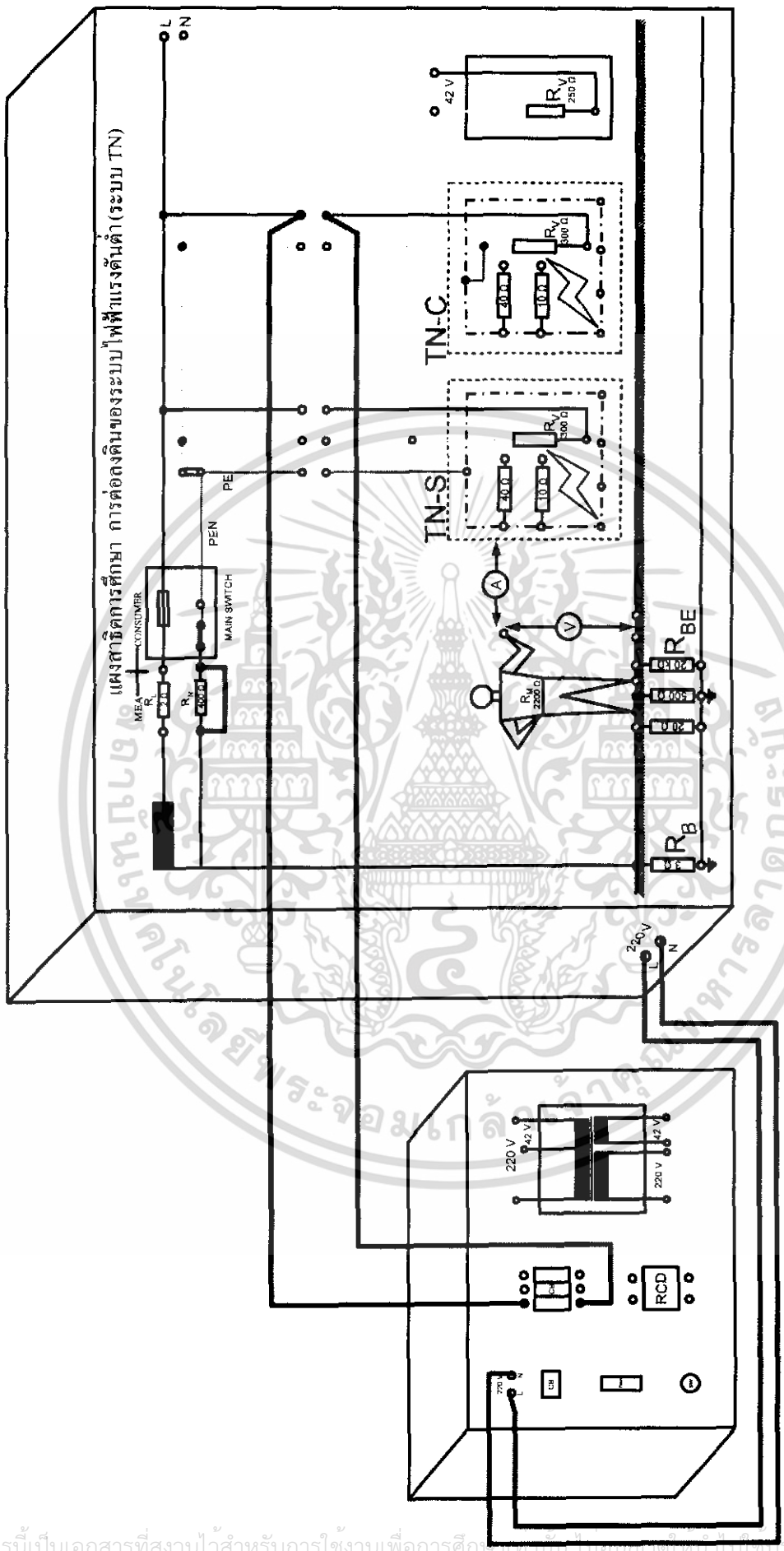
1. ต่อวงจรตามรูปการทดลองที่ 4.24
2. ทำการวัดค่าต่าง ๆในวงจรการทดลอง

ค่าที่วัดได้

R_{BE} (Ω)	20	500	20k
I_M (mA)	116.3	93.5	10.6
V_B (V)	219.3	176.7	21.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.24 การทดลองที่ 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณค่าต่างๆในวงจรการทดลอง

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

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

= $0.08133\ A$

แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B) = $I_M \times R_M$

= 0.08133×2200

= $178.93\ V$

ค่าที่ได้จากการคำนวณ

R_{BE} (Ω)	20	500	20k
I_M (mA)	99	81.33	9.91
V_B (V)	217.8	178.93	21.80

สรุปผลการทดลอง

เมื่อสายนิวทรัลเกิดขาดก่อนเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า จะมีผลทำให้แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B) มีค่าสูงได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของเครื่องใช้ไฟฟ้าและค่าความต้านทานพื้นผิวดินที่คนยืน ถ้าค่าความต้านทานของเครื่องใช้ไฟฟ้าและค่าความต้านทานพื้นผิวดินมีค่าต่ำก็จะทำให้แรงดันตกคร่อมตัวคนสูงมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้เกิดอันตรายต่อผู้สัมผัสเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ไม่ได้เกิดฟอลต์นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.11 การต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับระบบ TN-C ซึ่งสายเฟสกับสายนิวทรัลที่ต่อเข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้าสลับกัน

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับระบบ TN-C ซึ่งสายเฟสกับสายนิวทรัลต่อสลับกันก่อนเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L) = 2 โอห์ม

ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนยืนสัมผัสกับดิน (R_{BE}) มีค่าต่างๆคือ 20 Ω 500 Ω และ 20 kΩ

ขั้นตอนการทดลอง

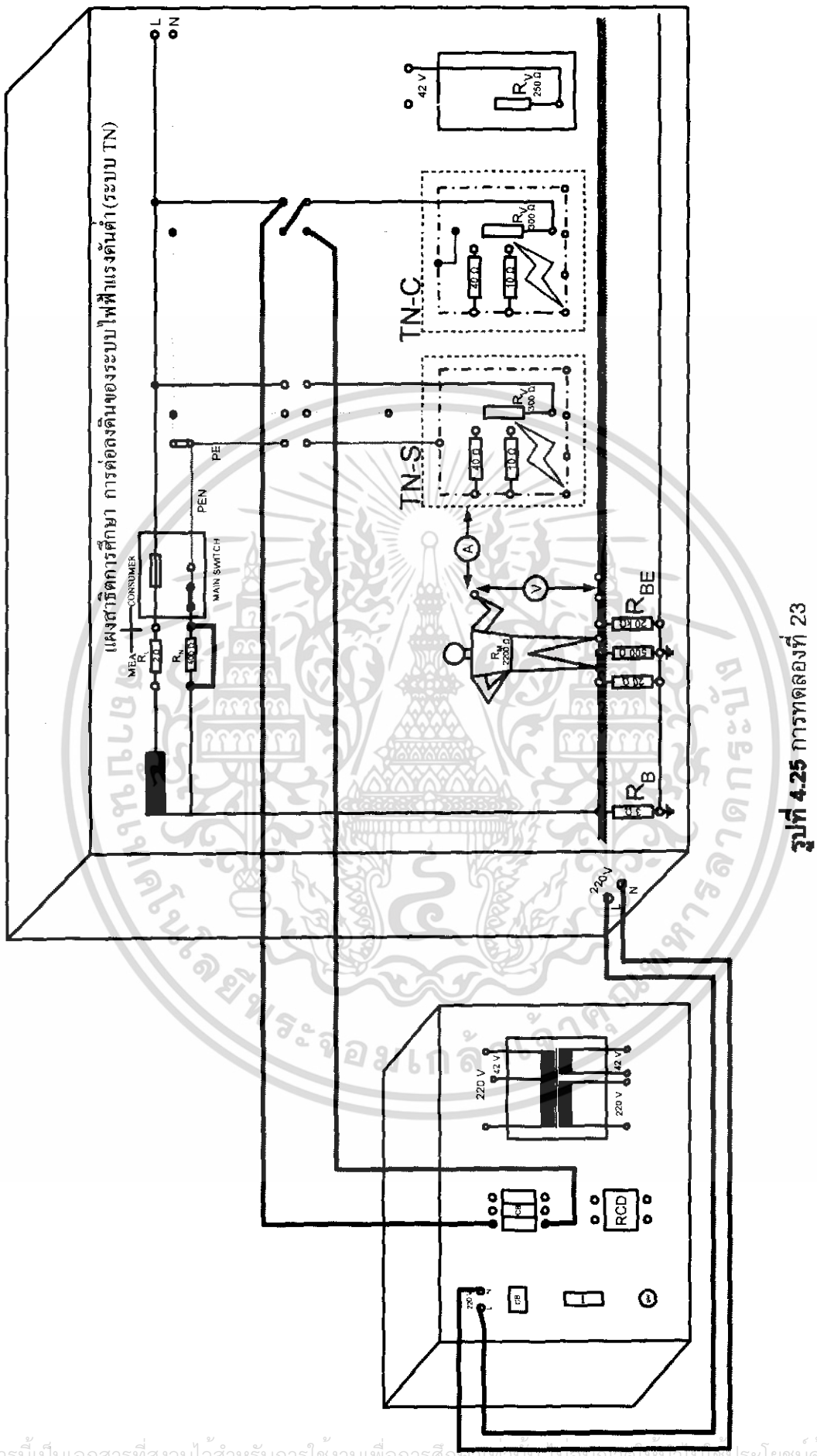
1. ต่อวงจรตามรูปการทดลองที่ 4.25
2. ทำการวัดค่าต่างๆในวงจรการทดลอง

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

R_{BE} (Ω)	20	500	20k
I_M (mA)	114.3	91.8	10.4
V_B (V)	215.4	173.6	21.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.25 การทดลองที่ 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการคำนวณค่าต่างๆในวงจรการทดลอง

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

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

= $81.33\ mA$

แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B) = $I_M \times R_M$

= 0.08133×2200

= $178.93\ V$

ค่าที่ได้จากการคำนวณ

R_{BE} (Ω)	20	500	20k
I_M (mA)	98.88	81.33	9.91
V_B (V)	217.54	178.93	20.02

สรุปผลการทดลอง

ถ้าสายเฟสกับสายนิวทรัลสลับที่กัน แรงดันของสายเฟสก็จะปรากฏขึ้นบนตัวเครื่องใช้ไฟฟ้า แรงดันตกคร่อมตัวคนและกระแสไหลผ่านคร่อมตัวคนมีค่าสูงมากซึ่งอาจทำให้คนที่สัมผัสเกิดอันตรายถึงชีวิตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.12 การป้องกันโดยการใช้แรงดันต่ำ 42 โวลท์ จากหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแยกขดกับระบบไฟฟ้า TN-S ขณะที่เครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงอย่างรุนแรง

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการป้องกันโดยการใช้แรงดันต่ำ 42 โวลท์ จากการใช้หม้อแปลงแบบแยกขดกับระบบไฟฟ้า TN-S จ่ายให้เครื่องใช้ไฟฟ้าแรงดัน 42 โวลท์ และเมื่อคนไปสัมผัสเครื่องใช้ไฟฟ้าในขณะที่เครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงอย่างรุนแรง

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

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

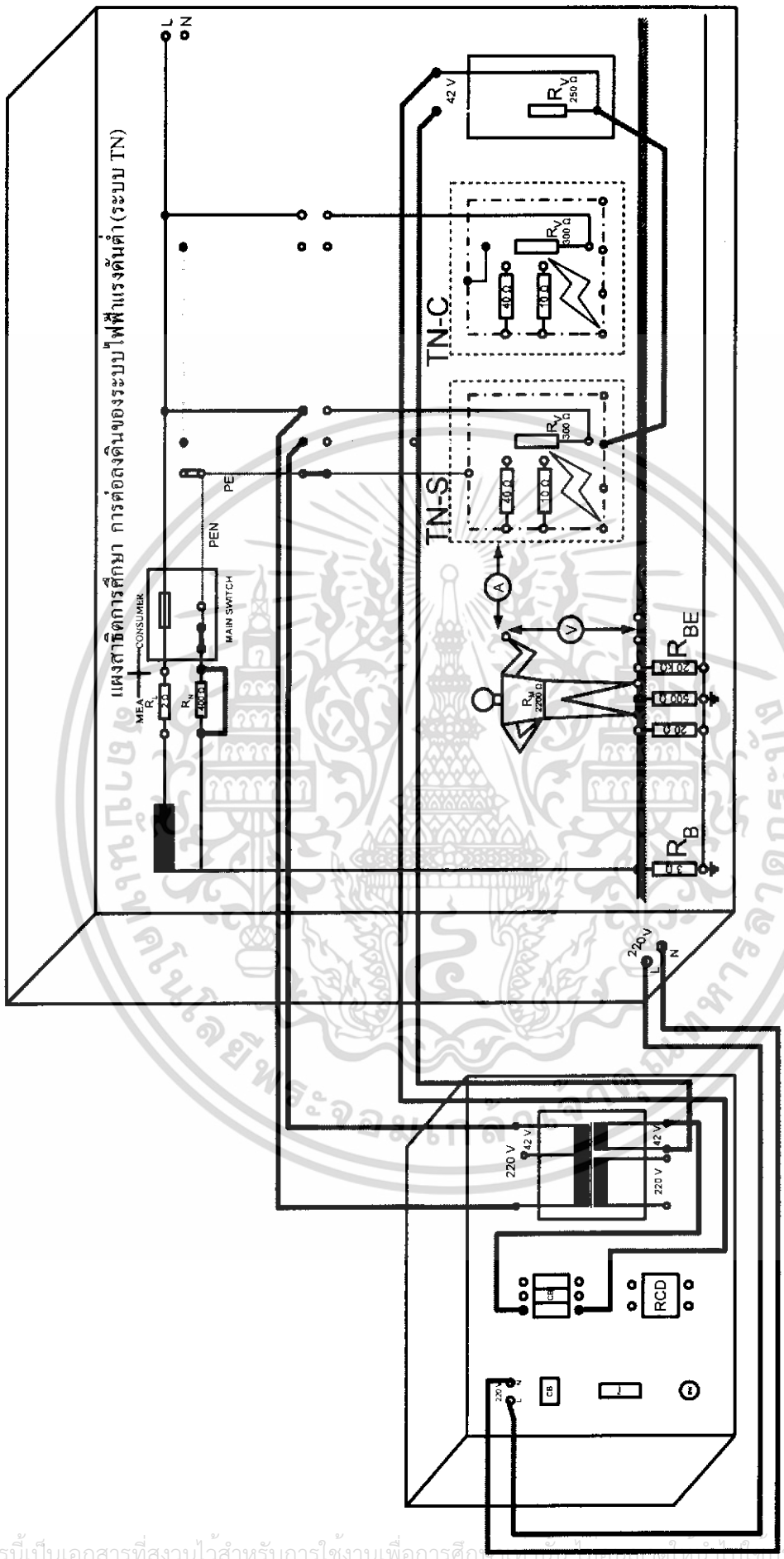
ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูปการทดลองที่ 4.26
2. วัดค่าต่าง ๆในวงจรการทดลอง

กระแสที่ไหลผ่านตัวคน (I_M)	=	0	*mA*
แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B)	=	0	*V*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.26 การทดลองที่ 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

เมื่อเราทำการแยกโหลดออกจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าระบบ TN-S แล้วเมื่อเกิดไฟฟ้าลัดวงจรลงตัวเครื่องใช้ไฟฟ้าแรงดันต่ำ แรงดันตกคร่อมตัวคนจะไม่ปรากฏขึ้น เนื่องจากว่าแรงดันต่ำทางด้านขดทุติยภูมิของหม้อแปลงไม่ได้ต่อลงดินจึงไม่มีกระแสฟอลต์ ไหลผ่านตัวเครื่องใช้ลงดิน ผลก็คือไม่เกิดอันตรายต่อผู้ที่สัมผัสเครื่องใช้ที่เกิดฟอลต์นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.13 การป้องกันโดยการใช้แรงดันต่ำ 42 โวลท์ จากหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแยกขดกับระบบไฟฟ้า TN-S โดยที่สายเฟสด้านแรงดันสูงแตะกับปลายสายทางด้านแรงดันต่ำเนื่องจากฉนวนของหม้อแปลงชำรุดขณะที่เครื่องใช้ไฟฟ้ารั่วลงโครงอย่างรุนแรง

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการป้องกันโดยการใช้แรงดันต่ำ 42 โวลท์ จากหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแยกขดกับระบบไฟฟ้า TN-S โดยที่สายเฟสด้านแรงดันสูงแตะกับปลายสายทางด้านแรงดันต่ำเนื่องจากฉนวนของหม้อแปลงชำรุด และเมื่อคนสัมผัสโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้า ในขณะที่เครื่องใช้ไฟฟ้ารั่วลงโครงอย่างรุนแรง

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

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

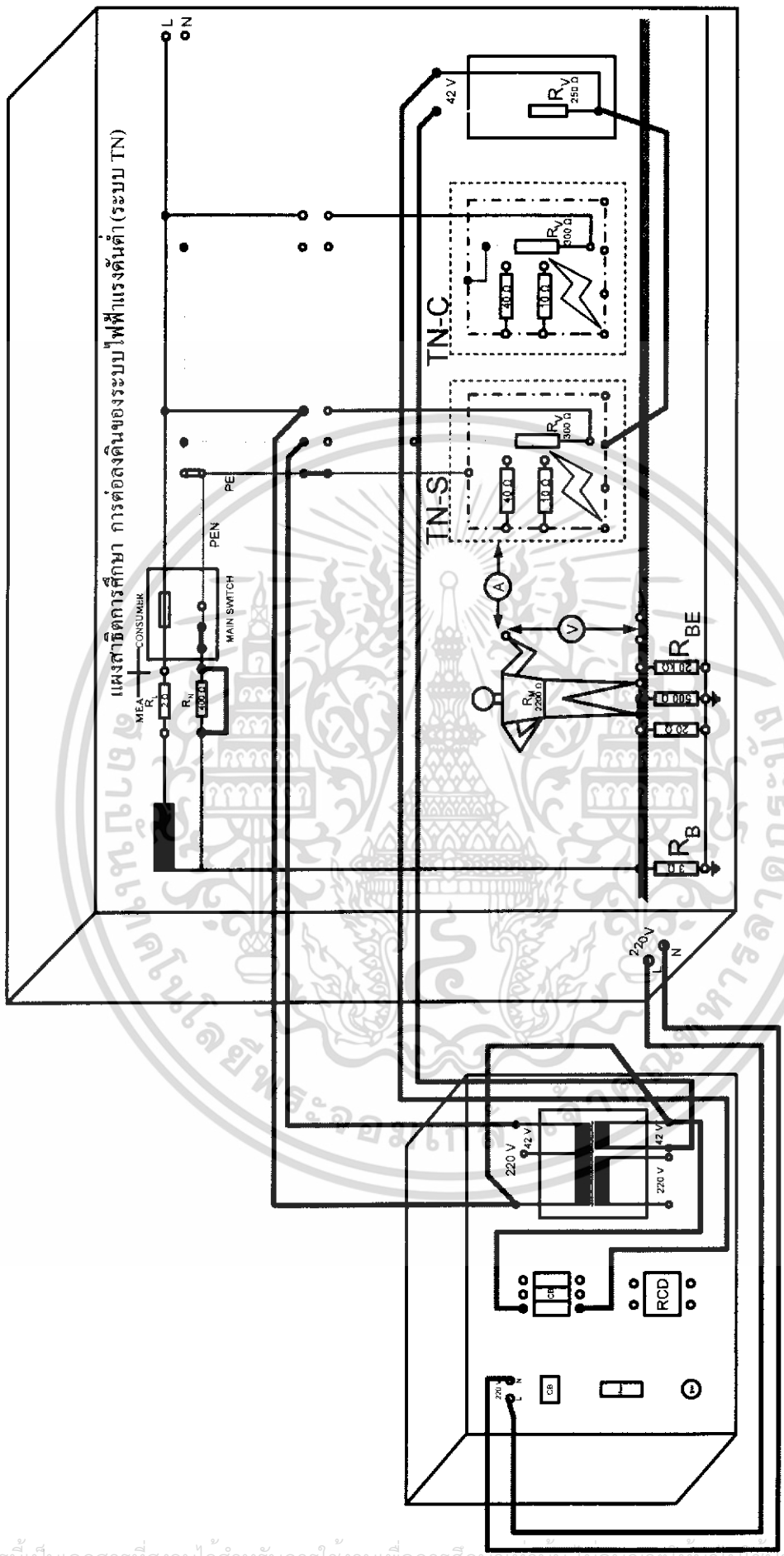
ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูปการทดลองที่ 4.27
2. ทำการวัดค่าต่างๆภายในวงจร

กระแสที่ไหลผ่านตัวคน (I_M)	=	0	*mA*
แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B)	=	0	*V*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.27 การทดลองที่ 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

การที่ฉนวนของหม้อแปลงชำรุดทำให้ปลายสายด้านแรงดันสูงแตะกับปลายสายด้านแรงดันต่ำก็มีผลทำให้เกิดอันตรายแก่ผู้ที่สัมผัสตัวเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เกิดฟอลต์นี้ แต่เนื่องจากระบบไฟฟ้า TN-S โครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าได้มีการต่อเข้ากับสาย PEN จึงทำให้กระแสลัดวงจรของเครื่องใช้ไฟฟ้านี้ไม่ไหลผ่านมาที่ตัวคนแต่จะไหลผ่านสาย PEN กลับสู่หม้อแปลง กระแสไฟฟ้าซึ่งมีค่ามากจึงทำให้เซอร์กิตเบรคเกอร์เปิดวงจรทันทีจึงไม่เป็นอันตรายต่อผู้ที่สัมผัสโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เกิดฟอลต์นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.14 การป้องกันโดยการแยกโหลดออกจากระบบไฟฟ้า TN-C เมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครงอย่างรุนแรง

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการป้องกันโดยการแยกโหลดออกจากระบบไฟฟ้า TN-C เมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดการรั่วลงโครงอย่างรุนแรง และผลที่เกิดขึ้นกับคนเมื่อสัมผัสโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้า

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

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

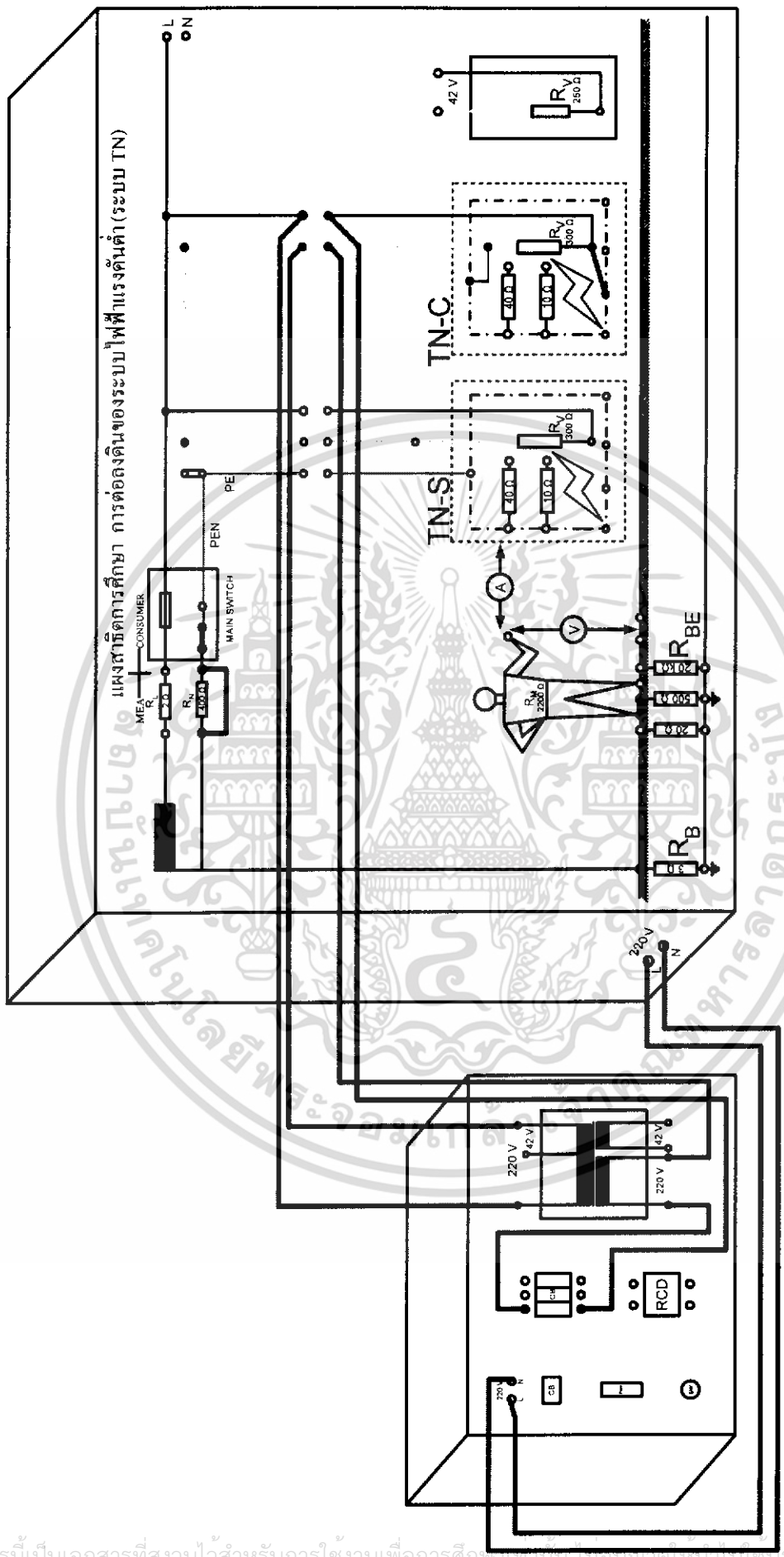
ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูปการทดลองที่ 4.28
2. วัดค่ากระแสไหลผ่านตัวคน (I_M) และแรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B)

กระแสที่ไหลผ่านตัวคน (I_M)	=	0	*mA*
แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B)	=	0	*V*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.28 การทดลองที่ 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

การที่เครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วอย่างรุนแรงแต่ระบบไฟฟ้า TN-C มีการต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับสายนิวทรัลจึงทำให้กระแสลัดวงจรไหลกลับสู่หม้อแปลง ค่าของกระแสมีค่ามากจึงทำให้เซอร์กิตเบรคเกอร์เปิดวงจรทันทีจึงไม่เป็นอันตรายต่อคนที่สัมผัสโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.15 การป้องกันโดยการแยกโหลดออกจากแหล่งจ่ายระบบไฟฟ้า TN-C เมื่อไฟฟ้าเกิดรั่วสองแห่งทางด้านทุติยภูมิ

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการป้องกันโดยการแยกโหลดออกจากแหล่งจ่ายระบบไฟฟ้า TN-C และเมื่อสายอีกด้านหนึ่งของหม้อแปลงด้านทุติภูมิเกิดรั่วลงพื้นที่เป็นโลหะที่เป็นโลหะที่คนทำงานอยู่และเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วอย่างรุนแรง

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

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

ขั้นตอนการทดลอง

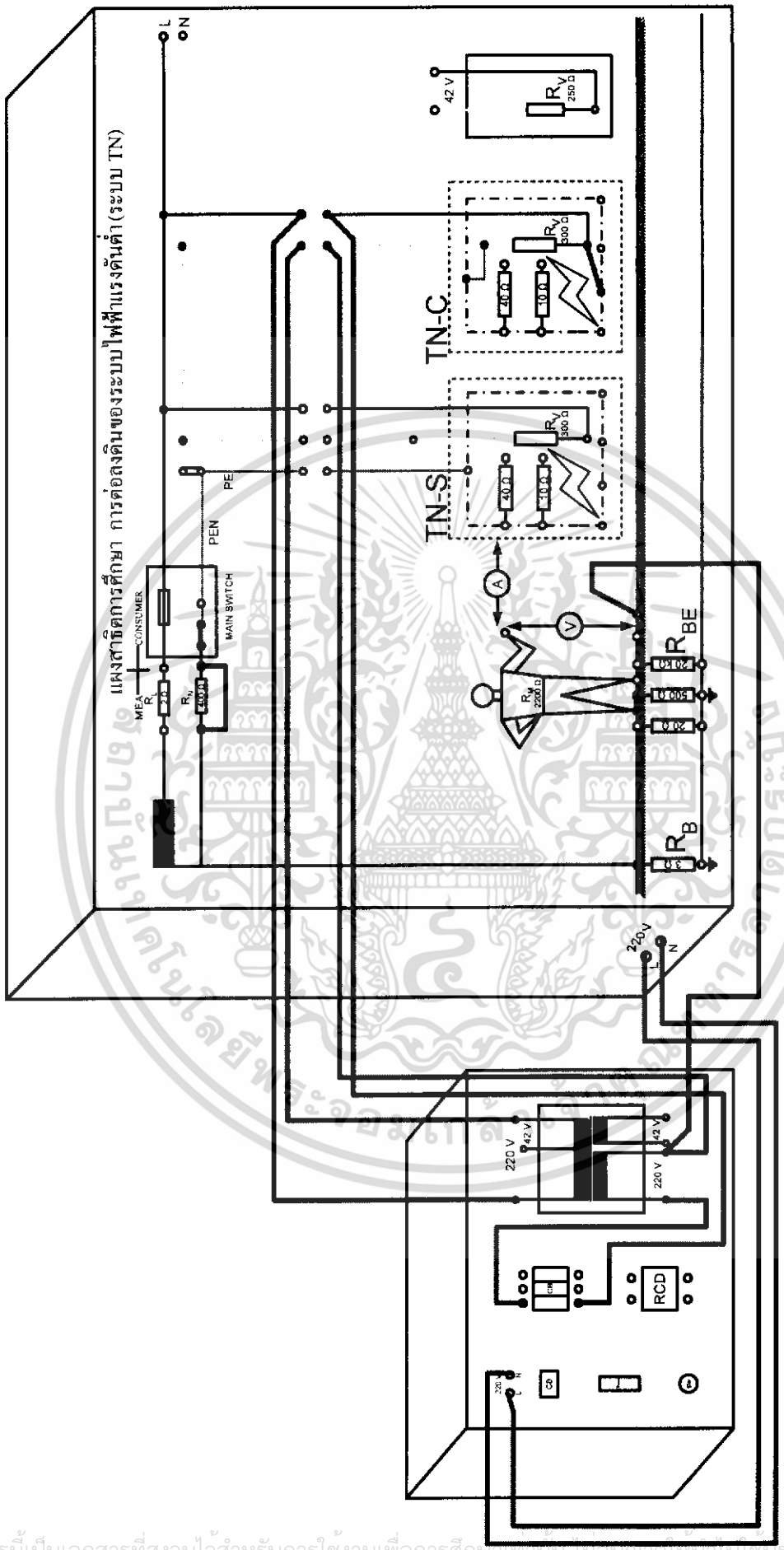
1. ต่อวงจรตามรูปการทดลองที่ 4.29
2. ทำการวัดต่าง ๆของวงจรการทดลอง

กระแสที่ไหลผ่านตัวคน (I_M) = 0 *mA*

แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B) = 0 *V*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.29 การทดลองที่ 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

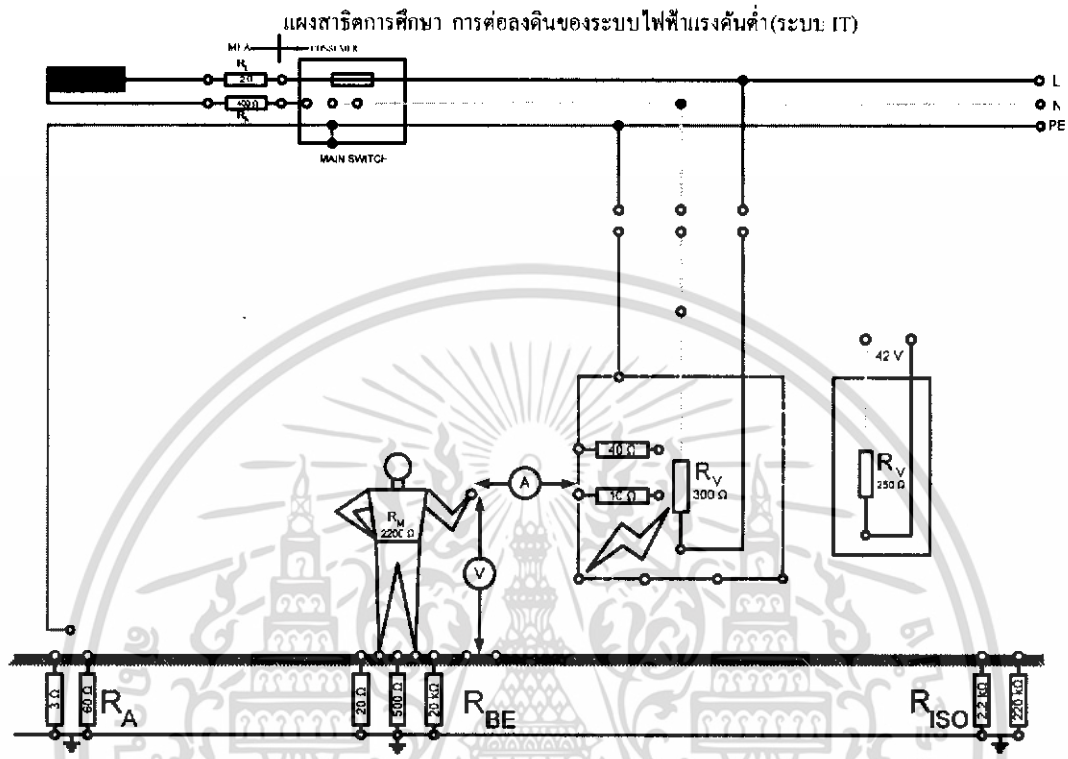
สรุปผลการทดลอง

เซอร์กิตเบรคเกอร์เปิดวงจรทันทีเนื่องจากกระแสลัดวงจรที่มีค่ามากไหลกลับหม้อแปลง จึงไม่เป็นอันตรายต่อคนที่สัมผัสโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เกิดรั่วสองแห่งนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ใบงานการทดลองของระบบไฟฟ้า IT [9]

แผงสาธิตการศึกษาการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำระบบ IT



รูปที่ 4.30 สัญลักษณ์ที่ใช้ในแผงสาธิตการทดลองระบบ IT

R_K = ความต้านทานตรงจุดที่เกิดฟอลต์ระหว่างตัวเครื่องใช้กับตัวนำของเครื่องใช้

R_L = ความต้านทานของสายเฟส

R_M = ความต้านทานของคน

R_{BE} = ความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนยืนสัมผัสกับดิน

R_V = ความต้านทานของโหลด

R_A = ความต้านทานของหลักดินต่อดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า (Equipment grounding)

R_N = ความต้านทานที่ปรากฏในสายนิวทรัล

R_{ISO} = ความต้านทานของฉนวนระหว่างสายนิวทรัลกับดิน

I_M = กระแสไหลผ่านตัวคน

V_B = แรงดันสัมผัสตัวคน (Touch Voltage)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 การต่อโครงของระบบไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้า IT เมื่อเกิดไฟฟ้ารั่วลงโครงอย่างรุนแรงและค่าความต้านทานหลักดินได้ตามมาตรฐาน

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นกับคน เมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบ IT ซึ่งเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดการลัดวงจรรั่วลงโครงอย่างรุนแรง

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานที่จุดเกิดไฟฟ้ารั่วลงโครง (R_K) = 0 โอห์ม

ค่าความต้านทานของหลักดินต่อดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า (R_A) = 3 โอห์ม

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L) = 2 โอห์ม

ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนยืนสัมผัสกับดิน (R_{BE}) มีค่าต่างๆคือ 20 Ω 500 Ω และ 20 kΩ

ขั้นตอนการทดลอง

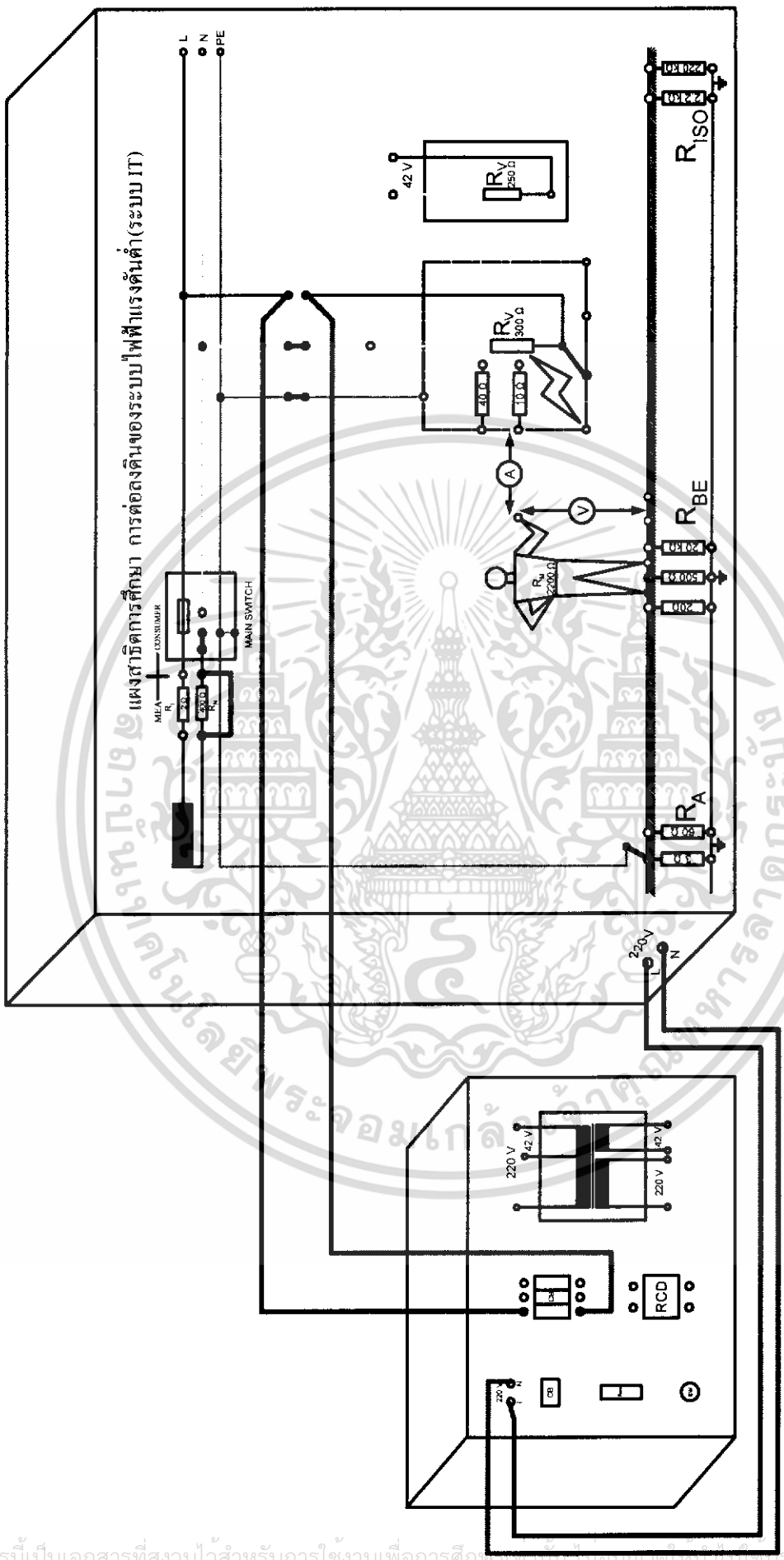
1. ต่อวงจรตามรูปการทดลองที่ 4.31
2. ทำการวัดค่าต่างๆของวงจรการทดลอง

ค่าที่วัดได้

R_{BE} (Ω)	20	500	20k
I_M (mA)	0	0	0
V_B (V)	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.31 การทดลองที่ 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

เนื่องจากระบบ IT จากชุดสาธิตจุดนิวทรัลของหม้อแปลงระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าไม่ได้ต่อลงดินจึงทำให้ไม่มีแรงดันตกคร่อมที่ตัวคน กระแสที่ไหลผ่านตัวคนจึงเป็นศูนย์จึงไม่เกิดอันตรายต่อผู้ที่สัมผัสโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้า แต่ในความเป็นจริงอาจจะมีการต่อลงดินโดยผ่านอิมพิแดนซ์จำกัดกระแสที่จุดนิวทรัลของหม้อแปลงทำให้ระบบครบวงจร จึงน่าจะมีแรงดันตกคร่อมและกระแสไหลผ่านร่างกายมนุษย์เพียงเล็กน้อย แต่ก็ไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกายมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การต่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับระบบ IT ซึ่งฉนวนของสายนิวทรัลอยู่ในสภาพดีขณะรั่วลงโครงอย่างรุนแรง

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาว่ากรณีที่ต่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเรากับระบบ IT ซึ่งฉนวนของสายนิวทรัลอยู่ในสภาพที่ดี และเมื่อคนไปสัมผัสเครื่องใช้ไฟฟ้า ขณะรั่วลงโครงอย่างรุนแรง

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานของหลักดินต่อดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า (R_A) = 3 โอห์ม

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L) = 2 โอห์ม

ค่าความต้านทานของฉนวนระหว่างสายนิวทรัลกับดิน (R_{ISO}) = 220,000 โอห์ม

ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนยืนสัมผัสกับดิน (R_{BE}) มีค่าต่าง ๆคือ 20 Ω 500 Ω และ 20 kΩ

ขั้นตอนการทดลอง

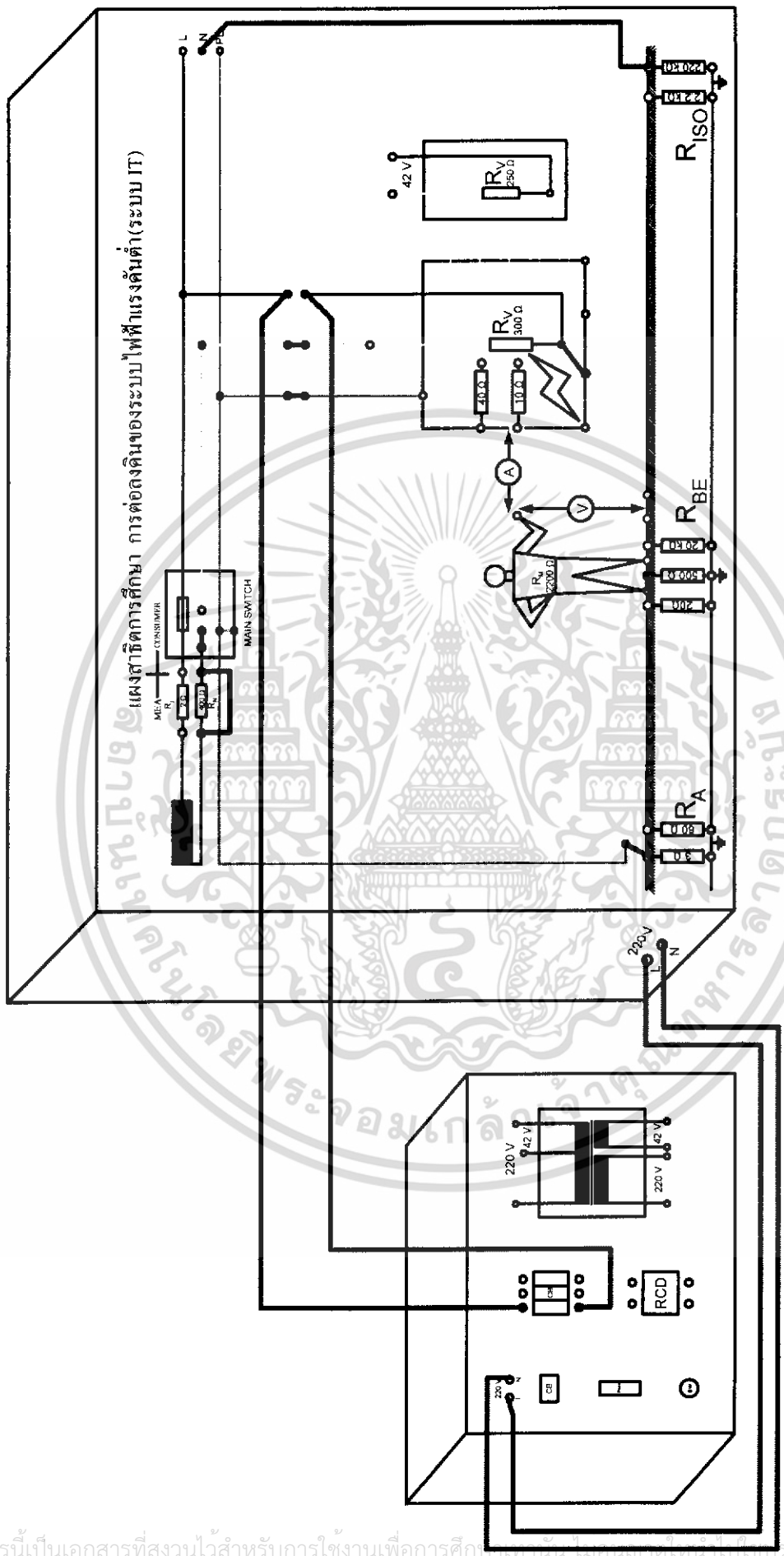
1. ต่อวงจรตามรูปการทดลองที่ 4.32
2. ทำการวัดค่าต่าง ๆของวงจร

ค่าที่วัดได้

R_{BE} (Ω)	20	500	20k
I_M (mA)	0	0	0
V_B (V)	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.32 การทดลองที่ 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณหาค่ากระแสไหลผ่านตัวคน (I_M) แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B)

$$R_T = [R_A // (R_M + R_{BE})] + R_{ISO}$$

$$= \frac{3 \times (2200 + 20)}{2200 + 20 + 3} + 220000$$

$$= 220003\ \Omega$$

$$I_T = \frac{V}{R_T}$$

$$= 1\ mA$$

กระแสที่ไหลผ่านตัวคน (I_M) $= \frac{I_T \times R_A}{R_M + R_{BE} + R_A}$

$$= \frac{1 \times 3}{2200 + 20 + 3}$$

$$= 0.00135\ mA$$

แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B) $= I_M \times R_M$

$$= 0.99 \times 10^{-3} \times 2200$$

$$= 0.00297\ V$$

ค่าที่คำนวณได้

R_{BE} (Ω)	20	500	20k
I_M (mA)	0.00135	0.00111	0.000135
V_B (V)	0.00297	0.002508	0.000297

สรุปผลการทดลอง

ถ้าความต้านทานฉนวนของสายนิวทรัลมีค่าสูง และเครื่องใช้ไฟฟ้าอยู่ในสภาพอันตราย (ไฟฟ้ารั่วลงตัวเครื่องใช้ไฟฟ้า) แรงดันตกคร่อมตัวคนที่ปรากฏมีค่าต่ำมากจนไม่สามารถทำการวัดได้แต่สามารถคำนวณได้จากสมการข้างบน จึงไม่เป็นอันตรายต่อผู้สัมผัสโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การต่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้า IT ซึ่งฉนวนของสายนิวทรัลอยู่ในสภาพไม่ดี และ เครื่องใช้ไฟฟ้าไม่ได้ทำการต่อลงดิน

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาถึงผลที่จะเกิดขึ้นกับคนเมื่อฉนวนของสายนิวทรัลอยู่ในสภาพไม่ดีและเครื่องใช้ไฟฟ้าไม่ได้ทำการต่อสายดินป้องกัน

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L) = 2 โอห์ม

ค่าความต้านทานของฉนวนระหว่างสายนิวทรัลกับดิน (R_{ISO}) = 2,200 โอห์ม

ค่าความต้านทานที่จุดเกิดไฟฟ้ารั่วลงโครง (R_K) = 0 โอห์ม

ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนยืนสัมผัสกับดิน (R_{BE}) มีค่าต่าง ๆคือ 20 Ω 500 Ω และ 20 kΩ

ขั้นตอนการทดลอง

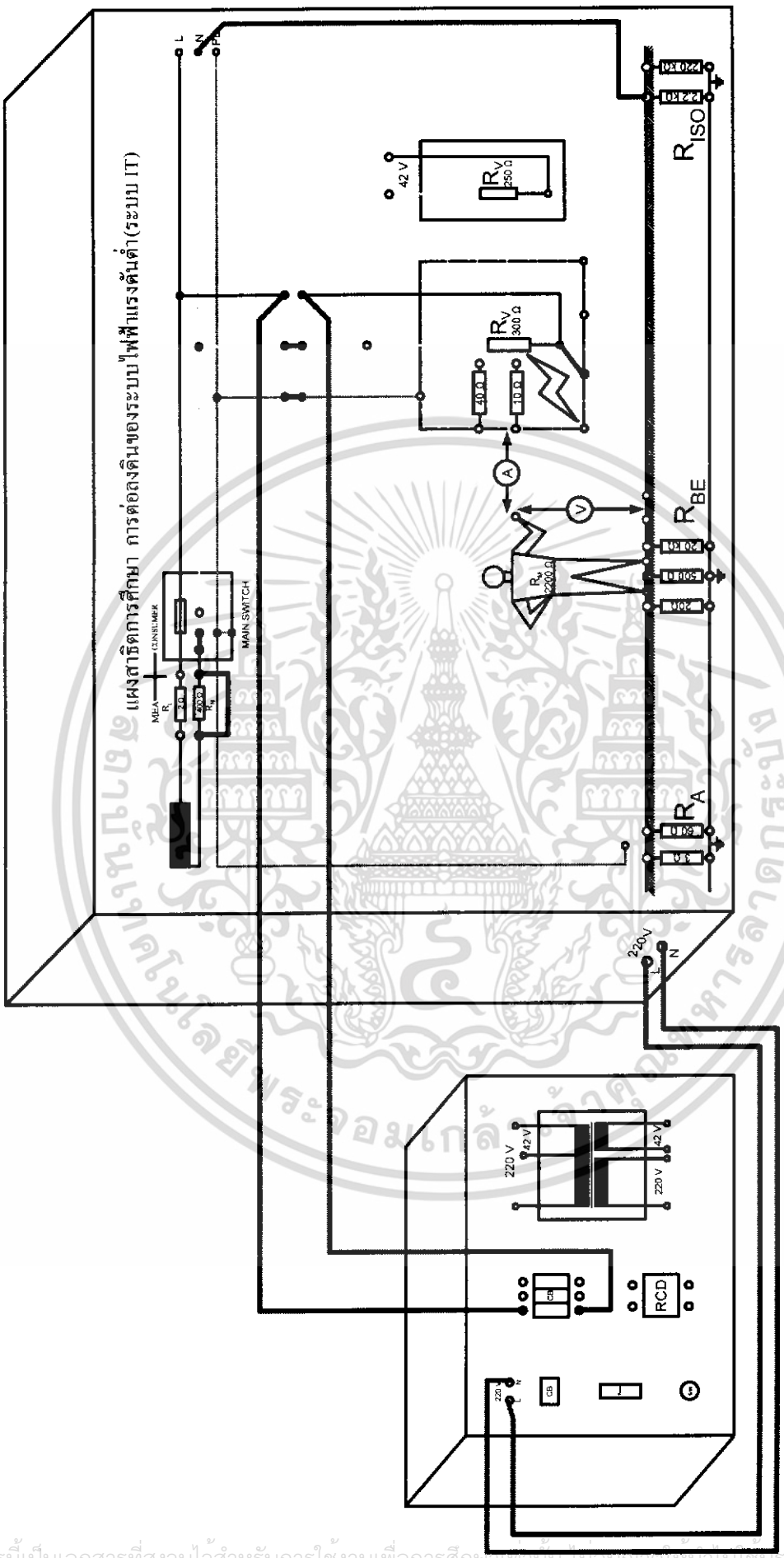
1. ต่อวงจรรูปการทดลองที่ 4.33
2. ทำการวัดค่าต่าง ๆภายในวงจรการทดลอง

ค่าที่วัดได้

R_{BE} (Ω)	20	500	20k
I_M (mA)	53.7	48.3	9.18
V_B (V)	103.1	93.0	19.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.33 การทดลองที่ 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณหาค่ากระแสไหลผ่านตัวคน (I_M) แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B)

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

$= \frac{220}{2200 + 20 + 2200}$

$= 49.77 \ mA$

แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B) $= I_M \times R_M$

$= 49.77 \times 10^{-3} \times 2200$

$= 109.5 \ V$

ค่าที่คำนวณได้

R_{BE} (Ω)	20	500	20k
I_M (mA)	49.77	44.89	9.02
V_B (V)	109.5	98.76	19.844

สรุปผลการทดลอง

เมื่อค่าความต้านทานของฉนวนของสายนิวทรัลมีค่าไม่ได้มาตรฐาน จะเห็นว่าค่าของกระแสไม่สามารถทำให้ เซอร์กิตเบรคเกอร์ เปิดวงจรได้แต่ก็มีค่ามากพอที่จะทำให้เกิดอันตรายกับคนที่สัมผัสเครื่องใช้ไฟฟ้านี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 การต่อโครงของเครื่องเข้ากับระบบไฟฟ้า IT ซึ่งฉนวนของสายนิวทรัลอยู่ในสภาพไม่ดี และเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ทำการต่อลงดิน

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นกับคน เมื่อฉนวนของสายนิวทรัลอยู่ในสภาพไม่ดี แต่เครื่องใช้ไฟฟ้าได้ทำการต่อลงดิน

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L) = 2 โอห์ม

ค่าความต้านทานของหลักดินต่อดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า (R_A) = 3 โอห์ม

ค่าความต้านทานของฉนวนระหว่างสายนิวทรัลกับดิน (R_{ISO}) = 2,200 โอห์ม

ค่าความต้านทานที่จุดเกิดไฟฟ้ารั่วลงโครง (R_K) = 0 โอห์ม

ค่าความต้านทานระหว่างผิวดินที่คนยืนสัมผัสกับดิน (R_{BE}) มีค่าต่างๆคือ 20 Ω 500 Ω และ 20 kΩ

ขั้นตอนการทดลอง

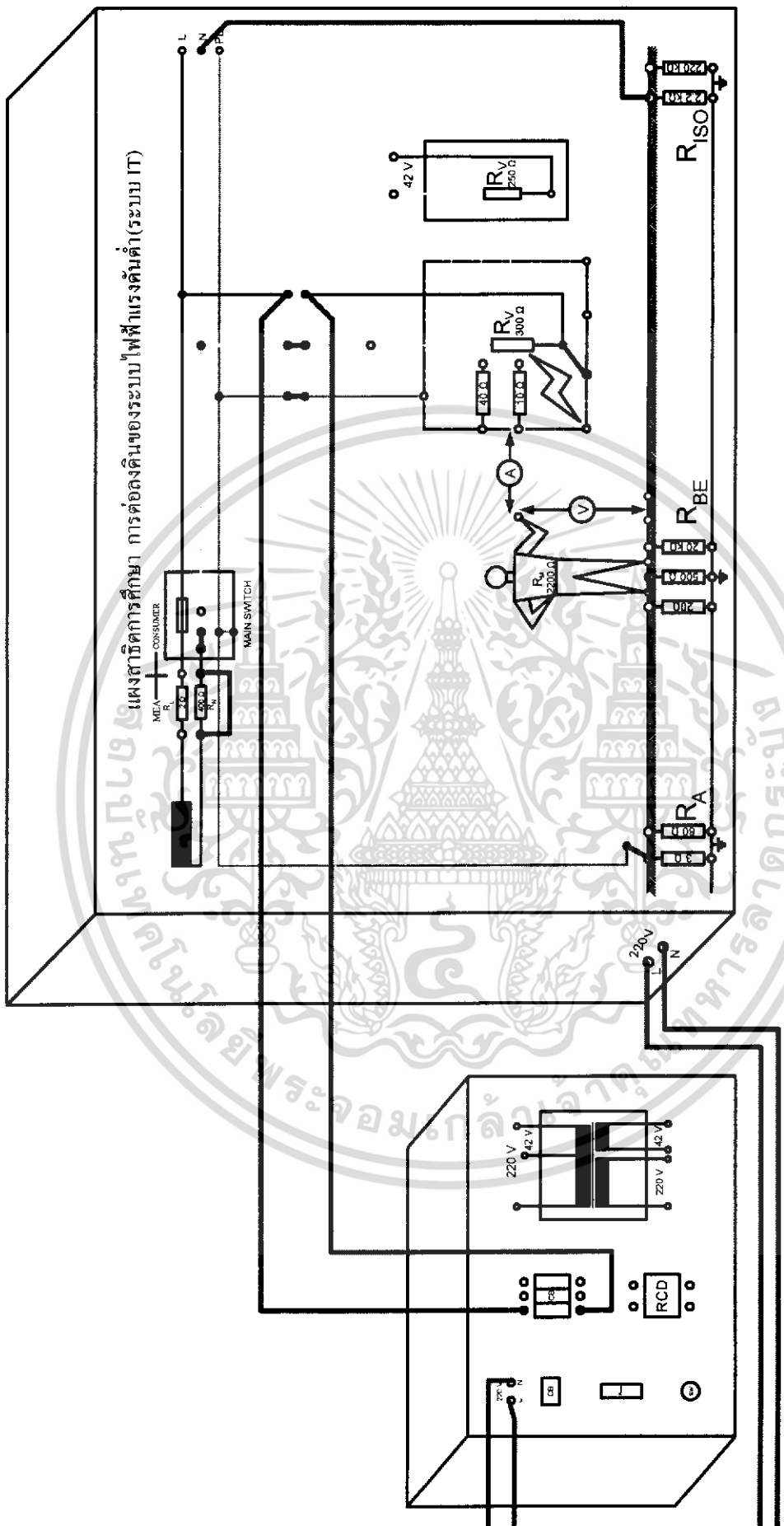
1. ต่อวงจรตามรูปแบบการทดลองที่ 4.34
2. ทำการวัดค่าต่างๆภายในวงจรการทดลอง

ค่าที่วัดได้

R_{BE} (Ω)	20	500	20k
I_M (mA)	0.22	0.17	0.05
V_B (V)	0.02	0.01	0.002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.34 การทดลองที่ 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณหาค่ากระแสไหลผ่านตัวคน (I_M) แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B)

กระแสไหลผ่านเบรคเกอร์ (I_{CB}) = $\frac{V}{[(R_M + R_{BE})// R_A] + R_L + R_{ISO}}$

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

= $99.8 \ mA$

กระแสไหลผ่านตัวคน (I_M) = $\frac{I_{CB} \times R_A}{R_M + R_{BE} + R_A}$

= $\frac{99.8 \times 10^{-3} \times 3}{2200 + 500 + 3}$

= $0.11 \ mA$

= $I_M \times R_M$

= $0.11 \times 10^{-3} \times 2200$

= $0.24 \ V$

ค่าที่คำนวณได้

R_{BE} (Ω)	20	500	20k
I_M (mA)	0.13	0.11	0.07
V_B (V)	0.286	0.24	0.15

สรุปผลการทดลอง

เมื่อเราได้ทำการต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าลงดินแล้วกระแสที่ไหลผ่านตัวคนนั้น มีค่าน้อยมากโดยกระแสฟอลต์นั้นจะไหลผ่านสายดินแทน จึงทำให้คนที่สัมผัสโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้านั้นไม่เกิดอันตราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 การป้องกันโดยการแยกโหลดออกจากระบบไฟฟ้า IT เมื่อเกิดไฟฟ้ารั่วสองแห่งทางด้านทุติยภูมิ

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาถึงอันตรายที่อาจเกิดขึ้น จากการแยกโหลดออกจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า และเมื่อสายอีกด้านหนึ่งของหม้อแปลงอีกด้านหนึ่งเกิดรั่วลงพื้นที่เป็นโลหะที่คนทำงานอยู่ และเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วลงโครง

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L) = 2 โอห์ม

ค่าความต้านทานที่จุดเกิดไฟฟ้ารั่วลงโครง (R_K) มีค่าต่างๆกันคือ 0 โอห์ม 10 โอห์ม และ 40โอห์ม

ขั้นตอนการทดลอง

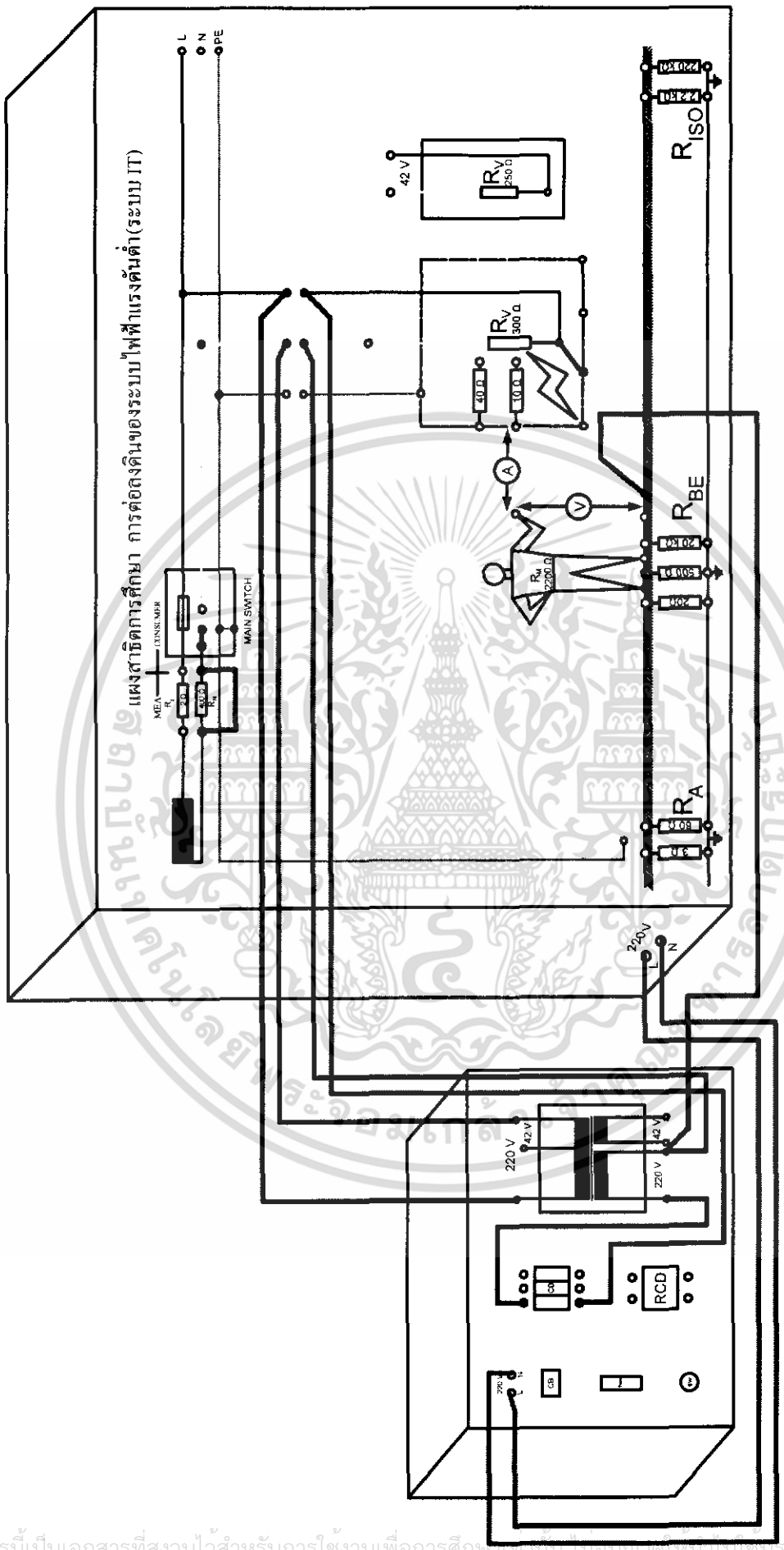
1. ต่อวงจรตามรูปการทดลองที่ 4.35
2. วัดกระแสไหลผ่านตัวคน (I_M) และแรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B) ที่ค่า R_K ต่างๆ

ค่าที่วัดได้

R_K (Ω)	0	10	40
I_M (mA)	112.6	112.2	110.4
V_B (V)	213	212.2	208.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.35 การทดลองที่ 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณกระแสที่ไหลผ่านตัวคน

$$\text{กระแสรวม } (I_T) = \frac{V}{\left[(R_M + R_K) // R_V\right]}$$

$$= \frac{220}{\left[(2200+0) // 300\right]}$$

$$= 833 \ mA$$

$$\text{กระแสไหลผ่านตัวคน } (I_M) = \frac{I_T \times R_V}{(R_M + R_K) + R_V}$$

$$= \frac{0.833 \times 300}{(2200+0)+300}$$

$$= 99.96 \ mA$$

$$\text{แรงดันตกคร่อมตัวคน } (V_B) = I_M \times R_M$$

$$= 99.96 \times 10^{-3} \times 2200$$

$$= 219.91 \ V$$

ค่าที่คำนวณได้

$R_K\ (\Omega)$	0	10	40
$I_M\ (mA)$	99.96	99.55	98.21
$V_B\ (V)$	219.91	219.01	216.1

สรุปผลการทดลอง

โครงของโลหะมีความต่างศักย์เทียบกับพื้นโลหะสูงเกือบเท่ากับแหล่งจ่าย แรงดันนี้เป็นแรงดันสัมผัสที่ตกคร่อมตัวคน ทำให้มีค่ากระแสไหลผ่านตัวคนซึ่งเป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์ กระแสรวมในวงจรทุติยภูมิมีค่าต่ำมากเซอร์กิตเบรคเกอร์ไม่เปิดวงจร ดังนั้นแรงดันสัมผัสยังคงปรากฏอยู่ต่อไป และพื้นที่คนยืนเป็นโลหะตัวนำ เช่น บนเหล็ก และในเรือเหล็ก เป็นต้น เพื่อเป็นการป้องกันอันตรายจากไฟรั่วให้ต่อโครงของเครื่องใช้ลงกับพื้นโลหะด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6 การป้องกันโดยการแยกโหลดออกจากระบบไฟฟ้า IT เมื่อเกิดไฟฟ้ารั่วและมีการต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าลงพื้นโลหะที่คนยืนทำงาน

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการแยกโหลดออกจากระบบไฟฟ้า IT และมีการต่อโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าลงพื้นโลหะที่คนยืนทำงาน เมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเกิดรั่วขึ้นสองแห่งพร้อมกัน

ค่าที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความต้านทานของสายเฟส (R_L)	=	2	โอห์ม
ค่าความต้านทานที่จุดเกิดไฟฟ้ารั่วลงโครง (R_K)	=	0	โอห์ม

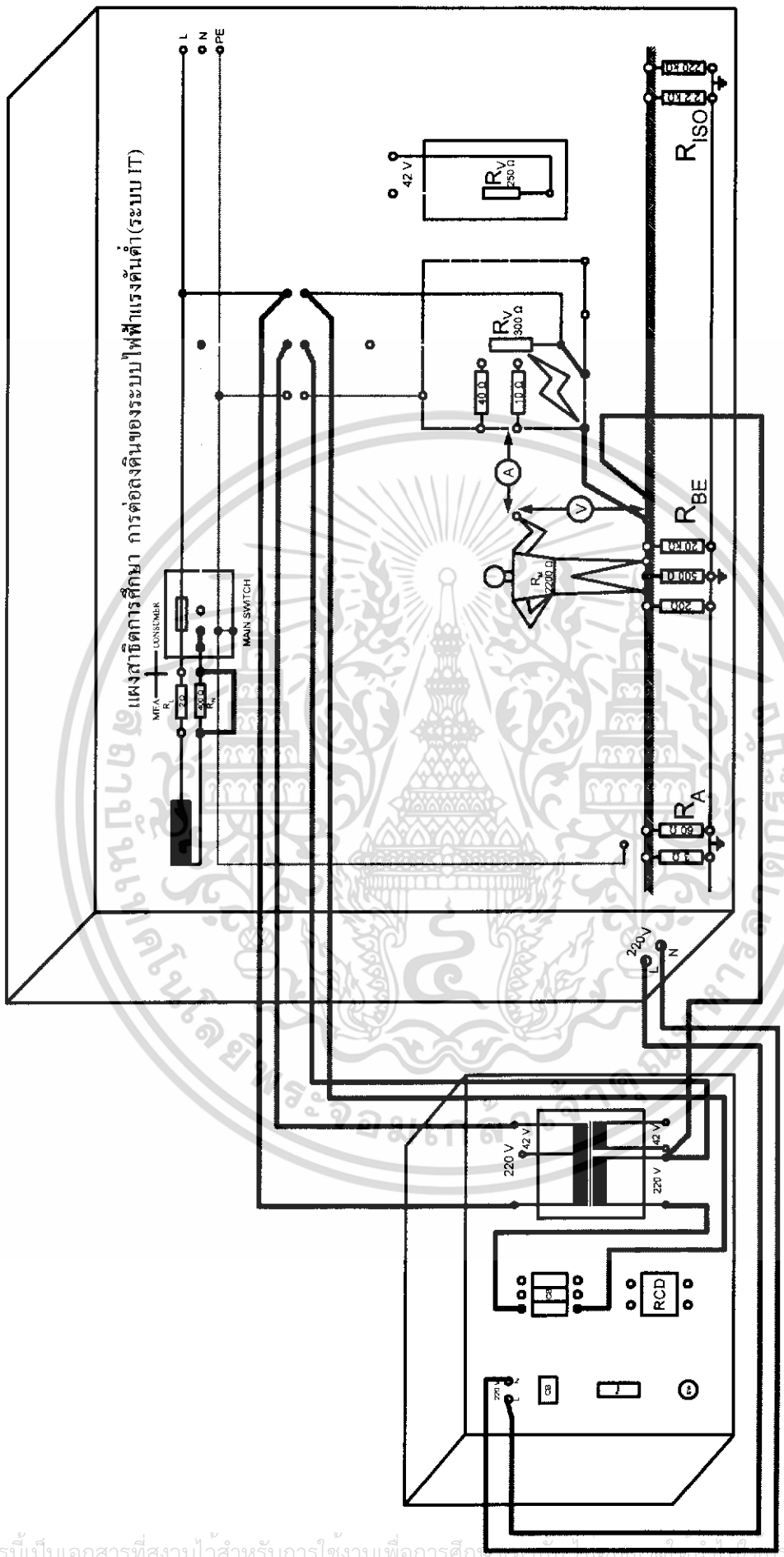
ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูปการทดลองที่ 4.36
2. วัดกระแสไหลผ่านตัวคน (I_M) และแรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B)

กระแสที่ไหลผ่านตัวคน (I_M)	=	0	mA
แรงดันตกคร่อมตัวคน (V_B)	=	0	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.36 การทดลองที่ 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

เซอร์กิตเบรคเกอร์เปิดวงจรหม้อแปลงแบบแยกขดทันทีไม่เป็นอันตรายต่อคนที่สัมผัสโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ชุดสาธิตการศึกษาการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำนี้ จะเป็นการศึกษาถึงปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องใช้ไฟฟ้า และผลที่เกิดขึ้นกับมนุษย์เมื่อสัมผัสโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าเมื่อเกิดไฟฟ้ารั่วลงโครงในรูปแบบต่างๆ การศึกษาถึงการต่อเพื่อป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าดูด เพื่อนำมาสร้างชุดสาธิตการต่อลงดินตามระบบ TT , IT , TN-C ,TN-S โดยใน Project I ได้ทำการออกแบบและสร้างชุดสาธิตการต่อลงดินของระบบ TT และชุดแหล่งจ่ายกับอุปกรณ์ป้องกันขึ้น ส่วนในProject II จะเป็นการออกแบบและสร้างชุดสาธิตของระบบ IT , TN-C ,TN-S เพื่อเป็นสื่อการสอนสำหรับนักศึกษารุ่นต่อไปได้ทำความเข้าใจเกี่ยวกับการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำและนำไปประยุกต์ใช้ได้ในสถานการณ์จริงที่อาจเกิดไฟฟ้ารั่วลงโครงของเครื่องใช้ไฟฟ้าขึ้นได้ทุกเมื่อและหาทางป้องกันที่ถูกต้องต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] วิวัฒน์ กุลวงศ์วิทย์, **การต่อลงดินระบบไฟฟ้า**, เล่มที่ 2.พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพฯ : สมาคมวิศวกรออกแบบและปรึกษาเครื่องกลและไฟฟ้าไทย. 2546.

[2] IEC 60479 -1, 1994 - 09 Effects of current on human beings and livestock – Past 1 : General aspects.

[3] กิตติศักดิ์ พัฒนพล กุลโชติ สุขจันทร์ และ สุพจน์ เทือกตาหลอย, "ชุดสาธิตการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้ารั่ว," **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2539.

[4] วิวัฒน์ กุลวงศ์วิทย์, **เครื่องตัดวงจรกระแสไฟฟ้ารั่ว**, พิมพ์ครั้งที่ 1,กรุงเทพฯ : สมาคมวิศวกรออกแบบและปรึกษาเครื่องกลและไฟฟ้าไทย. 2547.

[5] ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์, **การออกแบบระบบไฟฟ้า**, พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพฯ : ทีซีจี พริ้นติ้ง, 2545.

[6] ศุลี บรรจงจิตร, **หลักและเทคนิคการออกแบบระบบไฟฟ้า**, กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2547.

[7] คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, **มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสิ่งปลูกสร้าง**, พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2543.

[8] IEC 364-1,2001-08, Fundamental principles,assessment of general characteristics, definitions.

[9] Univ.-Prof.Dr.-Ing.H.-J.Haubrich, "Electrical Power Engineering Lab I Test 6," **Aachen University of Technology**., pp. 1-32.

[10] คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, **มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย**, พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2545.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางเบอร์ลวดนิโครมที่นำมาทำตัวต้านทานกระแสสูง **[3]**

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

ชื่อเต็มของระบบไฟฟ้าแบบต่าง ๆ

ระบบ TT = Terre Terre (เป็นภาษาผรั่งเศสอ่านออกเสียงว่า แตร์ แตร์)

ระบบ TN-S = Terre - separate

ระบบ TN-C = Terre - combined

ระบบ TN-C-S = Terre - combined - separate

ระบบ IT = Impedance Terre

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อแนะนำเพิ่มเติมสำหรับเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่ใช้กับบ้านอยู่อาศัย และอาคารทั่วไปตามมาตรฐาน IEC 60898 หรือ IEC 898 [10]

เซอร์กิตเบรคเกอร์ตามมาตรฐาน IEC 60898 นี้ใช้สำหรับงานเพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินในบ้านอยู่อาศัยและอาคารทั่วไปที่มีแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายที่ไม่เกิน 440 โวลต์ ความถี่ 50 หรือ 60 Hz พิกัดกระแสไม่เกิน 125 A และพิกัดการตัดกระแสลัดวงจรไม่เกิน 25 kA จำนวนขั้วอาจมีได้ตั้งแต่ 1ถึง 4 ขั้ว

ประเภทการใช้งานของเซอร์กิตเบรคเกอร์ (Utilization Category)

เซอร์กิตเบรคเกอร์ตามมาตรฐาน IEC 60898 สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามความสามารถในการตัดกระแสไฟฟ้าเกินออกทันที (Instantaneous Tripping) ได้ดังนี้

ประเภท	ช่วงกระแสไฟฟ้าเกินที่มีการตัดทันที	การนำไปใช้งาน
B	> 3 In ถึง 5 In	ใช้สำหรับวงจรไฟฟ้าที่ไม่มีกระแสไฟกระโชก (inrush current) หรือ เสิร์จสวิตชิง(switching surge)
C	> 5 In ถึง 10 In	ใช้สำหรับวงจรไฟฟ้าทั่วไปที่อาจมีกระแสกระโชก (inrush current) เช่น ไฟแสงสว่างฟลูออเรสเซนต์, มอเตอร์เล็กๆ,เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น
D	> 10 In ถึง 50 In	ใช้สำหรับวงจรไฟฟ้าที่มีกระแสไฟกระโชก (inrush current) สูง เช่น เครื่องเชื่อม เครื่องเอกซเรย์ เป็นต้น

หมายเหตุ

1. In = พิกัดกระแสใช้งานปกติ
2. ไม่ควรใช้เซอร์กิตเบรคเกอร์ประเภท D กับวงจรที่ใช้ป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าดูด(จะต้องระมัดระวังความปลอดภัยเป็นพิเศษ)
3. ช่วงกระแสไฟฟ้าเกินที่ต่ำกว่าช่วงที่มีการตัดทันที จะใช้เวลาตัดวงจรมากกว่า 0.1 วินาที
4. ช่วงกระแสไฟฟ้าเกินที่สูงกว่าช่วงที่มีการตัดทันที จะใช้เวลาตัดวงจรน้อยกว่า 0.1 วินาที

ตัวอย่างการเรียกประเภทและพิกัดกระแสใช้งาน เช่น C16 หมายถึงเซอร์กิตเบรคเกอร์ประเภท C ขนาดพิกัดกระแสใช้งาน 16 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ **[10]**

ขนาดตัวนำประธาน (ตัวนำทองแดง) (ตร.มม.)	ขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดิน(ตัวนทองแดง) (ตร.มม.)
ไม่เกิน 35	10*
เกิน 35 แต่ไม่เกิน 50	16
เกิน 50 แต่ไม่เกิน 95	25
เกิน 95 แต่ไม่เกิน 185	35
เกิน 185 แต่ไม่เกิน 300	50
เกิน 300 แต่ไม่เกิน 500	70
เกิน 500	95

หมายเหตุ * แนะนำให้ติดตั้งในท่อโลหะหนา ท่อโลหะหนาปานกลาง ท่อโลหะบาง หรือท่ออโลหะและการติดตั้งสอดคล้องตามข้อ 5.4 และ 5.8 ของ ว.ส.ท.

ตารางขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า **[10]**

พิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสเกินไม่เกิน (แอมแปร์)	ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (ตัวนำทองแดง)(ตร.มม.)
16	1.5*
20	2.5*
40	4*
70	6*
100	10
200	16
400	25
500	35
800	50
1000	70
1250	95
2000	120
2500	185
4000	240
6000	400

หมายเหตุ ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าใช้สำหรับที่อยู่อาศัยหรืออาคารของผู้ใช้ไฟที่อยู่ห่างจากหม้อแปลงระบบจำหน่ายระยะไม่เกิน 100 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้