

การออกแบบวงจรสำหรับตำรวจ



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
มีนาคม 2546
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การออกแบบวงจรสำหรับเตารับปลดภัย



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา

มีนาคม 2546

๒ 157180

ณัฏพล ฉลุทอง. (2546). *การออกแบบวงจรสำหรับตัวรับปลอดภัย*. ปรินซ์นิพนธ์ กศ.ม.
(อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
คณะกรรมการควบคุม : อาจารย์ ดร. ไพรัช วงศ์ยุทธไกร, อาจารย์ โสภาส สุขหวาน.

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมาย คือ ออกแบบวงจรตัวรับปลอดภัย แล้วนำมาประเมินหาประสิทธิภาพและสมรรถนะของตัวรับปลอดภัย

วงจรตัวรับปลอดภัยที่สร้างขึ้น มีส่วนประกอบของวงจรดังนี้ คือ วงจรตรวจสอบค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้า วงจรตรวจสอบไฟฟ้ากระแสสลับ วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง และวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินหาประสิทธิภาพ คือ ตัวรับปลอดภัยจะจ่ายแรงดันไฟฟ้าเมื่ออุปกรณ์ไฟฟ้ามีค่าความต้านทานอยู่ระหว่าง 2.5-900 โอห์ม และเกณฑ์ในการหาสมรรถนะ 2 ด้าน คือ ด้านวงจรไฟฟ้า และด้านการใช้งาน

ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน ได้ทำการประเมินหาประสิทธิภาพตัวรับปลอดภัยใน 3 ช่วง สภาวะค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยทำการทดลองช่วงละ 10 ครั้ง ผลปรากฏว่าผ่านเกณฑ์การประเมิน ร้อยละร้อย ดังรายละเอียดดังนี้

ช่วงสภาวะของอุปกรณ์ไฟฟ้า ที่มีค่าความต้านทานระหว่าง 0-2.4 โอห์ม ตัวรับปลอดภัยจะไม่จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า เนื่องจากความต้านทานดังกล่าวมีค่าความต้านทาน เท่ากับค่าความต้านทานที่อยู่ในสภาวะลัดวงจร

ช่วงสภาวะของอุปกรณ์ไฟฟ้า ที่มีค่าความต้านทานระหว่าง 2.5-900 โอห์ม ตัวรับปลอดภัยจะจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า เนื่องจากความต้านทานดังกล่าวมีค่าความต้านทาน เท่ากับค่าความต้านทาน ที่อยู่ในสภาวะปกติ

ช่วงสภาวะของอุปกรณ์ไฟฟ้า ที่มีค่าความต้านทานระหว่าง 901-10,000 โอห์ม ตัวรับปลอดภัยจะไม่จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า เนื่องจากค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้ามีค่าสูง เทียบเท่ากับสภาวะวงจรเปิด

การทำงานของตัวรับปลอดภัย สามารถป้องกันอันตรายโดยมีวงจรตรวจสอบความต้านทาน ของอุปกรณ์ไฟฟ้าก่อน ว่าอยู่ในสภาวะปกติหรือไม่ เมื่อความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้าอยู่ในสภาวะปกติ คือมีค่าความต้านทานระหว่าง 2.5-900 โอห์ม ตัวรับปลอดภัยจะจ่ายแรงดันไฟฟ้า และภายหลังที่ตัวรับปลอดภัยจ่ายแรงดันแล้ว อุปกรณ์ไฟฟ้าเกิดการลัดวงจร ตัวรับปลอดภัยจะไม่สามารถป้องกันอันตรายได้

การประเมินสมรรถนะของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน ใน 2 ด้าน คือด้านวงจรไฟฟ้า และด้านการใช้งาน ผลปรากฏว่าด้านวงจรไฟฟ้าในภาพรวม อยู่ในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ย 4.84 และด้านการใช้งานในภาพรวม อยู่ในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ย 4.60

THE ELECTRICAL CIRCUIT DESIGNED FOR SAFETY OUTLETS



Presented in partial fulfillment of the requirement
for the Master of Education degree in Industrial Education
at Srinakharinwirot University
March 2003

Nutchapol Chaloothong. (2003). *The electrical circuit designed for safety outlets*. Master thesis, M.Ed. (Industrial Education). Bangkok : Graduate School, Srinakharinwirot university.
Advisor Committee: Dr. Pairust Vongyuttakrai, Mr. Opat Sukwan.

The objectives of this thesis were to designed and evaluated the efficiency of electrical circuit safety outlets and evaluated the capability of safety outlets.

Electrical circuit safety outlets was composed of electrical equipment resistance circuit test, alternating current circuit test, direct current source circuit and alternating current supply 220 volts. The safety outlets will supply when the resistance of electrical equipment are between 2.5-900 ohms and the capabilities criterion were : the electrical circuit and ability safety outlets.

Five experts had evaluated the efficiency of safety outlets in 3 condition for 10 times the result were passed one hundred percent and the result as follows:

In the condition of electrical equipment have resistance between 0-2.4 ohms. The safety outlets will not supply because the resistance equivalent to short circuit condition.

In the condition of electrical equipment have resistance between 2.5-900 ohms. The safety outlets will supply because the resistance equivalent to normally condition.

In the condition of electrical equipment have resistance between 901-10,000 ohms. The safety outlets will not supply because the resistance equivalent to open circuit condition.

The safety outlets will work when the resistance of electrical equipment in the normal condition between 2.5-900 ohms. If the safety outlets already supply and later the electrical equipment have short circuit, the safety outlets can not protect any electrical equipment after supply.

The capability evaluation of safety outlets were evaluated in 2 criterions. First is the electrical circuit and second is the safety outlets ability. The result of five expert were: the electrical circuit as a total was in very good level has average of 4.84 and the safety outlets ability as a total was in very good level has average of 4.60.

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การออกแบบวงจรสำหรับตัวรับปลดล็อก

ของ

นายณัฏพล จุลทอง

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.นภาพร หะวานนท์)

วันที่ ๗ เดือน มีนาคม พ.ศ. 2546

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

..... ประธาน
(อาจารย์ ดร. ไพรัช วงศ์ยุทธไกร)

..... กรรมการ
(อาจารย์ โสภา สุขหวาน)

..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(อาจารย์ ดร. อุวิทย์ สุวคันธกุล)

..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยความเมตตากรุณาเป็นอย่างสูงจาก ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร ประธานกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ และอาจารย์ โอภาส สุขหวาน กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ที่ท่านกรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ แก้ไขข้อบกพร่อง อีกทั้งยังประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้เพิ่มเติม ขณะดำเนินการทำปริญญานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงตลอดไป

ขอขอบพระคุณ ดร. อุปวิทย์ สุวคันทรกุล และ ผศ.ดร. วีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม ที่ท่านให้คำแนะนำ ชี้แนะ ช่วยเหลือ แก้ไขข้อบกพร่อง ในเนื้อหาวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ ดร. ละเอียต รัชเณศวร อาจารย์ไมตรี วรภูมิจรยากุล และอาจารย์ปราโมทย์ ฤกษ์มงคล ที่ท่านให้ความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ ทาประสิทธิภาพและสมรรถนะได้รับตลอดภัย และให้ข้อคิด ข้อเสนอแนะในการทำปริญญานิพนธ์จนสำเร็จ

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์รัชชชัย อุตถวิบูลย์กุล อาจารย์สมพงษ์ ศรีลัด จากสถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน อาจารย์มงคล ฐระ อาจารย์ไพศาล จันทรีไชย จากวิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่ และอาจารย์วัชร สุขมหา จากวิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ ที่ท่านให้ความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญ ตรวจสอบและประเมินประสิทธิภาพ ประเมินสมรรถนะ และให้ข้อเสนอแนะในการสร้างได้รับตลอดภัย เพื่อให้วงจรมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นไป

ขอขอบคุณ อาจารย์กิตติพงษ์ อุตตะมะเวทิน วิทยาลัยเทคนิคจะเชิงเทรา ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านการออกแบบวงจรและจัดสร้างได้รับตลอดภัย และคณะครู-อาจารย์แผนกช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคจะเชิงเทราและอาจารย์ท่านอื่นๆ ที่ไม่สามารถเอ่ยนามได้ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และให้กำลังใจกับผู้วิจัยตลอดเวลา

ผู้วิจัยขอระลึกคุณ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่กรุณามอบทุนอุดหนุนการทำวิจัยจาก "ทุนทบวงมหาวิทยาลัย" จำนวน 10,000 บาท ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ นิสิตเพื่อนร่วมรุ่น อุตสาหกรรมศึกษา พิเศษ 7 ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ สนับสนุน และเป็นกำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี ที่สำคัญคือคุณ อดิญา จุลทอง ที่เป็นกำลังใจ และสนับสนุนทุนทรัพย์ ให้กับผู้วิจัยตลอดเวลาในการศึกษา

ท้ายที่สุดแล้วนี้ผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุน เป็นกำลังใจที่ดีแก่ผู้วิจัย ครู-อาจารย์อันเป็นที่เคารพรักสูงสุด ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา ความรู้ และให้กำลังใจสนับสนุนการศึกษาอย่างต่อเนื่อง ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ แม้พระคุณนั้นหาที่เปรียบมิได้ก็ตาม

ณัฏพล จุลทอง

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
จุดมุ่งหมายของการวิจัย.....	3
ความสำคัญของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	5
สมมติฐานในการวิจัย.....	5
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไฟฟ้าและความปลอดภัย.....	7
ความหมายของไฟฟ้า.....	7
ชนิดของไฟฟ้า.....	7
ประโยชน์ของไฟฟ้า.....	8
อันตรายของไฟฟ้า.....	9
ผลของกระแสไฟฟ้าที่มีต่อร่างกาย.....	11
ปัจจัยที่ก่อให้เกิดความรุนแรงของการประสบอันตรายจากไฟฟ้า.....	13
การป้องกันอันตรายจากไฟฟ้า.....	16
ค่าความต้านทาน.....	19
เต้ารับ.....	23
ความหมายของเต้ารับ.....	23
ลักษณะของเต้ารับ.....	23
วงจรและอุปกรณ์ไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์สำหรับการออกแบบวงจรเต้ารับปลอดภัย..	28
ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์.....	28
เอส.ซี.อาร์.	37
ซีเนอร์ไดโอด.....	44
การแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง.....	49
การกรองแรงดัน.....	52
ประสิทธิภาพ.....	55
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	55
งานวิจัยในประเทศ.....	55
งานวิจัยต่างประเทศ.....	56

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	58
ศึกษารายละเอียดต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบวงจรสำหรับเตารับปลอดภัย.....	59
ออกแบบวงจรและส่วนประกอบต่างๆ ของเตารับปลอดภัย.....	59
ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบวงจร.....	68
จัดหาวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ ที่ใช้ในการพัฒนาเตารับปลอดภัย.....	68
กำหนดระยะเวลา และสถานที่ที่ใช้ในการพัฒนาเตารับปลอดภัย.....	70
สร้างเตารับปลอดภัยตามแบบที่ได้กำหนดไว้.....	70
ทดสอบ ปรับปรุง และแก้ไขการทำงานของเตารับปลอดภัย.....	70
หาประสิทธิภาพและสมรรถนะเตารับปลอดภัย.....	71
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	72
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	74
5 สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ.....	78
ความมุ่งหมายการวิจัย.....	78
ความสำคัญของการวิจัย.....	78
สมมติฐานการวิจัย.....	78
การดำเนินการวิจัย.....	78
ผลการวิจัย.....	79
อภิปรายผล.....	80
ข้อเสนอแนะ.....	82
บรรณานุกรม.....	83
ภาคผนวก.....	87
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	130

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 แสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าและผลที่มีต่อร่างกาย.....	14
2 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างกระแสไฟฟ้าทั้งระยะเวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกาย	15
3 แสดงถึงค่าความต้านทานตามส่วนต่างๆ ของร่างกาย.....	16
4 แสดงค่าความต้านทานอุปกรณ์ไฟฟ้า.....	20
5 แสดงการทดสอบหาประสิทธิภาพของตัวรับปลอดภัย.....	75
6 แสดงรายละเอียดสมรรถนะด้านการใช้งาน และด้านวงจรไฟฟ้าของตัวรับปลอดภัย	76
7 แสดงผลการประเมินสมรรถนะตัวรับปลอดภัย.....	77
8 แสดงการจัดลำดับความคิดเห็น ของผู้เชี่ยวชาญ 5 คน.....	77



บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	5
2 ลักษณะกระแสไฟฟ้าทำให้ร่างกายเป็นทางผ่านลงดิน.....	9
3 ลักษณะของร่างกายต่อเป็นส่วนหนึ่งของวงจรไฟฟ้า.....	10
4 การเกิดไฟฟ้ารั่วลงดินผ่านตัวคนหรือไฟฟ้าดูด.....	18
5 การติดตั้ง CB ความคู่กับ GFCI และแสดงกระแสไฟฟ้าในวงจรสภาวะปกติ.....	18
6 การเกิดกระแสลัดวงจร.....	22
7 เต้ารับและเต้าเสียบแบบ 2 ขั้วสำหรับไฟฟ้าเฟสเดียว.....	24
8 เต้ารับและเต้าเสียบแบบ 2 ขั้วมีจุดดินสำหรับไฟฟ้าเฟสเดียวที่มีสายดิน.....	24
9 เต้ารับและเต้าเสียบแบบ 3 เฟส 4 สายแบบกันน้ำ.....	25
10 เต้ารับและเต้าเสียบแบบกันระเบิด.....	25
11 เต้ารับและเต้าเสียบแบบใช้งานทั่วๆ ไป.....	26
12 เต้ารับแบบรูกกลม 3 รูขนาด 2 A. , 5 A. และ 5 A. มีสวิตช์.....	26
13 เต้ารับแบบรูสี่เหลี่ยม 3 รูขนาด 13 A. มีสวิตช์.....	27
14 เต้ารับแบบรูกกลม มีฟิวส์ภายในขนาด 13 A.....	27
15 สัญลักษณ์และโครงสร้างของทรานซิสเตอร์.....	29
16 การจัดไบแอสให้แก่ทรานซิสเตอร์.....	30
17 ทิศทางการไหลของกระแสหลังการจัดไบแอส.....	31
18 วงจรเบสร่วม.....	32
19 วงจรอีมีตเตอร์ร่วม.....	33
20 วงจรคอลเล็กเตอร์ร่วม.....	34
21 การทำงานของทรานซิสเตอร์ในสภาวะสวิตช์เปิด.....	35
22 การทำงานของทรานซิสเตอร์ในสภาวะสวิตช์ปิด.....	36
23 วงจรตั้งเวลาอย่างง่าย.....	37
24 เอส.ซี.อาร์.....	37
25 วงจรสมมูลของเอส.ซี.อาร์.....	38
26 กระบวนการจุดชนวนให้เอส.ซี.อาร์.นำกระแส.....	39
27 กราฟลักษณะสมบัติของเอส.ซี.อาร์.....	40
28 การทำให้เอส.ซี.อาร์. หยุดนำกระแสโดยวิธี Anode Current Interruption.....	41
29 การทำให้เอส.ซี.อาร์.หยุดนำกระแส โดยวิธี Forced commutation.....	42
30 วงจรการทริกเอส.ซี.อาร์. ด้วยไฟตรง.....	43
31 สัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอด.....	44
32 กราฟลักษณะสมบัติทางกระแสและแรงดันของซีเนอร์ไดโอด.....	44
33 ลักษณะสมบัติทางกระแสและแรงดันของซีเนอร์ไดโอด เมื่อได้รับไบแอสกลับ.....	45

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

34	วงจรสมมูลของซีเนอร์ไดโอด และการหาค่าความต้านทานภายในของซีเนอร์ไดโอด.....	46
35	การใช้ซีเนอร์ไดโอดเป็นวงจรรักษาระดับแรงดัน.....	47
36	การใช้ซีเนอร์ไดโอดเป็นวงจรรักษาระดับแรงดันที่มีแรงดันอินพุตและความต้านทานโหลดคงที่	47
37	เมื่อปลดวงจรซีเนอร์ไดโอดออกจากวงจร.....	48
38	วงจรการใช้ซีเนอร์ไดโอดรักษาระดับแรงดัน.....	49
39	วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งคลื่น.....	50
40	วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มคลื่น.....	51
41	วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบบริดจ์.....	51
42	วงจรกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ.....	52
43	วงจรกรองแรงดันด้วยตัวเหนี่ยวนำ.....	53
44	วงจรกรองแรงดันแบบพาย.....	53
45	วงจรกรองแรงดันแบบรูปตัวแอล.....	54
46	วงจรกรองแรงดันแบบ RC.....	54
47	กรอบความคิดในการดำเนินการวิจัย.....	58
48	แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง.....	60
49	วงจรตรวจสอบค่าความต้านทาน.....	60
50	วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์.....	63
51	วงจรตรวจสอบไฟฟ้ากระแสสลับ.....	66
52	วงจรไฟฟ้าสำหรับเต้ารับปลอดภัย.....	68
53	ส่วนประกอบภายนอกเต้ารับปลอดภัย.....	112
54	ขนาดของเต้ารับปลอดภัย.....	113
55	ส่วนประกอบภายในเต้ารับปลอดภัย.....	114

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

การดำเนินชีวิตของสิ่งมีชีวิตทั้งหลายต้องการแสงสว่างและพลังงานความร้อน ซึ่งในธรรมชาติดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญ แต่พลังงานจากดวงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอับความต้องการในการดำเนินชีวิต (โสภณ เสือพันธ์. 2540 : 80) มนุษย์จึงได้พยายามนำทรัพยากรธรรมชาติมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า ให้สามารถใช้ได้ตลอดเวลา และเพิ่มพูนความสำคัญต่อการผลิตและการดำเนินชีวิตของมนุษย์มากขึ้นทุกขณะ การใช้พลังงานไฟฟ้าของมนุษย์จะมีการใช้งานในด้าน อุตสาหกรรม พาณิชยกรรม ที่อยู่อาศัย เกษตรกรรม การสื่อสาร-คมนาคมและด้านการแพทย์ (ชัยยุทธ ขวลิคนิธิกุล. 2532:160-161) พลังงานไฟฟ้าถึงแม้ว่าจะมีประโยชน์มากมายแต่ถ้าหากใช้อย่างไม่ระมัดระวัง อันตรายที่เกิดขึ้นอาจถึงกับชีวิตได้ รวมถึงมาตรฐานของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นมาอย่างไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการทางไฟฟ้า ผู้ที่นำเอาอุปกรณ์เหล่านี้ไปใช้งานก็อาจจะเป็นอันตรายขึ้นได้ (สุรัตน์ นันตะสุนนท์. 2540 : 1) การกำหนดมาตรฐานของอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย จะกำหนดโดยสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (THE ENGINEERING INSTITUTE OF THAILAND UNDER H.M. THE KING'S PATRONAGE) การติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าจะทำงานได้ดีและมีคุณภาพจะต้องมีระบบป้องกัน เมื่ออุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานผิดพลาดหรือผิดปกติเกิดขึ้นในวงจรต้องมีการป้องกันความเสียหาย ที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ไฟฟ้าและชีวิตให้มากที่สุด (ลือชัย ทองนิล.2542:31) การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อให้เกิดความปลอดภัย ถึงแม้ว่าจะมีอุปกรณ์ป้องกันหลังจากเกิดความผิดปกติหรือเกิดการผิดพลาดในวงจรขึ้นเช่น การลัดวงจร การรั่วลงดิน อุปกรณ์ที่นำมาป้องกันจะทำงานหลังจากที่อุปกรณ์เกิดความผิดพลาดไปแล้ว ซึ่งผู้ใช้อีกยังจะได้รับอันตรายที่เกิดขึ้น อันตรายที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าลัดวงจรจะมีผลทำให้เกิด แสงสว่างที่มีความเข้มสูงมาก เป็นอันตรายต่อนัยน์ตามนุษย์ อันตรายจากความร้อน และอันตรายจากควัน (โสภณ เสือพันธ์.2540:86) ในด้านความรุนแรงขึ้นอยู่กับ ปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านร่างกาย เช่น ปริมาณกระแสไฟฟ้า 10-100 มิลลิแอมป์ขึ้นไปจะมีผลทำให้หัวใจหยุดเต้น (ชูศักดิ์ เวชแพศย์. 2531:2) จากสถิติของผู้ที่เสียชีวิตจากอุบัติเหตุพบว่า จำนวนผู้เสียชีวิตที่เกิดจากไฟฟ้ามีจำนวนมากเป็นลำดับที่ 3 รองลงมาจากอุบัติเหตุที่เกิดจากยานพาหนะ อาคารหรือสิ่งก่อสร้าง ซึ่งเมื่อคิดเปอร์เซ็นต์จากจำนวนครั้งที่เกิดจะเห็นว่า จำนวนผู้ที่เสียชีวิตจากไฟฟ้าจะมีจำนวนสูงกว่าอุบัติเหตุอื่นๆ (ศูนย์ข้อมูลและสารสนเทศ สำนักงานคณะกรรมการป้องกันอุบัติภัยแห่งชาติ พ.ศ. 2540) ส่วนสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุจากไฟฟ้ามักจะเกิดขึ้นกับระบบแรงดันไฟฟ้าในช่วงแรงดัน 110 โวลท์ถึง 400 โวลท์ เพราะเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งานโดยทั่วไป (ชัยยุทธ ขวลิคนิธิกุล. 2532 : 169) และอันตรายที่มักจะเกิดขึ้นกับผู้ใช้อีกจุดหนึ่งก็คือ ที่อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าจะเกิดขึ้นขณะใช้งาน ในกรณีที่อุปกรณ์เกิดการชำรุด (มดิชนรายวัน. 2544: 21) โดยส่วนมากจะมีสาเหตุมาจากฉนวนหุ้มสายไฟฟ้าชำรุดหรือเสื่อมคุณภาพ รวมถึงฉนวนที่ใช้ในขดลวด (Coil) ของมอเตอร์หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าชำรุดทำให้เกิดการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้า การลัดวงจร การรั่วลงดิน หรือวงจรไฟฟ้าเปิดวงจรเมื่อมีคนไปสัมผัสหรือแตะต้องอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นจะทำให้ได้รับอันตราย (วิเลิศ เจติยานวัตร.2538:384)

การป้องกันและแก้ไขอันตรายที่เกิดขึ้น จากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อให้เกิดความปลอดภัยกับผู้ใช้ งาน โดยทั่วไปจะติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้า เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายกับระบบไฟฟ้าและ อุปกรณ์ไฟฟ้าเนื่องจากการลัดวงจรหรือเกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลเกินปกติ (Over Load) ของอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งอุปกรณ์ป้องกันจะทำหน้าที่ตัดอุปกรณ์ไฟฟ้าออกจากระบบจ่ายไฟ (นักตร วังนเทพินทร์และอร่ามศรี อาภาอตุลย์.2540:67) อุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้าจะมี 2 ระบบคือระบบที่ทำงานโดยใช้หลักการกระแสไหล เกินเช่น ฟิวส์ สวิตช์นิรภัย (Safety Switch) ตัดตอนอัตโนมัติ (Circuit Breaker) เป็นต้นและระบบที่ใช้หลัก การกระแสไหลเกินและวงจรการรั่วลงดิน เช่น เซฟตี้คัท Earth Leakage Circuit Breaker ซึ่งใช้ร่วมกับระบบ ที่มีสายดินจะมีประสิทธิภาพสูง คือเมื่อพบว่ามีกระแสไฟฟ้ารั่วลงดิน ณ จุดใดในวงจรอุปกรณ์นี้จะตัดแหล่ง จ่ายไฟฟ้าออกทันที (ชัยยุทธ ขวลิตนิธิกุล.2532:182)

เมื่อพิจารณาถึงค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้าจะเป็นค่าความต้านทานรวมหรืออิมพีแดนซ์ (Z) ก็จะมีค่าความต้านทาน (R) และรีแอกแตนซ์ (X) (ไมตรี วรวิจิตรยากุล.2527:68-69) ขณะที่เกิดการลัด วงจร การรั่วลงดิน ค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้าจะมีค่าน้อยมากหรือเข้าใกล้ศูนย์ ถ้าเปิดวงจรจะมีค่า ความต้านทานมาก แต่ที่เกิดอันตรายกับคนส่วนมากกระแสไฟฟ้าจะผ่านเข้าสู่ร่างกายทางมือ แล้วผ่านลงดิน ทางมืออีกด้านหนึ่งหรือทางฝ่าเท้า ซึ่งค่าความต้านทานของคนเมื่อผิวหนังแห้งจะมีความต้านทานระหว่าง 100,000-600,000 โอห์มต่อตารางเซนติเมตร แต่ผิวหนังเปียกจะมีความต้านทาน 1,000 โอห์มต่อตาราง เซนติเมตร (วิเลต เจตยานวัตร.2538:375) แต่ค่าความต้านทานของคนไม่สามารถทนต่อกระแสไฟฟ้าที่มี ปริมาณมากได้ การเสียชีวิตที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าช็อตโดยเกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้าชำรุด ทำให้มีกระแสไฟฟ้ารั่ว ลงโครงของอุปกรณ์ไฟฟ้าในปริมาณมาก แต่อุปกรณ์ป้องกันในวงจรไฟฟ้าไม่ตัดวงจรเนื่องจากไม่มีวงจรป้อง กันกระแสไฟฟ้ารั่ว ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้ายังคงต่ออยู่ในวงจรไฟฟ้าโดยไม่มีสัญญาณบอกให้ทราบ เมื่อผู้ใช้ สัมผัสเข้ากับโครงของอุปกรณ์ไฟฟ้า จะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายลงดินเกิดอันตรายหรือถึงขั้นเสียชีวิต ดังกรณีตื้นน้ำดื่มเกิดกระแสไฟฟ้ารั่วตุดนักเรียนเสียชีวิต ที่โรงเรียนชินโรวชิวิทยาลัย (เฉลิมวิทย์. มีนาคม 2543: 2)

จากสภาพปัญหาที่กล่าวมาจึงทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะ ออกแบบวงจรสำหรับตรวจจับปลอดภัย ที่ อาศัยหลักการตรวจสอบค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในกรณีที่ อุปกรณ์ไฟฟ้าปกติ ลัดวงจร และเปิด วงจร ในการพิจารณาค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในกรณีปกติ ได้จากการทดลองวัดค่าความต้านทาน ของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานทั่วไปจะมีค่าระหว่าง 2.5 โอห์มถึง 900 โอห์มกรณีลัดวงจรคิดค่าความต้านทาน ระหว่าง 0 โอห์มถึงต่ำกว่า 2.5 โอห์ม ค่าความต้านทานของคนคิดขณะผิวหนังเปียกมีค่า 1000 โอห์ม ซึ่งใน การทำงานของตัวรับปลอดภัย จะมีวงจรตรวจสอบค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้า ว่าอยู่ในสภาพปกติ หรือไม่ปกติก่อนที่จะจ่ายแรงดันไฟฟ้า โดยตัวรับปลอดภัยจะจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ค่าความต้านทานระหว่าง 2.5 โอห์มถึง 900 โอห์ม ซึ่งเป็นช่วงที่อุปกรณ์ไฟฟ้าปกติ และมีค่าความต้านทานน้อยกว่าค่าความต้านทาน ของคน และมีวงจรตรวจสอบการใช้ตัวรับปลอดภัย ในขณะที่ไม่มีการต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าหรือไม่มีการใช้งาน ตัวรับจะไม่จ่ายแรงดันไฟฟ้า จึงทำให้มีความปลอดภัยสำหรับผู้ใช้งาน และมีความสะดวกต่อการใช้งาน เหมือนกับตัวรับทั่วไป เพียงผู้ใช้เสียบอุปกรณ์ไฟฟ้าเข้ายังตัวรับปลอดภัย ก็จะสามารถทราบถึงสถานะของ อุปกรณ์ไฟฟ้าว่าปกติหรือไม่ปกติ ก่อนที่จะเกิดอันตรายต่อผู้ใช้และเกิดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ ไฟฟ้า การติดตั้งใช้งานของตัวรับปลอดภัยเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ควรจะใช้ในจุดที่มีเด็กเล็ก เพื่อป้อง กันเด็กเอานิ้วแหย่ที่รูของตัวรับ หรือจุดที่อุปกรณ์ไฟฟ้ามีการเปิดปิดบ่อยๆ เพราะตัวรับปลอดภัยจะตรวจ

ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าก่อนทุกครั้งเมื่อมีการใช้งาน ซึ่งเต้ารับปลอดภัยจะเป็นอุปกรณ์ที่ให้ความปลอดภัยในการใช้ไฟฟ้ามากยิ่งขึ้น

จุดมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบวงจรสำหรับเต้ารับปลอดภัย
2. เพื่อหาประสิทธิภาพของเต้ารับปลอดภัย
3. เพื่อหาสมรรถนะของเต้ารับปลอดภัย

ความสำคัญของการวิจัย

1. สามารถนำไปใช้ติดตั้งเพื่อป้องกันไฟฟ้าดูด ในกรณีที่ใช้นิ้วมือสัมผัสตัวนำที่รูเสียบของเต้ารับปลอดภัยก็จะไม่ได้รับอันตรายเพราะเต้ารับปลอดภัยจะไม่จ่ายแรงดันไฟฟ้า
2. สามารถนำไปใช้ตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าก่อนการใช้งานในสภาวะต่างๆ คือ
 - 2.1 สภาวะลัดวงจร
 - 2.2 สภาวะเปิดวงจร
 - 2.3 สภาวะปกติ

ขอบเขตของการวิจัย

เพื่อให้การวิจัยการออกแบบวงจรสำหรับเต้ารับปลอดภัย บรรลุจุดมุ่งหมายที่ตั้งไว้ผู้วิจัยจึงได้กำหนดขอบเขตไว้ดังนี้

1. ออกแบบวงจรสำหรับเต้ารับปลอดภัยประกอบด้วยวงจรดังนี้
 - 1.1 วงจรตรวจสอบค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้า
 - 1.2 วงจรตรวจสอบไฟฟ้ากระแสสลับ
 - 1.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง
 - 1.4 วงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์
2. เต้ารับปลอดภัยที่พัฒนาขึ้นจะทนกระแสของอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ไม่เกิน 5 แอมแปร์ เมื่อเกินฟิวส์จะตัดแหล่งจ่ายออกจากอุปกรณ์ไฟฟ้า
3. ค่าความต้านทานที่นำมาต่อเข้ากับเต้ารับปลอดภัย ต้องเป็นค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้าเท่านั้น
4. มีคู่มือการใช้งานซึ่งแสดงรายละเอียดการใช้งาน การบำรุงรักษาของเต้ารับปลอดภัย
5. ตัวแปรที่ศึกษา
 - 5.1 ประสิทธิภาพของเต้ารับปลอดภัย โดยให้จ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ค่าความต้านทานระหว่าง 2.5 โอห์มถึง 900 โอห์ม ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ 5 คน
 - 5.2 สมรรถนะของเต้ารับปลอดภัยโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน ประเมินสมรรถนะ 2 ด้านคือ
 - 5.2.1 วงจรไฟฟ้าของเต้ารับปลอดภัย
 - 5.2.2 การใช้งานของเต้ารับปลอดภัย

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. เติร์ปปลอดคัย

หมายถึง อุปกรณ์ที่มีหน้าสัมผัสต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ 50 เฮริทซ์ เพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าสู่อุปกรณ์ไฟฟ้าได้ครบวงจร ซึ่งมีวงจรตรวจสอบค่าความต้านทาน วงจรตรวจสอบไฟฟ้ากระแสสลับ วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง และวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ซึ่งเติร์ปปลอดคัยจะจ่ายแรงดันไฟฟ้าเมื่ออุปกรณ์ไฟฟ้ามีค่าความต้านทานระหว่าง 2.5 โอห์มถึง 900 โอห์ม

2. การออกแบบวงจรสำหรับเติร์ปปลอดคัย

หมายถึง การกำหนดลักษณะวงจรไฟฟ้าที่มีความสัมพันธ์กับการใช้วัสดุ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้สามารถตรวจสอบค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้า และจ่ายแรงดันไฟฟ้าเมื่ออุปกรณ์ไฟฟ้ามีความต้านทานระหว่าง 2.5 โอห์มถึง 900 โอห์ม

3. วงจรตรวจสอบค่าความต้านทาน

หมายถึง วงจรที่ทำหน้าที่ตรวจสอบค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือสิ่งอื่นๆ ที่ต่อเข้ากับเติร์ปปลอดคัย ถ้ามีค่าความต้านทานต่ำกว่า 2.5 โอห์มวงจรจะทำงานและไม่จ่ายแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า

4. วงจรตรวจสอบไฟฟ้ากระแสสลับ

หมายถึง วงจรที่ทำหน้าที่ตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าหลังจากต่อใช้งานแล้ว เมื่อหยุดใช้งานแต่ไม่ได้ถอดปลั๊กออกวงจรจะทำงาน และเมื่อเปิดใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าอีก วงจรตรวจสอบค่าความต้านทานจะตรวจสอบค่าความต้านทานใหม่อีกครั้ง

5. วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

หมายถึง วงจรที่ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์

6. วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์

หมายถึง วงจรที่ทำหน้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า หลังจากวงจรตรวจสอบค่าความต้านทานว่ามีค่าความต้านทานระหว่าง 2.5 โอห์ม ถึง 900 โอห์ม และตัดวงจรเมื่อมีค่าความต้านทานมากกว่า 900 โอห์ม

7. ประสิทธิภาพเติร์ปปลอดคัย

หมายถึง เติร์ปปลอดคัยที่ออกแบบขึ้น วงจรไฟฟ้าสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีค่าความต้านทานระหว่าง 2.5 โอห์มถึง 900 โอห์ม และจะตัดวงจรเมื่ออุปกรณ์ไฟฟ้ามีค่าความต้านทานตั้งแต่ 901 โอห์มขึ้นไป

8. สมรรถนะของเติร์ปปลอดคัย

หมายถึง การประเมินผลการออกแบบวงจรไฟฟ้า และการใช้งานของเติร์ปปลอดคัย ซึ่งประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญด้านไฟฟ้าจำนวน 5 คน ว่าวงจรไฟฟ้าที่ออกแบบขึ้น มีความสามารถทำงานได้จริง

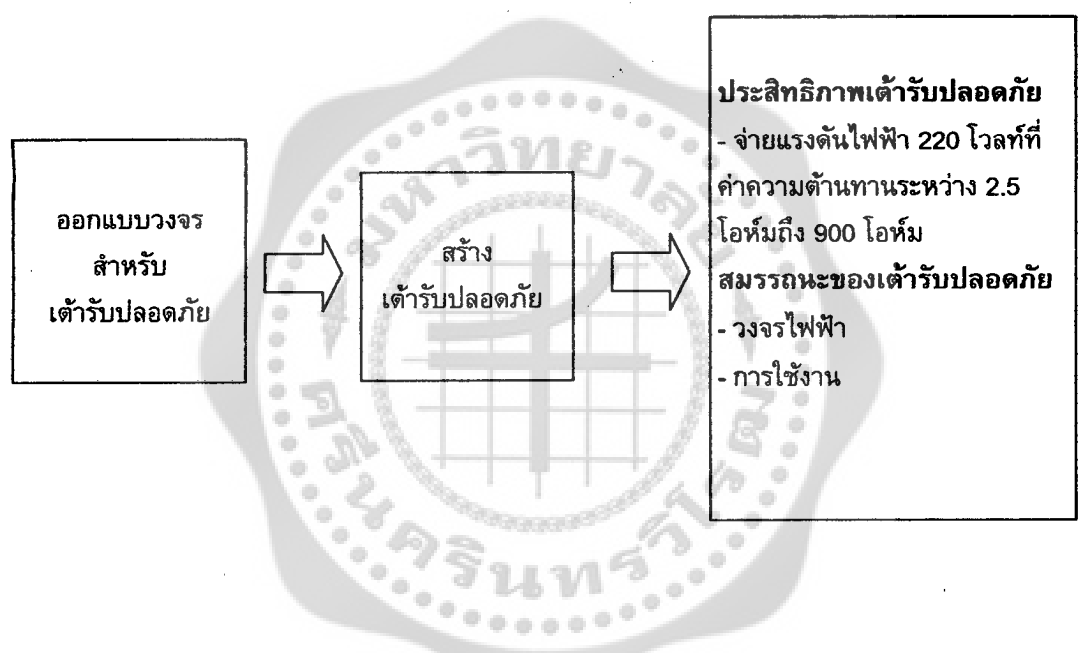
8.1 สมรรถนะของวงจรไฟฟ้า

หมายถึง การออกแบบวงจรไฟฟ้าอย่างถูกต้อง ให้สามารถทำงานได้ ซึ่งประกอบด้วย การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ การจัดวางอุปกรณ์ การต่อเชื่อมโยงอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ การบัดกรีสายภายในแผ่นพิมพ์ลายวงจร มีความเหมาะสม

8.2 สมรรถนะด้านการใช้งาน

หมายถึง ความสะดวกในการใช้งาน รูปร่างเหมาะสมและมีความปลอดภัยในการใช้งาน

กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพประกอบ 1 แสดงกรอบแนวคิดในการวิจัย

สมมติฐานในการวิจัย

ตัวรับปลอดภัยที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ และสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ดี

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยศึกษาเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบวงจรสำหรับตัวรับปลดล็อก มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไฟฟ้าและความปลอดภัย
 - 1.1 ความหมายของไฟฟ้า
 - 1.2 ชนิดของไฟฟ้า
 - 1.3 ประโยชน์ของไฟฟ้า
 - 1.4 อันตรายของไฟฟ้า
 - 1.5 ผลของกระแสไฟฟ้าที่มีต่อร่างกาย
 - 1.6 ปัจจัยที่ก่อให้เกิดความรุนแรงของการประสบอันตรายจากไฟฟ้า
 - 1.7 การป้องกันอันตรายจากไฟฟ้า
 - 1.8 ความต้านทาน
2. ตัวรับ
 - 2.1 ความหมายของตัวรับ
 - 2.2 ลักษณะของตัวรับ
3. วงจรและอุปกรณ์ไฟฟ้า – อิเล็กทรอนิกส์สำหรับการออกแบบวงจรตัวรับปลดล็อก
 - 3.1 ทราซิสเตอร์แบบไบโพลาร์
 - 3.2 เอส.ซี.อาร์.
 - 3.3 ซีเนอร์ไดโอด
 - 3.4 การแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง
 - 3.5 การกรองแรงดัน
4. ประสิทธิภาพ
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
 - 5.1 งานวิจัยในประเทศ
 - 5.2 งานวิจัยต่างประเทศ

1. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไฟฟ้าและความปลอดภัย

ไฟฟ้าเป็นพลังงานชนิดหนึ่ง ซึ่งมนุษย์ใช้เป็นต้นกำเนิดพลังงานในรูปแบบอื่นๆ เช่นในการกำเนิดแสงสว่าง ความร้อน พลังงานกล เสียง และยังแปลงเป็นพลังงานในรูปแบบอื่นๆ ได้อีกหลายอย่าง พลังงานไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งอำนวยความสะดวกสบายให้แก่ผู้ใช้อย่างมาก ในการผลิตสินค้าต่างๆ ออกสู่ท้องตลาด เพราะเครื่องจักรต่างๆ ในโรงงานเหล่านั้นจะต้องใช้ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนเครื่องจักรให้หมุน เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล เพื่อใช้ในการดำเนินสายงานผลิตให้เป็นไปตามต้องการ

ไฟฟ้าเป็นสิ่งที่มีความประโยชน์แก่มวลมนุษย์อย่างมหาศาล และเป็นสิ่งที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของมนุษย์เราอยู่เสมอ ไฟฟ้านอกจากจะมีประโยชน์ยังให้โทษมหันต์ด้วย เช่น การเกิดเพลิงไหม้จากไฟฟ้า การถูกกระแสไฟฟ้าดูด ดังนั้นผู้ใช้ไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องรู้จักถึงอันตรายจากไฟฟ้า สาเหตุของอันตรายและป้องกันให้ถูกต้อง เพื่อให้การใช้ไฟฟ้ามีความปลอดภัยแก่ชีวิตและทรัพย์สิน

1.1 ความหมายของไฟฟ้า

ไฟฟ้า หมายถึง พลังงานรูปหนึ่งที่สามารถทำให้เกิดงานต่างๆ ได้มากมายมหาศาล การเกิดไฟฟ้าจะนำทฤษฎีของอิเล็กตรอนมาใช้ในการอธิบาย โดยกล่าวถึงการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน จากจุดหนึ่งไปสู่อีกจุดหนึ่ง หรือกล่าวสั้นๆ ก็คือเมื่ออิเล็กตรอนเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นก็จะเกิดไฟฟ้าขึ้นนั่นเอง

(Van Valkenburgh. 1954:1-3)

ไฟฟ้า หมายถึง การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ผ่านตัวนำจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง

(Rolain and Kraus.1979:6)

ไฟฟ้า หมายถึง พลังงานรูปหนึ่งที่ทำให้เกิดพลังงานรูปอื่นๆ โดยอธิบายในรูปของกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการไหลของอิเล็กตรอนผ่านลวดตัวนำไฟฟ้า จากบริเวณที่เป็นศักย์ลบไปยังศักย์บวก

(ชวิน เป้าอารีย์.2525:50)

ไฟฟ้า หมายถึง การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระจำนวนมากถูกทำให้เคลื่อนที่ในสายไฟตัวนำในทิศทางเดียวกัน(ส่ง สุขานนท์ วัฒนา เชียงกูล และ พงษ์ศักดิ์ คิวภักธการพ.2536:63)

จากความหมายของไฟฟ้าที่กล่าวมาพอสรุปได้ว่าไฟฟ้า หมายถึง พลังงานรูปหนึ่งที่ทำให้เกิดงานในรูปแบบต่างๆ การเกิดไฟฟ้าจะอธิบายโดยใช้ ทฤษฎีของอิเล็กตรอน คือ เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านตัวนำจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งจะเกิดไฟฟ้าขึ้น

1.2 ชนิดของไฟฟ้า

โสภณ เสือพันธ์ได้กล่าวไว้ว่าชนิดของไฟฟ้า แบ่งออกเป็น 2 ชนิดดังนี้

1.2.1 ไฟฟ้าสถิต เป็นไฟฟ้าที่เกิดจากการขัดสีของวัตถุ ไฟฟ้าสถิตจะไม่มีกระแสไหลหรือเคลื่อนที่ จึงไม่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานได้

1.2.2 ไฟฟ้ากระแส เป็นไฟฟ้าที่มีกระแสไฟฟ้าไหลไปตามตัวนำ ไฟฟ้ากระแสแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

1.2.2.1 ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นไฟฟ้าที่มีกระแสไฟฟ้าเดินทางเดียว ขั้วบวกและขั้วลบของไฟฟ้าไม่เปลี่ยนแปลง โดยกระแสไฟฟ้าจะเดินจากขั้วลบไปขั้วบวกในทิศทางเดียวกันตลอด ไฟฟ้าชนิดนี้จะเกิดจากการทำปฏิกิริยาทางเคมี ที่พบมากได้จากแบตเตอรี่ใช้ประโยชน์ในวงจรไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์

1.2.2.2 ไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้าที่ใช้กันอยู่ทั่วไปได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งไฟฟ้าชนิดนี้มีกระแสไฟฟ้าที่ขั้วบวกและขั้วลบสลับกันอยู่ตลอดเวลา การไหลของกระแสไฟฟ้าจึงมีการไหลกลับไปกลับมา (โสภณ เสือพันธ์.2540:83)

1.3 ประโยชน์ของไฟฟ้า การนำพลังงานไฟฟ้ามาใช้งานทั้งในด้านการดำเนินชีวิตประจำวันและการพัฒนาประเทศ พอสรรบุถึงประโยชน์ของไฟฟ้าได้ 6 ด้านดังนี้

1.3.1 ทางด้านอุตสาหกรรม ในงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังขับเคลื่อนเครื่องจักรเพราะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงและให้ความสะดวกในการใช้งานมากกว่า ซ่อมบำรุงง่ายกว่าและไม่ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ คือเสี่ยงรบกวนทั่วการใช้มอเตอร์ยังสามารถควบคุมได้จากระยะไกลได้อีกด้วย

นอกจากการใช้กำลังโดยตรงจากมอเตอร์ไฟฟ้าแล้ว เรายังใช้ไฟฟ้าในวงจรควบคุมมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องจักรอีกด้วย และในปัจจุบันคอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรมมากขึ้นทั้งในการใช้ควบคุมการวิเคราะห์และเก็บข้อมูลต่างๆ รวมทั้งการบริหารงานบุคคลซึ่งเครื่องคอมพิวเตอร์ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำงานและโรงงานอุตสาหกรรมก็มีความจำเป็นต้องใช้ แสงสว่างซึ่งได้มาจากพลังงานไฟฟ้านั่นเอง

1.3.2 ทางด้านธุรกิจ และพาณิชย์กรรม ในงานด้านธุรกิจ และพาณิชย์กรรม นอกจากจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อให้แสงสว่างแล้ว ปัจจุบันเครื่องใช้ภายในสำนักงานแทบทุกชนิดจำเป็นต้องใช้กำลังไฟฟ้า เช่น เครื่องพิมพ์ดีด เครื่องถ่ายเอกสาร เครื่องพิมพ์บัตร เครื่องลงบัญชี คัดบัญชี เครื่องจ่ายเงินอัตโนมัติ ตลอดจนไปถึงเครื่องคอมพิวเตอร์ นอกจากที่กล่าวแล้วพลังงานไฟฟ้ายังมีส่วนช่วยให้ธุรกิจได้มีการสื่อสารกันได้รวดเร็ว เช่น นำพลังงานไฟฟ้ามาใช้กับโทรศัพท์ โทรพิมพ์ โทรเลข เป็นต้น

1.3.3 ทางด้านบ้านอยู่อาศัย ในปัจจุบันบ้านอยู่อาศัยนับตั้งแต่ปลูกสร้างก็ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการให้แสงสว่าง ในงานเชื่อมโลหะ ไล้ไม้ งานขัด งานเจาะ เป็นต้น และเมื่ออาคารเสร็จเรียบร้อยแล้วไฟฟ้าจะเข้ามามีบทบาทแทบทุกอย่างในครัวเรือน เช่น ด้านแสงสว่าง บันเทิง การเก็บถนอมอาหาร

1.3.4 ทางด้านเกษตรกรรม ประปาและไฟฟ้าแสงสว่างสาธารณะ

1.3.4.1 ทางด้านเกษตรกรรม ส่วนใหญ่ใช้ไฟฟ้าในการสูบน้ำบาดาลหรือสูบน้ำจากแม่น้ำลำคลองเพื่อใช้เพราะปลูกตลอดปี นอกจากนั้นยังใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่เกิดจากการผลิตผลการเกษตร เช่น โรงสีข้าวและอาหารกระป๋อง เป็นต้น

1.3.4.2 ทางด้านประปา การประปาต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการสูบน้ำและผลักดันน้ำไปตามเส้นท่อถ้าการจ่ายไฟฟ้าหยุดชะงัก หรือไฟฟ้าดับการจ่ายน้ำประปาก็ตองหยุดตามไปด้วย

1.3.4.3 ไฟฟ้าแสงสว่างสาธารณะ ปัจจุบันถนนในเมือง ทางหลวง แม่น้ำลำคลองบางสายได้รับการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อให้ความสว่างในการสัญจรของยานพาหนะและคน แสงสว่างมีบทบาทในการช่วยลดอุบัติเหตุในการจราจร อุบัติเหตุในการทำงานและยังมีส่วนช่วยลดการประกอบอาชญากรรมด้วย

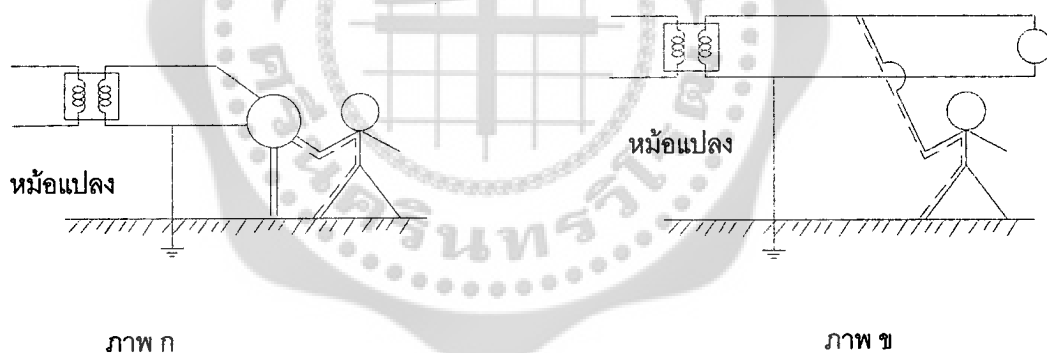
1.3.4.4 ทางด้านการสื่อสารและคมนาคม การสื่อสารไม่ว่าจะเป็น วิทยุ โทรศัพท์ โทรทัศน์ โทรเลข โทรศัพท์ เวดาร์ การสื่อสารผ่านดาวเทียม ล้วนต้องใช้กำลังไฟฟ้าใช้ทำงานทั้งสิ้น

1.3.5 ทางด้านการแพทย์ ปัจจุบันในทางการแพทย์เราใช้เครื่องมือที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้นตามลำดับ ไฟฟ้าเข้ามามีบทบาทโดยผ่านทางเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เป็นส่วนใหญ่ เช่น เครื่องกระตุ้นหัวใจด้วยไฟฟ้า เป็นต้น (ชัยยุทธ ชาลิตนธิกุล. 2532:60-61)

จากข้อมูลที่ได้อีกถึงประโยชน์ของไฟฟ้าพอสรุปได้ว่า พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่สามารถแปลงเปลี่ยนเป็นพลังงานรูปอื่นได้มากมาย ทำให้มนุษย์นำพลังงานไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้เพื่อการดำเนินชีวิตประจำวัน และนำไปเพื่อพัฒนาทางด้านเทคโนโลยี เพื่อสนองต่อความต้องการของมนุษย์ให้มีความสุข ความสะดวกสบายมากขึ้น

1.4 อันตรายของไฟฟ้า ลักษณะอันตรายของไฟฟ้าที่มีต่อชีวิตและร่างกาย จากการประมวลจากผู้ประสบอันตรายจากไฟฟ้าที่ผ่านมารูปได้ 3 ลักษณะ (วิเลิศ เจตยานุวัตร 2538:370-372)

1.4.1 กระแสไฟฟ้าผ่านร่างกายลงสู่ดิน เนื่องจากระบบการจำหน่ายไฟฟ้าด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ จะมีการต่อวงจรส่วนหนึ่งลงดินไว้ ดังนั้น ไฟฟ้าจึงพยายามจะไหลลงดินเพื่อให้ครบวงจรกับดิน หากมีโอกาสผ่านลงดินได้อย่างธรรมชาติของไฟฟ้าก็จะไหลลงดินทันที การประจวบอุบัติเหตุจากไฟฟ้าในลักษณะที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายลงสู่ดิน เป็นลักษณะที่มนุษย์ได้รับอันตรายจากไฟฟ้ามากที่สุด ประมาณมากกว่าร้อยละ 90 ของผู้ประสบอันตรายจากไฟฟ้าทั้งหมด คนทั่วไปมักเรียกการประสบอันตรายจากไฟฟ้าลักษณะนี้ว่า “ ไฟดูด ” โดยข้อเท็จจริงแล้วไฟฟ้าไม่ได้ดูด แต่เกิดจากกระแสไฟฟ้าผ่านร่างกายลงดินทำให้มีลักษณะอาการชกกระตุก คำว่า “ ดิน ” ในทางไฟฟ้ามีได้หมายถึง พื้นดินทั่วไปเท่านั้น แต่รวมถึง สิ่ง วัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ต่อถึงดินด้วย เช่น อาคารคอนกรีต โครงเหล็ก หลังคาตึก ดันไม้ เป็นต้น ที่ต่อติดหรือขึ้นอยู่กับพื้นดิน หากยืนหรือนั่งหรือสัมผัสอยู่กับสิ่งดังกล่าวที่เรียกว่า “ ฉนวน ” เป็นตัวกั้นระหว่างอวัยวะของร่างกายกับดินแล้ว เมื่อมีส่วนหนึ่งของร่างกายสัมผัสกับดินดังกล่าว กระแสไฟฟ้าย่อมผ่านลงดินทำให้เกิดอันตรายขึ้นได้ การที่มนุษย์จะได้รับอันตรายมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสไฟฟ้าผ่านตัวเราลงสู่ดิน ถ้าปริมาณกระแสผ่านลงดินมากจะได้รับอันตรายมาก ลงดินน้อยก็จะได้รับอันตรายน้อย กระแสไฟฟ้าจะไหลลงดินได้มากน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับความต้านทานต่อการไหลของกระแสไฟฟ้าลงดิน เช่น ถ้ายืนอยู่บนพื้นที่เปียกชื้นหรือโครงโลหะที่ต่อติดอยู่กับดิน กระแสไฟฟ้าจะผ่านร่างกายลงดินได้มากกว่าการยืนบนพื้นที่แห้งหรือยืนบนโครงไม้ที่เปียกเพียงเล็กน้อยที่ต่อติดอยู่กับดิน ดังภาพประกอบ 2



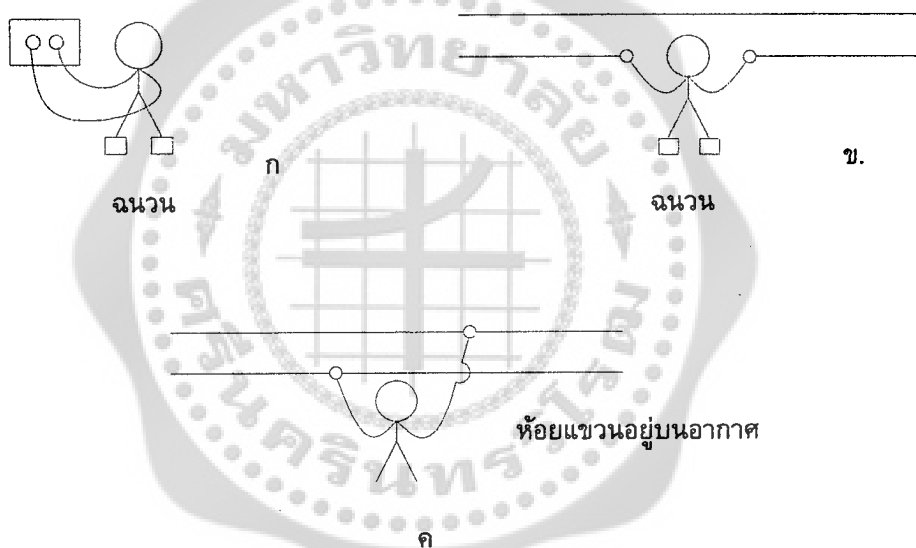
ภาพประกอบ 2 แสดงลักษณะกระแสไฟฟ้าทำให้ร่างกายเป็นทางผ่านลงดิน

(วิเลิศ เจตยานุวัตร.2538:371)

ในภาพประกอบ 2 ก มอเตอร์ไฟฟ้าในโรงงาน เมื่อผลิตและเริ่มนำมาใช้งานจะมีสภาพเรียบร้อย ฉนวนหุ้มสายดีทำงานปกติไม่มีกระแสไฟฟ้ารั่ว มอเตอร์วางอยู่บนฉนวนอย่างดี เมื่อคนไปสัมผัสจับต้อง แม้มือเปียก เท้าเปียก ไม่สวมรองเท้า ยืนอยู่บนพื้นดินหรือพื้นคอนกรีต ผู้ไปสัมผัสจะไม่ได้รับอันตรายจากไฟฟ้า เนื่องจากไม่มีกระแสไฟฟ้าผ่านตัวลงสู่ดิน ต่อมาเมื่อผ่านการใช้งานอาจเกิดการชำรุดบกพร่อง เกิดมีไฟฟ้ารั่วขึ้นที่ตัวมอเตอร์ หากมีผู้ใดผู้หนึ่งไปจับ หรือส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกายไปสัมผัสถูกมอเตอร์ โดยที่ผู้นั้นยืนอยู่บนดินไม่มีฉนวนกั้น ภาพประกอบ 2 ก. บุคคลผู้นั้นจะได้รับอันตรายจากไฟฟ้า เนื่องจากมีกระแสไฟฟ้ารั่วจากมอเตอร์ผ่านมือหรือส่วนของร่างกายที่ไปสัมผัสกับมอเตอร์ สู่ดินตรงที่บุคคลนั้นยืนอยู่ภาพประกอบ 2 ข.

แสดงถึงกรณีที่คนไปสัมผัสกับสายไฟฟ้าหรือส่วนที่มีไฟฟ้าโดยตรง หากบุคคลนั้นยืนอยู่บนดินบุคคลผู้นี้ได้รับอันตรายเนื่องจากกระแสไฟฟ้าใช้ร่างกายเป็นทางผ่านลงดิน

1.4.2 ร่างกายต่อเป็นส่วนหนึ่งของวงจรไฟฟ้า เป็นลักษณะที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายแต่ไม่ผ่านลงดินดังลักษณะที่ 1 กล่าวคือกระแสไฟฟ้าไม่ไหลผ่านร่างกายลงดินเลยแต่ผ่านอวัยวะของร่างกายออกไปจนครบวงจร เป็นลักษณะที่ทำให้อันตรายต่อบุคคลได้จนถึงแก่ชีวิต เนื่องจากกระแสไฟฟ้าทำอันตรายต่ออวัยวะในร่างกาย การที่ร่างกายต่อเป็นส่วนหนึ่งของวงจรไฟฟ้า ส่วนของร่างกายในขณะนั้นทำหน้าที่เสมือนฟิวส์หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีกระแสไฟฟ้าไหลตามปกตินั่นเอง หรือหากจะเปรียบเทียบกับหลอดไฟฟ้านิดมีไส้ ไส้หลอดทำด้วยโลหะที่มีความต้านทานสูง เช่น ทังสเตน เมื่อกระแสไหลผ่านเข้าไป หลอดไส้จะร้อนแดงเปล่งแสงสว่างออกมา ดังนั้นหากร่างกายมนุษย์ทำหน้าที่เหมือนหลอดไฟฟ้าจะทำให้อวัยวะต่างๆ นี้ไม่สามารถทนความร้อนที่เกิดขึ้นได้ ลักษณะอันตรายเช่นนี้แสดงไว้ในภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 แสดงลักษณะของร่างกายต่อเป็นส่วนหนึ่งของวงจรไฟฟ้า

(วิเลิศ เจตยานุวัตร.2538:371)

จากภาพประกอบ 3 ก. บุคคลผู้นั้นยืนอยู่บนพื้นที่เป็นฉนวนอย่างดี มือทั้งสองจับปลายสายไฟฟ้าสองเส้นที่ต่อออกจากตู้เต้าเสียบ รุละเส้น หรือภาพประกอบ 3 ข. มือจับปลายสาย 2 ข้าง ของสายเส้นเดียวกันแต่ต่างขั้ว หรือใช้มือจับสายไฟ 2 เส้นพร้อมกันดังภาพประกอบ 3ค จะเห็นได้ว่าทุกกรณี กระแสไฟฟ้าไม่ได้ผ่านร่างกายลงสู่ดินเลย แต่ผ่านอวัยวะของร่างกายออกไปจนครบวงจร เมื่อร่างกายมนุษย์กลายเป็นส่วนหนึ่งของวงจรไฟฟ้าจะเป็นไปตามกฎของโอห์ม คือ กระแสไฟฟ้าซึ่งผ่านร่างกายเป็น $I = V/R$ ซึ่ง V = ค่าแรงดันไฟฟ้า R คือ ค่าความต้านทานรวมของวงจรไฟฟ้า ปริมาณของกระแสไฟฟ้า (I) ที่ผ่านร่างกายนับเป็นองค์ประกอบอื่นๆ อีกหลายอย่าง เช่น ค่าความต้านทานของร่างกาย ปริมาณแรงดันไฟฟ้า เป็นต้น ที่มีส่วนทำให้เกิดอาการช็อก เนื่องจากกระแสไฟฟ้า

1.4.3 กระแสไฟฟ้าลัดวงจร เมื่อเกิดการลัดวงจรของกระแสไฟฟ้าขึ้น สิ่งที่มาคือ เสียงและประกายไฟซึ่งให้แสงสว่างที่มีความเข้มและความร้อนมาก การลัดวงจรของกระแสไฟฟ้าจะก่อให้เกิดอันตรายรุนแรงเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ปริมาณกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร แรงดันไฟฟ้า ความต้านทาน และระยะระหว่างจุดที่เกิดกระแสไฟฟ้าลัดวงจรกับต้นกำเนิดของพลังงานไฟฟ้าเช่น หม้อแปลง เป็นต้น การที่มนุษย์จะได้รับอันตรายจากการที่กระแสไฟฟ้าลัดวงจรมีด้วยกัน 3 ลักษณะคือ

1.4.3.1 อันตรายจากแสงจ้า เมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้นจะทำให้เกิดแสงสว่างที่มีความเข้มมาก จะทำอันตรายต่อดวงตาของมนุษย์ได้ หรือเศษโลหะที่หลอมละลาย อาจจะกระเด็นเข้าตาทำให้ตาบอดได้

1.4.3.2 อันตรายจากความร้อนทำให้เกิดบาดแผลไฟไหม้ แก้ววัยะของร่างกายในส่วนที่เข้าไปใกล้หรือสัมผัสกับจุดที่เกิดกระแสไฟฟ้าลัดวงจร ผลที่เกิดขึ้นจะผิดจากแผลไฟไหม้อื่นๆ คือ รอยไหม้จะแห้งลึก ผิวหนังจะขาวเหี่ยว เมื่อถูกไหม้ใหม่ๆจะไม่ปรากฏรอยแผลให้เห็นชัดเจน อาจจะพบเป็นคราบหรือเมือกใน 3 – 4 วันต่อมา และจะขยายลึกลงไปมากกว่าที่ปรากฏครั้งแรก จะเจ็บปวดมากกว่าแผลไหม้ธรรมดา

1.4.3.3 อันตรายที่เกิดจากไอควันโลหะ เมื่อเกิดการลัดวงจรจะทำให้เกิดไอควันขึ้นจากสายไฟฟ้าหรือฟิวส์ ซึ่งไอควันเหล่านี้จะเป็นไอควันของทองแดง ทองแดงออกไซด์เงินหรือตะกั่ว ไอควันที่เกิดขึ้นนี้อาจทำอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจของคนที่อยู่ใกล้จุดที่เกิดเหตุได้

1.5 ผลของกระแสไฟฟ้าที่มีต่อร่างกาย เมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายที่มีปริมาณของกระแสไฟฟ้าขนาดต่างๆ จะเกิดผลต่อร่างกาย 7 ประการดังต่อไปนี้
(ชัยยุทธ์ ขวลิตนิธิกุล, 2532:163-164)

1.5.1 กล้ามเนื้อกระตุกหรือเกิดการหดตัว (Muscular Freezing) อาการเช่นนี้เราจะพบเห็นเสมอหรือบางคนเคยประสบมาด้วยตนเอง เช่น เวลาที่ผล่อไปจับต้องสิ่งที่มีไฟฟ้ารั่วอยู่จะรู้สึกมีอาการกระตุกทันทีถ้ากระแสไฟฟ้าผ่านร่างกายลงดินได้ แต่ถ้าเราหลุดออกมาได้หรือกระแสไฟฟ้าถูกตัดเสียก่อนก็คงไม่มีปัญหาอะไร แต่ถ้าบังเอิญต้องอยู่ในสภาพที่กระแสไฟฟ้ายังคงไหลผ่านตัวอยู่ต่อไป กล้ามเนื้อส่วนต่างๆ จะหดตัวมีอาการเกร็ง และถ้ากระแสผ่านเข้าทางมือหรือศีรษะและไหลออกลงดินทางมืออีกข้างหนึ่ง หรือทางเท้า กล้ามเนื้อส่วนทรวงอกจะหดตัวมากที่สุดจะเป็นผลทำให้การทำงานของปอดมีอุปสรรคจนในที่สุดอาจจะทำงานไม่ได้ ทำให้ร่างกายมีสภาพการขาดอากาศในการหายใจจนเกิดอาการสลบ (Asphyxiation) ซึ่งเป็นผลต่อเนื่องทำให้การหมุนเวียนของโลหิตต้องหยุดด้วย

1.5.2 ระบบประสาทเกิดอาการชะงักงัน (Nerve Block) หรือเป็นอัมพาตชั่วคราว (Temporary Paralysis) โดยเฉพาะระบบประสาทส่วนกลางที่ควบคุมการทำงานของหัวใจซึ่งจะเป็นผลทำให้การทำงานของหัวใจล้มเหลว

1.5.3 หัวใจหยุดทำงานทันที (Cardiac Arrest) กรณีนี้มักเกิดจากการที่กระแสไฟฟ้าจำนวนมากไหลผ่านหัวใจในระยะเวลาอันสั้น และหัวใจอาจจะกลับทำงานได้ด้วยตัวเอง หรือหลังจากการใช้วิธีการนวดหัวใจจากภายนอก (External Cardiac Massage)

1.5.4 หัวใจเกิดอาการเต้นกระตุกหรือเต้นถี่เร็ว (Ventricular Fibrillation) กระแสไฟฟ้าที่จะทำให้เกิดอาการดังกล่าวเป็นกระแสไฟฟ้าที่มีปริมาณเพียงเล็กน้อย คือตั้งแต่ประมาณ 50 มิลลิแอมแปร์หรือ 1 ใน 20 ของแอมแปร์เท่านั้น ปกติกล้ามเนื้อหัวใจของมนุษย์จะมีการหดตัวและขยายตัวเป็นจังหวะเท่ากับจังหวะการเต้นของหัวใจ โดยเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ช่วยให้หัวใจทำหน้าที่สูบฉีดโลหิตไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกายได้ตลอดเวลา แต่ถ้ามีกระแสไฟฟ้าผ่านหัวใจ การเต้นหรือการหดตัวและขยายตัวของกล้ามเนื้อหัวใจจะเปลี่ยนแปลงไปเป็นการเต้นในจังหวะที่ผิดปกติเช่น มีอาการกระตุกหรือมีการเต้นถี่ร่วนวาทึดหลายร้อยครั้ง

แต่เป็นการเดินที่อ่อนการสูบน้ำโลหิตไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกายจึงทำได้ไม่เต็มที่ทำให้ส่วนต่างๆ ของร่างกายขาดโลหิตไปเลี้ยงอย่างสมบูรณ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนสมองของมนุษย์ต้องการออกซิเจนที่ไปเลี้ยงร่างกาย

การแก้อาการเดินที่รั่วหรือกระตุกของหัวใจ จะใช้วิธีการนวดหัวใจจากภายนอกไม่ได้ แพทย์ผู้ชำนาญเท่านั้นที่จะช่วยได้ กล่าวคือจะต้องใช้วิธีการป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าไปกระตุ้นหัวใจโดยใช้กระแส แรงดัน และระยะเวลาที่เหมาะสม วิธีนี้เรียกว่าการกระตุ้นหัวใจด้วยกระแสไฟฟ้า (Defibrillation) หรือเรียกว่า การช็อคด้วยไฟฟ้า

1.5.5 เซลล์ภายในร่างกายเสียชีวิตหรือตาย กระแสไฟฟ้าที่ผ่านร่างกายแม้จะไม่มีปริมาณที่มากพอจนทำให้เกิดบาดแผลไหม้ก็อาจจะทำให้เซลล์ในร่างกายบางส่วนเสียหาย เซลล์ที่ถูกทำลายอาจจะเกิดการเน่าเสียและลุกลามแผ่กว้างออกไปเกิดเป็นพิษแก่เนื้อเยื่อต่างๆ ได้ เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกาย กระแสไฟฟ้าจะเลือกผ่านในเส้นทางที่มีความต้านทานต่อกระแสไฟฟ้าน้อยที่สุด ซึ่งได้แก่ หลอดเลือด และไขสันหลัง จึงมักทำให้เกิดการแข็งตัวของโลหิตในหลอดเลือด และเส้นประสาทในไขสันหลังได้รับอันตราย

อาการที่เป็นผลจากไฟฟ้าในกรณีนี้อาจจะไม่เกิดโดยทันที แต่อาจจะเกิดขึ้นภายหลังจากที่ประสบอันตรายจากไฟฟ้าในระยะหนึ่งแล้วก็ได้

1.5.6 เนื้อเยื่อและเซลล์ต่างๆ ของร่างกายถูกทำลาย เนื่องจากความร้อนที่เกิดจากกระแสไฟฟ้า ส่วนของร่างกายที่มักเป็นอันตราย คือส่วนที่กระแสไฟฟ้าเข้า กับกระแสไฟฟ้าผ่านออกลงดิน เช่น มือจับ เหล็กเส้นไปสัมผัสถูกสายไฟฟ้าแรงสูง ในขณะที่ยืนอยู่บนดิน จะเกิดการลัดวงจรของกระแสไฟฟ้าลงดินโดยผ่านเหล็กเส้นผ่านมือผ่านร่างกายลงดินที่เท้า ส่วนที่มีบาดแผลไหม้เห็นได้ชัดคือที่ฝ่าเท้า กระแสไฟฟ้าประมาณตั้งแต่ 200 มิลลิแอมแปร์หรือ 1 ใน 5 แอมแปร์ขึ้นไปทำให้เกิดบาดแผลไหม้ได้ บาดแผลไหม้รุนแรงเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่มีปริมาณมากความร้อนที่เกิดจะมีปริมาณมากด้วย

ผู้ได้รับอันตรายจากความร้อนเนื่องด้วยกระแสไฟฟ้าที่มีปริมาณมาก ถ้าไม่เสียชีวิตก็มักจะต้องสูญเสียอวัยวะที่เกิดบาดแผลไหม้ เช่น ต้องตัดแขนและขาออก เป็นต้น ตัวอย่างเช่น มีช่างไฟฟ้าหลายรายที่ทำงานพลาดเกิดไฟฟ้าลัดวงจร ความร้อนและประกายไฟฟ้าทำให้เกิดบาดแผลไหม้ที่ มือ ใบหน้า หนอก ลำตัว แขนหลัง และเท้า การที่มีบาดแผลแพร่กระจายไปมากนั้นเพราะส่วนของร่างกายจะชุ่มไปด้วยเหงื่อซึ่งเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี ผู้ประสบอันตรายดังกล่าวมักจะเสียชีวิต เพราะพื้นที่ของบาดแผลไหม้มีบริเวณกว้าง ซึ่งตามหลักทางการแพทย์ถ้าพื้นที่ของร่างกายมีบาดแผลที่เกิดจากความร้อนเกินกว่า 1 ใน 3 ของร่างกายทั้งหมดแล้วถือว่ามียาอันตรายสูง

1.5.7 ดวงตาอักเสบ จากแสงสว่างที่มีความเข้มสูง จากการเชื่อมโลหะหรือประกายไฟที่เกิดจากไฟฟ้าลัดวงจรทำอันตรายต่อดวงตาอาจทำให้ถึงกับตาอักเสบหรือตาบอดได้

การได้รับอันตรายจากกระแสไฟฟ้าในทางการแพทย์ จะพิจารณาผลที่เกิดขึ้นต่อร่างกาย

2 ประการคือ (ชูศักดิ์ เวชแพทย์.2531:1)

1. ผลความร้อน (Thermal Effect) เมื่อไฟฟ้าผ่านรีซิสแตนซ์ที่เกิดจากเนื้อเยื่อในร่างกายจะทำให้เกิดความร้อน การนำพลังงานที่เปลี่ยนเป็นความร้อนนั้นสามารถหาค่าได้จาก I^2R และเนื่องจากเนื้อเยื่อของร่างกายเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ไม่เท่ากันซึ่งเรียกว่า Inhomogeneous Volume Conductivity ดังนั้นการกระจายของกระแสไฟฟ้าจึงขึ้นอยู่กับ การนำไฟฟ้าของเนื้อเยื่อเฉพาะแห่ง (Local Tissue Conductivity) ถ้าความร้อนเกิดขึ้นมากจะทำให้เนื้อเยื่อได้รับอันตรายและเป็นรอยไหม้ ถ้าเป็นไฟฟ้าที่ใช้ตามบ้าน การไหม้มักจะเป็นบริเวณที่ถูกไฟฟ้าหรือบริเวณใกล้เคียง แต่ถ้าเป็นไฟฟ้าแรงสูง เช่น จากการทำงานที่เกี่ยวข้องกับ

ระบบไฟฟ้าแรงสูง หรือระบบไฟฟ้าในอุตสาหกรรม เมื่อเกิดอุบัติเหตุจนทำให้ไฟฟ้าแรงสูงไหลเข้าไปในร่างกาย จะทำให้มีการไหม้เป็นบริเวณกว้างใหญ่ได้

2. ผลทางสรีรวิทยา (Physiologic Effect) ผลของไฟฟ้าต่อร่างกายในเรื่องนี้นั้นเกี่ยวข้องกับความรู้ที่ว่า การนำพลังประสาทไปตามเส้นประสาทเกี่ยวข้องกับ Electrochemical Action Potential ฉะนั้นเมื่อกระแสไฟฟ้าจากภายนอกไหลเข้าไปในร่างกายมากพอ จะไปกระตุ้นเส้นประสาทจนทำให้กล้ามเนื้อหดตัว แต่ถ้าการหดตัวนั้นผิดไปจากการทำงานตามสภาวะทางสรีรวิทยา จะทำให้เกิดอันตรายได้ เช่น ถ้าความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าไปในหัวใจมากพอ จะทำให้หัวใจหดตัวเกร็ง จึงไม่สามารถทำหน้าที่สูบฉีดโลหิตไปเลี้ยงร่างกายได้ ดังนั้นจึงทำให้เกิดอันตรายมากจนถึงแก่ชีวิตได้

ผลของกระแสไฟฟ้าที่มีต่อร่างกายจากที่กล่าวมาแล้วพอสรุปได้ว่า เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายจะทำให้กล้ามเนื้อหัวใจกระตุกหรือเต้นถี่เร็ว วิธีที่จะแก้ไข คือ การทำอาการกล้ามเนื้อหัวใจเต้นถี่เร็วหมดไป โดยใช้กระแสไฟฟ้าจากเครื่องกระตุ้นหัวใจช่วยเหลืออย่างรวดเร็ว และวิธีให้ลมหายใจทางปากหรือทางจมูก การนวดหัวใจจากภายนอกจะทำให้ผู้ประสบอันตรายยังคงมีชีวิตอยู่จนกว่าจะนำไปส่งโรงพยาบาล การเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายมีความรุนแรงมากขึ้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ คือ ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านร่างกาย ระยะเวลาที่สัมผัสหรือระยะเวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ระดับแรงดันไฟฟ้า ความต้านทานของร่างกายต่อไฟฟ้า ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าและเส้นทางหรืออวัยวะภายในร่างกายที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

1.6 ปัจจัยที่ก่อให้เกิดความรุนแรงของการประสบอันตรายจากไฟฟ้า ผู้ที่ประสบอันตรายจากไฟฟ้ามีผลการประสบอันตรายแตกต่างกัน บางรายบาดเจ็บเล็กน้อยบางรายบาดเจ็บสาหัสอาจถึงแก่ความตายได้ มีปัจจัยหลายอย่างที่เป็นตัวกำหนดความรุนแรงของอันตราย (วิเลิศ เจติยานุวัตร.2538:373-376)

1.6.1 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านร่างกาย การถูกไฟฟ้าชอตถึงขั้นอันตรายนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผ่านร่างกาย อันตรายร้ายแรงถึงชีวิตนั้นเนื่องมาจากการที่กล้ามเนื้อหัวใจกระตุกหรือเต้นถี่เร็ว กล่าวคือ เกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อที่ผนังหัวใจแต่ละส่วนเป็นไปโดยไม่สัมพันธ์กัน หรือเกิดจากการที่ระบบประสาทส่วนกลางตลอดจนเนื้อเยื่อต่างๆ ตามทางที่กระแสไฟฟ้าผ่านถูกทำลายอย่างรุนแรงจนเป็นสาเหตุที่ทำให้ผู้ถูกกระแสไฟฟ้าเสียชีวิตได้ ดังตาราง 1

ตาราง 1 แสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าและผลที่มีต่อร่างกาย (วิเลิต เจตยานุวัตร.2538:373)

ปริมาณกระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	อาการ
ต่ำกว่า 0.5	ยังไม่มีผลหรือไม่รู้สึก
0.5-2	รู้สึกจิกจีหรือกระตุกเล็กน้อย
2-8	กระทบกระเทือนต่อระบบประสาท กล้ามเนื้อหดตัว เกิดอาการกระตุกปานกลางหรือรุนแรงไม่ถึงขั้นอันตราย
8-20	กระทบกระเทือนต่อระบบประสาท เจ็บปวด กล้ามเนื้อเกร็ง หดตัวอย่างรุนแรงบางคนไม่สามารถปล่อยมือหลุดออกได้
20-50	กระทบกระเทือนต่อระบบประสาท กล้ามเนื้อหดตัวอย่างรุนแรงทำให้ปอดผิดปกติ ไม่สามารถปล่อยมือออกได้ มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในสมอง มีโอกาสเสียชีวิตลงในเวลาเพียง 2-3 นาที
50-100	กระทบกระเทือนต่อระบบประสาท หัวใจเต้นผิดปกติ เดินอ่อนหรือเดินถิ้ว มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในสมอง ไม่สามารถปล่อยมือหลุดออกได้ มีโอกาสเสียชีวิตในเวลา 2-3 นาที
สูงกว่า 100	หัวใจหยุดเต้น ผิวน้ำไหม้ หรือเนื้อเยื่อไหม้อย่างรุนแรง กล้ามเนื้อไม่ทำงาน

จากตาราง 1 แสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าในระดับต่างๆที่ไหลผ่านร่างกายจากมือถึงเท้า โดยที่หัวใจอยู่ในเส้นทางไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าด้วย จะเห็นได้ว่าปริมาณของกระแสไฟฟ้าตั้งแต่ 0.5 จนถึง 100 มิลลิแอมแปร์เป็นผลทำให้เกิดความรู้สึกจนถึงขั้นอันตรายต่อชีวิตได้นั้น ถ้าผู้ถูกกระแสไฟฟ้าไม่สามารถทำให้ตนเองหลุดออกจากส่วนที่มีไฟฟ้าหรือได้รับการช่วยเหลือจากผู้อื่นให้หลุดออกจากวงจรไฟฟ้า การถูกกระแสไฟฟ้าแรงดันต่ำ ปริมาณเพียงเล็กน้อยผ่านหัวใจอาจทำให้ได้รับอันตรายมากกว่าที่จะได้รับอันตรายจากกระแสไฟฟ้าแรงดันสูงได้

กระแสไฟฟ้าแรงดันสูงที่ทำให้เกิดอาการกล้ามเนื้อหัวใจกระตุกอย่างรุนแรง หรือเดินถิ้วจะไม่มีทางแก้ไขหรือรักษาด้วยวิธีธรรมดาได้ ส่วนการช็อกที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าที่มีแรงดันสูงมักทำให้การหายใจหยุดชะงัก และผู้ประสบอันตรายมักจะหลุดออกจากการติดไฟทันที การปฐมพยาบาลด้วยวิธีให้ลมหายใจโดยตรงทางปากจะช่วยชีวิตผู้ประสบอันตรายในกรณีเช่นนี้ไว้ได้เป็นจำนวนมาก กระแสไฟฟ้าที่จะไหลผ่านร่างกายจะมีจำนวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความต้านทานของร่างกายด้วย

1.6.2 ระยะเวลาที่สัมผัสหรือระยะเวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน การถูกกระแสไฟฟ้าชอตถึงขั้นอันตรายนอกจากจะขึ้นกับปริมาณของกระแสไฟฟ้า ยังขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านด้วย การที่ถูกกระแสไฟฟ้าชอต ส่วนใหญ่ไม่สามารถบังคับหรือควบคุมตัวเองให้หลุดพ้นจากไฟฟ้าได้ เมื่อถูกกระแสไฟฟ้าผ่านเป็นเวลานานหากไม่มีผู้ใดช่วยเหลือให้หลุดออกจากไฟฟ้าได้ทันท่วงทีอาจได้รับอันตรายถึงชีวิตได้จากการทดสอบกับสุนัขหลายๆตัว ปรากฏผลว่ากระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดอาการกล้ามเนื้อหัวใจกระตุกหรือเดินถิ้วเป็นอัตราส่วน ผกผันกับรากที่ 2 ของเวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกาย ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$I = 165\sqrt{t}$

โดยที่ I ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านร่างกาย เป็นมิลลิแอมแปร์
t เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกาย เป็นวินาที

ตาราง 2 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างกระแสไฟฟ้าทั้งระยะเวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกาย
(วิเลิต เจตียานุวัตร.2538:374)

ปริมาณกระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ระยะเวลาที่ไหลผ่าน	อาการ
100	นานกว่า 3 วินาที	} ตาย
500	นานกว่า 0.1 วินาที	
1,000	นานกว่า 0.03 วินาที	

ระยะเวลาที่กล่าวนี้จะเริ่มนับตั้งแต่เมื่อมีอาการช็อกเพราะเมื่อร่างกายเกิดการช็อก ระบบการหายใจและการทำงานของหัวใจจะหยุดชะงัก การหมุนเวียนของโลหิตจะสิ้นสุดลงโดยปกติส่วนของร่างกายที่ต้องการออกซิเจนที่ไปกับโลหิตมากที่สุดคือสมอง สมองมนุษย์ถ้าขาดออกซิเจนเพียงประมาณ 5 นาทีเท่านั้น สมองจะถูกทำลายอาจจะเกิดการพิการทางสมองหรือถึงแก่ความตายได้ ฉะนั้นเราจึงมีเวลาเพียง 4-7 นาทีเท่านั้น ที่จะช่วยเหลือผู้ที่ช็อกไม่ว่าจะด้วยเหตุจากกระแสไฟฟ้าหรือจากเหตุอื่นก็ตาม ดังนั้นจึงต้องพยายามช่วยผู้ประสบอันตรายจากไฟฟ้าพ้นจากการถูกกระแสไฟฟ้าผ่านร่างกายโดยเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่การช่วยเหลือผู้ประสบอันตรายจากไฟฟ้านั้นจะต้องกระทำโดยความรอบคอบระมัดระวังและทราบถึงวิธีการช่วยเหลืออย่างถูกวิธี

1.6.3 แรงดันไฟฟ้า เป็นปัจจัยหนึ่งที่จะทำให้อันตรายต่อมนุษย์ แรงดันที่คนประสบอันตรายส่วนใหญ่อยู่ในระดับประมาณ 110 ถึง 400 โวลท์เพราะเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งานทั่วไป จากการศึกษาพบว่าแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 240 โวลท์ขึ้นไปจะทำให้ผิวหนังทะลุ เมื่อผิวหนังทะลุลึกขาดจะทำให้ความต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้าสู่ร่างกายมนุษย์มากขึ้น ย่อมจะก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์จนถึงแก่ชีวิตได้ โดยปกติการช็อกเนื่องจากกระแสไฟฟ้าในย่านแรงดันระหว่าง 20 ถึง 60 โวลท์ ผู้ประสบอันตรายมักจะไม่สามารถปล่อยมือหลุดได้ ถ้าในย่านแรงดัน 40- 100 โวลท์ จะทำให้หยุดหายใจ และถ้าแรงดัน 80-100 โวลท์ จะทำให้กล้ามเนื้อหัวใจกระตุกหรือเต้นถี่รวดหากเป็นการสัมผัสเต็มที่ ถ้าการช็อกจากแรงดันจากแรงดันสูงกว่า 600 โวลท์ จะทำให้ผิวหนังไหม้แต่หากการสัมผัสส่วนที่มีกระแสไฟฟ้าไม่ค่อยดีนัก แรงดันที่ตกคร่อมร่างกายอาจลดลงเหลือเพียงทำให้กล้ามเนื้อหัวใจเต้นถี่เร็ว

แรงดันไฟฟ้าที่ถือว่าปลอดภัยโดยแท้จริง เป็นแรงดันระหว่าง 24-25 โวลท์ และหากตามมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกาถือว่าแรงดัน 25 โวลท์ เป็นแรงดันปลอดภัยส่วนมาตรฐานของประเทศในทวีปยุโรป ถือว่าแรงดัน 24-25 โวลท์เป็นแรงดันปลอดภัยเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าในระดับดังกล่าวนี้เมื่อร่างกายไปสัมผัสถูก ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านร่างกายจะมีปริมาณไม่มากนัก หรือมีน้อยกว่าปริมาณที่ก่อให้เกิดอันตรายได้ เนื่องจากผิวหนังหรือร่างกายมนุษย์มีค่าความต้านทานอยู่ประมาณหนึ่งร่างกายซึ่งได้จากการศึกษาทดลอง เป็นที่ยอมรับกันว่าค่าความต้านทานต่ำที่สุดของร่างกายต่อกระแสไฟฟ้าระหว่างมือถึงเท้า มีค่าประมาณ 500 โอห์ม ดังนั้นค่าความต้านทานที่ผิวหนังหรือจุดสัมผัสเป็นตัวสำคัญที่จำกัดการไหลของ

กระแสไฟฟ้า ค่าความต้านทานแตกต่างกันระหว่างอวัยวะส่วนต่างๆ ของร่างกายและแตกต่างกันสำหรับบุคคลแต่ละคน ผิวหนังที่แห้งมีความต้านทานระหว่าง 100,000-600,000 โอห์มต่อตารางเซนติเมตรแต่ผิวหนังที่เปียกจะมีค่าความต้านทานเหลือเพียง 1 เพอร์เซ็นต์ของผิวหนังแห้งเท่านั้น คือเหลือประมาณ 1,000 โอห์มต่อตารางเซนติเมตร แต่หากกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการช็อกไหลผ่านร่างกายนานประมาณ 2-3 วินาที ผิวหนังตรงจุดสัมผัสจะพองขึ้น ซึ่งจะมีผลให้ค่าความต้านทานของผิวหนังตรงจุดนั้นมีค่าลดลง ฉะนั้นหากร่างกายโดยเฉพาะส่วนมือและเท้าเปียกหรือชื้นอย่าจับต้องหรือใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าเด็ดขาด โดยเฉพาะถ้ายืนอยู่บนดินหรือในที่เปียกชื้นจะยังมีอันตรายมากเป็นพิเศษ

ตาราง 3 แสดงถึงค่าความต้านทานตามส่วนต่างๆของร่างกาย (วิเลต เจตยานูวัตร.2538:375)

ส่วนต่างๆของร่างกาย	ค่าความต้านทาน(โอห์มต่อตารางเซนติเมตร)
ผิวหนังที่แห้ง	100,000 – 600,000
ผิวหนังที่เปียก	1,000
ความต้านทานภายในของร่างกายจากมือถึงเท้า (ไม่มีผิวหนัง)	400 - 600
ความต้านทานระหว่างช่องหู	100

1.6.4 ความถี่ของแรงดันไฟฟ้า จากการศึกษาพบว่าความถี่ 50/60 เฮิร์ตซ์ ความต้านทานของร่างกายจะมีค่าสูงที่สุด แต่หากเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นความต้านทานของร่างกายจะมีค่าลดลง โดยที่การลดลงนี้จะลดลงในลักษณะที่ไม่เป็นกราฟเส้นตรง ซึ่งจะมีผลต่อความรู้สึกของการถูกกระแสไฟฟ้า กระแสปล่อยหลุด และกระแสไฟฟ้าที่ทำให้กล้ามเนื้อหัวใจเต้นถี่เร็ว เช่น กระแสไฟฟ้าขนาด 7 มิลลิแอมแปร์ที่ความถี่ 50/60 เฮิร์ตซ์ มีความรู้สึกจุกจี้ แต่ที่ความถี่ 100-200 กิโลเฮิร์ตซ์จะทำให้เกิดความร้อนขึ้นตรงบริเวณที่สัมผัสที่ความถี่ 5 กิโลเฮิร์ตซ์ กระแสระดับที่ปล่อยหลุดจะมีค่ามากกว่าที่ค่าความถี่เพิ่มสูงขึ้น กระแสไฟฟ้าที่จะทำให้เกิดกล้ามเนื้อเต้นถี่เร็วก็จะสูงขึ้นด้วยเช่นกัน ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ไม่มีผลทำให้เกิดการบาดเจ็บต่อมนุษย์มาก จะมีค่าความถี่ที่ 50/60 เฮิร์ตซ์เท่านั้น

1.6.5 เส้นทางหรืออวัยวะภายในร่างกายที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน การที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านอวัยวะของร่างกายจะเป็นผลทำให้เกิดอันตรายดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เพราะกระแสไฟฟ้ามีผลกระทบต่อระบบการหายใจ การทำงานของหัวใจและระบบดังนั้นถ้าเส้นทางของกระแสไฟฟ้าผ่านสมอง หัวใจ และปอดย่อมเป็นอันตรายมาก หรือจะกล่าวได้ว่าถ้ากระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าทางศีรษะ ออกทางฝ่าเท้าทั้งสองข้างจะมีอันตรายมากที่สุด

1.7 การป้องกันอันตรายจากการใช้ไฟฟ้า อันตรายจากการใช้ไฟฟ้ามักจะเกิดขึ้นได้ 2 กรณี คือเกิดขึ้นขณะที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับไฟฟ้าและเกิดขึ้นขณะใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า ในการป้องกันเพื่อไม่ให้เกิดอันตรายกับผู้ที่เกี่ยวข้อง จึงจะป้องกันโดยตัวเราเองและการใช้อุปกรณ์ป้องกัน ในกรณีที่อุปกรณ์ หรือวงจรไฟฟ้าเกิดข้อผิดพลาด เช่น ลัดวงจรหรือรั่วลงดิน

1.7.1 การป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าขณะปฏิบัติงานและใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าได้สรุปไว้ดังต่อไปนี้
วิเลต เจตยานูวัตร (2538:387-390) ได้สรุปวิธีป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าไว้ 7 วิธีการดังนี้

1. การรู้ทฤษฎีและอันตรายจากไฟฟ้า
2. การเลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ปลอดภัย
3. การติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าตามหลักความปลอดภัย
4. การใช้เครื่องจักร อุปกรณ์ไฟฟ้าโดยถูกวิธี
5. การใช้ป้ายเตือน
6. การซ่อมบำรุง และ ตรวจสอบ อุปกรณ์ไฟฟ้าสม่ำเสมอ
7. กำหนดกฎเกณฑ์สำหรับผู้ปฏิบัติงาน

รัตนะ อุทัยผล (2523:68) ได้สรุปถึงความปลอดภัยในการปฏิบัติงานไว้ 14 ข้อดังนี้

1. ก่อนการปฏิบัติงานต้องพิจารณาว่าผู้ปฏิบัติงานอยู่บนพื้นดินหรือสถานที่นั้นเปียกชื้นหรือร่างกายมีเหงื่อเปียก

2. ก่อนการปฏิบัติงานควรตรวจแรงเคลื่อนให้ทราบแน่นอนเสียก่อน
3. ทดสอบวงจรที่จะทำโดยเขียนคร่าวๆดูก่อน จึงค่อยลงมือปฏิบัติ
4. ก่อนจ่ายกระแสไฟฟ้าให้โหลดไปวงจร ต้องตรวจอย่างละเอียดๆ อย่างน้อย 2 ครั้ง
5. อย่ามีความกลัวไฟฟ้าจนกลายเป็นประหม่า
6. ขณะปฏิบัติงานควรมีผู้ช่วย อย่างน้อย 1 คน
7. ในขณะปฏิบัติงานอยู่ ห้ามหยอกล้อกันเป็นอันขาด
8. อย่าเสี่ยงอันตราย เมื่อไม่มีความแน่ใจพอ
9. ในการทำงานต้องใช้ความรอบคอบละเอียดละออ ตรวจสอบให้เรียบร้อย
10. เมื่อต้องจรเสร็จแล้ว ตรวจสอบโดยจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ไหลผ่าน (ถ้าทำได้)
11. อย่าปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านวงจรเข้าเครื่องต่างๆ เมื่อไม่มีผู้ควบคุม
12. ในขณะปฏิบัติงาน มือ เท้า ต้องแห้งๆ ที่เท้าควรมีฉนวนรองรับอยู่ เช่นรองเท้าที่เป็น

ฉนวน

13. อย่าใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ชำรุด เช่น แดก ฉนวนหุ้มอุปกรณ์ต่างๆ เปียก ชำรุด
14. อย่าประมาท ต้องทำอย่างรอบคอบ ไม่เผลอเรอ

1.7.2 การใช้อุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้า การใช้อุปกรณ์ป้องกันจะติดตั้งเพื่อป้องกันความผิดปกติในระบบไฟฟ้า ซึ่งเมื่อเกิดผิดปกติในระบบไฟฟ้าจะเป็นอันตรายต่อระบบไฟฟ้า หรือต่อชีวิตของคน โดย ปราโมทย์ จุฑาพร (2534:70) ได้สรุปความผิดปกติในระบบไฟฟ้าไว้ 3 ชนิด ดังนี้

1. แรงดันตก และแรงดันเกิน
2. กระแสเกิน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ โหลดเกินและลัดวงจร
3. ไฟฟ้ารั่วลงดิน ซึ่งรวมถึงไฟฟ้าดูดด้วย

เพื่อป้องกันความผิดปกติของระบบไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ป้องกันความเสียหายและความรุนแรงของการเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า ซึ่งอุปกรณ์ป้องกันป้องกันในระบบไฟฟ้าก็พอจะแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะความผิดปกติ ปราโมทย์ จุฑาพร (2534:70-71) ได้ สรุปไว้ดังนี้

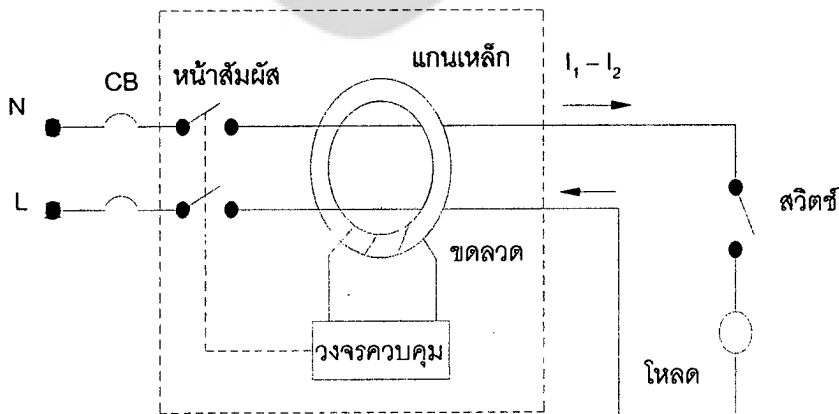
1. เครื่องป้องกันแรงดันตกหรือแรงดันเกินหรือป้องกันทั้งสองอย่าง ซึ่งจะแบ่งย่อยเป็นสองประเภท ประเภทแรกเป็นสวิตช์ตัดไฟฟ้าออกจากระบบเมื่อเกิดแรงดันตกหรือเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ เช่น ต่ำกว่า 200 V และสูงเกินกว่า 240 V เป็นต้น ประเภทที่สองเป็นตัวคอยรักษาแรงดันให้คงที่ที่ค่าที่กำหนด เช่น ที่ 220 V ไม่ว่าแรงดันจากระบบภายนอกจะกระเพื่อมขึ้นลงอย่างไรก็ตาม เครื่องประเภทที่สองซึ่งเรียก

กันว่าเครื่องควบคุมแรงดันอัตโนมัติ (Voltage Regulator หรือ Voltage Stabilizer) จะมีขนาดใหญ่กว่าและมีราคาแพงกว่าเครื่องประเภทแรกมากในขนาดแอมแปร์ที่เท่ากัน

2. เครื่องป้องกันกระแสเกินนับเป็นอุปกรณ์ที่เราคุ้นเคยกันดีที่สุด เพราะทุกบ้านจะต้องมีเครื่องชนิดนี้ติดอยู่ตามข้อบังคับของการไฟฟ้า เครื่องป้องกันกระแสเกินมีด้วยกัน 2 ประเภทอีกเช่นกัน คือฟิวส์และ CB (เซอร์กิตเบรกเกอร์ ทั้งสองประเภทนี้ต่างก็ทำหน้าที่อย่างเดียวกันและอาจใช้แทนกันได้ สำหรับฟิวส์นั้นมีลักษณะเป็นเส้นลวดที่จะหลอมละลาย จนขาดเมื่อมีกระแสเกินไหลผ่าน ทำให้กระแสนั้นหยุดไหลช่วยยับยั้งอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นตามมาได้ ขณะที่เราจำเป็นต้องใช้สวิตช์ปิด/เปิดวงจรควบคู่กับฟิวส์เสมอ ดังภาพประกอบ แต่สำหรับ CB แล้วเราไม่จำเป็นต้องใช้สวิตช์ควบคู่กับ CB ดังภาพประกอบ เพราะเราสามารถให้ CB เป็นสวิตช์ปิด/เปิด วงจรได้เองอยู่แล้ว นั่นก็คือ CB ทำหน้าที่เปิดวงจรโดยอัตโนมัติ เมื่อมีกระแสไหลเกินผ่านตัวมันเพื่อทำให้กระแสไหลเกินนั้นหยุดไหล หลังจาก CB เปิดวงจรแล้วเมื่อจะใช้ใหม่ต้องมีคนไปกดหรือโยกปุ่มบังคับให้มันเปิดวงจรให้กระแสไหลอีกครั้ง CB จึงให้ความสะดวกในการใช้งานมากกว่าฟิวส์ แต่ก็มักจะมีราคาแพงกว่าหลายเท่าด้วยเช่นกัน



ภาพประกอบ 4 แสดงการเกิดไฟฟ้ารั่วลงดินผ่านตัวคนหรือไฟฟ้าดูด (ปราโมทย์ จุฑาพร.2534: 71)



ภาพประกอบ 5 แสดงการติดตั้ง CB ควบคู่กับ GFCI และแสดงกระแสไฟฟ้าในวงจรในสภาวะปกติ (ปราโมทย์ จุฑาพร. 2534: 71)

3. เครื่องป้องกันไฟฟ้ารั่วลงดิน หรือ GFCI (Ground Fault Circuit Interrupter) หรือ ELCB (Earth Leakage Circuit Breaker) นั้นสามารถป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าดูดได้ด้วย ถ้ามีพิกัดความไวกระแสที่เหมาะสม เครื่องชนิดนี้จะทำหน้าที่ตัดไฟฟ้าออกจากระบบ เมื่อพบว่ามีการรั่วลงดินเท่ากับหรือมากกว่าค่าพิกัดความไวกระแสของเครื่อง รายละเอียดของเครื่องชนิดนี้จะกล่าวในตอนต่อไป

ขอทำความเข้าใจเพิ่มเติมตรงจุดนี้กันว่า ฟิวส์และ CB ซึ่งมักจะมียกกันอยู่แล้วทุกบ้านนั้นไม่สามารถใช้ป้องกันไฟฟ้ารั่วลงดินหรือไฟฟ้าดูดได้ เนื่องจากในฟิวส์ และ CB นั้นไม่มีส่วนตรวจจับกระแสรั่วลงดิน นอกจากนั้นขนาดพิกัดกระแสของฟิวส์และ CB ที่ใช้กันตามบ้านนั้นจะมีตั้งแต่ขนาด 5 A ขึ้นไป ดังนั้นถึงฟิวส์และ CB จะตัดวงจรได้เช่นเดียวกันถ้ามีการรั่วลงดินเกินพิกัดของมัน แต่กระแสรั่วลงดินขนาดนั้นนับว่ามากเกินไป เกินกว่าที่จะยอมรับได้และไม่อาจช่วยป้องกันอันตรายต่อชีวิตในกรณีไฟฟ้าดูดได้เลย

ในการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้าเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับ อุปกรณ์ไฟฟ้าและกับผู้ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อจะให้อุปกรณ์ป้องกันทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นจะต้องใช้ควบคู่กับระบบที่มีสายดิน ซึ่งจะมีการต่อสายดินที่ระบบไฟฟ้าและโครงของอุปกรณ์ไฟฟ้า เมื่ออุปกรณ์ไฟฟ้ามีการแสไฟฟ้าที่รั่วมาที่โครง ก็จะไหลลงดินทำให้อุปกรณ์ป้องกันทำการตัดวงจรออก ถ้าไม่มีสายดินเมื่อคนไปสัมผัสกระแสไฟฟ้าที่รั่วลงโครง จะไหลผ่านคนลงดินจึงจะทำให้อุปกรณ์ป้องกันตัดวงจร ซึ่งก็แสดงว่าจะมีการแสไฟฟ้าจำนวนหนึ่งไหลผ่านตัวเราก่อนที่อุปกรณ์ไฟฟ้าจะตัดวงจร ถึงแม้ว่าจะมีขนาดไม่มากก็ยังนับว่า เป็นอันตรายกับร่างกาย (ศุภี บรรจงจิตร.2534:53) ในการใช้อุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้ารั่วลงดิน (Ground Fault Circuit Interrupter) ที่ใช้เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าดูด แต่อุปกรณ์นี้จะทำงานหลังจากที่คนถูกไฟฟ้าดูดแล้ว ถ้าเราสามารถทำให้ไม่มีใครในบ้านถูกไฟฟ้าดูดเสียตั้งแต่ที่แรกดีกว่า

1.8 ค่าความต้านทาน (Resistance) เป็นอิมพีแดนซ์หรือความต้านทานรวมของวงจรที่ไม่สามารถเก็บพลังงานเอาไว้ได้ ความต้านทานที่มีใช้โดยทั่วไปจะเป็น ค่าความต้านทานที่อยู่ในรูปของตัวต้านทาน (R) และ รีแอกแตนซ์ ซึ่งก็จะเป็นค่าความต้านทานที่สามารถเก็บพลังงานทั้งหมดไว้ในรูปของสนามไฟฟ้าแม่เหล็กได้ รีแอกแตนซ์ ใช้สัญลักษณ์ X ถ้าเป็นอินดักทีฟ รีแอกแตนซ์ (Inductive Reactance) หรือขดลวด จะใช้ X_L ถ้าเป็นคาปาซิทีฟ รีแอกแตนซ์ (Capacitive Reactance) หรือคาปาซิเตอร์จะใช้ X_C ส่วนการคิดค่าความต้านทานในอุปกรณ์ไฟฟ้าจะอยู่ในรูปของ อิมพีแดนซ์ (Z) ซึ่งมีสูตรหาคือ

$$Z = \frac{V}{I} \text{ หรือ } V = IZ$$

ในการออกแบบวงจรของเตารับปรอดภัยจะนำค่าความต้านทานมาพิจารณา 2 อย่าง คือ ค่าความต้านทานของคน และค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้า

1.8.1 ความต้านทานของร่างกายต่อไฟฟ้า เป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่จะทำให้อันตรายเกิดขึ้นมากหรือน้อย เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่ากระแสไฟฟ้าจะผ่านเข้าสู่มนุษย์ได้นั้น จะต้องผ่านอวัยวะส่วนใดส่วนหนึ่ง ที่พบมากที่สุดคือมักผ่านทางมือและออกมาลงดินทางมืออีกข้างหนึ่ง หรือออกลงดินทางฝ่าเท้า ขาหรือน่อง แต่การจะผ่านเข้าและออกนั้นจะต้องผ่านผิวหนัง ผิวหนังเป็นตัวควบคุมปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเข้ามากหรือน้อย ถ้าผิวหนังมีสภาพแห้งสนิทจะมีความต้านทานต่อกระแสไฟฟ้าสูงมาก แต่ผิวหนังเปียกหรือชื้นความต้านทานจะลดต่ำลงเพียงประมาณร้อยละ 1 ของผิวหนังแห้ง จากการศึกษาพบว่า ค่าความต้านทานของผิวหนังคนมีค่าต่างกันดังนี้

ผิวหนังแห้ง มีความต้านทาน	100,000-600,000 โอห์มต่อตารางเซนติเมตร
ผิวหนังเปียก มีความต้านทาน	1,000 โอห์มต่อตารางเซนติเมตร
ความต้านทานภายในของร่างกาย จากมือถึงเท้า (ไม่มีผิวหนัง)	400-600 โอห์มต่อตารางเซนติเมตร
ความต้านทานระหว่างช่องหู ประมาณ	100 โอห์มต่อตารางเซนติเมตร

โดยทั่วไปในทางปฏิบัติกำหนดค่าความต้านทานต่อไฟฟ้าของคนทำงานกับไฟฟ้าไว้ 1,000 โอห์มต่อตารางเซนติเมตร (ชัยยุทธ ชวลิตนิธิกุล.2532:168)

1.8.2 ความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้า ในการออกแบบวงจรได้รับปลอดภัย จะพิจารณาจากความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้าใน 3 สภาวะ คือ อุปกรณ์ไฟฟ้าในสภาวะปกติ ลัดวงจร และเปิดวงจร

1.8.2.1 ความต้านทานอุปกรณ์ไฟฟ้าในสภาวะปกติ ในการวิจัยการออกแบบวงจรสำหรับได้รับปลอดภัย ได้กำหนดค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้า ที่จะให้ได้รับปลอดภัยจ่ายแรงดันไว้ที่ 2.5 โอห์ม ถึง 900 โอห์ม ซึ่งกำหนดเป็นช่วงปลอดภัย ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการวัดค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ภายในบ้านและอาคารไว้ดังตาราง 4

ตาราง 4 แสดงค่าความต้านทานอุปกรณ์ไฟฟ้า

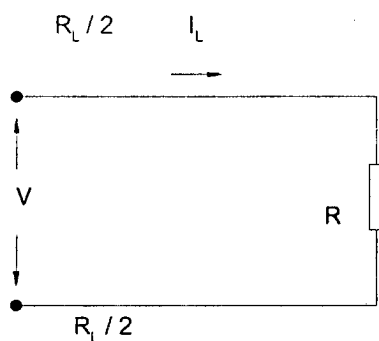
ลำดับที่	รายละเอียด	ความต้านทาน(โอห์ม)
1	พัดลมตั้งโต๊ะ ขนาด 220 V 65 W	200
2	เครื่องปั๊มขมบั้ง	60
3	หัวแรงไฟฟ้า ขนาด 220V 60 W	800
4	หัวแรงไฟฟ้า ขนาด 220V 50 HZ 100 W	95
5	หินเจีย ขนาด 220 V 570 W	2.5
6	โบว์ เวอร์ เป่าลม 220V 335 W 1.6 A	20
7	ตู้น้ำดื่มขนาดคอมเพรสเซอร์ 1/8 Hp	20
8	เครื่องปั่นน้ำผลไม้ ขนาด 220 V 350 W	60
9	กาต้มน้ำ Sharp ขนาด 220 V 670 W 2.4 ลิตร	70
10	หม้อหุงข้าวแบบอัตโนมัติ 220 V 630 W	75
11	หม้อหุงข้าว รุ่น KS-1802, 220 V 600 W	80
12	กระทะไฟฟ้า รุ่น MJ-94 ,220V 1000 W	55
13	โทรทัศน์สี National 14" 74 W	28
14	เตารีดไฟฟ้า รุ่น IW355 ,220V 1000 W	50
15	ไดเป่าผม National 220 V 1000 W	50
16	วิทยุเทป คลาสเซท 220 V 200 W	170
17	เครื่องปั่นผลไม้ รุ่น MX-T110PN 220V 300 W	70
18	มอเตอร์พัดลม ขนาด 220W 220V 0.9A 24"	25

ตาราง 4 (ต่อ)

ลำดับที่	รายละเอียด	ความต้านทาน(โอห์ม)
19	AC/DC Adapter output 12 V 220 mA	1,000
20	ไมโครเวฟ Input 230 V 50 Hz 1100 W Output 2450 MHz 700 W	4
21	หลอด Incandescent (หลอดไส้)	
	300 W	12
	100 W	70
	60 W	45
	25 W	160
	7 W	870
22	บัลลาสต์ 20 W 220V 50 HZ	45
23	บัลลาสต์ 40 W 220V 50HZ	40
24	เครื่องซักผ้า รุ่น AUTOMATIC 220V 2.5A	5000
25	OSCILLATOR รุ่น AG-203 A ,220V 5 W	500
26	DC.power supply รุ่น SPL-812	7

จากตาราง 4 จะเห็นว่าค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้าส่วนมากที่ใช้งานกับเต้ารับโดยทั่วไปจะมีความต้านทานอยู่ระหว่าง 2.5 โอห์ม ถึง 870 โอห์ม ส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เช่น คอมพิวเตอร์ เครื่องชาตรีโพรศัพท์ จะมีค่าความต้านทานมากกว่า 900 โอห์ม ซึ่งจะไม่สามารถใช้กับเต้ารับปลอดภัยได้ เนื่องจากมีค่าใกล้เคียงกับค่าความต้านทานของคน คือ 1,000 โอห์ม

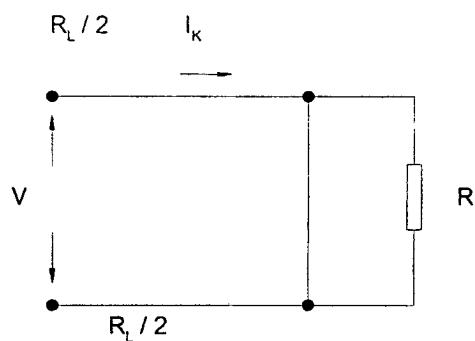
1.8.2.2 ความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในสภาวะลัดวงจร ในการทำงานตามสภาวะปกติ ค่าของกระแส จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของแรงเคลื่อน (Voltage) และค่าความต้านทานรวมในสายไฟ ตัวนำ (R_L) และค่าความต้านทานอุปกรณ์ไฟฟ้า (R) และความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้าจะมีค่ามากกว่าความต้านทานสายมาก เมื่อได้วางจปราศจากค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้า (R) หรือ $R = 0$ ก็จะเปรียบเสมือนวงจรนั้นเกิดการลัดวงจรนั่นเอง (สุรัตน์ นันตะนุพันธ์.2540:23) ซึ่งแสดงดังภาพประกอบ 6



$$I_L = \frac{V}{R_L + R}$$

ก) วงจรในสภาพของการทำงานปกติ

R_L = Line Resistance



$$I_K = \frac{V}{R_L}$$

ข) วงจรในสภาพของการเกิดกระแสลัดวงจร

R = Load Resistance

ภาพประกอบ 6 แสดงการเกิดกระแสลัดวงจร

(สุรพันธ์ นันตะสุนทร.2540:23)

ตัวอย่างการหาค่าความต้านทานในวงจรขณะลัดวงจร และหาค่ากระแสลัดวงจร เมื่อกำหนดให้

แรงเคลื่อนไฟฟ้าตรง $V = 220 \text{ V}$

สายไฟฟ้ายาว $\ell = 2 \times 12 = 24 \text{ m}$

โหลด(อุปกรณ์ไฟฟ้า) $P = 4000 \text{ W}$

ค่าความต้านทานจำเพาะ $= 1/56 \text{ } \Omega\text{mm}^2 / \text{m}^2$

ค่าความต้านทานของสายไฟ $R_L = \frac{P \cdot \ell}{q} = \frac{24\text{m} \times 1\Omega\text{mm}^2}{2.5\text{mm}^2 \times 56\text{m}} = 0.171\Omega$

ค่าความต้านทานของโหลด $R = \frac{V^2}{P} = \frac{220^2\text{V}}{4000\text{W}} = 12.1\Omega$

ค่าความทำงานของวงจร $I_L = \frac{V}{R_L + R} = \frac{220\text{V}}{(0.171 + 12.1)} = 17.93\text{A}$

กระแสลัดวงจร ($R = 0$) $I_K = \frac{V}{R_L} = \frac{220\text{V}}{0.171} = 1286.55\text{A}$

จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานในสภาวะการลัดวงจรจะคิดเฉพาะค่าความต้านทานของสายไฟฟ้า ซึ่งมีค่าน้อยมากในการออกแบบวงจรได้รับปลอดภัย คิดค่าความต้านทานขณะลัดวงจรที่ 0 – 2.4 โอห์ม เพื่อจะสามารถทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีค่าความต้านทานตั้งแต่ 2.5 โอห์ม ทำงานได้

1.8.2.3 ค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในสภาวะเปิดวงจร เป็นวงจรที่สายไฟตัวนำในวงจรของอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือในสายไฟต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้า ขาดหรือเปิดวงจรจะทำให้มีค่าความต้านทานสูงมาก

2. เตารับ(Receptacle หรือ Outlets)

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับพลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อถ่ายทอดไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยจะติดตั้งไว้ตามฝาผนังหรือต่อสายลอยสำหรับให้โยกย้ายได้ เตารับมีหลายชนิดหลายขนาดและหลายแบบ แต่ละแบบจะบอกแรงเคลื่อนไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าสูงสุดไว้เพื่อความสะดวกความปลอดภัยของผู้ใช้ การใช้งานควรให้เหมาะสมกับโหลดของไฟฟ้าด้วย อย่าใช้ไฟเกินขนาดจะทำให้เตารับร้อนและเกิดการลัดวงจรได้

2.1 ความหมายของเตารับ

เตารับหมายถึง อุปกรณ์ไฟฟ้ามีรู 2 รูสำหรับเสียบ เพื่อให้กระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านเข้าสู่เครื่องใช้ไฟฟ้าได้ครบวงจร (พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน . 2525 : 358)

เตารับหมายถึง อุปกรณ์ใช้ถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ (เอกวิทย์ แก้วประดิษฐ์ . 2542 : 102)

เตารับหมายถึง อุปกรณ์ที่มีหน้าสัมผัสติดตั้งเพื่อเป็นจุดจ่ายไฟสำหรับเสียบ 1 ตัว (สมาคมวิศวกรรมสถาน แห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ . 2539 : 1-11)

จากความหมายของเตารับที่ได้กล่าวมาแล้วพอสรุปได้ว่า เตารับ หมายถึง อุปกรณ์ที่มีหน้าสัมผัสที่รับกระแสไฟฟ้ามาจากแหล่งจ่าย เพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ครบวงจร

2.2 ลักษณะของเตารับ

ในการออกแบบลักษณะของเตารับ เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการ และลักษณะของงานที่ใช้ ผู้ผลิตได้ออกแบบเตารับไว้หลายชนิด ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย จะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะการใช้งานกับระบบไฟฟ้า 380 โวลท์ 50 เฮิรตซ์ และ ที่ใช้กับระบบไฟฟ้า 220 โวลท์ 50 เฮิรตซ์ เตารับ 380 โวลท์ 50 เฮิรตซ์ มักจะใช้สำหรับ โรงงานอุตสาหกรรมสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการกระแสสูง และจะใช้สำหรับ ห้องทดลองอุปกรณ์ไฟฟ้าในสถานศึกษา

เอกวิทย์ แก้วประดิษฐ์ (ม.ป.ป. : 103 – 104) ได้สรุปถึงลักษณะของเตารับไว้ 5 ลักษณะดังนี้

1. เตารับแบบมีฟิวส์อยู่ภายในตัวของเตารับ เหมาะที่จะใช้กับโต๊ะทำงานเพราะมีฟิวส์ป้องกันอันตรายและจะสะดวกในการใช้ เพราะ万一หากเราใช้ไฟเกินจะทำให้ฟิวส์ขาดที่ปลั๊ก จึงมีความปลอดภัยสูงต่อการต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า

2. เตารับแบบกันน้ำและความชื้น เตารับลักษณะนี้ส่วนใหญ่แล้วในชุดหนึ่งจะมีเตารับอยู่ภายใน 2 ตัวมีฝาครอบกันน้ำและกันความชื้นปิดไว้จะออกแบบมาเป็นลักษณะที่พิเศษมากเพื่อนำไปใช้บริเวณที่มีความชื้นสูง

3. เตารับแบบมินาพิกา เป็นเตารับที่ออกแบบให้ต่อร่วมกับนาพิกาเพื่อใช้ในการตั้งเวลาให้สามารถตัดวงจรออกได้เมื่อถึงเวลาที่ตั้งกำหนดไว้ จึงเหมาะและสะดวกสำหรับบุคคลที่อาจจะลืมถอดปลั๊กก่อนออกจากบ้านได้

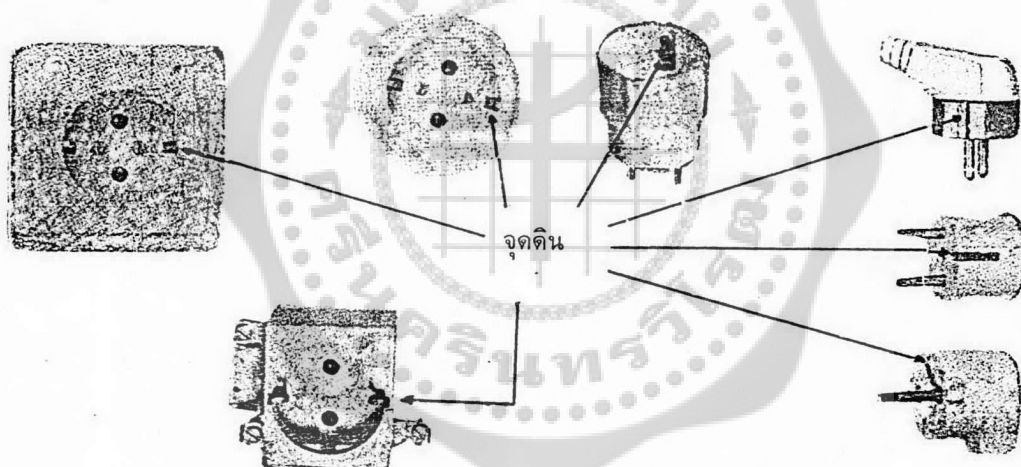
4. เตารับแบบบิตล็อก เป็นเตารับที่ใช้กับบริเวณที่ต้องการใช้ไฟฟ้าตลอดเวลาจึงป้องกันไม่ให้สายไฟถูกกระชากให้หลุด เพราะจะทำให้เกิดความเสียหายกับงานที่กำลังปฏิบัติ เช่น งานการสื่อสาร หรือ งานเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์

5. เตารับที่มีจุดต่อลงดิน เตารับแบบนี้จะมีระบบป้องกันไฟฟ้าดูดโดยการออกแบบที่มีสายดินแต่ในประเทศไทยมักไม่ค่อยนิยมใช้ จะใช้กันแพร่หลายในต่างประเทศที่คำนึงถึงความปลอดภัย

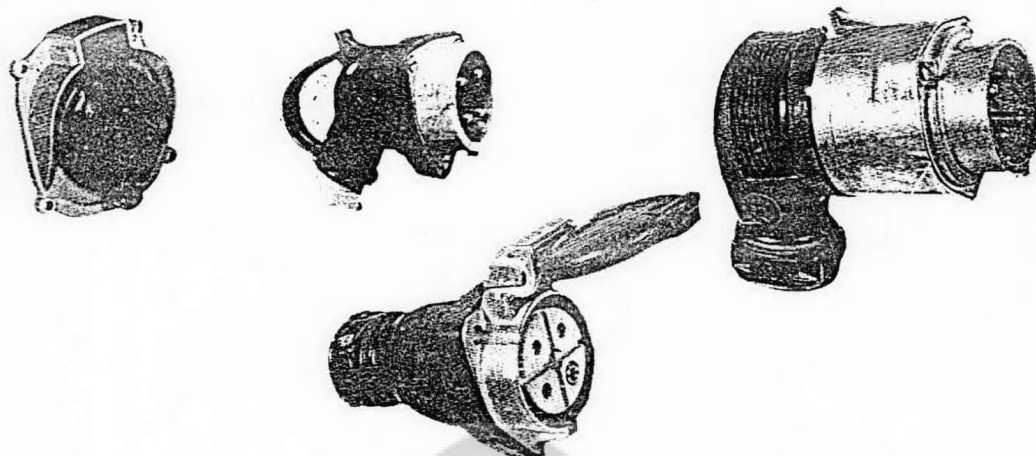
นัทธ วัจนเทพินทร์ และ อร่ามศรี อาภาอดุล (2540 : 58-59) ได้สรุปถึงเตารับที่มีการใช้งานในประเทศไทย ที่มีทั้งระบบเฟสเดียว และระบบสามเฟส ดังภาพประกอบต่อไปนี้



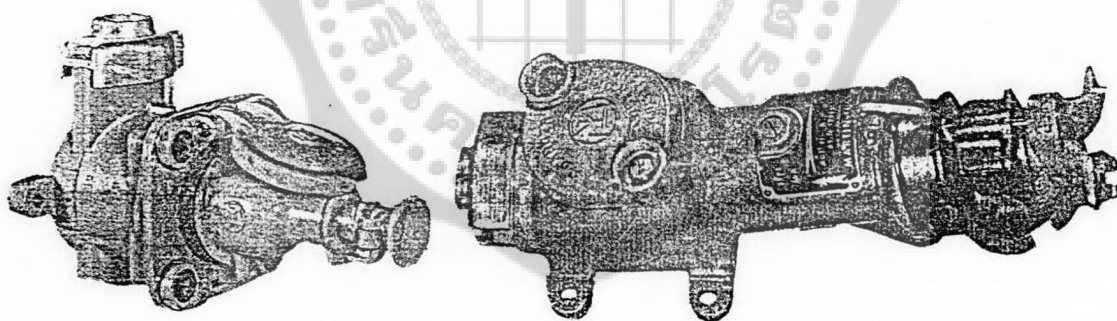
ภาพประกอบ 7 แสดงเต้ารับและเต้าเสียบแบบ 2 ขั้วสำหรับไฟฟ้า เฟสเดียว
(นักธร วจนเทพินทร์ และ อร่ามศรี อาภาอตุล . 2540 : 58)



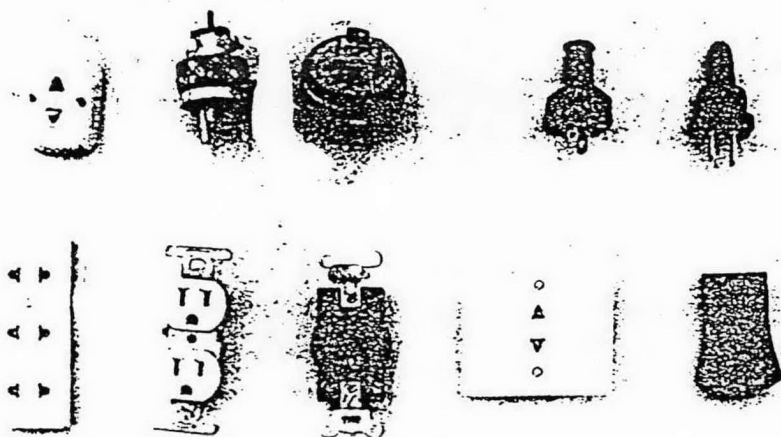
ภาพประกอบ 8 แสดงเต้ารับและเต้าเสียบแบบ 2 ขั้วมีจุดดิน สำหรับไฟฟ้าเฟสเดียวที่มีสายดิน
(นักธร วจนเทพินทร์ และ อร่ามศรี อาภาอตุล . 2540 : 58)



ภาพประกอบ 9 แสดงตัวรับและตัวเสียบแบบ 3 เฟส 4 สาย แบบกันน้ำ
(นักตร วจนเทพินทร และ อร่ามศรี อาภาอตุล . 2540 : 59)

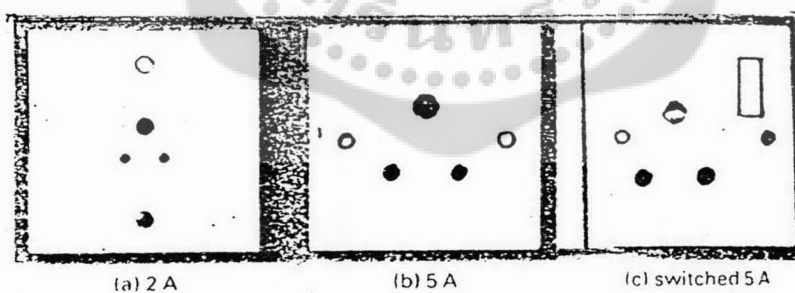


ภาพประกอบ 10 แสดงตัวรับและตัวเสียบแบบกันการระเบิด
(นักตร วจนเทพินทร และ อร่ามศรี อาภาอตุล . 2540 : 59)

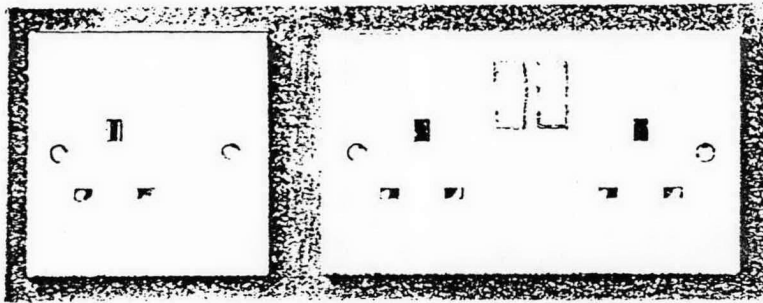


ภาพประกอบ 11 แสดงเต้ารับและเต้าเสียบแบบใช้งานทั่วไป
(นักธร วัจนเทพินทร์ และ อร่ามศรี อาภาอดุล . 2540 : 59)

เดวิดสันและแลมบ์ (Davidson and Lamb . 1989 : 110 – 113) กล่าวว่า สถาบันมาตรฐานของ
อังกฤษ (The British Standards Institution) ได้กำหนดมาตรฐานของเต้ารับที่ใช้ติดตั้งภายในบ้านโดยได้
กำหนดขนาดเต้ารับไว้ 2 ลักษณะคือ เต้ารับแบบรูกลม 3 รู มี 3 ขนาดคือ 2A ,5A และ 5A มีสวิตช์และเต้ารับ
แบบรูสี่เหลี่ยม 3 รูจะมีขนาดเดียวคือ 13A มีสวิตช์ควบคุม ดังภาพประกอบ 12 และ 13



ภาพประกอบ 12 แสดงเต้ารับแบบรูกลม 3 รูขนาด 2A ,5A และ 5A มีสวิตช์
(Davidson and Lamb . 1989 : 112)



ภาพประกอบ 13 แสดงเต้ารับแบบรูสี่เหลี่ยม 3 รูขนาด 13 A. มีสวิตช์
(Davidson and Lamb . 1989 : 113)



ภาพประกอบ 14 แสดงเต้ารับแบบรูกลมมีฟิวส์ภายในขนาด 13 A.
(Davidson and Lamb . 1989 : 113)

จากข้อมูลข้างต้นที่ได้กล่าวถึงเต้ารับแบบต่างๆ พอสรุปได้ว่าเต้ารับได้ถูกออกแบบเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานซึ่งแต่ละประเทศก็มีความแตกต่างกัน ส่วนเต้ารับที่มีใช้ในประเทศไทยก็เช่นเดียวกัน จะนำมาใช้ให้เหมาะสมกับงาน เช่นในที่พักอาศัยทั่วไปจะเป็นเต้ารับ แบบ 2 รูไม่มีจุดดิน แต่อาจจะมีสวิตช์ควบคุมการเปิด-ปิด ซึ่งความปลอดภัยในการใช้ยังมีน้อย เพราะเต้ารับจะไม่มีอุปกรณ์ที่จะป้องกันอันตรายที่เกิดจากการลัดวงจร รั่วลงดินหรือป้องกันกระแสเกินได้

ในงานวิจัยการออกแบบวงจรสำหรับเต้ารับปลอดภัย ผู้วิจัยเลือกใช้เต้ารับแบบ 2 รู ชนิดใช้งานโดยทั่วๆ ไปชนิด เนชั่นแนลแบบฝัง ไม่มีสายดิน เนื่องจากสามารถประกอบเข้ากับกล่องและแผงวงจรได้ง่าย หาซื้อได้ง่าย ราคาไม่แพงมากนัก และมีอายุการใช้งานยาวนาน

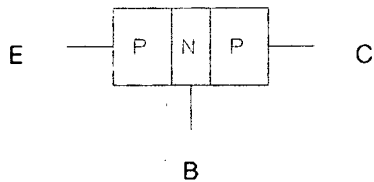
3. วงจรและอุปกรณ์ไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์สำหรับการออกแบบวงจรตัวรับหลอดภัย

อุปกรณ์หลักที่ใช้ในวงจรในการออกแบบวงจรตัวรับหลอดภัยผู้วิจัยได้ศึกษาคุณสมบัติการทำงาน ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นของตัวรับหลอดภัย ได้แก่ ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ เอส.ซี.อาร์.และซี เนอร์ไดโอดรวมถึงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับวงจรไฟฟ้าของตัวรับหลอดภัย เพื่อให้งานวงจรทำงานได้จุดมุ่งหมายที่ตั้งไว้

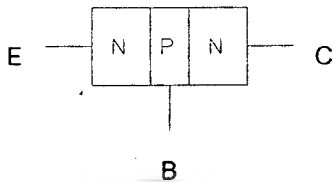
3.1 ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ หรือเรียกว่าทรานซิสเตอร์ชนิดสองรอย ต่อ เรียกตัวย่อว่า BJT (Bipolar Junction Transistor) ถูกนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น วงจรขยายใน เครื่องรับวิทยุและเครื่องรับโทรทัศน์ หรือนำไปใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ (Switching) เช่น เปิด-ปิดรีเลย์ (Relay) เพื่อควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ (นักธร วัจนเทพินทร์. 2541:122)

3.1.1 ประวัติของทรานซิสเตอร์ ในระหว่างปี ค.ศ.1904-1947 หลอดสุญญากาศได้รับความสนใจ และใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์อย่างแพร่หลาย กระทั่ง ค.ศ.1947 วงการอิเล็กทรอนิกส์ได้ให้ความสนใจสิ่ง ที่พัฒนาขึ้นใหม่ โดย วอลเตอร์ เฮท แบรทเทน และ จอห์น บาร์ดีน ซึ่งได้ทำการค้นคว้าทดลองเกี่ยวกับ อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ที่ห้องทดลองของบริษัทเบลเลโฟน (Bell Laboratories) พบว่าสารกึ่งตัวนำสามารถ เปลี่ยนค่าความต้านทานได้ เมื่อเปลี่ยนขั้วแรงดันตกคร่อมตัวมันเช่นเดียวกับหลอดสุญญากาศ โดยแบรท เทน และ บาร์ดีน ได้สาธิตความสามารถในการขยายสัญญาณของทรานซิสเตอร์ ในตอนบ่ายของวันที่ 23 ธันวาคม 1947 และหลังจากนั้นไม่นาน ทรานซิสเตอร์ก็มีการผลิตขึ้นใช้งาน และเป็นที่นิยมใช้ในวงจร อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป (Boylested and Nashelsky. 1992:108)

3.1.2 โครงสร้างของทรานซิสเตอร์ ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดจากการนำ เอาสารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N มารวมกัน โดยทำให้เกิดรอยต่อระหว่างเนื้อสารนี้สองรอยต่อ ถ้าตัว ทรานซิสเตอร์ที่มีสารชนิด P อยู่สองหัวท้าย และชนิด N อยู่กลางเรียกว่าทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ในทำนอง กลับกัน ถ้ามีสารชนิด P อยู่กลาง และมีสารชนิด N อยู่ท้าย เรียกว่าทรานซิสเตอร์ชนิด NPN รอยต่อจากเนื้อ สารทั้งสามนี้ มีจุดต่อเป็นขาของทรานซิสเตอร์เพื่อเชื่อมโยง หรือยึดติดกับขาอุปกรณ์อื่น ดังนั้น ทรานซิสเตอร์จึงมี 3 ขา มีชื่อเรียกขาต่างๆได้แก่ ขาคอลเลคเตอร์ ใช้สัญลักษณ์ C ขาอีมีเตอร์ ใช้ สัญลักษณ์ E และขาเบส ใช้สัญลักษณ์ B รูปร่างของโครงสร้าง และสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ แสดง ดังภาพประกอบ 15



โครงสร้างของทรานซิสเตอร์ PNP



โครงสร้างของทรานซิสเตอร์ NPN



ภาพประกอบ 15 แสดงสัญลักษณ์และโครงสร้างของทรานซิสเตอร์
(ยีน ภูววรรณ.2538:172)

3.1.3 การทำงานของทรานซิสเตอร์ การทำให้สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ เช่น ไดโอด, ทรานซิสเตอร์ อยู่ในสภาพที่พร้อมที่จะทำงานได้ เรียกว่า การไบแอส (Bias) หรืออีกในหนึ่งการไบแอส คือ การป้อนแรงดันให้กับขาต่างๆของสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ จนมีช่วงทำงานที่เหมาะสม เรียกว่าจัดไบแอสให้ถูกต้อง ซึ่งจะช่วยให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ยีน ภูววรรณ.2538:173)

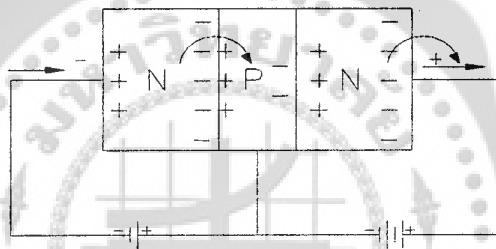
3.1.3.1 การจัดไบแอสให้กับสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ แบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ การไบแอสตรง (Forward Bias) และการไบแอสกลับ (Reverse Bias)

การไบแอสตรง คือ การต่อขั้วแหล่งจ่ายไฟตรงกับชนิดของสารกึ่งตัวนำที่ขานั้นๆ เช่นการต่อขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟเข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิด P และต่อขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟเข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิด N ซึ่งจะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านสารกึ่งตัวนำได้มาก

การไบแอสกลับ คือ การต่อขั้วแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้ต่างกับชนิดของสารกึ่งตัวนำนั้นๆ โดยต่อขั้วบวกเข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิด N ขั้วลบเข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิด P เป็นต้น การไบแอสแบบนี้ตามอุดมคติจะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร แต่ทางปฏิบัติอาจมีกระแสรั่วได้บ้าง

การจัดไบแอสให้กับทรานซิสเตอร์ จะต้องจัดให้ทั้งไบแอสตรง และ ไบแอสกลับ โดยจัดไบแอสตรงระหว่างขาเบส และอิมิตเตอร์ไบแอสกลับระหว่างขาเบส และคอลเลคเตอร์ ดังภาพประกอบ 16

อิมิตเตอร์ เบส คอลเลคเตอร์



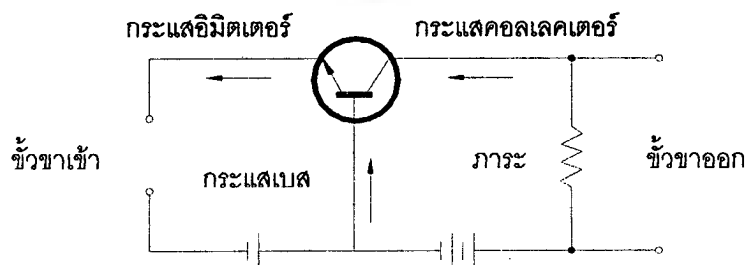
กระแสอิมิตเตอร์

กระแสคอลเลคเตอร์

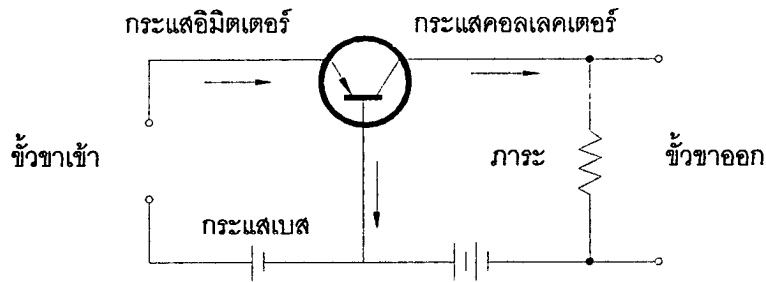
ภาพประกอบ 16 แสดงการจัดไบแอสให้แก่ทรานซิสเตอร์

(ยีน ภู่วรรณ. 2538:177)

ซึ่งเมื่อจัดไบแอสแล้ว จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านรอยต่อ ดังภาพประกอบ 17



ก) ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN



ข) ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

ภาพประกอบ 17 แสดงทิศทางการไหลของกระแส หลังการจัดไบแอส

(ยื่น ภาววรรณ .2538:178)

ทิศทางการไหลของกระแสจะเป็นอย่างไรก็ตาม กระแสมิตเตอร์จะมีค่าเท่ากับผลรวมของกระแสบส และกระแสคอลเลคเตอร์เสมอ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการ ได้ดังนี้

$$I_E = I_B + I_C$$

หรือ

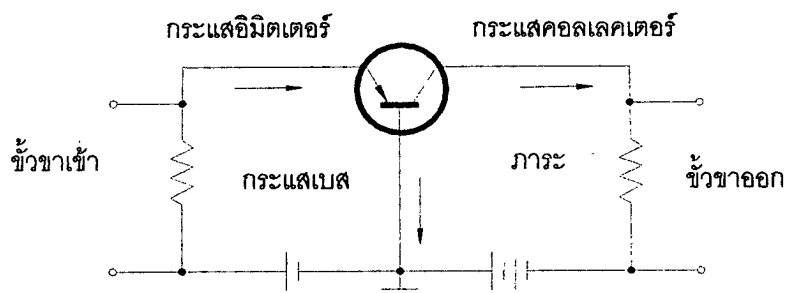
$$I_C = I_E - I_B$$

หรือ

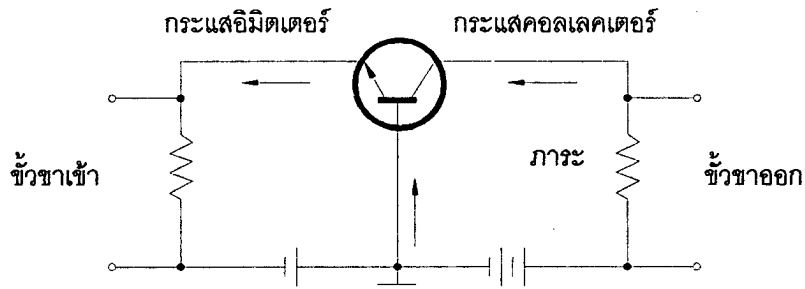
$$I_B = I_E - I_C$$

3.1.3.2 การจัดวงจรทรานซิสเตอร์ การจัดวงจรทรานซิสเตอร์สามารถจัดได้ 3 ลักษณะได้แก่

3.1.3.2.1 วงจรเบสร่วม (Common Base Circuit) ในวงจรขยายเบสร่วมสัญญาณขาเข้า จะถูกป้อนเข้าทางด้านอิมิตเตอร์ และ สัญญาณขาออก จะปรากฏพร้อมตัวต้านทาน R_L ที่คอลเลคเตอร์ เมื่อ ป้อนสัญญาณขาเข้า จะทำให้กระแสมิตเตอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงด้วยการต่อวงจรเบสร่วมแสดงในภาพ ประกอบ 18



ก) แสดงวงจรเบสร่วมโดยใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP



ข) แสดงวงจรเบสร่วมโดยใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

ภาพประกอบ 18 แสดงวงจรเบสร่วม

(ยื่น ภาววรรณ .2538:183)

อัตราขยายกระแสของวงจรเบสร่วม (β) = กระแสขาออก

กระแสขาเข้า

$$= \frac{I_C}{I_E}$$

โดย I_C = กระแส คอลเล็กเตอร์

I_E = กระแสอิมิตเตอร์

อัตราการขยายแรงดันของวงจรเบสร่วม (A_V) = อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันขาออก

อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันขาเข้า

$$= \frac{\Delta V_O}{\Delta V_I}$$

หรือ

$$= A_V = \frac{\Delta I_C R_L}{\Delta I_E R_I}$$

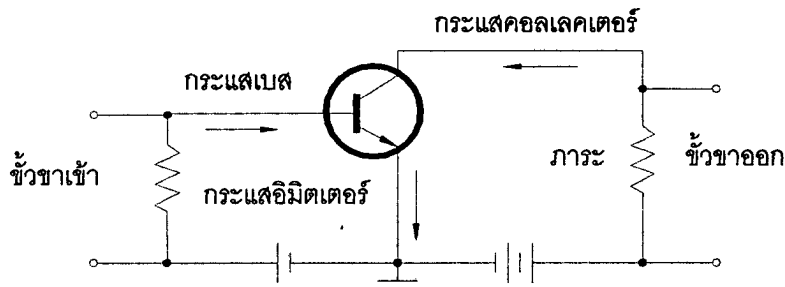
หรือ

$$= A_V = a \frac{R_L}{R_I}$$

อัตราขยายกำลังงานของวงจรเบสร่วม (P_G) = อัตราขยายกระแส $\times$ อัตราขยายแรงดัน

$$= \beta \times A_V$$

3.1.3.2 วงจรอิมิตเตอร์ร่วม (Common Emitter Circuit) ในวงจรอิมิตเตอร์ร่วม ขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์จะต่ออยู่ระหว่างทางขาเข้าและขาออก สัญญาณขาเข้าจะป้อนเข้าทางด้านขาเบส และสัญญาณขาออกจะปรากฏที่คร่อม R_L ที่ขาคอลเลคเตอร์



ก) วงจรคอลเลคเตอร์ร่วมใช้ทรานซิสเตอร์ NPN



ข) แสดงวงจรอิมิตเตอร์ร่วมโดยใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

ภาพประกอบ 19 แสดงวงจรอิมิตเตอร์ร่วม

(ยื่น ภู่วรรณ 2538:185)

อัตราการไหลของกระแสของวงจร (β) = $\frac{\text{กระแสขาออก}}{\text{กระแสไหลเข้า}}$

$$= \frac{I_C}{I_B}$$

$$\text{อัตราขยายแรงดันของวงจร} (A_v) = \frac{\Delta V_C}{\Delta V_B}$$

$$= \frac{\Delta I_C R_C}{\Delta I_B R_B}$$

$$= \beta \frac{R_L}{R_B}$$

$$\text{อัตราขยายกำลังงานของวงจรอิมิตเตอร์ร่วม}(P) = E \times I$$

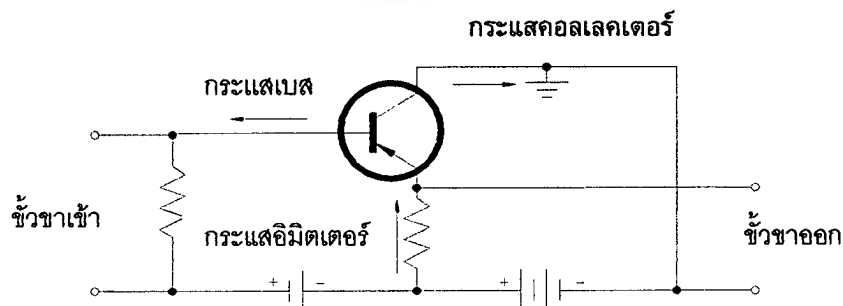
$$= \frac{\Delta V_C I_C}{\Delta V_B I_B}$$

$$= A_V \cdot \beta$$

3.1.3.2.3 วงจรคอลเลคเตอร์ร่วม (Common collector circuit) ในวงจรคอลเลคเตอร์ร่วม นั้น ขั้วคอลเลคเตอร์จะอยู่ระหว่างขาเข้า และขาออก โดยปกติแล้วขั้วคอลเลคเตอร์จะไม่ต่อลงดินโดยตรง แต่จะต่อแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจร ดังนั้นวงจรคอลเลคเตอร์ร่วมก็คือวงจรอิมิตเตอร์ร่วมที่นำเอาแรงดันขาออก ครอบคลุมตัวต้านทานอิมิตเตอร์ไปใช้งาน ดังแสดงในภาพประกอบ 20



ก) วงจรคอลเลคเตอร์ร่วมใช้ทรานซิสเตอร์ NPN



ข) วงจรคอลเลคเตอร์ร่วมใช้ทรานซิสเตอร์ PNP

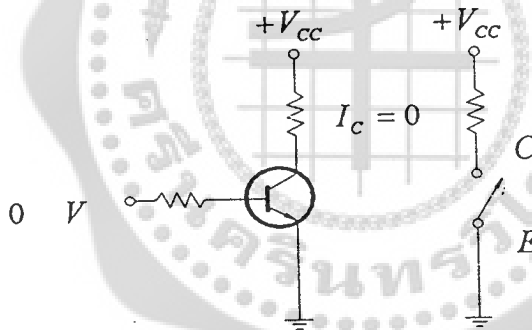
ภาพประกอบ 20 แสดงวงจรคอลเลคเตอร์ร่วม

(ยื่น ภู่วรรณ. 2538:189)

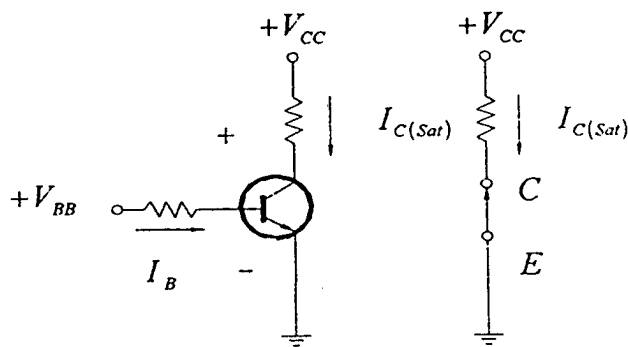
วงจรคอลเลคเตอร์ร่วม มีข้อแตกต่างจากวงจรอิมิตเตอร์ร่วมและวงจรเบสร่วม คือมีความต้านทานทางขาเข้าสูง ความต้านทานทางขาออกต่ำ ดังนั้น อัตราขยายทางแรงดันจึงมีค่าต่ำ โดยทั่วไปน้อยกว่าหนึ่ง ส่วนอัตราขยายกระแสของวงจรมีค่าสูงที่สุด

$$\text{อัตราขยายกระแสของวงจรคอลเลคเตอร์ร่วม} = \frac{I_E}{I_B}$$

3.1.4 การใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์ ทรานซิสเตอร์นอกจากจะใช้เป็นวงจรขยายสัญญาณแล้วยังสามารถนำมาสร้างเป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Switch) โดยการป้อนกระแสเบส (I_B) ให้กับเบสของทรานซิสเตอร์ เพื่อให้รอยต่อระหว่างคอลเลคเตอร์กับอิมิตเตอร์นำกระแสได้ และต้องจ่ายกระแสเบสให้กับทรานซิสเตอร์นำกระแสจนอิ่มตัว (Saturation) จะเกิดกระแสไหลผ่านรอยต่อคอลเลคเตอร์ กับอิมิตเตอร์ $I_{C(Sat)}$ เปรียบได้ว่าสวิตช์ระหว่างจุด C และ E ทำงานได้ดังภาพประกอบ 21 และหยุดป้อนกระแสเบสให้กับเบสของทรานซิสเตอร์ ทรานซิสเตอร์จะไม่สามารถทำงานเป็นสวิตช์ได้ กระแสคอลเลคเตอร์จะไม่ไหลผ่านรอยต่อสู่อิมิตเตอร์ ($I_C = 0$) ขณะนี้ทรานซิสเตอร์จะอยู่ในสภาวะจุดตัดออฟ (Cutoff) เปรียบได้ว่าสวิตช์ระหว่างจุด C และ E ปิดสวิตช์ทำงานไม่ได้ ดังภาพประกอบ 21 และ 22



ภาพประกอบ 21 แสดงการทำงานของทรานซิสเตอร์ในสภาวะสวิตช์เปิด
(นักตร วังนเทพินทร์. 2541:139)



ภาพประกอบ 22 แสดงการทำงานของทรานซิสเตอร์ในสภาวะสวิตช์ปิด (Saturation)

(นักตร วังนเทพินทร์.2541:139)

ตำแหน่งสวิตช์เปิด (Open – switch) หากค่าแรงดันตกคร่อมรอยต่อระหว่างคอล-เลกเตอร์และอิมิตเตอร์ได้จากสูตร

$$V_{CE(Cutoff)} = V_{CC}$$

ตำแหน่งสวิตช์ปิด (Closed – Switch) หากค่ากระแสคอลเลกเตอร์ขณะอิมิตตัวระหว่าง C กับ E คือ $V_{CE(Sat)} \cong 0.2 \text{ v}$ เมื่อเป็นซิลิกอนทรานซิสเตอร์

$$I_{C(Sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(Sat)}}{R_C}$$

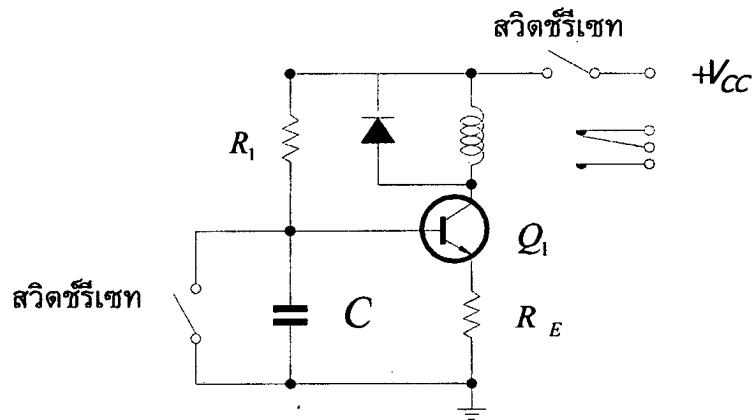
ถ้าละทิ้งค่า $V_{CE(Sat)}$ ซึ่งมีค่าน้อยมากออกไปจะได้

$$I_{C(Sat)} \cong \frac{V_{CC}}{R_C}$$

ค่ากระแสเบสต่ำสุดที่ทำให้เกิดค่ากระแสคอลเลกเตอร์อิมิตตัวได้จาก

$$I_{B(min)} = \frac{I_{C(Sat)}}{\beta_{DE}}$$

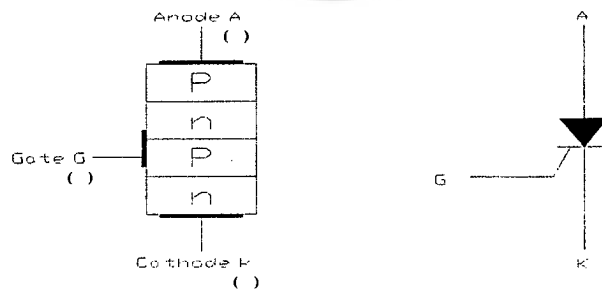
3.1.5 การใช้งานทรานซิสเตอร์ในวงจรตั้งเวลา เมื่อสับสวิตช์เซทกระแสจาก $+V_{CC}$ จะวิ่งเข้ามาประจุให้กับตัวเก็บประจุ จนกระทั่งแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุมีค่าค่าหนึ่งทีพอเพียงจะทำให้แรงดันไบแอส ระหว่างเบส อิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ไบแอสตรงได้ ทรานซิสเตอร์ก็จะนำกระแสทำให้รีเลย์ทำงาน ช่วงเวลานับตั้งแต่สับสวิตช์เซทจนถึงรีเลย์ทำงานจะเป็นช่วงเวลาที่ตั้ง ซึ่งค่าช่วงเวลานั้นจะขึ้นอยู่กับค่าความต้านทาน R_1 และ C และเมื่อสับสวิตช์เซทก็เหมือนกับการทำให้ C คายประจุหมดนั่นเองทรานซิสเตอร์จะออฟพร้อมที่จะเริ่มรอบการทำงานใหม่ดังภาพประกอบ 23



ภาพประกอบ 23 แสดงวงจรตั้งเวลาอย่างง่าย ๆ
(ยีน ภาววรรณ.2534:39)

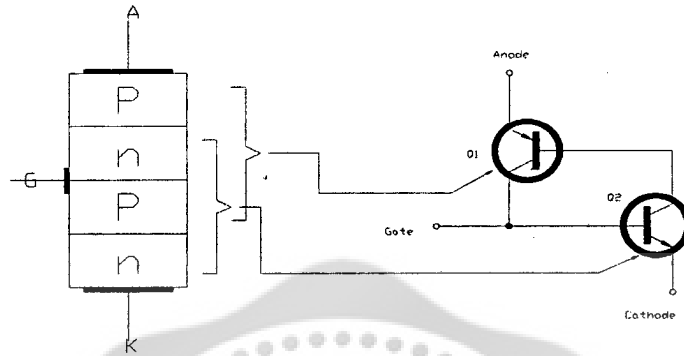
ข้อดีของการใช้ทรานซิสเตอร์แทนสวิตช์ได้แก่ ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีความไวสูง ดังนั้นจึงใช้เป็นสวิตช์ปิด-เปิด ได้รวดเร็วมากและมีความคงทนเพราะไม่มีหน้าสัมผัสที่จะทำให้เกิดประกายไฟ
(ยีน ภาววรรณ.2534:39)

3.2 เอส.ซี.อาร์. (The Silicon Controlled Rectifier, SCR) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มี 3 รอยต่อ มีขั้ว 3 ขั้ว คือ แอโนด (A) , แคโทด (K) และเกต (G) เอส.ซี.อาร์. มีโครงสร้างที่คล้ายกับซอดิอิลไดโอด แต่ เอส.ซี.อาร์. นั้นจะนำกระแสได้เมื่อมีการกระตุ้นกระแสที่เกต (I_G) โดยจ่ายแรงดันบวกที่เกตให้มีกระแสไหลเข้าสู่ขาเกตของเอส.ซี.อาร์. นำกระแสได้จะเกิดกระแสไหลผ่านระหว่างขั้วแอโนดสู่ขั้วแคโทดของเอส.ซี.อาร์. โครงสร้างภายในของเอส.ซี.อาร์.แสดงในภาพประกอบที่ 24 (a) สัญลักษณ์ของเอส.ซี.อาร์. แสดงในภาพประกอบที่ 24 b เนื่องจากเอส.ซี.อาร์.เป็นอุปกรณ์ที่นิยมนำไปใช้ในการควบคุมกำลังไฟฟ้า เช่น ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ ควบคุมแสงสว่างของหลอดไฟฟ้า ควบคุมปริมาณความร้อนของลวดความร้อน (Heater) เป็นต้น ดังนั้นเอส.ซี.อาร์.จึงมีหลายขนาด



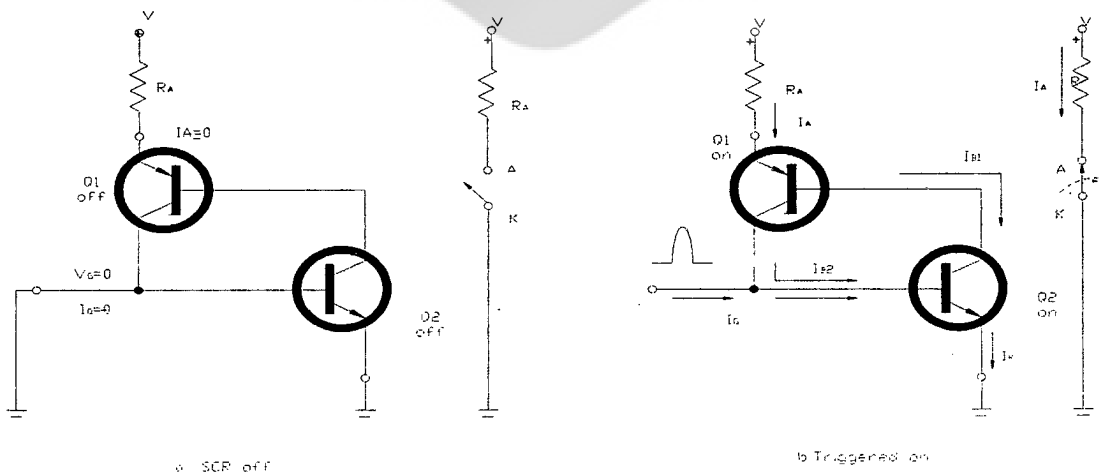
ภาพประกอบ 24 แสดงเอส.ซี.อาร์. (The Silicon Controlled Rectifier) Copyright of Motorola, Inc.
(นภัทร วัจนเทพินทร์. 2541:263)

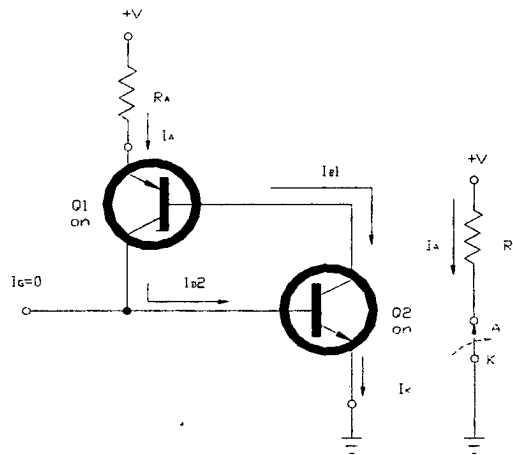
วงจรสมมูลของเอส.ซี.อาร์. (SCR Equivalent Circuit) วงจรสมมูลของเอส.ซี.อาร์. เมื่อพิจารณาจากโครงสร้างชั้นสารกึ่งตัวนำทั้ง 4 ชั้นที่ต่อกันทำให้เกิดรอยต่อ 3 รอยต่อแล้วจะพบว่าที่แอโนด (A) ของเอส.ซี.อาร์. คล้ายกับทรานซิสเตอร์ชนิด pnp เมื่อพิจารณารูปที่ 25 คือ Q_1 และที่แคโทด (K) เปรียบเหมือนมีทรานซิสเตอร์ชนิด npn ต่ออยู่ คือทรานซิสเตอร์ Q_2 ในภาพประกอบที่ 25 โดยที่คอลเล็กเตอร์ของ Q_1 ต่อกับเบสของ Q_2 ต่อออกมาเป็นขั้วเกต (G) ของเอส.ซี.อาร์.



ภาพประกอบ 25 แสดงวงจรสมมูลของเอส.ซี.อาร์.
(นักธร วัจนเทพินทร์. 2541:264)

การทำให้เอส.ซี.อาร์. นำกระแส (Turning The SCR On) พิจารณาจากภาพประกอบที่ 26 a เมื่อกำหนดให้กระแสเกต (I_G) เป็นศูนย์ ($I_G = 0$) และที่ขั้วแอโนด (A) และแคโทด (K) ได้รับไบแอสด้วยแรงดันที่ถูกต้อง คือ ได้รับไบแอสตรงที่แอโนดได้แรงดันบวก (+ V) และที่แคโทดได้รับแรงดันลบ (GND) สภาวะของเอส.ซี.อาร์. ในขณะที่กระแสเกตเป็นศูนย์นั้นคือ สภาวะไม่นำกระแสภายในโครงสร้างของเอส.ซี.อาร์. จะพบว่าเมื่อ $I_G = 0$ ทรานซิสเตอร์ Q_2 จะ Off เป็นผลให้ทรานซิสเตอร์ Q_1 , Off ไปด้วยจะไม่มีกระแส I_A ไหลผ่านจากขั้วแอโนดไปยังแคโทดเมื่อเปรียบกับสวิตช์ นั่นคือเหมือนสภาวะที่สวิตช์เปิดวงจร (Open Circuit)





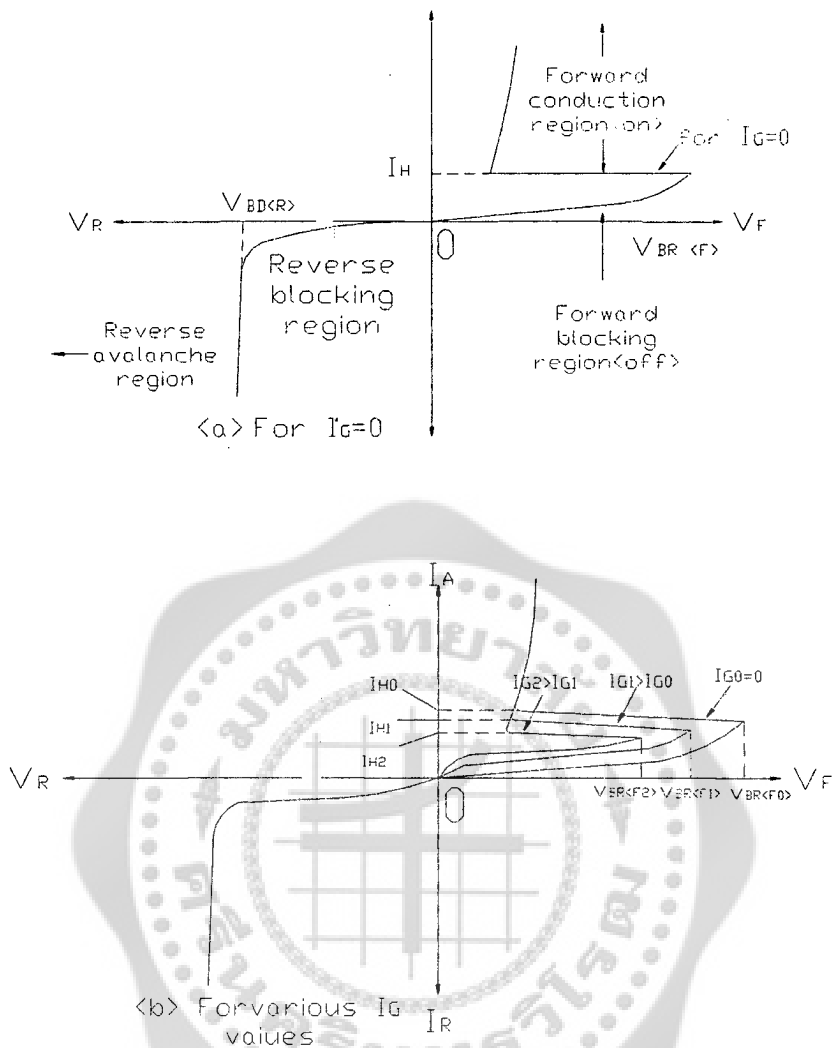
(c) SCR stays on after trigger pulse

ภาพประกอบ 26 แสดงกระบวนการจุดชนวนให้ เอส.ซี.อาร์. นำกระแส
(นักตร วังเทพินทร์. 2541:264)

เมื่อต้องการบังคับให้เอส.ซี.อาร์. นำกระแสโดยการป้อนกระแสเกต (I_G) เข้าที่ขาเกตของเอส.ซี.อาร์. ดังแสดงในภาพประกอบที่ 26 (b) ทำให้เกิด I_{B2} ไหลเข้าเบสของทรานซิสเตอร์ Q_2 ทำให้ Q_2 อยู่ในสภาวะนำกระแส (On) จะเกิดกระแสคอลเล็กเตอร์ไหลผ่าน Q_2 ซึ่งก็คือกระแส I_{B1} ของทรานซิสเตอร์ Q_1 นั่นเอง ดังนั้น Q_1 จึงนำกระแสด้วย ผลคือเกิดกระแสแอโนด (I_A) ไหลผ่านอิมิตเตอร์ของ Q_1 ไปออกที่อิมิตเตอร์ของ Q_2 สภาวะการทำงานของเอส.ซี.อาร์.ในขณะนี้เปรียบได้เหมือนกับสวิตช์ปิดวงจร (Close Circuit)

การป้อนกระแสเกต (I_G) ให้กับเอส.ซี.อาร์.นั้นเรียกว่า การจุดชนวน (Triggered) เมื่อจุดชนวนให้เอส.ซี.อาร์. นำกระแสได้แล้วนั้นไม่จำเป็นต้องคงค่ากระแสเกต (I_G) ไว้ตลอดไป สามารถลดค่ากระแสเกตให้เป็นศูนย์ได้ ($I_G = 0$) โดยที่เอส.ซี.อาร์. ยังคงนำกระแสได้ต่อไป เพราะ I_{B2} ที่ไหลเข้าเบสของ Q_2 จะไหลมาจากคอลเล็กเตอร์ของ Q_1 เมื่อ Q_1 นำกระแสแล้ว ดังนั้นถึงแม้จะนำกระแสเกตออกเอส.ซี.อาร์. ก็ยังคงนำกระแสอยู่ได้ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 26 (c)

เมื่อพิจารณากราฟแสดงลักษณะสมบัติของเอส.ซี.อาร์.ในภาพประกอบที่ 27 (a) เมื่อเอส.ซี.อาร์.ได้รับไบแอสตรง เอส.ซี.อาร์.สามารถนำกระแสได้โดยไม่ต้องมีกระแสเกตมากกระตุ้น ($I_G = 0$) แต่ต้องจ่ายแรงดันไบแอสตรงให้กับเอส.ซี.อาร์. จนกระทั่งถึงจุดแรงดันพังทลาย (Forward Blocking Region (Off)) หรือจุด $V_{RR(E)}$ จากกราฟ และเมื่อกระแสแอโนดไหลผ่านเอส.ซี.อาร์.ได้ โดยกระแสแอโนดมีค่าสูงกว่ากระแสยึด ($I_A > I_R$) เอส.ซี.อาร์. จะนำกระแสได้ในย่านนำกระแส (Forward Conduction Region (On)) แต่เมื่อให้ไบแอสกลับกับเอส.ซี.อาร์. ถ้าป้อนแรงดันไบแอสกลับให้มีค่ามากกว่าแรงดันพังทลาย (Reverse Blocking Voltage, $V_{BD(R)}$) เอส.ซี.อาร์. จะนำกระแสได้เมื่อได้รับไบแอสกลับ บริเวณรอยต่อภายในตัวเอส.ซี.อาร์.จะทะลุและทำให้เอส.ซี.อาร์.เสียหายได้



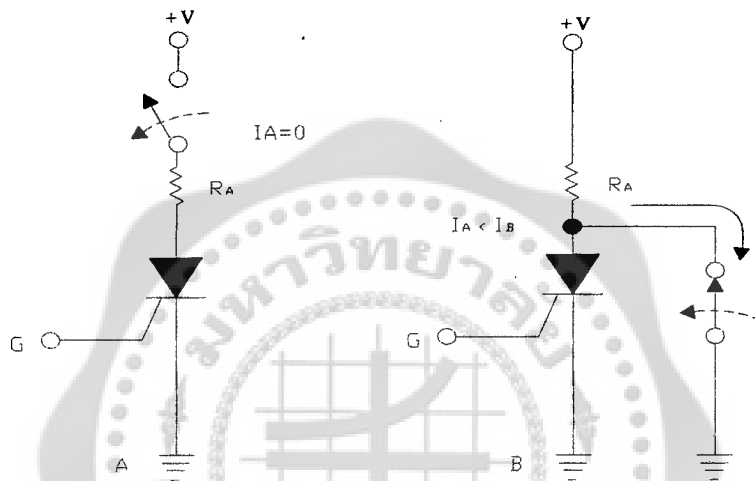
ภาพประกอบ 27 แสดงกราฟลักษณะสมบัติของ เอส.ซี.อาร์.
(นักตร วจนเทพินทร์. 2541 :266)

สำหรับกราฟในภาพประกอบ 27 (b) แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างปริมาณของกระแสเกต ที่จ่ายกระตุ้นให้กับเอส.ซี.อาร์. จะเห็นว่าเมื่อจ่ายกระแสเกตปริมาณน้อย แรงดันไบแอสตรงที่จ่ายให้กับเอส.ซี.อาร์. จะมีค่าต่ำกว่าแรงดันไบแอสตรงพ้งทหลาย ($V_{BR(F)}$) แต่ถ้าจ่ายกระแสเกตมากขึ้น แรงดันไบแอสตรงที่จ่ายให้กับเอส.ซี.อาร์. เพื่อให้เอส.ซี.อาร์.ทำงานได้จะลดลง

การทำให้เอส.ซี.อาร์.หยุดนำกระแส (Turning The SCR Off) วิธีการบังคับให้เอส.ซี.อาร์. หยุดนำกระแสได้มี 2 วิธีคือ

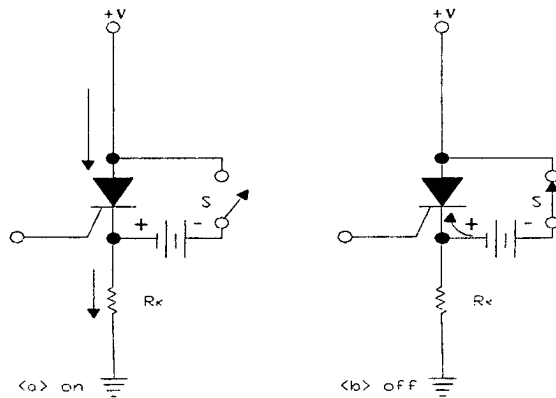
1. Anode Current Interruption
2. Forced Commutation

ทั้งสองวิธีมีหลักการเดียวกัน คือ ต้องหาเทคนิควิธีที่ทำให้กระแสแอนโอด (I_A) ลดลงจนกระทั่งต่ำกว่า กระแสยึด (I_H) หรือ $I_A < I_H$ จะทำให้เอส.ซี.อาร์.หยุดนำกระแสได้ ดังแสดงในภาพประกอบ 28 คือการใช้วิธี Anode Current Interruption โดยการตัดกระแส I_A ไม่ให้ไหลผ่านแอนโอดของเอส.ซี.อาร์. วิธีง่าย ๆ ดังภาพประกอบ 28(a) โดยมีสวิตช์ต่ออนุกรมกับแอนโอดของเอส.ซี.อาร์. และเปิดสวิตช์เมื่อต้องการทำให้เอส.ซี.อาร์.หยุดทำงาน (Turn - Off) หรือวิธีในภาพประกอบ 28(b) โดยการต่อสวิตช์ระหว่างขั้วแอนโอดและแคโทดของ เอส.ซี.อาร์. เพื่อเปลี่ยนแปลงทางเดินกระแสแอนโอดไม่ให้ไหลผ่านเอส.ซี.อาร์. จะสามารถ Turn Off เอส.ซี.อาร์. ได้เช่นเดียวกัน



ภาพประกอบ 28 แสดงการทำให้เอส.ซี.อาร์.หยุดนำกระแสโดยวิธี Anode Current Interruption
(นักตร วังเทพินทร์. 2541:267)

สำหรับวิธี Forced Commutation ทำได้โดยการบังคับให้เอส.ซี.อาร์. ได้รับไบแอสกลับ โดยใช้แหล่งจ่ายภายนอกต่อขนานกับเอส.ซี.อาร์. และมีสวิตช์ (S) เป็นตัวควบคุมการหยุดนำกระแสของเอส.ซี.อาร์. ดังแสดงในภาพประกอบ 33 ในสภาวะที่เอส.ซี.อาร์.นำกระแสอยู่ดังภาพประกอบ 29 (a) สวิตช์จะเปิดวงจร แต่เมื่อต้องการบังคับให้เอส.ซี.อาร์. หยุดนำกระแสทำได้โดยการปิดสวิตช์ จะทำให้เอส.ซี.อาร์. ได้รับไบแอสกลับตลอดเวลาที่สวิตช์ยังคงปิดอยู่ โดยปกติระยะเวลาในการบังคับ (Forced) ให้เอส.ซี.อาร์. หยุดนำกระแสโดยให้ไบแอสกลับนี้ จะต้องให้นานกว่าระยะเวลา Turn off Time ซึ่งระบุไว้ในคู่มือ โดยทั่วไประยะเวลา Turn Off Time จะมีค่าน้อยมากประมาณ (μS) ไมโครวินาที



ภาพประกอบ 29 แสดงการทำให้เอส.ซี.อาร์. หยุดนำกระแส โดยวิธี Forced Commutation
(นักตร วัจนเทพินทร์. 2541:267)

ค่าคุณลักษณะและค่าพิกัดของเอส.ซี.อาร์. (SCR Characteristic and Ratings) ค่าพิกัดและค่าคุณลักษณะของเอส.ซี.อาร์. ที่ได้แสดงให้เห็นในกราฟภาพประกอบ 27 สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

Forward - breakover Voltage. $V_{BR(F)}$ คือแรงดันไบแอสตรงที่จ่ายให้เอส.ซี.อาร์. และสามารถทำให้เอส.ซี.อาร์. นำกระแสได้โดยไม่มีสัญญาณกระตุ้นเกต ($I_G = 0$)

Holding Current, I_H เมื่อเอส.ซี.อาร์. นำกระแสอยู่ (On) มีกระแสแอโนดไหลผ่านขั้วแอโนดและแคโทด ถ้าปริมาณกระแสแอโนดต่ำกว่าค่ากระแส I_H จะทำให้เอส.ซี.อาร์. หยุดนำกระแส (Off)

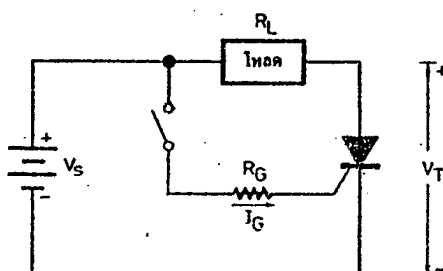
Gate Trigger Current, I_{GT} คือปริมาณกระแสเกตที่จ่ายให้กับเอส.ซี.อาร์. และทำให้เอส.ซี.อาร์. นำกระแสได้เมื่อได้รับไบแอสตรงโดยเอส.ซี.อาร์. ไม่พัง

Average Forward Current. $I_{B(AVG)}$ คือปริมาณกระแสแอโนดเฉลี่ย (DC Current) ที่ไหลผ่านเอส.ซี.อาร์. ตามปกติภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด และไม่ทำให้เอส.ซี.อาร์. เสียหาย

Reverse-breakdown Voltage. $V_{BD(R)}$ คือค่าแรงดันไบแอสกลับที่ป้อนให้กับแอโนดและแคโทดของเอส.ซี.อาร์. และทำให้เอส.ซี.อาร์. นำกระแสได้โดยไม่ต้องมีสัญญาณกระตุ้นเกต

3.2.1 การคำนวณวงจรเอสซีอาร์ สำหรับไฟตรง หลักสำคัญคือ โหลด R_L ต้องดึงกระแสมากกว่า 2 เท่าของกระแสยึด I_H และเลือก R_G ให้มีกระแสเกตเข้ามาจุดชนวนเอสซีอาร์ มากกว่า 2 เท่าของ I_{GT} ส่วนค่า V_{TM} , I_H และ I_{GT} นั้นให้ดูจากสเปคของผู้ผลิต สำหรับเอสซีอาร์ชนิดไอซีซึ่งค่ากระแส I_{GT} อยู่ในช่วงเท่ากับหรือมากกว่า 500 μA

วงจรจุดชนวนเกิดของเอส.ซี.อาร์.ที่ง่ายที่สุดคือ ต่อเกิดเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ V_S โดยผ่านตัวต้านทานจำกัดกระแส R_G ดังภาพประกอบ 30



ภาพประกอบ 30 แสดงวงจรการทริกเอส.ซี.อาร์. ด้วยไฟตรง

(ยีน ภาววรรณ 2521:87)

หาค่า R_L และ R_G ได้จากสูตร ดังนี้

$$R_L = \frac{V_S - V_{TM}}{2I_H}$$

$$R_G = \frac{V_S - V_{GT}}{I_G}$$

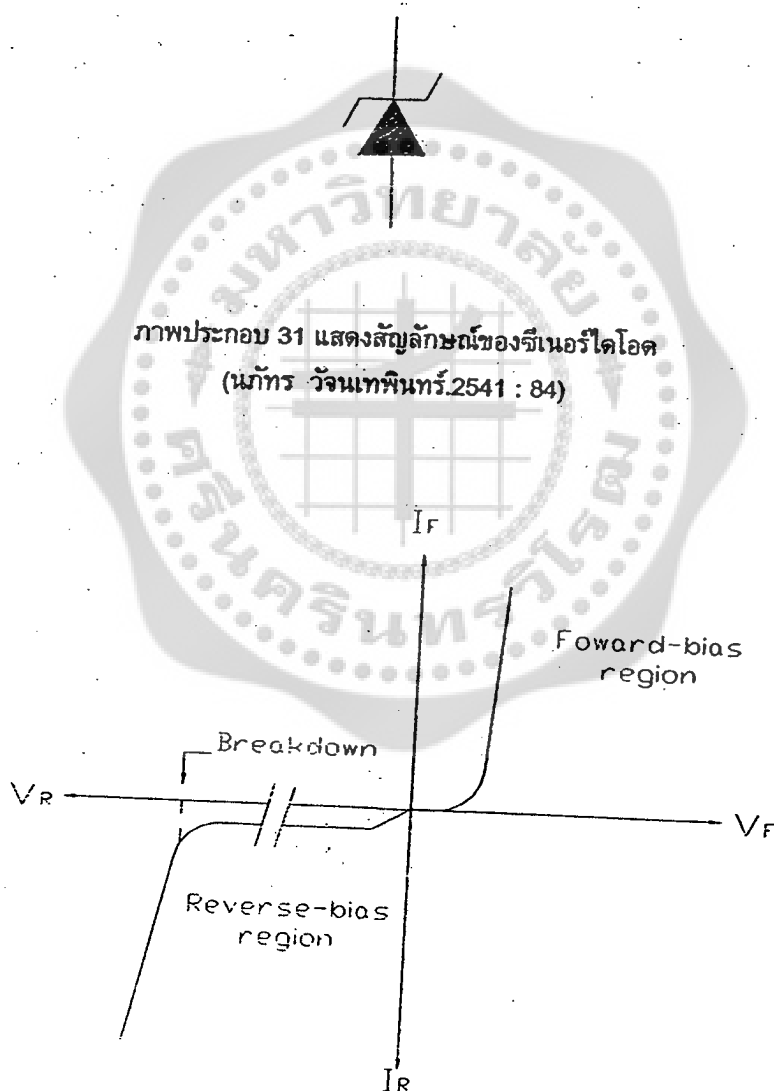
โดยให้ I_G มีค่าประมาณ 2 ถึง 100 เท่าของ I_{GT}

3.2.2 การใช้งานเอส.ซี.อาร์. การใช้งานของเอส.ซี.อาร์.ส่วนใหญ่แล้วเราใช้เป็นสวิตช์สำหรับให้กระแสไฟไม่ให้อ่านไปยังวงจรโหลด แต่เอส.ซี.อาร์.มีลักษณะพิเศษคือสามารถนำกระแสได้เพียงทางเดียวเท่านั้น ดังนั้นเราจึงใช้เอส.ซี.อาร์.ทำหน้าที่เรกติไฟเออร์ได้ และถ้าหากว่าเราสามารถควบคุมช่วงการนำกระแสของเอส.ซี.อาร์.ในแต่ละรอบของไฟสลับให้นำกระแสได้นานขึ้นหรือสั้นลงได้แล้ว เราก็จะได้กระแสเฉลี่ยที่จ่ายไปยังโหลดแปรค่าได้ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในวงจรควบคุมกำลังไฟฟ้า(ไฟตรง) หรือควบคุมความเร็วของมอเตอร์ได้ดี การใช้เอส.ซี.อาร์.เป็นสวิตช์ก็เพราะสามารถเปิด-ปิดวงจรได้ในอัตราความเร็วสูงมากและต้องการกำลังไฟฟ้าในการควบคุมการทริกเพียงเล็กน้อย เอส.ซี.อาร์.บางตัวใช้กระแสทริกในหน่วยของมิลลิแอมป์เท่านั้น เมื่อเอส.ซี.อาร์.นำกระแสแล้วมันจะนำกระแสค้างอยู่สภาวะนั้นตราบที่ยังมีกระแสไหลผ่านตัวมันอยู่

ในการใช้งานเอส.ซี.อาร์.นั้นมีได้หลายวิธี วิธีใช้งานที่พบทั่วไปและเป็นแบบที่ง่ายคือให้เอส.ซี.อาร์.เป็นตัวสวิตช์นำไฟตรงไปจ่ายแก่อุปกรณ์หรือโหลด ซึ่งอาจควบคุมสวิตช์ได้ในลักษณะป้อนกลับ ดังเช่นในการควบคุมแรงดันก็มีวงจรตรวจจับแรงดัน เมื่อแรงดันมากหรือน้อยกว่าที่กำหนดจะมีสัญญาณไปจุดชนวนเอส.ซี.อาร์.ให้นำกระแส ซึ่งจะไปทำให้ระดับแรงดันถูกควบคุมจ่ายโหลด นอกจากนี้ยังอาจใช้เป็นตัวตรวจจับเมื่อมีอะไรมาสัมผัสกับตัวรับความรู้สึกจะทำให้ เอส.ซี.อาร์.นำกระแสทำให้กระดิ่งไฟฟ้าดังได้

(ยีน ภาววรรณ 2521:89)

3.3 ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode) เป็นไดโอดชนิดพิเศษที่สร้างให้มามีการทำงานแตกต่างจากไดโอดเรียงกระแสทั่วๆ ไป กล่าวคือ เมื่อให้ไบแอสตรงกับซีเนอร์ไดโอดการทำงานจะเหมือนกับไดโอดเรียงกระแสได้นำกระแสได้และมีแรงดันตกคร่อมซีเนอร์ไดโอดขณะได้รับไบแอสตรงเท่ากับ V_B เมื่อซีเนอร์ไดโอดได้รับไบแอสกลับถึงค่าแรงดันที่กำหนด (กำหนดค่าแรงดันขึ้นในกระบวนการสร้างซีเนอร์ไดโอดเช่น 2.2 V, 5.1 V, 6V, 10 V, 12 V, ฯลฯ) ซีเนอร์ไดโอดจะนำกระแสได้และจะเกิดแรงดันตกคร่อมตัวเองคงที่เท่ากับแรงดันที่กำหนดจากบริษัทผู้ผลิต สัญลักษณ์และกราฟลักษณะสมบัติของซีเนอร์ไดโอดแสดงในภาพประกอบ 31 และ 32

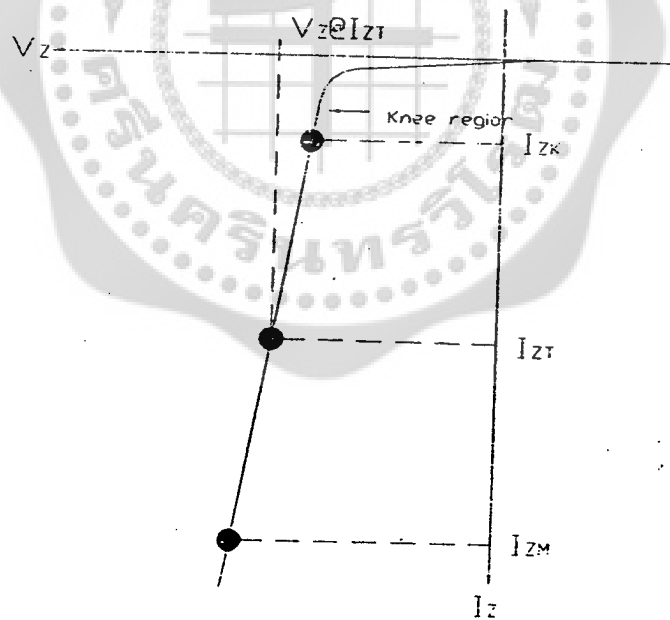


ภาพประกอบ 32 แสดงกราฟลักษณะสมบัติทางกระแสและแรงดันของซีเนอร์ไดโอด
(นักตร วังนเทพินทร์. 2541 : 84)

3.3.1 การพังทลายของซีเนอร์ (Zener Breakdown) การพังทลายของไดโอดแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ การพังทลายแบบอะวาลันช์ (Avalanche) เมื่อไดโอดได้รับไบแอสกลับแรงดันสูงมากทำให้มีกระแสไหลย้อนกลับผ่านไดโอดจำนวนมากทำให้อายุของไดโอดจะลู่และใช้งานไม่ได้ การพังทลายอีกแบบหนึ่ง คือ การพังทลายแบบซีเนอร์ เป็นการพังทลายที่เกิดขึ้นกับแรงดันไบแอสกลับค่าต่ำๆ ซึ่งกำหนดได้จากการโคปสารกึ่งตัวนำที่ใช้สร้างเป็นซีเนอร์ไดโอด การพังทลายแบบซีเนอร์นี้จะมีกระแสไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดจำนวนหนึ่งซึ่งต้องรักษาไม่ให้เกิดค่าพิกัดสูงสุด และจะเกิดสภาวะที่แรงดันตกคร่อมซีเนอร์ไดโอดมีค่าคงที่ เรียกว่าแรงดันซีเนอร์ (Zener Voltage, V_Z) คุณสมบัติข้อนี้สามารถนำซีเนอร์ไดโอดไปสร้างเป็นวงจรควบคุมแรงดันไฟตรงจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้มีค่าแรงดันคงที่ได้

(Zener Regulated Power Supply) ซีเนอร์ไดโอดที่มีใช้อยู่ในท้องตลาดมีขนาดแรงดันซีเนอร์ ตั้งแต่ 1.8 V ถึง 200 V

3.3.2 คุณสมบัติของการพังทลาย (Breakdown Characteristics) พิจารณาจากกราฟลักษณะสมบัติ จากภาพประกอบ 33 โดยเฉพาะการพังทลายของซีเนอร์ไดโอดเมื่อได้รับไบแอสกลับจนถึงค่าแรงดันซีเนอร์ (V_Z) จะเกิดกระแสไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดมากขึ้น ที่จุดเอียงของกราฟ (Knee Point) จะมีกระแสไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดเท่ากับ I_{ZK} และถ้าซีเนอร์ไดโอดได้รับแรงดันสูงขึ้นอีกกระแสจะเพิ่มขึ้นแต่แรงดันซีเนอร์ (V_Z) จะคงที่ แต่ถ้าเพิ่มกระแสเกินกว่าค่ากระแสซีเนอร์สูงสุด (I_{ZM}) แรงดันซีเนอร์ (V_Z) จะไม่คงที่

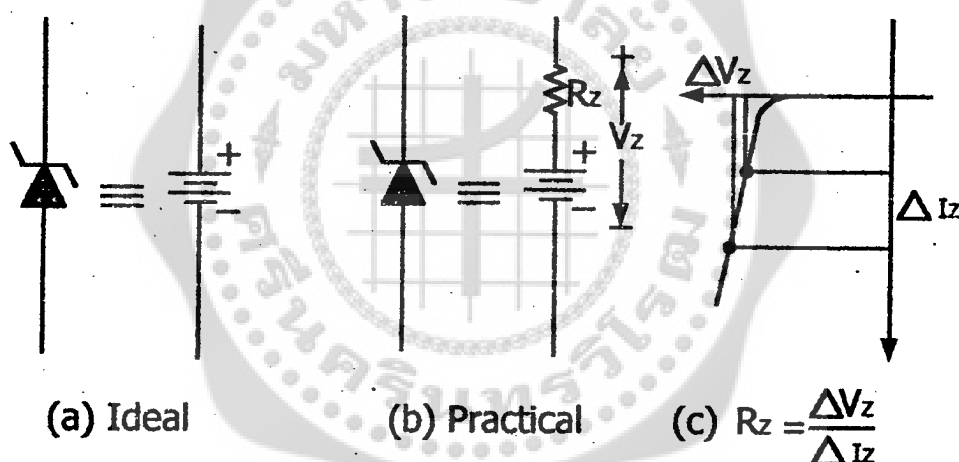


ภาพประกอบ 33 กราฟแสดงลักษณะสมบัติของกระแสและแรงดันของซีเนอร์ไดโอด เมื่อได้รับไบแอสกลับ (นักตร วุฒินาพันธ์, 2541 : 85)

ดังนั้นการนำซีเนอร์ไดโอดไปใช้ในการควบคุมให้แรงดันไฟตรงคงที่ โดยใช้ค่าแรงดันซีเนอร์นั้นจึงต้องออกแบบวงจรควบคุมให้มีกระแสไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดย่านระหว่างค่ากระแส I_{zk} ถึงค่า I_{zm} สำหรับกระแส I_{zt} หมายถึง ค่ากระแสทดสอบค่าแรงดันซีเนอร์ (Zener Test Current) ซึ่งเป็นค่ากระแสที่พิกัดของแรงดันซีเนอร์ตามค่าที่ผู้ผลิตกำหนดไว้ใน Data Sheet

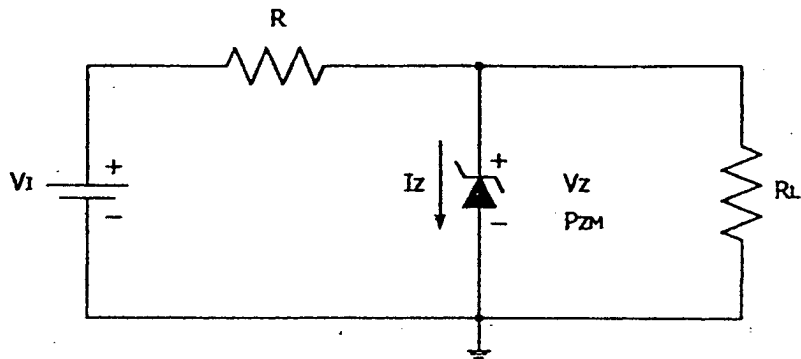
3.3.3 วงจรสมมูลของซีเนอร์ไดโอด เนื่องจากซีเนอร์ไดโอดมีคุณสมบัติจ่ายแรงดันคงที่ เมื่อได้รับไบแอสกลับดังนั้นในทางอุดมคติ (Ideal) ซีเนอร์ไดโอดจึงมีวงจรเทียบเท่าหรือวงจรสมมูลเป็นแบตเตอรี่มีขนาดแรงดันไฟฟ้าตรงเท่ากับ V_Z โดยมีขั้วบวกของ V_Z อยู่ที่แอโนด ดังภาพประกอบ 34 (a) แต่ในทางปฏิบัติจะมีค่าความต้านทานภายในรอยต่อของซีเนอร์ไดโอดอยู่ด้วย (R_Z) แต่ในทางปฏิบัติจะมีค่าความต้านทานภายในรอยต่อของซีเนอร์ไดโอดอยู่ด้วย (R_Z) ดังนั้นวงจรสมมูลของซีเนอร์ไดโอดในทางปฏิบัติจึงเป็นดังภาพประกอบ 34 (b) ซึ่งค่าความต้านทานของซีเนอร์ไดโอด (R_Z) นี้มีค่าเท่ากับสมการ

$$R_Z = \frac{\Delta V_Z}{\Delta I_Z}$$



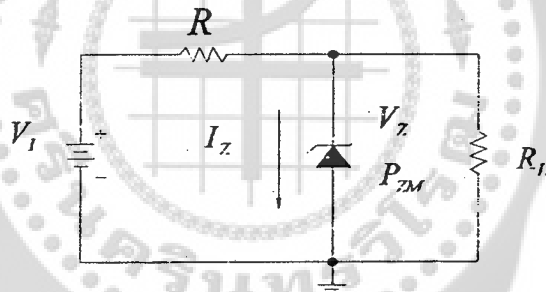
ภาพประกอบ 34 แสดงวงจรสมมูลของซีเนอร์ไดโอด และการหาค่าความต้านทานภายในของซีเนอร์ไดโอด
(นภัทร วัฒนเทพินทร์.2541 : 88)

3.3.4 การใช้งานซีเนอร์ไดโอดเป็นวงจรรักษาระดับแรงดัน (Voltage Regulation) เมื่อแรงดันอินพุตป้อนเข้ามามีค่ามากกว่าแรงดันตกคร่อมซีเนอร์ไดโอด (V_Z) เกิดแรงดันไบแอสให้กับซีเนอร์ไดโอดทางด้านไบแอสกลับถึงจุดแรงดันพังทลาย จะเกิดกระแสไหลผ่านซีเนอร์ไดโอด (I_Z) ซึ่งจะส่งผลให้กระแสที่ไหลผ่านความต้านทาน R_L ลดลง ทำให้แรงดันที่ตกคร่อมความต้านทาน R_L ลดลงจนเท่ากับแรงดันตกคร่อมซีเนอร์ไดโอด ซึ่งจะทำให้ระดับแรงดันที่เอาต์พุตคงที่เท่ากับแรงดันที่ตกคร่อมซีเนอร์ไดโอดตลอดเวลาทำให้ซีเนอร์ไดโอดรักษาระดับแรงดันที่ตกคร่อม แต่ถ้า แรงดันอินพุตต่ำกว่าแรงดันตกคร่อมซีเนอร์ไดโอด ซีเนอร์ไดโอดจะไม่นำกระแส จากภาพประกอบ 35



ภาพประกอบ 35 แสดงการใช้ซีเนอร์ไดโอดเป็นวงจรรักษาระดับแรงดัน
(สุคนธ์ พุ่มศรี.2544:22)

การคำนวณวงจรเมื่อค่า V_I และ R_L คงที่ (Fixed V_I , Fixed R_L)

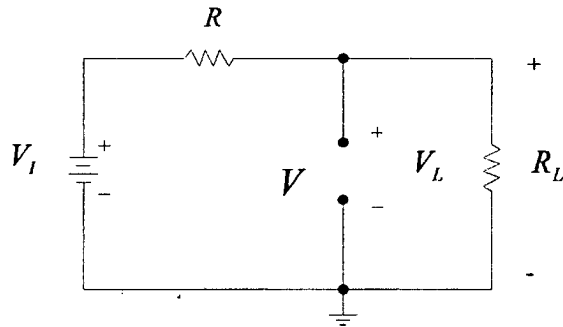


ภาพประกอบ 36 แสดงการใช้ซีเนอร์ไดโอดเป็นวงจรรักษาระดับแรงดันที่มีแรงดันอินพุตและความต้านทานโหลดคงที่

(สุคนธ์ พุ่มศรี.2544:23)

พิจารณาตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. ปลดซีเนอร์ไดโอดออกจากวงจรเพื่อคำนวณหาค่าแรงดันตกคร่อมโหลด (V_L)



ภาพประกอบ 37 แสดงเมื่อปลดวงจรซีเนอร์ไดโอดออกจากวงจร

(สுகนธ์ พุ่มศรี.2544:24)

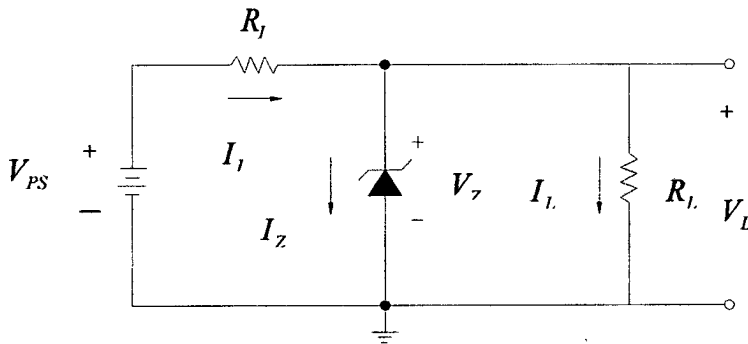
หาค่าแรงดันที่ตกคร่อมโหลดได้ดังนี้

$$V = V_L = \frac{R_L}{R + R_L} \times V_I$$

2. เมื่อต่อซีเนอร์ไดโอดเข้าไปในวงจร

$$\begin{aligned} V_L &= V_Z \\ \text{และ} \quad I_R &= I_Z + I_L \\ \text{ได้} \quad I_Z &= I_R - I_L \\ \text{เมื่อ} \quad I_L &= \frac{V_L}{R_L} \\ \text{และ} \quad I_K &= \frac{V_R}{R} = \frac{V_I - V_L}{R} \end{aligned}$$

4.3.5 เทียบเคียงแรงดันในวงจรอุดมคติ (Ideal Voltage Reference Circuit)



ภาพประกอบ 38 แสดงวงจรการใช้ซีเนอร์ไดโอดรักษาระดับแรงดัน
(NEAMEN.1996: 69)

เมื่อสมมุติใช้ความต้านทานของซีเนอร์ไดโอดมีค่าเป็นศูนย์สำหรับไดโอดในอุดมคติ จะสามารถแก้สมการหาค่ากระแสไดโอด (I_Z) ได้ดังนี้

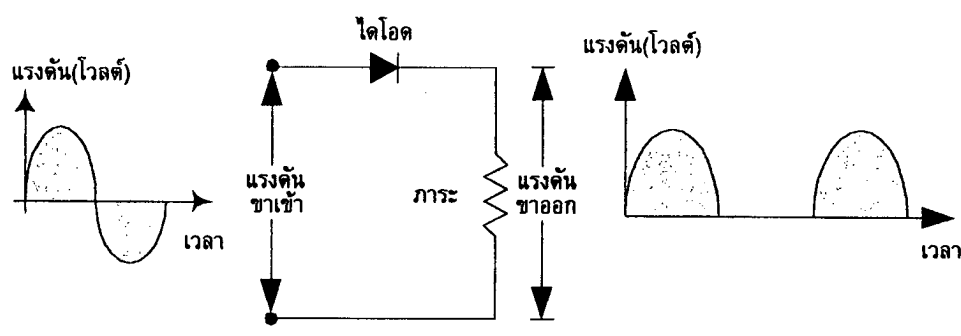
$$I_Z = \frac{V_{PS} - V_Z}{R_I} - I_L$$

เมื่อ $I_L = V_Z / R_L$ และ V_{PS} ปรับค่าได้และกระแสไหลอด = I_L

3.4 การแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ จำเป็นต้องมีไฟฟ้ากระแสตรงเลี้ยงวงจร ซึ่งได้จากแบตเตอรี่หรือถ่านไฟฉาย แต่มีข้อจำกัดที่แบตเตอรี่มีพลังงานสะสมจำกัด จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนหรืออัดไฟกันบ่อยๆ ดังนั้นการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง จึงเป็นวิธีการที่เหมาะสม เพราะนำไปใช้ได้สะดวก และมีพลังงานใช้ได้ยาวนาน ซึ่งวงจรที่ใช้ในการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงนี้ ใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเรียกว่าวงจรเรกติไฟเออร์ (Rectifier)

วงจรเรกติไฟเออร์ คือวงจรไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติ ในการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง อุปกรณ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในวงจร ไดแก่ไดโอด (Diode) ซึ่ง ยีน ภูววรรณ (2538: 100) ได้แบ่งการเรกติไฟเออร์ออกเป็น 3 ลักษณะ ได้แก่

4.4.1 วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งคลื่น (Half Wave Rectifier) เป็นวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปที่ ภาระ (Load) เฉพาะครึ่งสัญญาณ ซึ่งอาจเป็นบวกหรือลบก็ได้ตามลักษณะการต่อวงจรแต่ละแบบ วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงมีลักษณะ ดังภาพประกอบ 39

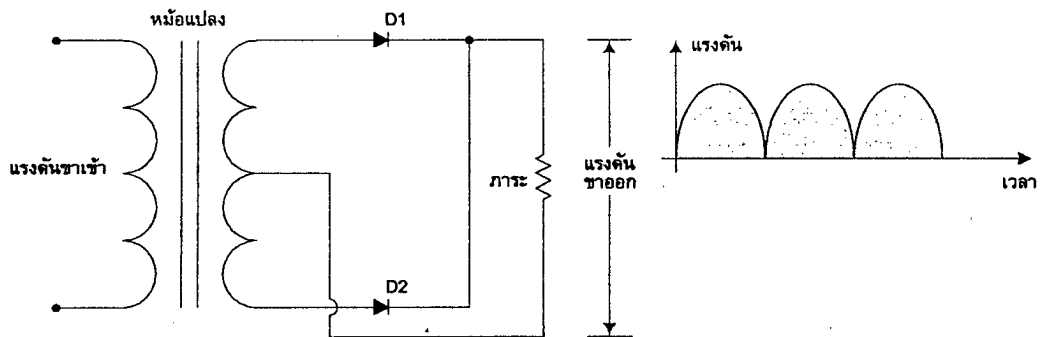


ภาพประกอบ 39 แสดงวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งคลื่น
(ยีน ภูววรรณ. 2538: 101)

จากภาพประกอบ 39 จะเห็นว่าในช่วงที่สัญญาณไฟฟ้าเป็นบวกไดโอดจะถูกไบแอสตรงทำให้มีกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปยังภาระได้ และเมื่อสัญญาณไฟฟ้าช่วงลบเข้ามา ไดโอดจะถูกไบแอสกลับ ทำให้ไม่มีกระแสไหลในวงจร แรงดันที่ตกคร่อมภาระจึงมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นสัญญาณขาออกที่เป็น จึงมีค่าเป็นสัญญาณรูปครึ่งคลื่น ค่าแรงดันไฟตรงที่วัดได้ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของสัญญาณทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับ .318 เท่าของแรงดันไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งมีค่าดังสมการ

$$\begin{aligned} V_{dc} &= 0.318 V_p \\ &= 0.318 \sqrt{2} \times V_{rms} \\ &= 0.449 V_{rms} \end{aligned}$$

3.4.2 วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มคลื่น (Full Wave Rectifier) วงจรนี้จำเป็นต้องใช้ไดโอดอย่างน้อยสองตัว ต่ออยู่ในวงจร เพื่อให้ไดโอดเกิดการนำกระแสในแต่ละครึ่งไซเคิลของไฟฟ้ากระแสสลับไดโอดทั้งสองจึงทำหน้าที่เป็นตัวจ่ายกระแสให้กับภาระตัวละครึ่งรอบสัญญาณ และจ่ายในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นวงจรนี้จึงสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงได้เรียบกว่าแบบครึ่งคลื่น วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงมีลักษณะดังแสดงในภาพประกอบ 40



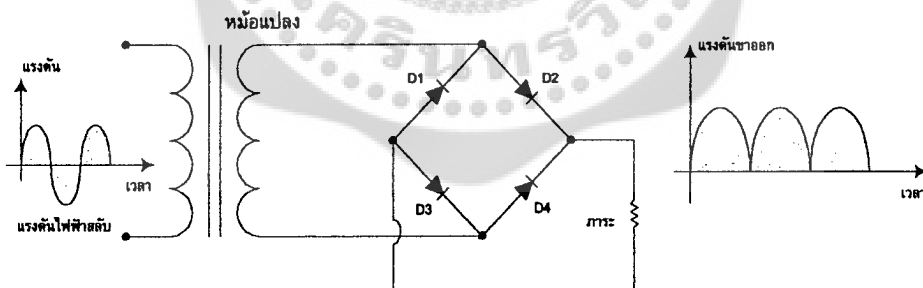
ภาพประกอบ 40 วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มคลื่น

(ยีน ภาววรรณ. 2538: 103)

ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางขาออก จะมีค่าเป็นสองเท่าของวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งคลื่น

$$\begin{aligned} V_{dc} &= 0.637 V_p \\ &= 0.637 \sqrt{2} V_{rms} \\ &= 0.901 V_{rms} \end{aligned}$$

3.4.3 วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier) เป็นวงจรที่ให้สัญญาณทางขาออกแบบเต็มคลื่น อีกแบบหนึ่ง มีลักษณะการต่อวงจร ดังภาพประกอบ 41



ภาพประกอบ 41 แสดงวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบบริดจ์

(ยีน ภาววรรณ. 2538: 106)

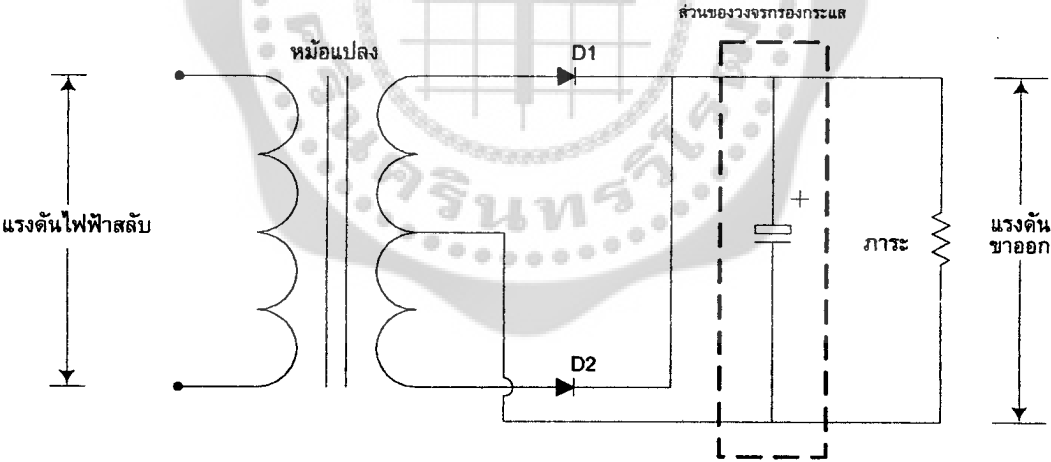
สามารถหาแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้จากสมการ

$$\begin{aligned} V_{dc} &= 0.637 V_p \\ &= 0.901 V_{rms} \end{aligned}$$

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้ วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มคลื่น เนื่องจากใช้อุปกรณ์ไม่มากทำให้มีราคาถูก แต่มีแรงดันด้านขาออก 0.901 โวลต์ ซึ่งสามารถใช้กับวงจรตัวรับหลอดภัยได้

3.5 การกรองแรงดัน สัญญาณไฟฟ้าทางขาออกที่มาจาก วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งคลื่น และวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มคลื่น จะมีลักษณะเป็น ห่วงๆซึ่งเป็นการกระเพื่อมของแรงดัน ตามความถี่ทางขาเข้า ในวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งคลื่น จะมีค่าเป็น 1 เท่าของความถี่ทางขาเข้า ส่วนวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มคลื่นจะมีค่าเป็น 2 เท่าของความถี่ทางขาเข้า ค่ากระเพื่อมของแรงดันไฟตรงทางขาออกที่กระเพื่อมไปจากค่าแรงดันไฟตรงเฉลี่ยเรียกว่าริปเปิ้ล ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป วิธีการที่จะลดการกระเพื่อมของแรงดันขาออก ก็ต้องอาศัยวงจรกรองแรงดันมาทำหน้าที่กรองสัญญาณแรงดันเป็นห่วงๆ ให้เรียบมากขึ้นจนเกือบเป็นไฟฟ้ากระแสตรงจริงๆ ซึ่ง ยืน ภู่วรรณ (2538: 107-113) ได้แบ่งประเภทของวงจรกรองแรงดันได้ 4 ประเภท ดังนี้

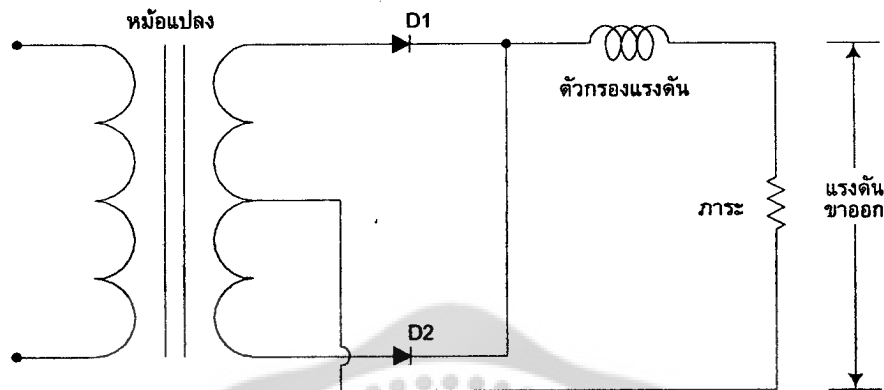
3.5.1 วงจรกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ แรงดันริปเปิ้ลมีผลเสมือนกับการจ่ายกระแสภาวะเป็นรูปพัลส์ ซึ่งสามารถทำให้ลดลงได้ ถ้ามีพลังงานบางส่วนที่ทางขาออกถูกเก็บไว้พร้อมที่จะจ่ายออกมาเมื่อถึงจังหวะที่ไม่มีพลังงานจ่ายออกจากวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งเป็นหลักการเบื้องต้นของวงจรกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ



ภาพประกอบ 42 แสดงวงจรกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุ
(ยืน ภู่วรรณ. 2538: 108)

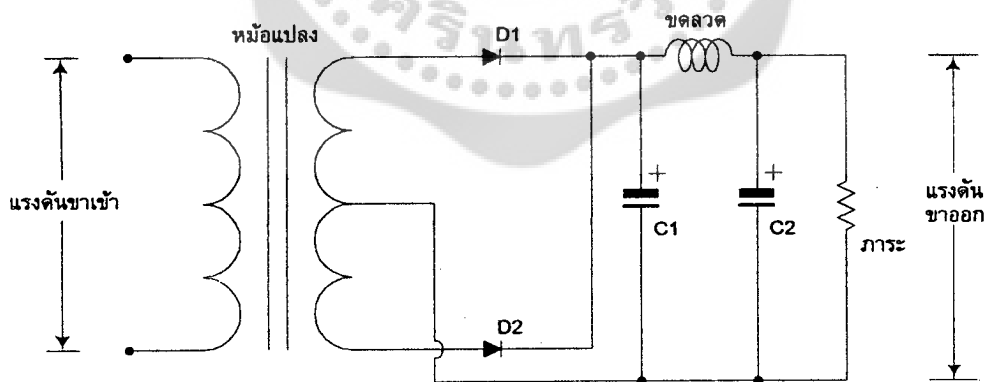
ค่าตัวเก็บประจุหาได้จากสูตร $C = \frac{2.91 Idc}{Vr(rms)}$ (สมคิด วิริยะประสิทธิ์ชัย และ สมบูรณ์ มาลานนท์. 2538: 51)

3.5.2 วงจรกรองแรงดันด้วยตัวเหนี่ยวนำ ตัวเหนี่ยวนำเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถเก็บและคายพลังงานไฟฟ้าได้เช่นเดียวกับตัวเก็บประจุเป็นการเก็บสะสมพลังงานไว้ในรูปของเส้นแรงแม่เหล็กไฟฟ้า และสามารถนำเอาคุณสมบัตินี้มาทำเป็นตัวกรองกระแสได้เช่นเดียวกับตัวเก็บประจุ มีลักษณะการต่อวงจรดังภาพประกอบ 43



ภาพประกอบ 43 แสดงวงจรกรองแรงดันด้วยตัวเหนี่ยวนำ
(ยีน ภูววรรณ. 2538: 109)

3.5.3 วงจรกรองแรงดันแบบ พาย (π) วงจรกรองแรงดันแบบพาย เป็นการนำเอาตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำมาต่อร่วมกันในวงจร ซึ่งแสดงดังภาพประกอบ 44

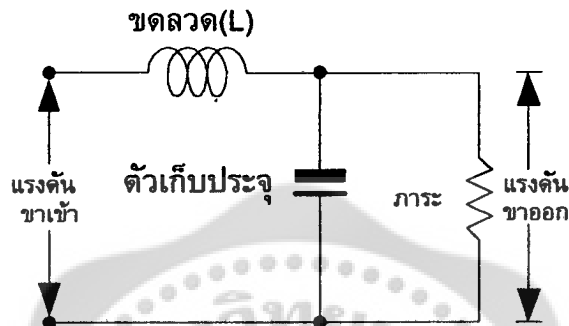


ภาพประกอบ 44 แสดงวงจรกรองแรงดันแบบพาย
(ยีน ภูววรรณ. 2538: 110)

ในวงจรกรองแรงดันแบบพายตัวเก็บประจุ C1 ทำหน้าที่เป็นตัวกรองแรงดันเหมือนตัวกรองแรงดันด้วยตัวเก็บประจุตัวเดียวซึ่งตัวเก็บประจุนี้จะเป็นตัวทำให้ค่าแรงดันทางขาออกลดลงตัวเก็บประจุ C2 จะทำหน้าที่

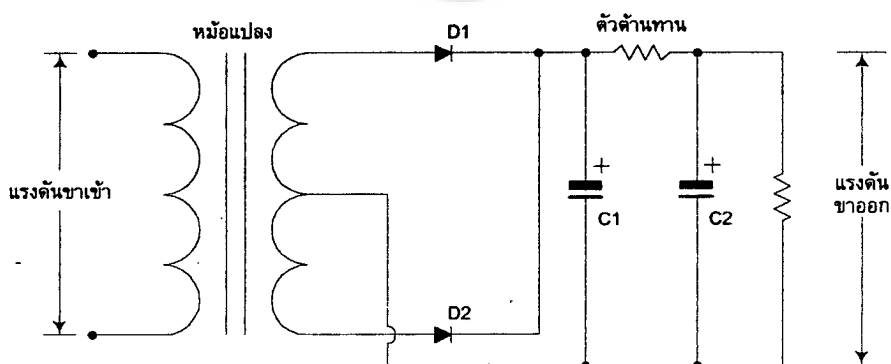
ที่เช่นเดียวกับ C1 ตัวเหนี่ยวนำ L1 มีหน้าที่ปรับแรงดันไฟฟ้า ไม่ให้ค่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุทั้งสองแตกต่างกันมากนัก ซึ่งทำให้การกรองแรงดันได้ราบเรียบยิ่งขึ้น

3.5.4 วงจรกรองแรงดันแบบรูปตัวแอล เมื่อต้องการกรองแรงดันโดยให้ค่าแรงดันขาออกของวงจรมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของแรงดันที่แปลงมาจากไฟฟ้ากระแสสลับ มีใช้ค่าสูงสุด V_p จะต้องใช้การกรองแรงดันที่จัดให้ตัวเหนี่ยวนำอยู่ทางด้านขาเข้าของวงจรกรองแรงดันและตัวเก็บประจุจะอยู่ทางด้านหลังดังภาพประกอบ 45



ภาพประกอบ 45 แสดงวงจรกรองแรงดันแบบรูปตัวแอล
(ยีน ภูววรรณ. 2538: 111)

3.5.5 วงจรกรองแรงดันแบบ Rc ในบางกรณีการพันขดลวดเพื่อเป็นตัวเหนี่ยวนำมักประสบปัญหายุ่งยาก ทั้งวิธีการพันและการวัดหาค่าของขดลวดดังนั้นการนำเอาวงจรกรองแรงดันแบบ Rc มาใช้จึงเป็นที่นิยมแทนวงจรกรองแรงดันแบบพาย โดยการใช้ตัวต้านทานแทนตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งตัวต้านทานจะทำหน้าที่เพิ่มค่าคงตัวเวลาของการคายประจุ และการเก็บประจุของตัวเก็บประจุ แต่การกรองแรงดันแบบนี้ก็มีผลเสียในกรณีต้องการจ่ายกระแสไปยังภาระมากๆ เพราะกระแสจะทำให้เกิดกำลังสูญเสียในตัวต้านทานสูง การต่อวงจรกรองแรงดันแบบ Rc จะต่อวงจรดังภาพประกอบ 46



ภาพประกอบ 46 แสดงวงจรกรองแรงดันแบบ Rc
(ยีน ภูววรรณ. 2538: 113)

4. ประสิทธิภาพ

การหาประสิทธิภาพของตัวรับปลดภัย ได้ใช้หลักการกำหนดถึงความปลอดภัยของผู้ใช้ไฟฟ้า เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดไฟฟ้าดูด ซึ่งจะเกิดในกรณีที่คนไปสัมผัสโดยตรงกับตัวนำที่รูเสียบของตัวรับ หรือที่อุปกรณ์ไฟฟ้าขณะใช้งาน ในการออกแบบวงจรสำหรับตัวรับปลดภัย จึงได้นำเอาค่าความต้านทานผิวหนังของคนมาเป็นหลักในการคิดคำนวณและออกแบบวงจร

การกำหนดค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้า ที่จะนำไปใช้กับตัวรับปลดภัยได้กำหนดให้มีค่าระหว่าง 2.5-900 โอห์ม เนื่องจากค่า 900 โอห์ม เป็นค่าความต้านทานที่มีค่าน้อยกว่า ค่าความต้านทานผิวหนังของคนขณะผิวหนังเปียกคือ 1,000 โอห์ม (วิเลต เจตยานวัตร, 2538: 375) ซึ่งจะทำให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน และค่าความต้านทาน 2.5 โอห์ม กำหนดจากการทดลองใช้มัลติมิเตอร์ วัดค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานกับตัวรับทั่วไป พบว่ามีอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีค่าความต้านทานน้อยที่สุดคือ 2.5 โอห์ม ซึ่งเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ในสภาวะปกติ ที่สามารถใช้งานกับตัวรับไฟฟ้าได้ และค่าความต้านทานเมื่อคำนวณในสภาวะลัดวงจรจะมีค่า 0.171 โอห์ม (สุรัตน์ นันตะสุนทร, 2540: 23)

ผู้วิจัยจึงได้นำมากำหนดเป็นช่วงสภาวะของอุปกรณ์ไฟฟ้า 3 ช่วงคือสภาวะลัดวงจรมีค่าความต้านทาน 0-2.4 โอห์ม สภาวะปกติมีค่าความต้านทาน 2.5-900 โอห์ม และสภาวะเบิดวงจรมีค่าความต้านทาน 901-10,000 โอห์ม

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการออกแบบวงจรสำหรับตัวรับปลดภัย ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้างานวิจัยทั้งภายในประเทศ และต่างประเทศ ที่เป็นงานวิจัยเกี่ยวข้องกับการสร้างอุปกรณ์ป้องกันและความปลอดภัยเพื่อนำหลักการและวิธีการสร้าง ขอบกพร่องต่าง ๆ มาเป็นข้อมูลในการออกแบบวงจรสำหรับตัวรับปลดภัยให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

งานวิจัยภายในประเทศ

ฉลาด ศรีสวัสดิ์, จรุง ชุมณีนะนิพนธ์ สุวิทย์ภรณ์ (2540) ได้สร้างเครื่องตัดวงจรกระแสเกินและแรงดันตกด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ เป็นเครื่องตรวจจับและป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ไฟฟ้าเกิดความเสียหาย เมื่อแรงดันไฟฟ้าตกเป็นศูนย์หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานที่กระแสเกินปกติจากที่กำหนดไว้ เครื่องนี้จะตัดอุปกรณ์ออกจากระบบทันที เครื่องตัดวงจรกระแสเกินนี้ใช้งานกับระบบไฟฟ้า 3 เฟส 380 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่กินกระแสตั้งแต่ 0-20 แอมแปร์สามารถแสดงผลกระแสอุปกรณ์ไฟฟ้าเฟสใดเฟสหนึ่งในขณะนั้นเป็นตัวเลข

ทิวาเวทย์ ขาวภูริระวัฒนา, รณชาติ เกตุจุมพลและศิริ เจยใจชื่น (2539) ได้สร้าง Unsymmetrical Voltage Relay เป็นอุปกรณ์ที่ป้องกันไฟฟ้าอัตโนมัติ เมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลย์โดยใช้กับระบบไฟฟ้า 380 โวลต์ 3 เฟส ไม่มีสายนิวตรอนอาศัยหลักการการทำงานของ Symmetrical component โดยสร้างวงจรเลียนแบบสมการของ Positive Sequence และ Negative Sequence Voltage แล้วเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าระหว่าง Sequence ทั้งสองซึ่งสามารถตั้งให้เครื่องทำงานได้ เมื่อแรงดันไม่สมดุลย์ตั้งแต่ Negative Sequence Voltage เป็น 5 เปอร์เซ็นต์ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ของแรงดัน Positive Sequence และมีวงจรหน่วงเวลาการตัด Relay 0-10 วินาที เมื่อได้รับแรงดันไม่สมดุลย์ตามเปอร์เซ็นต์ที่ตั้งไว้

ชัยมงคล คำสม (2543) ได้สร้างระบบป้องกันและกำจัดฟ้าผ่าของทศท. เพื่อหยุดยั้งและระงับความเสียหายที่เกิดจากฟ้าผ่า โดยอาศัยการทำลายแหล่งกำเนิดและแยกทั้งกระแสฟ้าผ่าให้พ้นจากระบบสื่อสาร ลดระดับสัญญาณรบกวนขณะฟ้าผ่าและการใช้อุปกรณ์ป้องกันเสริม สิ่งที่สำคัญที่สุดของระบบป้องกันและกำจัดฟ้าผ่าคือการนำระบบกราวด์แบบต่อร่วมวงจรกัน ณ สภาพดินที่ให้ค่านำกระแสไฟฟ้าสูงที่สุด ซึ่งมีอยู่ใต้ผิวดินที่ระดับลึกค่าหนึ่งเข้ามาใช้ระบบ จากผลการใช้งานได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

ทนงศักดิ์ ปาสาบุตร (2542) ได้ศึกษาและออกแบบสร้างเครื่องต้นแบบแหล่งจ่ายพลังงานเครื่อง Electrical Discharge Machining โดยเริ่มตั้งแต่การศึกษาคุณสมบัติของเครื่อง Electrical Discharge Machining ที่มีอยู่ในปัจจุบันเพื่อกำหนดคุณสมบัติของเครื่องต้นแบบ จากนั้นทำการออกแบบ ประกอบและทดสอบ ซึ่งได้เครื่องที่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าในการตกแต่งเปลี่ยนรูปได้ตั้งแต่ขนาด 1 แอมแปร์จนถึง 27 แอมแปร์ภายใต้กระแสตรงขณะที่ไม่มีการะ 100 โวลท์โดยใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 380 โวลท์

วิมลวรรณ พรรณแซง (2538) ออกแบบระบบกราวด์ของสถานีไฟฟ้าย่อยโดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นโปรแกรม AC substation Grounding เหมาะสำหรับการออกแบบระบบต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อย เนื่องจากเขียนเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปทำให้ง่ายต่อการใช้งาน โดยโปรแกรมยังคงกำหนดค่าความปลอดภัยด้วยค่าศักดาไฟฟ้าสัมผัสและค่าศักดาไฟฟ้าช่วงก้าว ให้อยู่ในเกณฑ์ที่มนุษย์จะทนได้ โดยทำการเปรียบเทียบให้ค่าศักดาไฟฟ้าเมฆ และศักดาไฟฟ้าระหว่างที่เกิดขึ้นในสถานีไฟฟ้าย่อยต้องมีค่าน้อยกว่าค่าศักดาไฟฟ้าสัมผัสและค่าศักดาไฟฟ้าระหว่างก้าวที่มนุษย์ทนได้เสมอ และโปรแกรมนี้ให้ใช้กับค่าความต้านทานจำเพาะของดินเป็นแบบดินชั้นเดียวเท่านั้น

พัทธ์พงศ์ อภัยรัตน์และวรงค์ภู ชาติทอง (2539) ศึกษาแบบสายดินแบบต่างๆ ซึ่งมี 4 ประเภทคือ 1. ระบบสายดินของระบบไฟฟ้า 2. ระบบสายดินของอุปกรณ์ไฟฟ้า 3. ระบบสายดินของระบบป้องกันฟ้าผ่า 4. ระบบสายดินของอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป และยังมีระบบไฟฟ้าที่ไม่ต่อลงดินที่ใช้ในกรณีพิเศษ นอกจากนี้ได้สร้างชุดสาธิตระบบสายดินภายในบ้าน เพื่อแสดงให้เห็นถึงวิธีติดตั้งและความปลอดภัยทั้งทางด้านร่างกายและทรัพย์สิน ที่ผู้ใช้ไฟฟ้าจะได้รับเมื่อติดตั้งระบบสายดินเพิ่มขึ้น

ปิยะ ตั้งพงษ์และโสภณ มีกุล (2537) ได้สร้างบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณสมบัติและราคาใกล้เคียงกับบัลลาสต์แบบเดิม ประสิทธิภาพสูงขึ้นและประหยัดพลังงานมากกว่า โดยได้กล่าวถึงวงจรที่เป็นส่วนประกอบต่างๆ ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ตลอดจนหลักการทำงาน เปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย การเลือกใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์กับบัลลาสต์แบบเดิม จากการศึกษาพบว่าบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณ 50 % จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปผลิตในเชิงอุตสาหกรรมต่อไป

งานวิจัยต่างประเทศ

ซาคิส, ซิเอ, จอย และคอกกินิด (Sakis, Xia, Joy and Cokkinides. 1993) ได้เสนอวิธีการและใช้คอมพิวเตอร์โมเดลในการวิเคราะห์ระบบกราวด์ด้วยวิธีที่เรียกว่า Method of Moment โดยวิธีวิเคราะห์ระบบกราวด์ที่ประกอบด้วย กราวด์กริด, กราวด์รีด, รั้ว, ท่อโลหะ, กราวด์อิเล็กโทรดรูปทรงสี่เหลี่ยม, แผ่นโลหะเรียบที่ฝังอยู่ใต้ดินหรือวางอยู่บนผิวดิน โดยถือว่าดินเป็นแบบดินชั้นเดียว (Uniform Soil) หรือดินสองชั้น (two-layer Soil) แล้วทำการคำนวณหาค่าศักดาไฟฟ้าสัมผัส, ศักดาไฟฟ้าช่วงก้าว, กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านร่างกายคนในขณะที่เกิดกระแสไฟฟ้าผิดปกติ, ความต้านทานระบบกราวด์ และโวลท์เตจโพรไฟล์ (Voltage Profile)

ทาปาร์, เกเรช, บาลาคริชแมน และแบลงค์ (Thapar, Gerez, Balakrishman and Blank. 1992) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเชื่อมโยงระบบกราวด์ของสถานีไฟฟ้าย่อย 2 สถานีด้วยสารตัวนำที่ฝังอยู่ใต้ดิน เมื่อเกิดกระแสผิดปกติไหลลงดินที่ใดที่หนึ่ง จะทำให้กระแสผ่านไปยังสถานีย่อยอีกแห่งหนึ่งโดยผ่านตัวนำที่ฝังดินอยู่ โดยได้ทำการศึกษาค่าความต้านทานกราวด์ที่ประกอบด้วยกราวด์กริด 2 แท่ง, ค่าศักดาไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นบนกราวด์ (Ground Potential Rise) ที่เกิดขึ้นในสถานีไฟฟ้าย่อยแต่ละแห่ง และค่า Voltage Profile ตามแนวความยาวของตัวนำที่เชื่อมต่อ

จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาเป็นข้อมูล ในการออกแบบวงจรสำหรับตัวรับปลอดภัย โดยได้ศึกษาถึงประโยชน์และอันตรายของไฟฟ้า การป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าโดยวิธีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันและการปฏิบัติเพื่อให้เกิดความปลอดภัย ทำให้รู้ถึงคุณสมบัติของอุปกรณ์ป้องกันว่าจะทำงานตัดกระแสไฟฟ้าหลังจากเกิดการลัดวงจร รั่วลงดิน หรือไฟฟ้าดูด ซึ่งอาจจะทำให้คนได้รับอันตรายได้ การที่กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านผิวหนังของคนลงดินได้มากหรือน้อย จะขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของคน ซึ่งผิวหนังของคนในแต่ละสภาพก็จะไม่เท่ากัน ขณะผิวหนังเปียกจะมีค่าความต้านทาน 1,000 โอห์มต่อตารางเซนติเมตร ผิวหนังแห้งมีค่าความต้านทาน 100,000 – 600,000 โอห์มต่อตารางเซนติเมตร จากข้อมูลเรื่องความต้านทาน ได้นำมาเป็นข้อมูลในการออกแบบวงจรตรวจสอบค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้า และได้ศึกษาคุณสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น ทรานซิสเตอร์ ซีเนอร์ไดโอดและเอส.ซี.อาร์. เป็นอุปกรณ์หลักของวงจร ทรานซิสเตอร์และเอส.ซี.อาร์. นำมาเป็นวงจรสวิทช์ซึ่งสามารถตัดต่อได้บ่อยครั้งในระยะเวลาสั้น เนื่องจากไม่มีหน้าสัมผัสจึงมีความคงทน ส่วนซีเนอร์ไดโอดนำมาเป็นตัวควบคุมแรงดัน สำหรับวงจรตรวจสอบค่าความต้านทาน

เมื่อได้ศึกษางานวิจัยในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าในด้านต่างๆ ทำให้รู้แนวคิด วิธีการและข้อบกพร่องต่างๆ และได้นำมาปรับปรุงเพื่อออกแบบวงจรสำหรับตัวรับปลอดภัย เพื่อให้มีประสิทธิภาพจ่ายแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ เมื่ออุปกรณ์ไฟฟ้ามีค่าความต้านทานระหว่าง 2.5-900 โอห์ม จะมีความปลอดภัยสำหรับผู้ใช้งานและไม่เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ไฟฟ้า

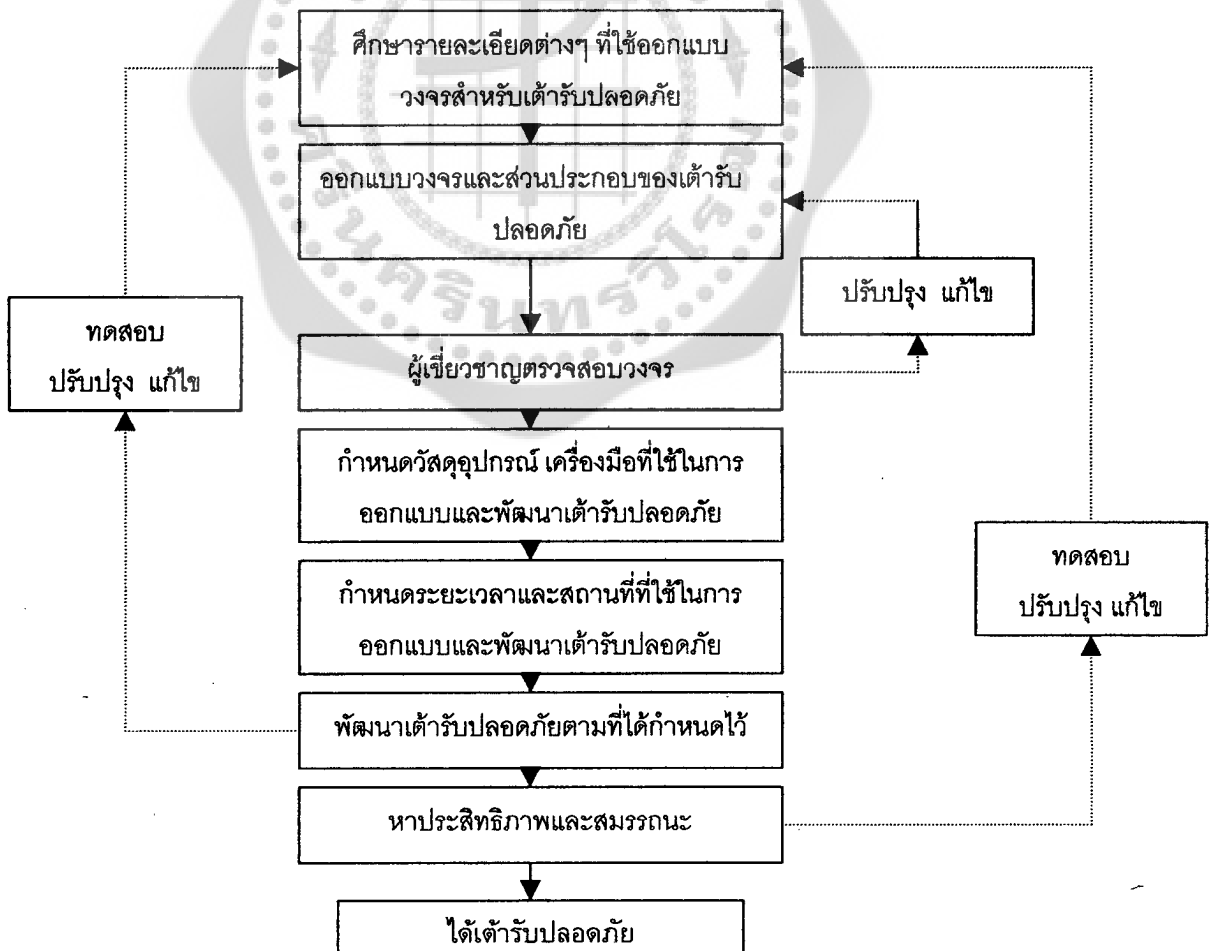
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยการออกแบบวงจรสำหรับเตารับ
ปลอดภัย มีรายละเอียดดังนี้

1. ศึกษารายละเอียดต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบวงจรสำหรับเตารับปลอดภัย
2. ออกแบบวงจรและส่วนประกอบต่างๆ ของเตารับปลอดภัย
3. ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบวงจรสำหรับเตารับปลอดภัย
4. จัดหาวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างวงจรเตารับปลอดภัย
5. กำหนดระยะเวลา สถานที่ ที่ใช้ในการออกแบบวงจรสำหรับเตารับปลอดภัย
6. สร้างเตารับปลอดภัยตามแบบที่ได้ออกแบบไว้
7. ทดสอบ ปรับปรุง และแก้ไข การทำงานของเตารับปลอดภัย
8. หาประสิทธิภาพและสมรรถนะเตารับปลอดภัย
9. การวิเคราะห์ข้อมูล

สามารถเขียนเป็นกรอบความคิดในการดำเนินการวิจัยได้ดังนี้



1. ศึกษารายละเอียดต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบวงจรสำหรับตัวรับหลอดภัย

การศึกษารายละเอียดต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบวงจรสำหรับตัวรับหลอดภัย

1.1 ศึกษาค้นคว้า ตำรา และงานทดลอง ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและพัฒนาตัวรับหลอดภัย

1.2 ศึกษาคุณสมบัติของส่วนประกอบต่างๆของตัวรับหลอดภัย เพื่อจัดทาวงจรวัสดุและอุปกรณ์ ที่เหมาะสม มาประกอบเป็นตัวรับหลอดภัย เพื่อทดสอบการทำงาน

2. ออกแบบวงจรและส่วนประกอบต่าง ๆ ของตัวรับหลอดภัย

ตัวรับหลอดภัยที่สร้างขึ้น มีการออกแบบวงจร และส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

2.1 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแรงดันคงที่ 12 โวลต์ ทนกระแสสูงสุด 120 มิลลิแอมป์แปร์ สำหรับแหล่งจ่ายแรงดันให้กับวงจรเมื่อเราต้องการกระแสขาออกสูงสุด 120 มิลลิแอมป์แปร์ โดยทั่วไปจะเผื่อไว้เป็น 1.5 เท่าของกระแสที่ต้องการสูงสุด ซึ่งจะได้กระแสออกมาสูงสุดเท่ากับ $120 \times 1.5 = 180$ มิลลิแอมป์แปร์ ส่วนแรงดันหาได้โดยกำหนดให้มีค่ามากกว่าแรงดันขาออกสูงสุด ซึ่งวงจรนี้ใช้ $V_{dc(max)} = 9$ โวลต์ เพราะฉะนั้นเลือก $V_{AC} \cong 12$ โวลต์ ซึ่งหาค่า V_{AC} ได้โดยใช้สูตร

$$\begin{aligned} V_{AC} &= \frac{V_{dc}}{\sqrt{2}} \\ &= \frac{12}{1.414} \\ &= 8.49 \quad (\text{ใช้ } 9 \text{ โวลต์}) \end{aligned}$$

ภาคแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง และภาคกรองแรงดันประกอบด้วย ไดโอด การเลือกไดโอด มีข้อพิจารณา 2 อย่างคือ การเลือกขนาดของกระแสไฟฟ้าและการเลือกขนาดแรงดันไฟฟ้า โดยขนาดของกระแสไฟฟ้าจะเลือก $I_d) I_{TRANS}$ (I_d คือค่าของกระแสของ ไดโอดที่เลือกใช้ I_{TRANS} คือค่ากระแสที่หม้อแปลงจ่ายแรงดัน ส่วนการเลือกขนาดแรงดัน จะเลือกประมาณ 2 เท่าของแรงดันสูงสุดที่หม้อแปลงจ่ายออก (สมคิด วิริยะประสิทธิ์ชัย และ สมบูรณ์มาลาพันธ์ .25385:66) เพราะฉะนั้นวงจรนี้เลือกไดโอดดังนี้

วงจร Full – wave ใช้ไดโอดขนาด 1 แอมป์ 400โวลต์ เบอร์ 1N 4001

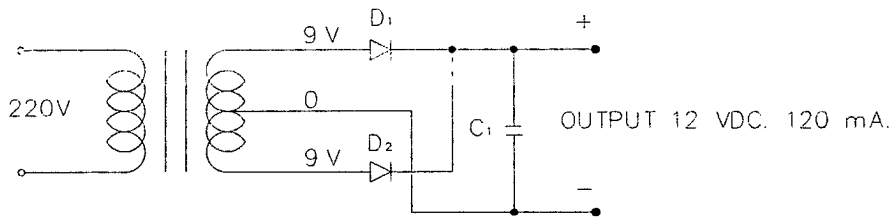
ตัวเก็บประจุ การเลือกตัวเก็บประจุมีข้อพิจารณา 2 อย่างคือ ค่าตัวเก็บประจุ และค่าแรงดันของตัวเก็บประจุ

$$\text{ค่าเก็บประจุหาได้จากสูตร } C = \frac{2.9I_{dc}}{V_{r(rms)}}$$

$$\begin{aligned} \text{เพราะฉะนั้น } C_1 &= \frac{2.9 \times 120}{1} \\ &= 348 \text{ ไมโครฟารัด} \end{aligned}$$

$$(\text{กำหนดให้ } V_{r(rms)} = 1 \text{ โวลต์})$$

ค่าแรงดันของตัวเก็บประจุใช้ประมาณ 2 เท่าของแรงดันสูงสุดที่จ่ายให้กับหม้อแปลง ซึ่งจะเลือกใช้ขนาด $C_1=330$ ไมโครฟารัด 25 โวลต์



ภาพประกอบ 48 แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

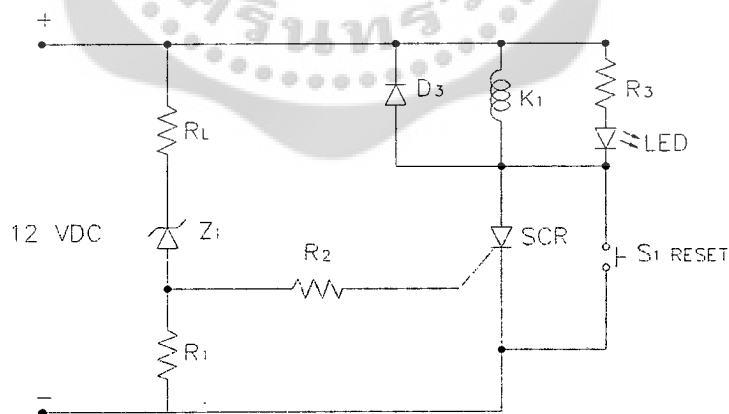
รายการวัสดุ ของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 V. 120 mA.

หม้อแปลง ขนาด 220/9-0-9 V. 300 mA

ไดโอด D_1, D_2 1N 4001 400 V.

C_1 330 ไมโครฟารัด 25 โวลท์ ชนิดอิเล็กโทรไลต์

2.2 วงจรตรวจสอบค่าความต้านทาน เป็นวงจรตรวจสอบค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่นำมาต่อเข้ากับเต้ารับปลอดภัยวงจรตรวจสอบค่าความต้านทานว่ามีค่าความต้านทานอยู่ในช่วง 0-2.5 โอห์ม วงจรตรวจสอบค่าความต้านทานจะทำงาน ซึ่งก็หมายความว่าเต้ารับปลอดภัยจะไม่จ่ายแรงดันไฟฟ้า 220 โวลท์ ให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า ดังภาพประกอบ 49



ภาพประกอบ 49 แสดงวงจรตรวจสอบค่าความต้านทาน

กำหนดให้ Z_1 มีค่าแรงดันไบแอสกลับเท่ากับ 12 โวลต์ $R_1 = 10$ โอห์ม ต้องการได้แรงดันตกคร่อม $R_1 = 0.8$ โวลต์ เพื่อจะได้แรงดันทริก SCR ($V_{GT} = 0.8$) และกระแส $I_G \geq 200 \mu A$ ใช้ SCR เบอร์ ECG 5405

เมื่อแรงดันตกคร่อม $Z_1 (V_Z)$ มีค่าเท่ากับ 11 โวลต์ จะเหลือแรงดัน $R_L + R_1 = 1$ โวลต์
หาค่า R_L จากสูตร

$$V_{R1} = \frac{E_X R_1}{R_1 + R_L}$$

$$0.8 = \frac{1 \times 10}{10 + R_L}$$

$$R_L = \frac{10 - 8}{0.8}$$

$$= 2.5 \Omega$$

$\therefore$ ถ้าต้องการให้ SCR₁ นำกระแส ค่าความต้านทาน R_L จะมีค่าตั้งแต่ 0 – 2.5 โอห์ม
หาค่า R_2 ซึ่งเป็นค่าความต้านทานที่ใช้เพื่อป้องกันกระแสทริก SCR₁ ไม่ให้มีค่ามากเกินไป

เมื่อ

$$I_{R1} = \frac{0.8}{10} \frac{V}{\Omega}$$

$$= 0.08 \text{ A.}$$

$$= 80 \text{ mA.}$$

เพื่อลดกระแสที่เกิดในกรณีที่ R_L มีค่า = 0 โอห์ม จะทำให้กระแสไหลที่ $R_1 = 1A$. แรงดัน $V_{R1} = 1V$.

ใช้ $R_2 = 2K\Omega$ หาค่ากระแสทริก SCR₁ ได้ดังนี้

$$I_G = \frac{1}{2} \frac{V}{K\Omega}$$

$$= 0.5 \text{ mA.}$$

$$= 500 \mu\text{A}.$$

$\therefore R_2$ จะใช้ค่าตั้งแต่ $1 \text{ K}\Omega$ - $2 \text{ K}\Omega$ เพราะ I_G ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า $200 \mu\text{A}$. SCR นำกระแสได้

หาค่า R_3 เมื่อ แรงดันตกคร่อม $\text{LED}_1 = 3$ โวลต์ (จากคู่มือ) จะมีแรงดันตกคร่อม $R_3 = 9$ โวลต์ จากการทดลองจะได้ค่า $R_3 = 5$ กิโลโอห์ม พิสูจน์ได้จากสูตร

หาค่า R_{LED} จาก

$$V_{\text{LED}} = \frac{E \times R_{\text{LED}}}{R_{\text{LED}} + R_3}$$

$$3\text{V} = \frac{12 \times R_{\text{LED}}}{R_{\text{LED}} + 5\text{K}\Omega}$$

$$3\text{V}(R_{\text{LED}} + 5\text{K}\Omega) = 12.R_{\text{LED}}$$

$$3\text{V}.R_{\text{LED}} + 15\text{V.K}\Omega = 12.R_{\text{LED}}$$

$$= 12.R_{\text{LED}} - 3\text{V}.R_{\text{LED}}$$

$$= 9\text{V}.R_{\text{LED}}$$

$$R_{\text{LED}} = \frac{15\text{V.K}\Omega}{9\text{V.}}$$

$$= 1.66\text{K}\Omega$$

$$V_{R3} = \frac{12 \times 5}{1.66 + 5}$$

$$= 9\text{V.}$$

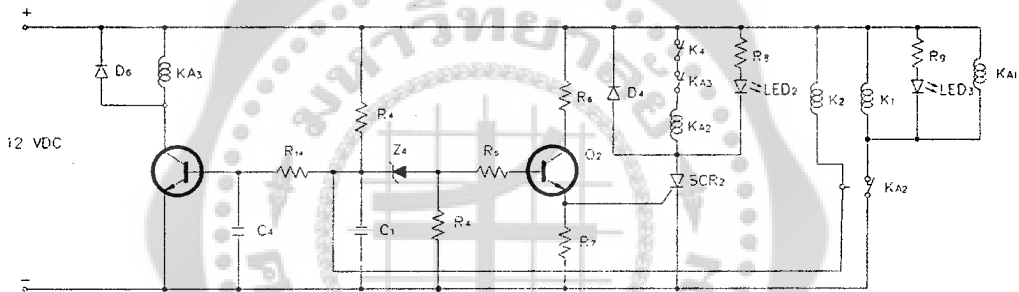
หาค่า D_3 ซึ่งเป็นไดโอดที่ต่อคร่อมรีเลย์ เพื่อป้องกันการพังของ SCR ในกรณีที่ SCR หยุดนำกระแส ใช้เบอร์ 1N 4001

รายการวัสดุ อุปกรณ์ ประกอบด้วย

- Z_1 11 V. 1 Watt.
- SCR เบอร์ ECG 5405
- Relay 12 V. 220Ω .

- R_1 10Ω . 0.5 Watt.
- R_2 $1K\Omega$. 0.5 Watt.
- R_3 $5K\Omega$. 0.5 Watt.
- LED_1 3 V.
- D_3 เบอร์ 1N 4001
- S_1 สวิตช์ปุ่มกด Push Button

2.3 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลท์ เป็นวงจรที่ทำงานต่อเนื่องจากวงจรตรวจสอบความต้านทานโดยแบ่งการทำงานเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 จะจ่ายแรงดัน 220 โวลท์ เมื่อค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้า (R_L) มีค่า มากกว่า 2.5 โอห์ม และกรณีที่ 2 จะไม่จ่ายแรงดัน 220 โวลท์ เมื่อค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้า (R_L) มีค่ามากกว่า 900 โอห์ม โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์ดังภาพประกอบ 50



ภาพประกอบ 50 แสดงวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลท์

จากวงจร กำหนดให้ทรานซิสเตอร์เบอร์ C458 มีค่าพารามิเตอร์ดังนี้ $h_{fe} = 120$ $I_{C(max)} = 400$ mA. $V_{CE(max)} = 70$ V

เอส.ซี.อาร์. ใช้เบอร์ 5405 $V_{GT} = 0.8$ V, $I_G / 200$ μ A.

ซีเนอร์ไดโอด (Z_2) ใช้ขนาด 3.1 โวลท์

กำหนดให้ $I_B = 200$ μ A., $V_{RE(R7)} = 0.8$ V, $V_{BE} = 0.7$ V

$$\beta = 120 \text{ และ } Z_2 = 3.1 \text{ V}$$

$$\text{จะได้ } I_C = \beta \cdot I_B = 200 \mu\text{A.} \times 120 = 24 \text{ mA.}$$

$$I_E = I_B + I_C = 200 \mu\text{A.} + 24 \text{ mA.} = 24.2 \text{ mA.}$$

$$\begin{aligned} \text{หา } R_{E(R13)} &= \frac{V_{RE}}{I_E} = \frac{0.8 \text{ V}}{24.2 \text{ mA}} \\ &= 33 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{กำหนด } V_{R_{13}} &= 3.2 \text{ Volts} \\ \text{หา } V_{S_5} &= V_{R_{13}} - (V_{BE} + V_{RE}) \\ &= 3.2 - (0.7 + 1.5) \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore R_5 &= \frac{V_{R5}}{I_B} = \frac{1}{200 \mu\text{A}} \\ &= 5 \text{ K}\Omega \end{aligned}$$

กำหนดให้แรงดันที่จ่ายเข้ามาในวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ คือ V_2

$$\begin{aligned} \text{จะได้ } V_2 &= V_{Z_2} + V_{R_{13}} \\ &= 3.1 + 3.2 \\ &= 6.3 \text{ V.} \end{aligned}$$

$\therefore$ จะเหลือแรงดันที่จ่ายมาจากแหล่งจ่ายกระแสตรง $12 \text{ V} = 5.7 \text{ V}$ ซึ่งตกคร่อม R_L และ R_4

$$\begin{aligned} \text{กำหนดให้ } \frac{V_{R_{13}}}{R_{13}} &= 3.2 \text{ V ค่า } R_{13} = 10 \text{ K}\Omega \\ &= \frac{3.2 \text{ V}}{10 \text{ K}\Omega} = 320 \mu\text{A.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หา } I_{R_{13}} &= I_B + I_{R_{13}} = 200 \mu\text{A.} + 320 \mu\text{A.} \\ &= 520 \mu\text{A.} \end{aligned}$$

หาค่าความต้านทาน R_4 และ R_2 จากสูตร

$$\begin{aligned} R_4 + R_2 &= \frac{E}{I_T} \\ &= \frac{5.7}{520 \mu\text{A}} = 10.96 \text{ K}\Omega \end{aligned}$$

$$\text{เมื่อกำหนดให้ } R_L = 900 \Omega$$

$$\text{จะได้ } R_4 = 10,060 \Omega \text{ หรือ } 10 \text{ K}\Omega$$

หาค่าคาบเวลาในการทำงานของวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์

จากสูตร

$$t = R \times C \text{ (วินาที)}$$

$$R = \text{ค่าความต้านทาน (โอห์ม)}$$

$$C = \text{ค่าประจุไฟฟ้า (ฟารัด)}$$

$$t = \text{เวลา (วินาที)}$$

จากวงจรกำหนดให้

$$R_L = 2.5 \text{ } \Omega$$

$$R_4 = 40 \text{ K}\Omega$$

$$C_1 = 22 \text{ } \mu\text{f}$$

$$\therefore T = 4002.5 \times 22 \times 10^{-6}$$

$$= 880.055 \times 10^{-6}$$

$$= 0.088 \text{ Sec.}$$

เมื่อแทนค่า

$$R_L = 900 \text{ } \Omega$$

$$T = 4900 \times 22 \times 10^{-6}$$

$$= 0.107800 \times 10^{-6} \text{ Sec}$$

$$= 0.1078 \text{ Sec}$$

ในการเก็บประจุและคายประจุของตัวเก็บประจุจะใช้ 5 time constants (สมคิด วิริยะประสิทธิ์ชัย อรรถพล มณีโรติ และ ธนารัตน์ ภมรรัชตพงษ์.2536:153)

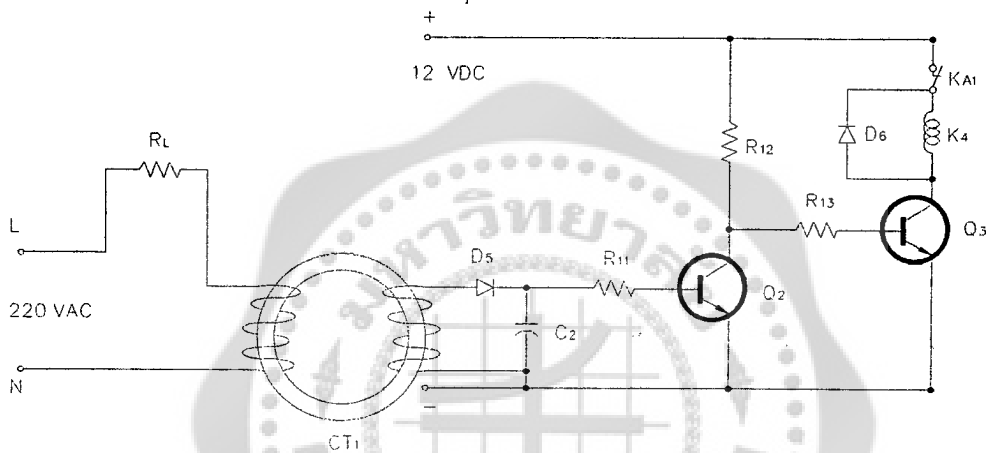
คาบเวลาในการทำงานของวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เมื่อเราใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีค่าความต้านทาน ตั้งแต่ 2.5 โอห์ม ถึง 900 โอห์ม วงจรจะทำงานในช่วงเวลา 0.44 – 0.539 วินาที

รายการวัสดุ อุปกรณ์ ประกอบด้วย

- Q_1, Q_4 เบอร์ C458 $h_{fc} = 120$ $I_{C(max)} = 400 \text{ mA}$. $V_{CE(max)} = 70 \text{ V}$.
- SCR_2 เบอร์ 5405 $V_{GT} = 0.8 \text{ V}$. $I_G \geq 200 \text{ } \mu\text{A}$.
- Z_2 ขนาด 3.1 V. 1 Watt
- R_4 10 $\text{K}\Omega$ 0.5 Watt.
- R_5 5 $\text{K}\Omega$ 0.5 Watt.
- R_6 100 Ω 0.5 Watt.
- R_7 1 $\text{K}\Omega$ 0.5 Watt.
- R_8 5 $\text{K}\Omega$ 0.5 Watt.
- R_9 5 $\text{K}\Omega$ 0.5 Watt.
- R_{14} 5.5 $\text{K}\Omega$ 0.5 Watt
- D_4, D_6 Diode 1N 4001 400 V. 1 A.
- K_{A2}, K_1, K_2, K_{A3} Relay 12 V. 200 Ω 5 A.
- LED_2, LED_3 3 V.

- C_2 , C_4 ขนาด 22 μf . 25 V.

2.4 วงจรตรวจสอบไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นวงจรป้องกันก่อนที่จะวงจรการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ จะทำงานโดยอาศัยหลักการของการเหนี่ยวนำขดลวดหม้อแปลงกระแส ขณะที่เสียบอุปกรณ์ไฟฟ้าเข้ากับเต้ารับ วงจรจ่ายแรงดันทำงาน กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอุปกรณ์ไฟฟ้าจะไหลผ่านขดลวดของหม้อแปลงกระแสทางด้านแรงดันไฟฟ้า (Primary) จำนวนเท่ากันจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ ทำให้ได้แรงดันของขดลวดทางด้านแรงดันไฟออก (Secondary) 2 โวลต์ เพื่อ นำไปทริก ทรานซิสเตอร์ Q_2 ให้ทำงาน และ Q_3 ทำงานให้ตัด แรงดันไฟฟ้าออกจากอุปกรณ์ไฟฟ้าดังภาพประกอบ 51



ภาพประกอบ 51 แสดงวงจรตรวจสอบไฟฟ้ากระแสสลับ

หา Q_2 เมื่อกำหนดให้ แรงดันจาก CT_1 ทางด้านแรงดัน Secondary 2 V.

D_5 ใช้ เบอร์ 1N 4001 มีแรงดันตกคร่อม 0.7 V.

C_2 ใช้ ขนาด 22 μf 25 V.

R_{10} 2 K Ω

R_{11} 200 K Ω

$$\text{หา } I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

$$= \frac{1.3 - 0.7}{2}$$

$$= 300 \mu\text{f}$$

$$\text{หา } I_e = \frac{V_{ee}}{R_e}$$

$$= \frac{12}{200}$$

$$= 60 \text{ mA.}$$

∴ Q₂ ใช้ เบอร์ C458 เพราะใช้ I_B = 240 μA.

หา Q₃ โดยกำหนดให้ R₁₂ = 5 KΩ

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

$$= \frac{12 - 0.7}{5}$$

$$= 2.173 \text{ mA.}$$

กระแส K₄ เมื่อ กำหนดค่าความต้านทานของขดลวด Coil = 200 Ω

$$I_{K4} = \frac{E}{R}$$

$$= \frac{12}{200}$$

$$= 60 \text{ mA.}$$

∴ Q₃ ใช้เบอร์ C458 เพราะทนกระแสได้ 400 mA.

ขนาดของหม้อแปลงกระแส (Current transformer) ใช้ แกนเหล็ก เทอลอยส์

จากการทดลองเมื่อต้องการแรงดันทางด้านไฟออก (Secondary) 2 V.

Primary ใช้ลวด เบอร์ 19 พันทางด้านไฟเข้า จำนวน 50 รอบ

(ลวด เบอร์ 19 จากตารางลวด ต่อการทนกระแส จะทนกระแสได้ 5 A.

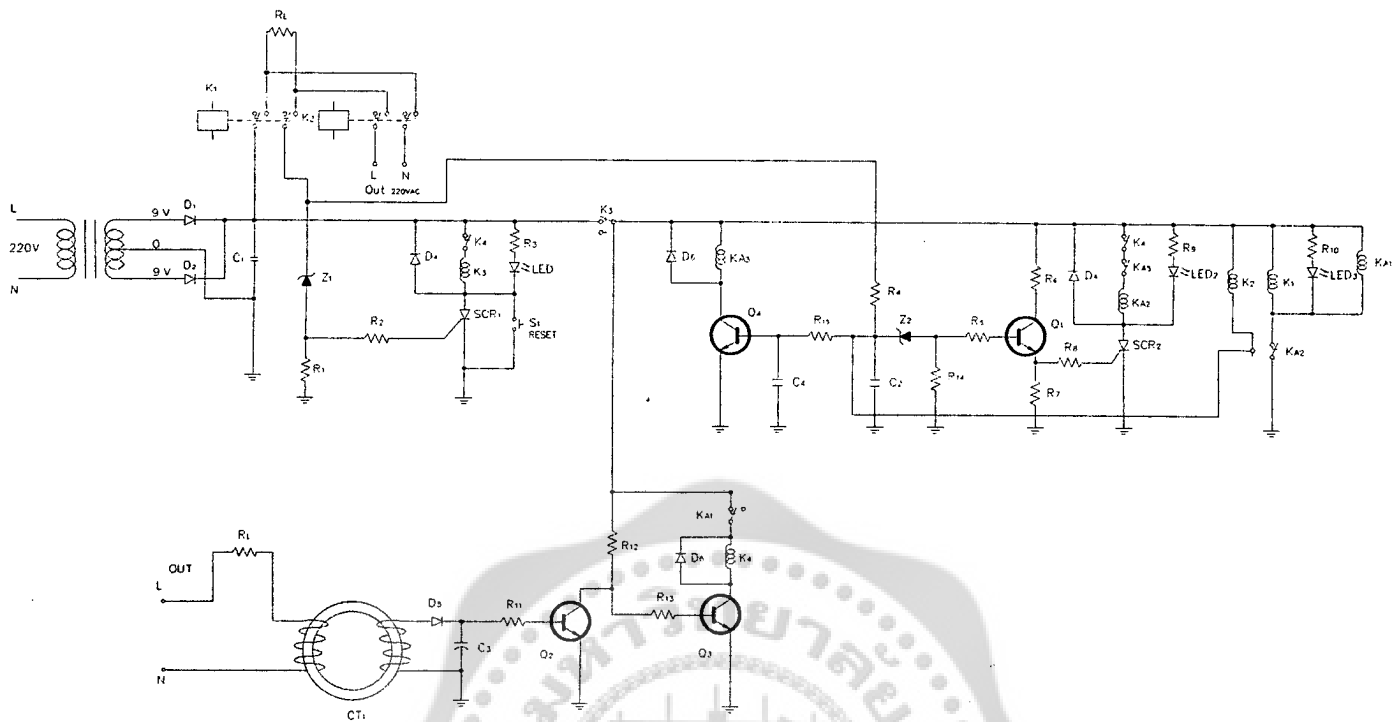
Secondary ใช้ลวด เบอร์ 26 พันจำนวน 500 รอบ

รายการวัสดุ อุปกรณ์ ประกอบด้วย

หม้อแปลงกระแส ขนาดกระแสเข้า 5 A. แรงดันออก 2 V.

- Q₂, Q₃ เบอร์ C458
- D₅, D₆ 1N 4001
- C₂ 22 μf 25 V.
- K₄ รีเลย์ 5 A. 12 VDC. 220 Ω
- R₁₀ 2 KΩ 0.5 Watt
- R₁₁ 200 Ω 0.5 Watt
- R₁₂ 5 KΩ 0.5 Watt

จากวงจรทั้ง 4 วงจรสามารถนำมาเขียนรวมเป็นวงจรไฟฟ้าสำหรับเต้ารับปลอดภัยได้ ดังภาพประกอบ 52



ภาพประกอบ 52 แสดงวงจรไฟฟ้าสำหรับเตารับปลดกัย

3. ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบวงจร

หลังจากออกแบบวงจรเรียบร้อยแล้ว นำไปให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเพื่อหาข้อบกพร่อง และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไข

4. จัดหาวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ ที่ใช้ในการออกแบบวงจรเตารับปลดกัย

การสร้างวงจรสำหรับเตารับปลดกัย เพื่อการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ใช้วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 วัสดุ อุปกรณ์ ได้แก่

4.1.1 ตัวต้านทาน ประกอบด้วย

ตัวต้านทาน ขนาด 0.5 วัตต์ ค่าผิดพลาด ร้อยละ 5

ค่าความต้านทาน 1 กิโลโอห์ม จำนวน 3 ตัว

ค่าความต้านทาน 5 กิโลโอห์ม จำนวน 5 ตัว

ค่าความต้านทาน 2 กิโลโอห์ม จำนวน 1 ตัว

ค่าความต้านทาน 40 กิโลโอห์ม จำนวน 1 ตัว

ค่าความต้านทาน 100 โอห์ม จำนวน 1 ตัว

ค่าความต้านทาน 200 โอห์ม จำนวน 1 ตัว

ค่าความต้านทาน 10 โอห์ม จำนวน 1 ตัว

- 4.1.2 ไดโอด ประกอบด้วย
 ไดโอด 1 แอมแปร์ 400 โวลท์ เบอร์ 1N 4001 จำนวน 6 ตัว
 LED 3 โวลท์ จำนวน 3 ตัว
 ซีเนอร์ไดโอด 11 โวลท์ 1 วัตต์ จำนวน 1 ตัว
 ซีเนอร์ไดโอด 3.1 โวลท์ 1 วัตต์ จำนวน 1 ตัว
- 4.1.3 ตัวเก็บประจุ ประกอบด้วย
 ค่าความจุ 330 ไมโครฟารัด 25 โวลท์ จำนวน 1 ตัว
 ค่าความจุ 22 ไมโครฟารัด 25 โวลท์ จำนวน 3 ตัว
- 4.1.4 ทรานซิสเตอร์ ประกอบด้วย
 C458 จำนวน 4 ตัว
- 4.1.5 เอส. ซี. อาร์. ประกอบด้วย
 SCR เทียบ ECG 5405 จำนวน 2 ตัว
- 4.1.6 รีเลย์ ประกอบด้วย
 รีเลย์ 12 VDC 5 แอมแปร์ จำนวน 1 ตัว
 รีเลย์ 12 VDC 1 แอมแปร์ จำนวน 4 ตัว
- 4.1.7 สวิตช์ Push Button จำนวน 1 ตัว
- 4.1.8 หม้อแปลงขนาด 220/9-0-9 โวลท์ 300 mA. จำนวน 1 ตัว
- 4.1.9 หม้อแปลงแปลงกระแส ขนาด ทนกระแส 5 แอมแปร์ แรงดันด้านออก 2 โวลท์
 จำนวน 1 ตัว
- 4.1.10 เต้ารับเนชั่นแนล 2 รูเสียบ 15 แอมแปร์ 220 โวลท์ จำนวน 1 ตัว
- 4.1.11 กล่องสำหรับใส่วงจร ขนาด กว้าง×ยาว×สูง 4×6×2 นิ้ว จำนวน 1 กล่อง
- 4.1.12 ปลั๊กตัวผู้ จำนวน 1 ตัว
- 4.1.13 สายไฟฟ้า ขนาด 0.5 sq.mm. ยาว 5 เมตร
 ขนาด 1 sq.mm. ยาว 2 เมตร
- 4.1.14 ตะกั่วบัดกรี ยาว 10 เมตร
- 4.1.15 แผ่นทองแดงสำหรับทำวงจร ขนาด 2×2 ฟุต
- 4.1.16 น้ำยากัดลายแผ่นพิมพ์วงจร
- 4.1.17 ฟิวส์ หลอด พร้อมฐานฟิวส์ ขนาด 5 แอมแปร์ จำนวน 1 ชุด
- 4.2 เครื่องมือ ประกอบด้วย
- 4.2.1 สว่านไฟฟ้า ชนิดมือถือ ขนาด หัวจับดอกสว่าน $\frac{3}{4}$ นิ้ว
- 4.2.2 ดอกสว่าน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ นิ้ว จำนวนละ 1 ดอก
- 4.2.3 สว่านเจาะแผ่นพิมพ์วงจร พร้อมดอกสว่าน
- 4.2.4 เลื่อยสำหรับตัดแผ่นพิมพ์วงจร 1 ตัว
- 4.2.5 ไขควงปากแบน 1 อัน
- 4.2.6 ไขควงปากแฉก 1 อัน
- 4.2.7 ตะไบแบน 1 นิ้ว จำนวน 1 อัน
- 4.2.8 หัวแร้งไฟฟ้า ขนาด 150 วัตต์ 1 ตัว

- 4.2.9 คีมปากตัด 1 ตัว
- 4.2.10 คีมลอกสายไฟฟ้า 1 ตัว
- 4.2.11 ตัวตุตตะกั่วบัดกรี 1 ตัว
- 4.2.12 มัลติมิเตอร์ 1 เครื่อง

5. กำหนดระยะเวลา และ สถานที่ ที่ใช้ในการสร้างวงจรเด้ารับปลอดภัย

ระยะเวลาในการสร้างวงจรเด้ารับปลอดภัย เริ่มตั้งแต่ 20 เมษายน พ.ศ. 2545 ถึงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2545 โดยใช้สถานที่ทดลอง คือ แผนกช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิค ฉะเชิงเทรา อ. เมือง จ. ฉะเชิงเทรา

6. สร้างวงจรเด้ารับปลอดภัยตามแบบที่ได้ออกแบบไว้

การสร้างวงจรเด้ารับปลอดภัยเพื่อการศึกษาครั้งนี้ ดำเนินการสร้างส่วนประกอบต่างๆ ของวงจรแล้วนำมาประกอบเข้าด้วยกัน โดยมีลำดับขั้นดังนี้

- 6.1 สั่งซื้อวัสดุ อุปกรณ์ จากร้าน วี เอ ซัพพลาย อ.เมือง จ.ฉะเชิงเทรา
- 6.2 จัดทำแผ่นพิมพ์วงจร โดยทำแผ่นพิมพ์วงจร ตรวจสอบความต้านทาน วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้า 220 โวลท์ และ วงจรตรวจสอบไฟฟ้ากระแสสลับ
- 6.3 ประกอบอุปกรณ์ ลงแผ่นพิมพ์วงจร และบัดกรีให้เรียบร้อย
- 6.4 เตรียมกล่องสำหรับบรรจุ โดยใช้กล่องเอนกประสงค์ มาทำการเจาะช่อง สำหรับใส่ฐานฟิวส์ ใส่เด้ารับเนชั่นแนล ใส่ LED และ สวิตช์ปุ่มกด
- 6.5 ประกอบอุปกรณ์ เช่น ชุดหม้อแปลง ชุดวงจรพร้อมอุปกรณ์อื่นๆ ลงกล่องที่เตรียมไว้
- 6.6 เชื่อมสาย เพื่อต่อโยงวงจร แต่ละชุดเข้าด้วยกันตามแบบลายวงจร ที่ออกแบบไว้
- 6.7 ทดลองการทำงานของเด้ารับปลอดภัย หาข้อบกพร่องเพื่อปรับปรุงแก้ไข

7. ทดสอบ ปรับปรุง และแก้ไขการทำงานของวงจรเด้ารับปลอดภัย

หลังจากที่ได้สร้างต้นแบบวงจรเด้ารับปลอดภัยขึ้นมาแล้ว ทำการทดสอบและแก้ไขข้อบกพร่องการทำงานของเด้ารับปลอดภัยเพื่อให้ทำงานได้ตามข้อกำหนด ก่อนที่จะส่งให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบและให้ข้อเสนอแนะ ซึ่งจะทดสอบวงจร 4 กรณีดังนี้

7.1 ทดสอบการทำงานของวงจร เมื่อต้องการให้เด้ารับปลอดภัยจ่ายแรงดันไฟฟ้าขณะอุปกรณ์ไฟฟ้า มีค่าความต้านทานระหว่าง 2.5-900 โอห์ม โดยใช้ค่าความต้านทานตั้งแต่ 0-10,000 โอห์ม (ตามตาราง 5) ต่อเข้ากับรูเสียบของเด้ารับปลอดภัย และใช้มัลติมิเตอร์วัดที่รูเสียบของเด้ารับปลอดภัย จะมีผลดังนี้

7.1.1 ถ้าเด้ารับปลอดภัยจ่ายแรงดันไฟฟ้า หลอด LED สีเขียวจะทำงาน มัลติมิเตอร์จะอ่านค่าแรงดันได้ 220 โวลท์

7.1.2 ถ้าเด้ารับปลอดภัยไม่จ่ายแรงดันไฟฟ้า หลอด LED สีแดงจะทำงานมัลติมิเตอร์จะอ่านค่าแรงดันได้ 0 โวลท์

7.2 ทดสอบการทำงานของวงจรขณะอุปกรณ์ไฟฟ้าลัดวงจร โดยนำเต้าเสียบต่อสายไฟฟ้าลัดวงจรไว้ แล้วเสียบเข้ากับรูเสียบของเด้ารับปลอดภัย ใช้มัลติมิเตอร์วัดจะไม่มีแรงดันไฟฟ้า

7.3 ทดสอบการทำงานในสภาวะเปิดวงจร โดยนำเต้าเสียบต่อสายไฟฟ้าเปิดวงจรไว้ แล้วเสียบที่รูเสียบของเต้ารับปลอดภัย ใช้มัลติมิเตอร์วัดที่ปลายสายทั้งสองเส้น จะไม่มีแรงดันไฟฟ้า

8. หาประสิทธิภาพและสมรรถนะการออกแบบวงจรสำหรับเต้ารับปลอดภัย

หลังจากได้สร้างเต้ารับปลอดภัยแล้ว ดำเนินการหาประสิทธิภาพและสมรรถนะ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

8.1 ออกแบบ แบบประเมินการหาประสิทธิภาพและสมรรถนะตามขั้นตอนดังนี้

8.1.1 ผู้วิจัยออกแบบ แบบประเมินการหาประสิทธิภาพและสมรรถนะ

8.1.2 ส่งแบบประเมินการหาประสิทธิภาพและสมรรถนะ ให้ประธาน และกรรมการควบคุม

ปริญญาพนธ์ ตรวจสอบเบื้องต้น

8.1.3 ติดต่อผู้เชี่ยวชาญ 3 คน เพื่อเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบประเมินการหาประสิทธิภาพและแบบประเมินสมรรถนะ (รายชื่อผู้เชี่ยวชาญอยู่ภาคผนวกหน้า 111)

8.1.4 ออกหนังสือจากบัณฑิตวิทยาลัยเชิญผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 คน

8.1.5 ให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบประเมินเพื่อปรับปรุงแก้ไข

8.1.6 ผู้เชี่ยวชาญให้คำแนะนำว่าการประเมินประสิทธิภาพ ควรให้ผู้เชี่ยวชาญเป็นคนประเมิน ผู้วิจัยไม่ควรประเมินเอง

8.1.7 ผู้เชี่ยวชาญได้ปรับแก้ไขข้อความ เพื่อให้ถูกต้องเหมาะสมยิ่งขึ้น

8.2 หาประสิทธิภาพและสมรรถนะเต้ารับปลอดภัย ตามรายละเอียดดังนี้คือ การหาประสิทธิภาพจะให้ผู้เชี่ยวชาญทำการทดสอบการทำงานของเต้ารับปลอดภัย โดยใช้ค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้า 3 ช่วง สภาวะของอุปกรณ์ไฟฟ้าได้แก่ สภาวะมีค่าความต้านทานต่ำ (0-2.5 โอห์ม) สภาวะมีค่าความต้านทานปกติ (2.5-900 โอห์ม) และสภาวะมีค่าความต้านทานสูง (901-10,00 โอห์ม) ต่อกับเต้ารับปลอดภัยแล้วตรวจวัดการทำงาน ในการแบ่งช่วงค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้าเป็น 3 ช่วง ใช้หลักการดังนี้คือ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองวัดค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้า ที่ใช้งานกับเต้ารับต่างๆ ไป (ตามตาราง 4)พบว่าค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีค่าความต้านทานน้อยที่สุดที่มีใช้งานคือ นินเจียร์ ขนาด 220 โวลต์ 570 วัตต์ มีค่าความต้านทาน 2.5 โอห์ม ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ออกแบบวงจรตรวจสอบค่าความต้านทาน ให้สามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีค่าความต้านทานตั้งแต่ 2.5 โอห์ม จนถึงค่าความต้านทานสูงสุดที่เต้ารับปลอดภัยจ่ายแรงดันคือ 900 โอห์ม การใช้ค่าความต้านทาน 900 โอห์ม ผู้วิจัยใช้หลักการตามทฤษฎี การคิดค่าความต้านทานของฉนวนหนึ่งคนในการใช้งานกับไฟฟ้า (ตาราง 3) ขณะฉนวนหนึ่งเปียกจะมีค่าความต้านทาน 1,000 โอห์ม แต่เพื่อให้เกิดความปลอดภัยมากขึ้น ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบให้เต้ารับปลอดภัยจ่ายแรงดันไฟฟ้าเมื่ออุปกรณ์ไฟฟ้ามีค่าความต้านทานมากที่สุด 900 โอห์ม โดยกำหนดให้ค่าความต้านทานตั้งแต่ 901-10,000 โอห์ม เป็นช่วงสภาวะเปิดวงจร และ ค่าความต้านทานตั้งแต่ 0-2.4 โอห์มเป็นช่วงสภาวะลัดวงจร และการหาสมรรถนะของเต้ารับปลอดภัย จะหา 2 ด้านคือ ด้านการใช้งานและด้านวงจรไฟฟ้า

8.2.1 ติดต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน เพื่อเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจหาประสิทธิภาพและสมรรถนะ ของเต้ารับปลอดภัย ดังมีรายชื่อที่ภาคผนวกหน้า 111

8.2.2 ออกหนังสือจากบัณฑิตวิทยาลัย เชิญผู้เชี่ยวชาญ 5 คน

8.2.3 นำหนังสือเชิญพร้อมกับแบบประเมินและตัวรับปลดภัย ไปมอบให้ผู้เชี่ยวชาญ เพื่อทำการประเมินหาประสิทธิภาพ และประเมินสมรรถนะตัวรับปลดภัย

8.2.4 นำข้อมูลที่ได้จากการประเมินมาวิเคราะห์ข้อมูล

9. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำแบบการประเมินผลการหาประสิทธิภาพมาสรุปผล และการหาสมรรถนะด้านการออกแบบวงจรไฟฟ้าและด้านการใช้งานของตัวรับปลดภัยทั้ง 2 ด้าน จากการทดสอบผู้เชี่ยวชาญ 5 คน นำมาคำนวณด้วยวิธีการทางสถิติ ดังนี้

9.1 นำคะแนนที่ได้มาคำนวณ

9.1.1 หาค่าเฉลี่ยเลขคณิต

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

เมื่อ $\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยของเลขคณิต
 $\sum X$ คือ ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด
 N คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่าง

9.1.2 หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$SD = \sqrt{\frac{N\sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N-1)}}$$

เมื่อ SD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง
 X คือ ข้อมูลแต่ละจำนวน
 N คือ จำนวนของกลุ่มตัวอย่าง

9.1.3 หาค่า t

$$\frac{\bar{X} - \mu}{s/\sqrt{n}}$$

t = $df = n - 1$
เมื่อ $\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง
 μ = ค่าเฉลี่ยของประชากร
 s = ส่วนเบี่ยงเบนของกลุ่มมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง
 n = จำนวนกลุ่มตัวอย่าง

9.2 กำหนดเกณฑ์การแปลความทางด้านสมรรถนะ ดังต่อไปนี้

คะแนน	แปลความ	
5	ดีมาก	= ผ่านเกณฑ์
4	ดี	= ผ่านเกณฑ์
3	พอใช้	= ไม่ผ่านเกณฑ์
2	ต้องปรับปรุง	= ไม่ผ่านเกณฑ์
1	ใช้ไม่ได้	= ไม่ผ่านเกณฑ์

9.3 กำหนดเกณฑ์ในการแปลความหมายข้อมูลที่เป็นค่าเฉลี่ยต่างๆ ดังนี้

คะแนนเฉลี่ยระหว่าง	แปลความ
4.51 – 5.00	ดีมาก
3.51 – 4.50	ดี
2.51 – 3.50	พอใช้
1.51 – 2.50	ต้องปรับปรุง
1.00 – 1.50	ใช้ไม่ได้

9.4 กำหนดเกณฑ์ในการแปลความทางด้านการหาประสิทธิภาพ ดังนี้

สภาวะของอุปกรณ์ไฟฟ้า	แปลความ
อุปกรณ์ไฟฟ้ามีค่าความต้านทานต่ำ (0-2.4 โอห์ม) ได้รับปลอดภัยไม่จ่ายแรงดันไฟฟ้า 220 โวลท์	ผ่าน
อุปกรณ์ไฟฟ้ามีค่าความต้านทานปกติ (2.5-900 โอห์ม) ได้รับปลอดภัยจ่ายแรงดันไฟฟ้า 220 โวลท์	ผ่าน
อุปกรณ์ไฟฟ้ามีค่าความต้านทานสูง (901-10,000 โอห์ม) ได้รับปลอดภัยไม่จ่ายแรงดันไฟฟ้า 220 โวลท์	ผ่าน

การนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล จัดกระทำ 4 แบบ ดังนี้

1. เสนอเป็นลักษณะการบรรยาย ประสิทธิภาพของตัวรับปลอดภัย โดยแปลความหมายจากตารางการหาประสิทธิภาพ ซึ่งประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน.
2. เสนอเป็นลักษณะการบรรยายเกี่ยวกับสมรรถนะทั้ง 2 ด้านคือ ด้านการใช้งานและด้านวงจรไฟฟ้าของตัวรับปลอดภัย โดยแปลความหมายจากตารางข้อมูล ที่ได้จากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน
3. ผู้เชี่ยวชาญที่จะประเมินสมรรถนะตัวรับปลอดภัยจำนวน 5 คน มีคุณสมบัติจบการศึกษาระดับปริญญาโท มีประสบการณ์ด้านการสอนสาขาไฟฟ้ากำลังหรืออิเล็กทรอนิกส์ไม่ต่ำกว่า 10 ปี
4. ส่วนข้อมูลจากคำถามปลายเปิดแสดงความคิดเห็นอิสระ ผู้วิจัยนำคำตอบและข้อเสนอแนะมารวบรวมเรียงลำดับเสนอเป็นข้อๆ จากข้อที่มีความถี่ของผู้ตอบมากที่สุดไปจนถึงน้อยที่สุดตามลำดับ

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งประกอบด้วยในขั้นตอนที่ 1 ได้ทำการศึกษา รายละเอียดที่ใช้ในการออกแบบวงจรสำหรับเตารับปลดก๊วย ที่ตอนที่ 2 ออกแบบวงจรและส่วนประกอบต่างๆ ของเตารับปลดก๊วย ขั้นตอนที่ 3 ให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบวงจร ขั้นตอนที่ 4 จัดหาวัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างเตารับปลดก๊วย ขั้นตอนที่ 5 กำหนดระยะเวลา และสถานที่ในการสร้างเตารับปลดก๊วย ขั้นตอนที่ 6 ทดสอบปรับปรุงวงจรสำหรับเตารับปลดก๊วย ขั้นตอนที่ 7 หาประสิทธิภาพและสมรรถนะของเตารับปลดก๊วย ขั้นตอนที่ 8 นำข้อมูลที่ได้จากการหาประสิทธิภาพและสมรรถนะมาวิเคราะห์ซึ่งได้ผลดังนี้

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของเตารับปลดก๊วย

การหาประสิทธิภาพเตารับปลดก๊วยโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน ทดสอบการทำงานของเตารับปลดก๊วย โดยใช้ค่าความต้านทานทดสอบกับเตารับปลดก๊วย 3 ช่วงสภาวะของอุปกรณ์ไฟฟ้า ดังสรุปผลในตาราง 5



ตาราง 5 การทดสอบหาประสิทธิภาพตัวรับปลดภัย

สภาวะของอุปกรณ์ไฟฟ้า	ค่าความต้านทาน (Ω)	ผู้เกี่ยวข้อง 5 คน ทดสอบการทำงานตัวรับปลดภัยจำนวน 10 ครั้ง
ช่วงสภาวะลัดวงจร รวมถึงอันตรายไฟสีแดงทำงาน	0	ผลการทดสอบตัวรับปลดภัยไม่ทำงาน คือไม่จ่ายแรงดันไฟฟ้า 220 โวลท์ ให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้ง 10 ครั้ง
	1	
	2	
	2.4	
	2.5	
ช่วงสภาวะปกติ สัญญาณไฟสีเขียวทำงาน	10	ผลการทดสอบตัวรับปลดภัยไม่ทำงาน คือจ่ายแรงดันไฟฟ้า 220 โวลท์ ให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้ง 10 ครั้ง
	100	
	500	
	900	
	901	
ช่วงสภาวะเปิดวงจร ไม่มีสัญญาณไฟ	1,000	ผลการทดสอบตัวรับปลดภัยไม่ทำงาน คือไม่จ่ายแรงดันไฟฟ้า 220 โวลท์ ให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้ง 10 ครั้ง
	5,000	
	10,000	

จากตาราง 5 แสดงผลการทดลองได้รับปลดก๊วยจะแบ่งเป็น 3 ช่วงคือ

ช่วงที่ 1 ใช้ค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้า ตั้งแต่ 0 - 2.4 โอห์ม โดยให้ผู้เชี่ยวชาญ 5 คนทำการทดลอง และประเมินประสิทธิภาพได้รับปลดก๊วย โดยทำการทดลองจำนวน 10 ครั้ง ผลปรากฏว่าได้รับปลดก๊วยไม่จ่ายแรงดันไฟฟ้า ทั้ง 10 ครั้ง

ช่วงที่ 2 ใช้ค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้า ตั้งแต่ 2.5 – 900 โอห์ม โดยให้ผู้เชี่ยวชาญ 5 คนทำการทดลอง และประเมินประสิทธิภาพได้รับปลดก๊วย โดยทำการทดลองจำนวน 10 ครั้ง ผลปรากฏว่าได้รับปลดก๊วยจ่ายแรงดันไฟฟ้า ทั้ง 10 ครั้ง

ช่วงที่ 3 ใช้ค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้า ตั้งแต่ 901 – 10,000 โอห์ม ผู้เชี่ยวชาญ 5 คนทำการทดลองและประเมินประสิทธิภาพได้รับปลดก๊วย โดยทำการทดลองจำนวน 10 ครั้ง ผลปรากฏว่าได้รับปลดก๊วยไม่จ่ายแรงดันไฟฟ้า ทั้ง 10 ครั้ง

การประเมินสมรรถนะโดยผู้เชี่ยวชาญ ของได้รับปลดก๊วย ทำการประเมิน 2 ด้านคือด้านการใช้งาน และด้านออกแบบวงจรไฟฟ้า ซึ่งมีรายละเอียดผลการประเมินทั้ง 2 ด้าน ดังต่อไปนี้

ตาราง 6 รายละเอียดสมรรถนะด้านการใช้งานและด้านวงจรไฟฟ้าของได้รับปลดก๊วย

รายละเอียดสมรรถนะ	$\bar{X}$	SD	แปลความ
ด้านการใช้งาน			
1. ขนาดและรูปร่างมีความเหมาะสม	4.80	0.45	ดีมาก
2. การติดตั้งใช้งาน	4.40	0.55	ดี
3. ความสะดวกในการใช้งาน	4.60	0.55	ดีมาก
4. มีความปลอดภัย	5.00	0.00	ดีมาก
5. การบำรุงรักษา	4.20	0.45	ดี
ค่าเฉลี่ยด้านการใช้งาน	4.60	0.40	ดีมาก
ด้านวงจรไฟฟ้า			
1. อุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มีความเหมาะสม	4.40	0.55	ดี
2. การจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ในแผ่นวงจร	4.80	0.45	ดีมาก
3. รอยต่อการบัดกรีอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์	5.00	0.00	ดีมาก
4. การเดินสายเชื่อมโยงอุปกรณ์	5.00	0.00	ดีมาก
5. ความเหมาะสมของวงจรในการใช้งาน	5.00	0.00	ดีมาก
เฉลี่ยด้านวงจรไฟฟ้า	4.84	0.20	ดีมาก
เฉลี่ยรวม	4.72	0.3	ดีมาก

จากตาราง 6 แสดงสมรรถนะด้านการใช้งาน และด้านวงจรไฟฟ้าของได้รับปลดก๊วย ตามรายละเอียดดังนี้

สมรรถนะด้านการใช้งาน ประกอบด้วยข้อ 1-5 โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินผลในภาพรวมว่า อยู่ในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ย 4.60 เมื่อพิจารณาในรายละเอียดพบว่า เติ้รรับปลอดภัยซึ่งมีความปลอดภัยอยู่ในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ยสูงสุด (5.00) รองลงมา คือ ขนาดและรูปร่างมีความเหมาะสม, ความสะดวกในการใช้งาน และการติดตั้งใช้งาน (4.80 ระดับดีมาก, 4.60 ระดับดีมาก และ 4.40 ระดับดี) การประเมินต่ำสุดคือ การบำรุงรักษา (4.20 ระดับดี)

สมรรถนะด้านวงจรไฟฟ้า ประกอบด้วยข้อ 1-5 โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินผลในภาพรวมว่าอยู่ในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ย 4.84 เมื่อพิจารณาในรายละเอียดพบว่า ด้านรอยต่อการบัดกรีอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์, การเดินสายเชื่อมโยงอุปกรณ์ และความเหมาะสมของวงจรในการใช้งาน อยู่ในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ยสูงสุด (5.00) รองลงมาคือ การจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ในแผ่นวงจร (4.80 ระดับดีมาก) ค่าต่ำสุดคือ อุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มีความเหมาะสม (4.40 ระดับดี)

ตาราง 7 แสดงผลการประเมินสมรรถนะเ้ได้รับปลอดภัย

รายละเอียดสมรรถนะ	$\bar{X}$	SD	t
1. ด้านการใช้งาน	4.60	0.40	3.37
2. ด้านวงจรไฟฟ้า	4.84	0.20	9.44

$H_0 = 4.00$

$C.V. = \pm 2.776$

$\alpha = 0.05$

จากตาราง 7 ค่า t ด้านการใช้งานมีค่า 3.37 และด้านวงจรไฟฟ้ามีค่า 9.49 ซึ่งมีค่ามากกว่า Critical Values (C.V.) คือ 2.776 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐาน

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญด้านการใช้งาน และวงจรไฟฟ้าของเ้ได้รับปลอดภัย จากคำถามปลายเปิด ผู้วิจัยได้รวบรวมความคิดเห็นและข้อเสนอแนะดังในตาราง 8

ตาราง 8 การจัดลำดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ 5 คนที่มีต่อ สมรรถนะของเ้ได้รับปลอดภัย

ลำดับความคิดเห็น	จำนวนผู้แสดงความคิดเห็น
1. ควรใช้คาปาซิเตอร์แบบแทนทาลัมแทนแบบ อิเล็กโตรไลต์ เพราะมีค่าความผิดพลาดน้อยกว่า	1
2. ควรส่งให้สถาบันทดสอบมาตรฐาน ทำการทดสอบอีกครั้ง เพื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป	1
3. สายสำหรับจ่ายไฟฟ้าเข้าวงจรควรเป็นสาย ชนิดทนความร้อนและมีขนาดใหญ่กว่า 0.5 sqmm.	1
4. อุปกรณ์ไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ควรใช้ชนิดที่มีค่าความผิดพลาดน้อย คือ 1 %	1

บทที่ 5

สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ

การวิจัยเพื่อออกแบบวงจรสำหรับเต้ารับปลอดภัย และทดสอบหาประสิทธิภาพและสมรรถนะ เต้ารับปลอดภัย โดยให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน เป็นผู้ประเมินประสิทธิภาพและประเมินสมรรถนะ มีรายละเอียดดังนี้

จุดมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบวงจรสำหรับเต้ารับปลอดภัย
2. เพื่อหาประสิทธิภาพของเต้ารับปลอดภัย
3. เพื่อหาสมรรถนะของเต้ารับปลอดภัย

ความสำคัญของการวิจัย

1. สามารถนำไปใช้ติดตั้งเพื่อป้องกันไฟฟ้าดูด ในกรณีที่ใช้นิ้วมือสัมผัสตัวนำที่รู้เสียบของเต้ารับปลอดภัย ก็จะไม่ได้รับอันตรายเพราะเต้ารับปลอดภัยจะไม่จ่ายแรงดันไฟฟ้า
2. สามารถนำไปใช้ตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าก่อนการใช้งานในสภาวะต่างๆ คือ
 - 2.1 สภาวะลัดวงจร
 - 2.2 สภาวะเปิดวงจร
 - 2.3 สภาวะปกติ

สมมติฐานของการวิจัย

เต้ารับปลอดภัยที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ และสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ดี

การดำเนินการวิจัย

- ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้แบ่งกระบวนการวิจัยออกเป็น 8 ขั้นตอน ดังนี้คือ
- ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาปัญหา ทำการศึกษารายละเอียดของอุปกรณ์ ส่วนประกอบและวิธีการออกแบบวงจรสำหรับเต้ารับปลอดภัย
- ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบวงจรและส่วนประกอบต่างๆ ของเต้ารับปลอดภัย
- ขั้นตอนที่ 3 ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบวงจรสำหรับเต้ารับปลอดภัย ก่อนที่จะทำการสร้าง
- ขั้นตอนที่ 4 จัดหาวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างวงจรสำหรับเต้ารับปลอดภัย
- ขั้นตอนที่ 5 กำหนดระยะเวลา สถานที่ ที่ใช้ในการออกแบบวงจรสำหรับเต้ารับปลอดภัย
- ขั้นตอนที่ 6 สร้างเต้ารับปลอดภัยตามแบบที่กำหนดไว้
- ขั้นตอนที่ 7 ทดสอบ ปรับปรุง และแก้ไข การทำงานของเต้ารับปลอดภัย

ขั้นตอนที่ 8 ทดลองและประเมินประสิทธิภาพ และสมรรถนะได้รับปลอดภัย โดยให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนไฟฟ้าหรืออิเล็กทรอนิกส์ 5 คน จบการศึกษาระดับปริญญาโท และมีประสบการณ์ในการสอนสาขาไฟฟ้ากำลังหรืออิเล็กทรอนิกส์ ไม่ต่ำกว่า 10 ปี ทดลองการทำงาน แล้วประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะได้รับปลอดภัย

การทดสอบประเมินหาประสิทธิภาพ

โดยการใช้ค่าความต้านทานต่อเข้ากับได้รับปลอดภัย 3 ช่วงค่าความต้านทาน ได้แก่ ช่วงค่าความต้านทานต่ำ คือมีค่าตั้งแต่ 0-2.4 โอห์ม ช่วงค่าความต้านทานใช้งาน คือมีค่าตั้งแต่ 2.5-900 โอห์ม และช่วงค่าความต้านทานสูง คือมีค่าตั้งแต่ 901-10,000 โอห์ม แล้วตรวจวัดการทำงานของได้รับปลอดภัย

การประเมินหาสมรรถนะ

1. สมรรถนะด้านการใช้งาน
2. สมรรถนะด้านวงจรไฟฟ้า

ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ออกแบบวงจรสำหรับได้รับปลอดภัย ทดลองการทำงานตามตารางการหาประสิทธิภาพ และสมรรถนะของได้รับปลอดภัย จากผลการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยได้นำผลการวิจัยมานำเสนอเป็นหัวข้อเพื่อให้สอดคล้องกับจุดมุ่งหมายของการวิจัยดังนี้

1. การออกแบบวงจรสำหรับได้รับปลอดภัย สามารถป้องกันไฟฟ้าดูดได้ ในกรณีที่ใช้นิ้วมือสัมผัสตัวนำที่รูเสียบของได้รับปลอดภัย และสามารถนำไปใช้ตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้า ก่อนการใช้งานในสภาวะลัดวงจรและสภาวะปกติเปิดวงจร

2. ประสิทธิภาพของได้รับปลอดภัย ทำการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 5 คน ทำการทดสอบประสิทธิภาพ โดยการทำการทดลองจำนวน 10 ครั้ง ผลปรากฏว่าผ่านการประเมินทั้ง 10 ครั้ง คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในการทดสอบหาประสิทธิภาพได้รับปลอดภัย จะใช้ค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้าทดลอง 3 ช่วง ดังผลการทดลองดังนี้

2.1 ช่วงสภาวะของอุปกรณ์ไฟฟ้า ที่มีค่าความต้านทานระหว่าง 0-2.4 โอห์ม ได้รับปลอดภัยจะไม่จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า เนื่องจากความต้านทานดังกล่าวมีค่าความต้านทาน เท่ากับค่าความต้านทานที่อยู่ในสภาวะลัดวงจร

2.2 ช่วงสภาวะของอุปกรณ์ไฟฟ้า ที่มีค่าความต้านทานระหว่าง 2.5-900 โอห์ม ได้รับปลอดภัยจะจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า เนื่องจากความต้านทานดังกล่าวมีค่าความต้านทาน เท่ากับค่าความต้านทานที่อยู่ในสภาวะปกติ

2.3 ช่วงสภาวะของอุปกรณ์ไฟฟ้า ที่มีค่าความต้านทานระหว่าง 901-10,000 โอห์ม ได้รับปลอดภัยจะไม่จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า เนื่องจากความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้ามีค่าสูง เทียบเท่ากับสภาวะเปิดวงจร

3. การทดสอบหาสมรรถนะของได้รับปลอดภัย โดยผู้เชี่ยวชาญด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 5 คน ทำการทดสอบและทดลองใช้ได้รับปลอดภัยที่ออกแบบและสร้างขึ้น และประเมินสมรรถนะ 2 ด้าน ดังผลการทดสอบดังนี้

3.1 สมรรถนะด้านการใช้งาน 5 ข้อ คือขนาดและรูปร่างมีความเหมาะสม การติดตั้งใช้งาน ความสะดวกในการใช้งาน มีความปลอดภัยและการบำรุงรักษา ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ย 4.60 มีค่า t เท่ากับ 3.37 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สอดคล้องกับสมมติฐาน

3.2 สมรรถนะด้านวงจรไฟฟ้า 5 ข้อ คืออุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มีความเหมาะสม การจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ในแผงวงจร รอยต่อการบัดกรีอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ การเดินสายเชื่อมโยงอุปกรณ์ และความเหมาะสมของวงจรในการใช้งาน ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ย 4.72 มีค่า t เท่ากับ 9.44 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สอดคล้องกับสมมติฐาน

อภิปรายผล

จากสมมติฐานการวิจัยที่ตั้งไว้คือ เติร์บิโนลดภัยที่ออกแบบและพัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพและสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ดี ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการวิจัยในบทที่ 4 คือ

ในด้านสมมติฐานการวิจัยเกี่ยวข้องกับการหาประสิทธิภาพ ซึ่งทำการทดสอบและประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ 5 คน ในการทดสอบการใช้ค่าความต้านทานกับเติร์บิโนลดภัย โดยทำการทดสอบช่วงละ 10 ครั้ง ผลปรากฏว่าเติร์บิโนลดภัยสามารถทำงานได้ ตามช่วงของอุปกรณ์ไฟฟ้า ผ่านทั้ง 10 ครั้ง ในการทดสอบของผู้เชี่ยวชาญ แต่ละคน ดังต่อไปนี้

ช่วงสภาวะของอุปกรณ์ไฟฟ้า มีค่าความต้านทานระหว่าง 0-2.4 โอห์ม เติร์บิโนลดภัยจะไม่จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า เนื่องจากค่าความต้านทานดังกล่าว มีค่าความต้านทานเท่ากับค่าความต้านทานที่อยู่ในสภาวะลัดวงจร เป็นเพราะวงจรออกแบบไว้สำหรับตรวจสอบค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีค่าต่ำกว่าสภาวะการทำงานซึ่งเป็นสภาวะลัดวงจร เมื่อนำอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีสภาพลัดวงจรมาใช้กับเติร์บิโนลดภัย ก็จะไม่มีความดันไฟฟ้าจ่ายออกมา โดยผู้วิจัยได้ใช้ซีเนอริไดโอดขนาด 11 โวลต์ มาออกแบบเป็นวงจรเช็คแรงดัน เมื่อค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้ามีค่าต่ำ แรงดันที่ไหลผ่านซีเนอริไดโอด จะมีค่ามากกว่า 11 โวลต์ ซึ่งมีค่ามากกว่าแรงดันซีเนอริ ทำให้มีแรงดันไปทริกขาเกตของเอส.ซี.อาร์.ให้ทำงาน และจะตัดวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ออก จึงไม่มีแรงดันไปจ่ายที่อุปกรณ์ไฟฟ้า

ช่วงสภาวะของอุปกรณ์ไฟฟ้า มีค่าความต้านทานระหว่าง 2.5-900 โอห์ม เติร์บิโนลดภัยจะจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า เนื่องจากค่าความต้านทานดังกล่าว มีค่าความต้านทานเท่ากับค่าความต้านทานเท่ากับค่าความต้านทานที่อยู่ในสภาวะปกติ เป็นเพราะวงจรออกแบบไว้สำหรับจ่ายแรงดันในสภาวะที่อุปกรณ์ไฟฟ้าปกติ จะเป็นการป้องกันการถูกไฟฟ้าช็อตจากการใช้เติร์บิโนลดภัย เนื่องจากค่าความต้านทานของคนขณะผิวหนังเปียกจะมีค่า 1,000 โอห์ม ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการปรับกระแสของทรานซิสเตอร์ (Q_1) ให้มีค่าความต้านทาน 9.5 กิโลโอห์ม และมีวงจรตรวจเช็คแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ โดยใช้หลักการเหนี่ยวนำของหม้อแปลงกระแส ขณะที่ไม่มีอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อกับเติร์บิโนลดภัย จะไม่จ่ายแรงดันไฟฟ้า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กังวาน เมืองแทน, นนทวัฒน์ นิพิชฌน์ และวุฒิชัย ไชยสิทธิ์ (2543) ได้สร้างเครื่องตรวจสอบเหรียญ โดยใช้หลักการของสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ อรรถนพ กิจวรเกียรติ และอิสราภรณ์ ธรรมานุวัฒน์ (2539) ได้สร้างเครื่องกัตลายวงจร โดยใช้ทรานซิสเตอร์มาประกอบเป็นวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์

ช่วงสภาวะของอุปกรณ์ไฟฟ้า มีค่าความต้านทานระหว่าง 901-10,000 โอห์ม เติร์บิโนลดภัยจะไม่จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า เนื่องจากมีค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้ามีค่าสูง เทียบเท่ากับสภาวะเปิดวงจร เป็นเพราะวงจรออกแบบไว้จะป้องกันไม่ให้งจรจ่ายแรงดันให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า ที่มีค่าความต้าน

ทานตั้งแต่ 901 โอห์มขึ้นไป ซึ่งเป็นสภาวะเปิดวงจร เป็นการป้องกันเมื่ออุปกรณ์ไฟฟ้าสายขาดหรือเปิดวงจร ได้รับปลอดภัยจะไม่จ่ายแรงดันออกมา เป็นไปตามกฎของโอห์ม (Ohm's Law) เมื่อค่าความต้านทานสูง แรงดันคงที่ จะมีกระแสไหลน้อยไม่เพียงพอที่จะทำให้ Q_1 ของวงจรจ่ายแรงดันทำงาน และทฤษฎีการใช้ซีเนอร์ไดโอดเป็นวงจรรักษาระดับแรงดัน เมื่อค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น จะมีแรงดันไม่มากพอที่จะไหลผ่านซีเนอร์ไดโอด (Z_2) ได้ จึงทำให้ทรานซิสเตอร์ (Q_4) ทำงานตัดวงจรไม่จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า ที่มีค่าความต้านทานมากกว่า 901 โอห์ม

ในด้านสมมติฐานการวิจัยคือได้รับปลอดภัยที่ออกแบบและพัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพและสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ดี ในการหาสมรรถนะ ซึ่งทำการทดลอง และประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน ในด้านสมรรถนะต่างๆ พบว่าสมรรถนะด้านการใช้งาน 5 ข้อ คือขนาดและรูปร่างมีความเหมาะสม การติดตั้งใช้งาน ความสะดวกในการใช้งาน มีความปลอดภัยและการบำรุงรักษา ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ย 4.60 มีค่า t เท่ากับ 3.37 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สอดคล้องกับสมมติฐาน

สมรรถนะด้านการใช้งานจากแบบประเมินจำนวน 5 ข้อ ผลการประเมินมีค่าเฉลี่ย 4.60 อยู่ในระดับดีมาก ซึ่งเมื่อพิจารณาด้านที่มีระดับการประเมินสูงสุดได้ค่าเฉลี่ย 5.00 อยู่ในระดับดีมาก คือ ด้านความปลอดภัย เนื่องจากหลักการการทำงานของวงจรสำหรับได้รับปลอดภัย จะมีวงจรป้องกันการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า คือเมื่อเสียบอุปกรณ์ไฟฟ้าเข้ากับตัวรับปลอดภัย วงจรตรวจสอบค่าความต้านทานโดยใช้ซีเนอร์ไดโอด (Z_1) ขนาด 11 โวลต์ เป็นตัวกำหนดค่าแรงดัน ขณะที่ค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้าน้อย จะมีแรงดันไหลผ่าน Z_1 มาก ทำให้วงจรตรวจสอบทำงานและตัดวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ออก แต่เมื่อค่าความต้านทานมากกว่า 901 โอห์ม วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ก็จะไม่ทำงาน เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่จะไปทริก Q_1 ไม่เพียงพอ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ยงยุทธ วิฑูรย์ศักดิ์ (2541) ได้ทำการออกแบบและสร้างชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ สามารถใช้งานได้สะดวกง่ายต่อการอ่านค่า ในข้อการบำรุงรักษาของตัวรับปลอดภัย มีผลการประเมินระดับต่ำสุด คือ 4.20 อยู่ในระดับระดับดี เนื่องจากตัวรับปลอดภัยเป็นวงจรทางด้านไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์ การทำงานมีความซับซ้อน เมื่อเกิดการชำรุดภายในวงจร ผู้ใช้งานทั่วไปไม่สามารถจะซ่อมบำรุงเองได้ ต้องอาศัยผู้ที่มีความรู้ทางด้านวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ตรวจสอบ ซึ่งขัดแย้งกับงานวิจัยของ ประสงค์ สิบชาติ (2545) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องตรวจสอบความเป็นฉนวนของเครื่องใช้ไฟฟ้า มีจุดซ่อมบำรุงรักษาน้อยและอุปกรณ์หาซื้อได้ง่าย

สมรรถนะด้านวงจรไฟฟ้า 5 ข้อ คืออุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มีความเหมาะสม การจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ในแผ่นวงจร รอยต่อการบัดกรีอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ การเดินสายเชื่อมโยงอุปกรณ์ และความเหมาะสมของวงจรในการใช้งาน ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ย 4.72 มีค่า t เท่ากับ 9.44 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สอดคล้องกับสมมติฐาน

สมรรถนะด้านวงจรไฟฟ้าจากแบบประเมินจำนวน 5 ข้อ ผลการประเมินมีค่าเฉลี่ย 4.72 อยู่ในระดับดีมาก เมื่อพิจารณาด้านที่มีระดับการประเมินสูงสุดได้ค่าเฉลี่ย 5.00 ระดับดีมาก คือ รอยต่อการบัดกรีอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ การเดินสายเชื่อมโยงอุปกรณ์ และความเหมาะสมของวงจรในการใช้งาน ผู้วิจัยได้ออกแบบวงจรสำหรับตัวรับปลอดภัย โดยนำหลักทฤษฎีของวงจรการใช้ซีเนอร์ไดโอดรักษาระดับแรงดัน (สுகนธ์ พุ่มศรี. 2544:22) มาออกแบบวงจรตรวจสอบค่าความต้านทาน ทฤษฎีการใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์ (นักทร วังนเทพินทร์. 2541:139) และวงจรตั้งเวลาอย่างง่าย (ยีน ภูววรรณ. 2534:39) มาออกแบบวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ใช้ทฤษฎีการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าของฟาราเดย์ (Faraday's Law) มาออกแบบวงจรตรวจสอบไฟฟ้ากระแสสลับ ทำให้ได้วงจรที่มีความเหมาะสมในการใช้

งาน ในหัวข้ออุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มีความเหมาะสม ผลการประเมินระดับต่ำสุด คือ 4.40 อยู่ในระดับดี ผู้เชี่ยวชาญให้ความเห็นว่า อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรมีค่าความผิดพลาดมาก ซึ่งจะมีผลกับความเที่ยงตรงของวงจร ควรใช้ชนิดที่มีค่าความผิดพลาด 1 % แทนชนิด 5 % จะทำให้การตัดต่อวงจรของทรานซิสเตอร์และเอส.ซี.อาร์. มีความละเอียดมากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้การวิจัยนี้สมบูรณ์ ผู้วิจัยจึงได้ เสนอแนะบางสิ่งบางอย่างเพื่อให้เกิดแนวคิดใหม่ๆ เกี่ยวกับงานวิจัยนี้ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอนาคตดังนี้

1. การพัฒนาตัวรับปลอดภัย ควรทำการปรับปรุงส่วนที่บกพร่องตามข้อเสนอแนะ จากผู้เชี่ยวชาญที่ให้ความคิดเห็นเสนอแนะ

1.1 คาปาซิเตอร์ ที่ใช้ในวงจรไฟฟ้าของตัวรับปลอดภัย ควรจะเปลี่ยนจากชนิด Electrolyte เป็นชนิด Tantalum จะทำให้การทำงานมีความเที่ยงตรงยิ่งขึ้น

1.2 สายที่ใช้สำหรับต่อรับแรงดันไฟฟ้าเข้าตัวรับปลอดภัยควรจะใช้สายที่ทนความร้อน และทนกระแสได้มากกว่านี้

1.3 อุปกรณ์ด้านอิเล็กทรอนิกส์ ควรใช้ชนิดที่มีค่าความผิดพลาด 1 % จากเดิมใช้ 5 % จะทำให้การทำงานของวงจรสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และมีอายุการใช้งานนานมากขึ้น

1.4 ในด้านการบำรุงรักษา เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้น กับวงจรสำหรับตัวรับปลอดภัย จะต้องมีการป้องกันวงจร เมื่ออุปกรณ์เกิดความผิดพลาด

1.5 ตัวรับปลอดภัยไม่สามารถป้องกันไฟฟ้ารั่ว และลัดวงจร ที่เกิดขึ้นภายหลังจากที่อุปกรณ์ทำงานไปแล้ว เหมาะกับการใช้งานที่ติดตั้งหลังจากผ่าน อุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้ารั่ว (Safety Cut) จะปลอดภัยมากขึ้น

1.6 เพื่อให้เกิดความปลอดภัยกับผู้ใช้ไฟฟ้า การไฟฟ้านครหลวงควรที่จะกำหนดมาตรฐานของการติดตั้งระบบไฟฟ้า ให้มีอุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟฟ้าดูด ซึ่งสามารถนำเอางานวิจัยนี้ไปติดตั้งใช้งานได้ ในสถานที่ ที่มีเด็กเล็กเพื่อความปลอดภัยของคนที่คุณรัก

1.7 ในสถานศึกษาในระดับมัธยมศึกษาควรจะมีการเรียนการสอน วงจรพื้นฐานด้านความปลอดภัย เพื่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจ ในการใช้ไฟฟ้า

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป ควรจะทำการศึกษาวงจรเพิ่มเติม เพื่อออกแบบวงจรให้สามารถควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าได้หลายจุด



บรรณานุกรม

- กั้ววาน เมืองแทน, นนทวัฒน์ นิพิชชนัน และวุฒิชัย ไชยสิทธิ์. (2543). *เครื่องตรวจสอบเหรียญ*. โครงการงาน วศ.บ. (วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.
- ฉลาด ศรีสวัสดิ์, จรุง ชูมณี และ นิพนธ์ สุวิทยากรณ์. (2540). *เครื่องตัดวงจรกระแสเกินและแรงดันตกด้วย ไมโครโปรเซสเซอร์*. โครงการงาน อส.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- ชวิน เป้าอารีย์. (2525). *ไฟฟ้าเบื้องต้น*. กรุงเทพฯ: วีระสัมพันธ์.
- ชัยมงคล คำสุข. (2543). *ระบบป้องกันและกำจัดฟ้าผ่าของ ทศท. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมไฟฟ้า)*. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- ชัยยุทธ ขวลิตนิธิกุล. (2532). *ความปลอดภัยในการทำงานสำหรับเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงาน เล่ม 1*. กรุงเทพฯ: เมฆาเพรส.
- ชูศักดิ์ เวชแพศย์. (2531). *การป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าและรังสีทางการแพทย์*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ทองศักดิ์ ปาสาบุตร. (2542). *แหล่งจ่ายพลังงานเครื่อง Electrical Discharge Machining*. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมไฟฟ้า). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- ทิวาเวทย์ ชาญวิระวัฒนา, รณชาติ เกตุจุมพล และ ศิริ เจนใจชื่น. (2539). *Unsymmetrical Voltage Relay*. โครงการงาน วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า). กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.
- นภัทร วัจนเทพินทร์. (2541). *อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สกายบุ๊กส์.
- นภัทร วัจนเทพินทร์ และ อร่ามศรี อาภาอดุล. (2540). *ไฟฟ้าเบื้องต้น*. กรุงเทพฯ: เจริญรุ่งเรืองการพิมพ์.
- นิตยา มหามล. (2544, 5 กุมภาพันธ์). "มหันตภัยเครื่องไฟฟ้า อีกสาเหตุร้ายรุ่มเรารัดที่ 1," *มติชน*.
หน้า 21.
- ประสงค์ สิบชาติ. (2545). *ออกแบบและสร้างเครื่องตรวจสอบความเป็นฉนวนของเครื่องใช้ไฟฟ้า*. วิทยานิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- ปราโมทย์ จูหาพร. (2534). "เครื่องป้องกันไฟฟ้าดูดจำเป็นแค่ไหนสำหรับบ้านคุณ," ใน *51 เรื่องน่ารู้เทคนิคไฟฟ้า*. หน้า 68-73. กรุงเทพฯ : เอ็มแอนด์อี.
- ปิยะ ตั้งพงษ์และโสภณ มีกุล. (2537). *บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์*. โครงการงาน วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า). กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.
- พัทธ์พงษ์ อภัยรัตน์ และ วงกฏ ขาดทอง. (2539). *ระบบสายดินเพื่อความปลอดภัยในการใช้ไฟฟ้า*. โครงการงาน วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า). กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.
- พจนานุกรมฉบับบัณฑิตยสถาน. ฉบับ พุทธศักราช 2525.
- ไมตรี วารุณจิรยากุล. (2527). *ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า เล่ม 3*. กรุงเทพฯ: กราฟิเคอาร์ท.

- ยงยุทธ วิทยุธีรศานต์. (2541). การออกแบบและสร้างชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์. ปริญญาโท กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- ยีน ภูววรรณ. (2534). ทฤษฎีการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- ยีน ภูววรรณ. (2538). ทฤษฎีและการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์ เล่ม 3. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- รัตน อุทัยผล. (2523). สวัสดิศึกษาในโรงงาน. กรุงเทพฯ : ภาคพัฒนาตำราและเอกสารวิชาการ กรมฝึกหัดครู.
- ลือชัย ทองนิล. (2542). การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานของการไฟฟ้า. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : ดวงกมลสมัย.
- วิมลวรรณ พรหมเชษฐ์. (2538). การออกแบบระบบกราวด์ของสถานีไฟฟ้าย่อยโดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมไฟฟ้า). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- วิเลิศ เจติยานุวัตร. (2538). หลักความปลอดภัยในการทำงาน. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- ศุภี บรรจงจิตร. (2534). "ระบบการต่อลงดินสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังฉุกเฉินและระบบไฟฟ้าสำรอง," ใน 51 เรื่องนำรู้เทคนิคไฟฟ้า. หน้า 53-58. กรุงเทพฯ : เอ็มแอนอี.
- สมคิด วิริยะประสิทธิ์ชัย และ สมบูรณ์ มาลานนท์. (ม.ป.ป.). ทฤษฎีและการออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงเส้น. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.
- สมคิด วิริยะประสิทธิ์ชัย, อรรถพล มณีโชติ และ ธนารัตน์ ภมรรัชตพงษ์. (2536). ความรู้เบื้องต้นทางอิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.
- สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2539). มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย. กรุงเทพฯ : สมาคมฯ.
- สุคนธ์ พุ่มศรี. (2544). วงจรอิเล็กทรอนิกส์ 1. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- สุรัช นาเจริญ. (2543, 10 มีนาคม). "ตู้ไฟฟ้ามีระดับความถี่วิทยุเด็กนักเรียนเป็นศพที่ 2," เดลินิวส์. หน้า 2.
- สุรัตน์ นันตะสุคนธ์. (2540). การป้องกันอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องใช้ทางไฟฟ้าในระบบแรงเคลื่อนต่ำ เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : ดวงกมลสมัย.
- สง สุธดานนท์, วัฒนา เชียงกุล และ พงษ์ศักดิ์ ศิวภัทรกำพล. (2536). ไฟฟ้าเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- โสภณ เสือพันธ์. (2540). ความปลอดภัยในงานอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์เอ็มพันธ์.
- สำนักงานปลัดสำนักนายกรัฐมนตรี. (2540). สถิติอุบัติเหตุ. กรุงเทพฯ : ฝ่ายข้อมูลและสารสนเทศ.
- อรรถพร กิจวรเกียรติ และอิสราภรณ์ ธรรมานุวัฒน์. (2539). เครื่องกีดขวางวงจร. โครงการ วศ.บ. (วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.
- Boylestad, Robert. and Louis, Nashelsky. (1992). *Electronic Devices and circuit theory*. 5 th ed. New Jersey : Prentice-hall.
- Davidson, G. & Lamb, L.C. (1989). *Electricity in the home*. Great Britain : hodder and stoughton.
- Neamen, Donald A. (1996). *Electronic Circuit analysis and Design*. Mc Graw-Hill.

Phillips. (1995). *ECG semiconductors Master replacement Guide*.

Rolain, Phillip J. & Kraus, Thomas E. (1979). *Exploring Electricity Electronics with the Electrical Team*. Canada : International thomson.

Sakis, Meliopoulos. and others. (1993). *An advance computer model for grounding system analysis*.
IEEE Trans on PWRD.

Thapar, B. and others. (1992). *Evaluation of ground resistance of a grounding grid of any shape*.
IEEE Trans on PWRD.

Van Valkenburgh, Nooger and Neville Inc. (1995). *Basic electricity*. New Yoke : John F. Rider
Publisher.







ภาคผนวก ก

**บันทึกผลการทดสอบหาประสิทธิภาพและหาสมรรถนะ
จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน**

คำชี้แจงสำหรับผู้เชี่ยวชาญ ในการประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะตัวรับปลอดภัย

1. การประเมินประสิทธิภาพตัวรับปลอดภัย มีขั้นตอนดังนี้
 - 1.1 ผู้เชี่ยวชาญทดลองการทำงาน ของวงจรตัวรับปลอดภัย
 - 1.2 ผู้เชี่ยวชาญประเมินผลการทดลอง ในแบบประเมินประสิทธิภาพตัวรับปลอดภัย
2. การประเมินสมรรถนะตัวรับปลอดภัย แบ่งออกเป็น 2 ตอนดังนี้
 - 2.1 ตอนที่ 1 ประเมินสมรรถนะตัวรับปลอดภัย ด้านการใช้งานและค่านววงจรไฟฟ้า
 - 2.1.1 ผู้เชี่ยวชาญทดลองการทำงาน ทดลองใช้งาน ตรวจสอบเช็ควงจรไฟฟ้า ตรวจสอบเช็คแผงวงจรไฟฟ้า การบัดกรีอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ของตัวรับปลอดภัย
 - 2.1.2 ผู้เชี่ยวชาญประเมินผล ในแบบประเมินสมรรถนะตัวรับปลอดภัย
 - 2.2 ตอนที่ 2 ผู้เชี่ยวชาญให้ความคิดเห็น และข้อเสนอแนะ ด้านการใช้งาน ค่านววงจรไฟฟ้า และด้านอื่นๆ ของตัวรับปลอดภัย



แบบประเมินประสิทธิภาพเข้ารับปลอดภัย

คำชี้แจง : ข้อแนะนำในการประเมินประสิทธิภาพเข้ารับปลอดภัย

1. การประเมินประสิทธิภาพเข้ารับปลอดภัย ประเมินโดยการทดสอบการทำงานของเข้ารับปลอดภัย โดยใช้ค่าความต้านทานที่มีค่าระหว่าง 0-10,000 โอห์ม ต่อเข้าที่รูเสียบของเข้ารับปลอดภัย ซึ่งจะตัดคอยล์รีเลย์ที่จ่ายแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ออก เนื่องจากค่าความต้านทานที่นำมาทดสอบไม่สามารถทนแรงดัน 220 โวลต์ได้

2. การตรวจสอบเข้ารับปลอดภัย จ่ายหรือไม่จ่ายแรงดันไฟฟ้า สังเกตจากหลอดไฟสัญญาณดังนี้

2.1 เมื่อค่าความต้านทานที่มีค่า 0-2.4 โอห์ม ต่อเข้ากับเข้ารับปลอดภัยจะมีหลอดสัญญาณไฟสีแดง แสดงว่าเข้ารับปลอดภัยไม่จ่ายแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ให้ขีดเครื่องหมาย ✓ (ถูก) ในช่องผ่าน ถ้ามีสัญญาณไฟสีเขียวหรือไม่มีสัญญาณไฟขึ้น ให้ขีดเครื่องหมาย ✓ (ถูก) ในช่องที่ไม่ผ่าน

2.2 เมื่อค่าความต้านทานที่มีค่า 2.5-900 โอห์ม ต่อเข้ากับเข้ารับปลอดภัยจะมีหลอดสัญญาณไฟสีเขียว แสดงว่าเข้ารับปลอดภัยจ่ายแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ให้ขีดเครื่องหมาย ✓ (ถูก) ในช่องผ่าน ถ้ามีสัญญาณไฟสีแดงหรือไม่มีสัญญาณไฟขึ้น ให้ขีดเครื่องหมาย ✓ (ถูก) ในช่องที่ไม่ผ่าน

2.3 เมื่อค่าความต้านทานที่มีค่า 901-10,000 โอห์ม ต่อเข้ากับเข้ารับปลอดภัยจะไม่มีหลอดสัญญาณไฟติด แสดงว่าเข้ารับปลอดภัยไม่จ่ายแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ให้ขีดเครื่องหมาย ✓ (ถูก) ในช่องผ่าน ถ้ามีสัญญาณไฟสีเขียวหรือสีแดงขึ้น ให้ขีดเครื่องหมาย ✓ (ถูก) ในช่องที่ไม่ผ่าน

3. การทดสอบค่าความต้านทานแต่ละค่า จะทดสอบจำนวน 10 ครั้ง

เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพเข้ารับปลอดภัย กำหนดไว้จะต้องผ่านการทดสอบ 100 % เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานเกี่ยวกับความปลอดภัยชีวิตคน จะมีความผิดพลาดไม่ได้

ตารางการทดสอบหาประสิทธิภาพตัวรับปลดภัย

ค่า ความต้านทาน (Ω)		จำนวนครั้งที่ทดสอบ											
		1		2		3		4		5		6	
		ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
ช่วงสภาวะลัดวงจร, หัวลงดิน สัญญาณไฟสี แดงทำงาน	0												
	1												
	2												
	2.4												
ช่วงสภาวะปกติสัญญาณไฟสีเขียว ทำงาน	2.5												
	10												
	100												
	500												
	900												
ช่วงสภาวะเปิดวงจรไม่มีสัญญาณไฟ	901												
	1,000												
	5,000												
	10,000												

ผู้เชี่ยวชาญ.....

(.....)

ตำแหน่ง.....

ประเมินเมื่อวันที่.....เดือน.....พ.ศ.... 91

ตอนที่ 1

แบบประเมินสมรรถนะเข้ารับปลดก๊วย

คำชี้แจง : ข้อนำในการประเมินสมรรถนะเข้ารับปลดก๊วย

1. แบบประเมินสมรรถนะในตอนต้นที่ 1 เป็นการประเมินสมรรถนะเข้ารับปลดก๊วย 2 ด้านคือ
 - 1.1 ด้านวงจรไฟฟ้าของเข้ารับปลดก๊วย มีทั้งหมด 5 ข้อ
 - 1.2 ด้านการใช้งาน มีทั้งหมด 5 ข้อ
2. โปรดอ่านข้อความและทำเครื่องหมาย ✓ (ถูก) ลงในช่องว่างทางขวามือซึ่งเป็นมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ตามการประเมินของท่าน หลังจากได้ตรวจสอบวงจรไฟฟ้าและทดลองใช้เข้ารับปลดก๊วย โดยมีค่าระดับคะแนนกำหนดไว้ดังนี้
 - 5 หมายถึง ผลการประเมินในระดับดีมาก
 - 4 หมายถึง ผลการประเมินในระดับดี
 - 3 หมายถึง ผลการประเมินในระดับพอใช้
 - 2 หมายถึง ผลการประเมินในระดับควรปรับปรุง
 - 3 หมายถึง ผลการประเมินในระดับใช้ไม่ได้



ตอนที่ 1 แบบประเมินสมรรถนะตัวรับปลอดภัย

ข้อที่	รายละเอียด	ระดับการประเมิน				
		ดีมาก (5)	ดี (4)	พอใช้ (3)	ควรปรับปรุง (2)	ใช้ไม่ได้ (1)
	<u>ด้านการใช้งาน</u>					
1	ขนาดและรูปร่างมีความเหมาะสม					
2	การติดตั้งใช้งาน					
3	ความสะดวกในการใช้					
4	มีความปลอดภัย					
5	การบำรุงรักษา					
	<u>ด้านวงจรไฟฟ้า</u>					
1	อุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มีความเหมาะสม					
2	การจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ในแผงวงจร					
3	รอยต่อการบัดกรีอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์					
4	การเดินสายเชื่อมโยงอุปกรณ์					
5	ความเหมาะสมของวงจรในการใช้งาน					

ผู้เชี่ยวชาญ
(.....)

ตำแหน่ง

ประเมินเมื่อวันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ตอนที่ 2 ความคิดเห็น และข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

- 1. ด้านการใช้งาน
.....
.....
- 2. ด้านวงจรไฟฟ้า
.....
.....
- 3. อื่นๆ
.....
.....



ตารางการทดสอบหาประสิทธิภาพที่ได้รับปลดภัย

ค่า ความต้านทาน (Ω)	จำนวนครั้งที่ทดสอบ									
	1		2		3		4		5	
	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
ช่วงสภาวะลัด	✓		✓		✓		✓		✓	
วงจรรั่วลงดิน	✓		✓		✓		✓		✓	
สัญญาณไฟสี	✓		✓		✓		✓		✓	
แดงทำงาน	✓		✓		✓		✓		✓	
ช่วงสภาวะ	✓		✓		✓		✓		✓	
ปกติสัญญาณ	✓		✓		✓		✓		✓	
ไฟสีเขียว	✓		✓		✓		✓		✓	
ทำงาน	✓		✓		✓		✓		✓	
ช่วงสภาวะ	✓		✓		✓		✓		✓	
เปิดวงจรไม่มี	✓		✓		✓		✓		✓	
สัญญาณไฟ	✓		✓		✓		✓		✓	
10,000	✓		✓		✓		✓		✓	

ผู้เชี่ยวชาญ.....
 (ศาสตราจารย์.....ศาสตราจารย์.....)
 ตำแหน่ง.....
 ประเมินเมื่อวันที่ 18 เดือน.....พ.ศ. 2545

ตอนที่ 1 แบบประเมินสมรรถนะเข้ารับปลอดภัย

ข้อที่	รายละเอียด	ระดับการประเมิน				
		ดีมาก (5)	ดี (4)	พอใช้ (3)	ควรปรับปรุง (2)	ใช้ไม่ได้ (1)
	<u>ด้านการใช้งาน</u>					
1	ขนาดและรูปร่างมีความเหมาะสม	✓				
2	การติดตั้งใช้งาน		✓			
3	ความสะดวกในการใช้		✓			
4	มีความปลอดภัย	✓				
5	การบำรุงรักษา		✓			
	<u>ด้านวงจรไฟฟ้า</u>					
1	อุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มีความเหมาะสม		✓			
2	การจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ในแผงวงจร		✓			
3	รอยต่อการบัดกรีอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์	✓				
4	การเดินสายเชื่อมโยงอุปกรณ์	✓				
5	ความเหมาะสมของวงจรในการใช้งาน	✓				

ผู้เชี่ยวชาญ 
 (นายวิชัย ชัยกุลกุล)
 ตำแหน่ง วิศวกร 3 ระดับ 9

ประเมินเมื่อวันที่ 18 เดือน กันยายน พ.ศ. 2545

ตารางการทดสอบหาประสิทธิภาพตัวรับลอยภัย

สภาวะอุปกรณ์ไฟฟ้า	ค่าความต้านทาน (Ω)	จำนวนครั้งที่ทดสอบ									
		1		2		3		4		5	
		ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
ช่วงสภาวะลัดวงจร, รั่วลงดิน	0	✓		✓		✓		✓		✓	
	1	✓		✓		✓		✓		✓	
	2	✓		✓		✓		✓		✓	
	2.4	✓		✓		✓		✓		✓	
ช่วงสภาวะปกติสัญญาณไฟสีเขียวทำงาน	2.5	✓		✓		✓		✓		✓	
	10	✓		✓		✓		✓		✓	
	100	✓		✓		✓		✓		✓	
	500	✓		✓		✓		✓		✓	
	900	✓		✓		✓		✓		✓	
ช่วงสภาวะเปิดวงจรไม่มีสัญญาณไฟ	901	✓		✓		✓		✓		✓	
	1,000	✓		✓		✓		✓		✓	
	5,000	✓		✓		✓		✓		✓	
	10,000	✓		✓		✓		✓		✓	

ผู้เชี่ยวชาญ.....
 (.....)
 ตำแหน่ง วิศวกรไฟฟ้า
 ประเมินเมื่อวันที่ 18 เดือน 9 พ.ศ. 45 97

ตอนที่ 1 แบบประเมินสมรรถนะเข้ารับพลอคภัย

ข้อที่	รายละเอียด	ระดับการประเมิน				
		ดีมาก (5)	ดี (4)	พอใช้ (3)	ควร ปรับปรุง (2)	ใช้ ไม่ได้ (1)
	<u>ด้านการใช้งาน</u>					
1	ขนาดและรูปร่างมีความเหมาะสม		/			
2	การติดตั้งใช้งาน		/			
3	ความสะดวกในการใช้	/				
4	มีความปลอดภัย	/				
5	การบำรุงรักษา		/			
	<u>ด้านวงจรไฟฟ้า</u>					
1	อุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มีความเหมาะสม		/			
2	การจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ในแผ่นวงจร	/				
3	รอยต่อการบัดกรีอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์	/				
4	การเดินสายเชื่อมโยงอุปกรณ์	/				
5	ความเหมาะสมของวงจรในการใช้งาน	/				

ผู้เชี่ยวชาญ

(นายสมชาย อดิษฐ์)

ตำแหน่ง 14. ภาควิชาคอมพิวเตอร์

ประเมินเมื่อวันที่ 18 เดือน 7 พ.ศ. 45

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

1. ด้านการใช้งาน

.....

.....

2. ด้านวงจรไฟฟ้า ใช้ตัวต้านทาน 100 โอห์ม 1 ตัว และตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม 1 ตัว และใช้ตัวต้านทาน 100 โอห์ม 1 ตัว และตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม 1 ตัว

.....

3. อื่นๆ

.....

.....



ตารางการทดสอบหาประสิทธิภาพตัวรับปล่อยภัย

สถานะอุปกรณ์ไฟฟ้า	ค่าความต้านทาน (Ω)	จำนวนครั้งที่ทดสอบ									
		1		2		3		4		5	
		ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
ช่วงสภาวะลัดวงจร, รั่วลงดิน สัญญาณไฟสีแดงทำงาน	0	✓		✓		✓		✓		✓	
	1	✓		✓		✓		✓		✓	
	2	✓		✓		✓		✓		✓	
	2.4	✓		✓		✓		✓		✓	
ช่วงสภาวะปกติสัญญาณไฟสีเขียวทำงาน	2.5	✓		✓		✓		✓		✓	
	10	✓		✓		✓		✓		✓	
	100	✓		✓		✓		✓		✓	
	500	✓		✓		✓		✓		✓	
	900	✓		✓		✓		✓		✓	
ช่วงสภาวะเบ็ดเสร็จไม่มีสัญญาณไฟ	901	✓		✓		✓		✓		✓	
	1,000	✓		✓		✓		✓		✓	
	5,000	✓		✓		✓		✓		✓	
	10,000	✓		✓		✓		✓		✓	

ผู้ตรวจราชการ
(นายวิชาญ สอนานา)
ตำแหน่ง อธิการบดี 2 ธันวาคม 7
ประเมินเมื่อวันที่ 19 เดือน กย พ.ศ. 45

ตอนที่ 1 แบบประเมินสมรรถนะตำรวจพลตัก

ข้อที่	รายละเอียด	ระดับการประเมิน				
		ดีมาก (5)	ดี (4)	พอใช้ (3)	ควรปรับปรุง (2)	ใช้ไม่ได้ (1)
	<u>ด้านการใช้งาน</u>					
1	ขนาดและรูปร่างมีความเหมาะสม	✓				
2	การติดตั้งใช้งาน		✓			
3	ความสะดวกในการใช้	✓				
4	มีความปลอดภัย	✓				
5	การบำรุงรักษา		✓			
	<u>ด้านวงจรไฟฟ้า</u>					
1	อุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มีความเหมาะสม	✓				
2	การจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ในแผงวงจร	✓				
3	รอยต่อการบัดกรีอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์	✓				
4	การเดินสายเชื่อมโยงอุปกรณ์	✓				
5	ความเหมาะสมของวงจรในการใช้งาน	✓				

ผู้เชี่ยวชาญ

(นายจรูญ สิริภานุ)

ตำแหน่ง ๐.ตำรวจ 2 ระดับ 7

ประเมินเมื่อวันที่ ๑๐ เดือน กย พ.ศ. ๕๕

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

1. ด้านการใช้งาน ... การปรับเปลี่ยนให้สอดคล้องกับแบบ
ปลั๊กไฟ ที่ใช้ในไทย.

2. ด้านวงจรไฟฟ้า ... Capacitor เป็น tantalum
แทน Electrolyte เพื่อให้กระพือแรง
ชั๊ว (C₂)

3. อื่นๆ ... การแก้ไขให้สามารถทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์
ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ของ สอ. เพื่อผลิตภัณฑ์
ต่อไป



ตอนที่ 1 แบบประเมินสมรรถนะตำรวจพลอดภัย

ข้อที่	รายละเอียด	ระดับการประเมิน				
		ดีมาก (5)	ดี (4)	พอใช้ (3)	ควรปรับปรุง (2)	ใช้ไม่ได้ (1)
	<u>ด้านการใช้งาน</u>					
1	ขนาดและรูปร่างมีความเหมาะสม	✓				
2	การติดตั้งใช้งาน	✓				
3	ความสะดวกในการใช้	✓				
4	มีความปลอดภัย	✓				
5	การบำรุงรักษา		✓			
	<u>ค่านางจรไฟฟ้า</u>					
1	อุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มีความเหมาะสม		✓			
2	การจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ในแผงวงจร	✓				
3	รอยต่อการบัดกรีอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์	✓				
4	การเดินสายเชื่อมโยงอุปกรณ์	✓				
5	ความเหมาะสมของวงจรในการใช้งาน	✓				

ผู้เชี่ยวชาญ

(นาย/นางสาว) จิตกร ใจ

ตำแหน่ง ๐๗๐๕๔ ระดับ ๗

ประเมินเมื่อวันที่ 16 เดือน กันยายน พ.ศ. ๒๕๔๕

ตารางการทดสอบหาประสิทธิภาพตัวรับลดภัย

สภาวะอุปกรณ์ไฟฟ้า	ค่าความต้านทาน (Ω)	จำนวนครั้งที่ทดสอบ									
		1		2		3		4		5	
		ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
ช่วงสภาวะลัดวงจร, รั่วลงดิน	0	✓		✓		✓		✓		✓	
	1	✓		✓		✓		✓		✓	
	2	✓		✓		✓		✓		✓	
	2.4	✓		✓		✓		✓		✓	
ช่วงสภาวะปกติสัญญาณไฟสีเขียวทำงาน	2.5	✓		✓		✓		✓		✓	
	10	✓		✓		✓		✓		✓	
	100	✓		✓		✓		✓		✓	
	500	✓		✓		✓		✓		✓	
	900	✓		✓		✓		✓		✓	
ช่วงสภาวะเปิดวงจรไม่มีสัญญาณไฟ	901	✓		✓		✓		✓		✓	
	1,000	✓		✓		✓		✓		✓	
	5,000	✓		✓		✓		✓		✓	
	10,000	✓		✓		✓		✓		✓	

ผู้เขียนรายงาน.....

(.....)

ตำแหน่ง.....

ประเมินเมื่อวันที่ 16 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 45

ตอนที่ 1 แบบประเมินสมรรถนะตัวรับปลอดภัย

ข้อที่	รายละเอียด	ระดับการประเมิน				
		ดีมาก (5)	ดี (4)	พอใช้ (3)	ควรปรับปรุง (2)	ใช้ไม่ได้ (1)
	<u>ด้านการใช้งาน</u>					
1	ขนาดและรูปร่างมีความเหมาะสม	✓				
2	การติดตั้งใช้งาน	✓				
3	ความสะดวกในการใช้		✓			
4	มีความปลอดภัย	✓				
5	การบำรุงรักษา	✓				
	<u>ด้านวงจรไฟฟ้า</u>					
1	อุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มีความเหมาะสม	✓				
2	การจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ในแผงวงจร	✓				
3	รอยต่อการบัดกรีอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์	✓				
4	การเดินสายเชื่อมโยงอุปกรณ์	✓				
5	ความเหมาะสมของวงจรในการใช้งาน	✓				

ผู้เชี่ยวชาญ *ฉน*
(นายสมศักดิ์ สุข)

ตำแหน่ง 0.3 ระดับ 8

ประเมินเมื่อวันที่ ๓๕ เดือน ๗ พ.ศ. ๕๕



ภาคผนวก ข

คู่มือการใช้งานตัวรับปลดภัย



คำนำ

เต้ารับปลอดภัยสร้างขึ้นสำหรับใช้งานเพื่อ เป็นอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าช็อต ในกรณีที่ใช้นิ้วมือสัมผัสตัวนำที่รูเสียบของเต้ารับปลอดภัยและใช้ตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าก่อนการใช้งาน เช่น สภาวะลัดวงจร เบ็ดวงจร และรั่วลงดิน เมื่อใช้อุปกรณ์ไฟฟ้ากับเต้ารับปลอดภัย ผู้ใช้จะได้รับความปลอดภัยมากขึ้น เพื่อความปลอดภัยและยืดอายุการใช้งานของเต้ารับปลอดภัย จึงได้จัดทำคู่มือการใช้งานขึ้นมาซึ่งเนื้อหาประกอบด้วย คำเตือนก่อนการใช้งาน ข้อมูลเฉพาะ ส่วนประกอบของเต้ารับปลอดภัยและวิธีการใช้งาน

หวังว่าคู่มือการใช้งานเต้ารับปลอดภัย จะช่วยให้ผู้อ่านสามารถใช้เต้ารับปลอดภัยได้ดียิ่งขึ้น

ณัฏพล ญลุทอง



สารบัญ

เนื้อหา	หน้า
คำเตือนก่อนการใช้งาน	105
ข้อมูลเฉพาะ	105
ส่วนประกอบที่ได้รับปลอดภัย	106
วิธีการใช้งานที่ได้รับปลอดภัย	109



คำเตือนก่อนการใช้งาน

1. เพื่อป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าลัดวงจรและเกิดความเสียหายกับวงจรภายใน ไม่ควรติดตั้งตัวรับปลดภัยในตำแหน่งที่เปียกชื้น หรือมีฝนสาดถึง
2. วงจรของตัวรับปลดภัยเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ในการใช้งานควรระวังการกระแทกหรือหล่นลงพื้นและสถานที่ที่มีความร้อนสูง เพราะจะทำให้วงจรเกิดความเสียหาย
3. ตัวรับปลดภัยใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้าเท่านั้น ไม่ควรนำตัวต้านทาน (resistor) ต่อเข้ากับตัวรับปลดภัย เพราะตัวรับปลดภัยจะจ่ายแรงดันไฟฟ้า 220 โวลท์ ซึ่งก็จะเกิดการลัดวงจร (short circuit)

ข้อมูลเฉพาะ

1. ตัวรับปลดภัยมีขนาด กว้าง 10.50 ยาว 15 สูง 6 เซนติเมตร
2. ใช้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลท์ 50 เฮิร์ตซ์
3. ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีขนาดกระแสไฟฟ้าไม่เกิน 5 แอมแปร์

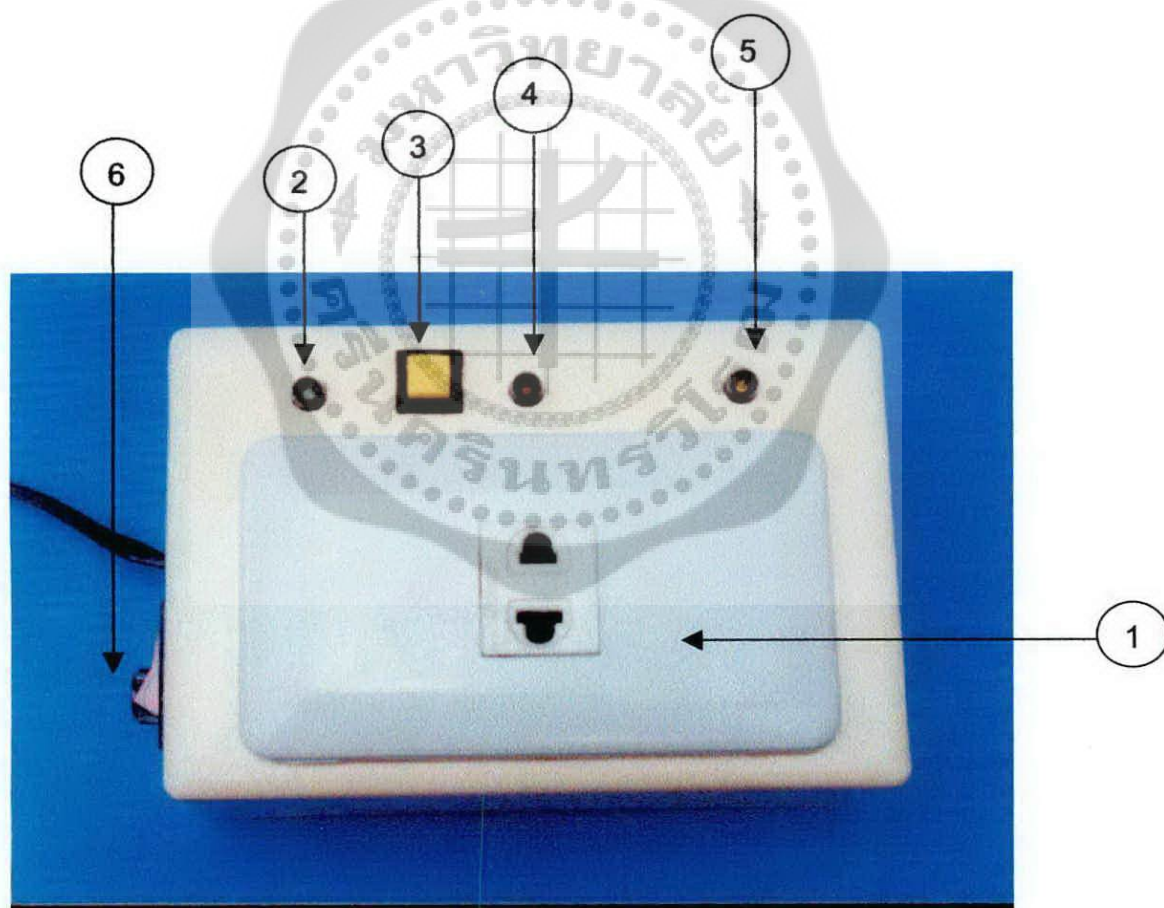


ส่วนประกอบและขนาดตัวรับปลดภัย

ส่วนประกอบของตัวรับปลดภัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนประกอบภายนอกและส่วนประกอบภายใน ดังนี้

ส่วนประกอบภายนอก

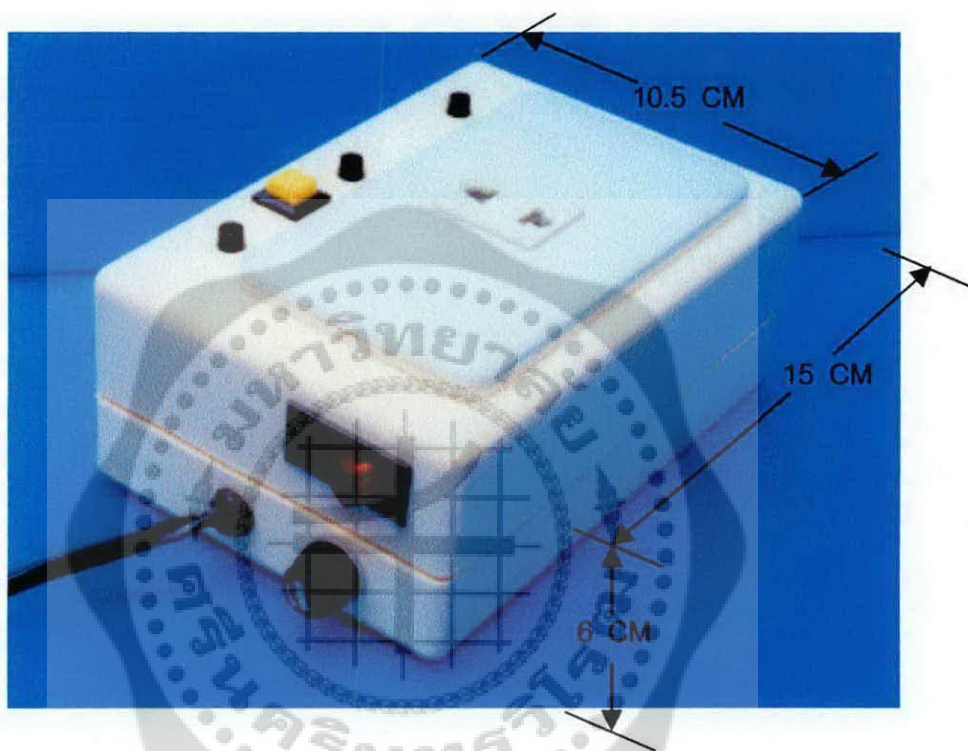
- ① ตัวรับสำหรับเสียบอุปกรณ์ไฟฟ้า
- ② หลอด LED สีเขียว แสดงการจ่ายแรงดัน 220 โวลต์ ให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า
- ③ สวิตช์รีเซตหลังจากทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้า
- ④ หลอด LED สีแดงแสดงว่าอุปกรณ์มีความผิดปกติ
- ⑤ หลอด LED สีเหลือง แสดงตัวรับมีแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ พร้อมใช้งาน
- ⑥ สวิตช์สำหรับเปิด - ปิดไฟฟ้าที่จ่ายให้กับตัวรับปลดภัย



ภาพประกอบ 53 แสดงส่วนประกอบภายนอกตัวรับปลดภัย

ขนาดของเต้ารับปลอตกัย

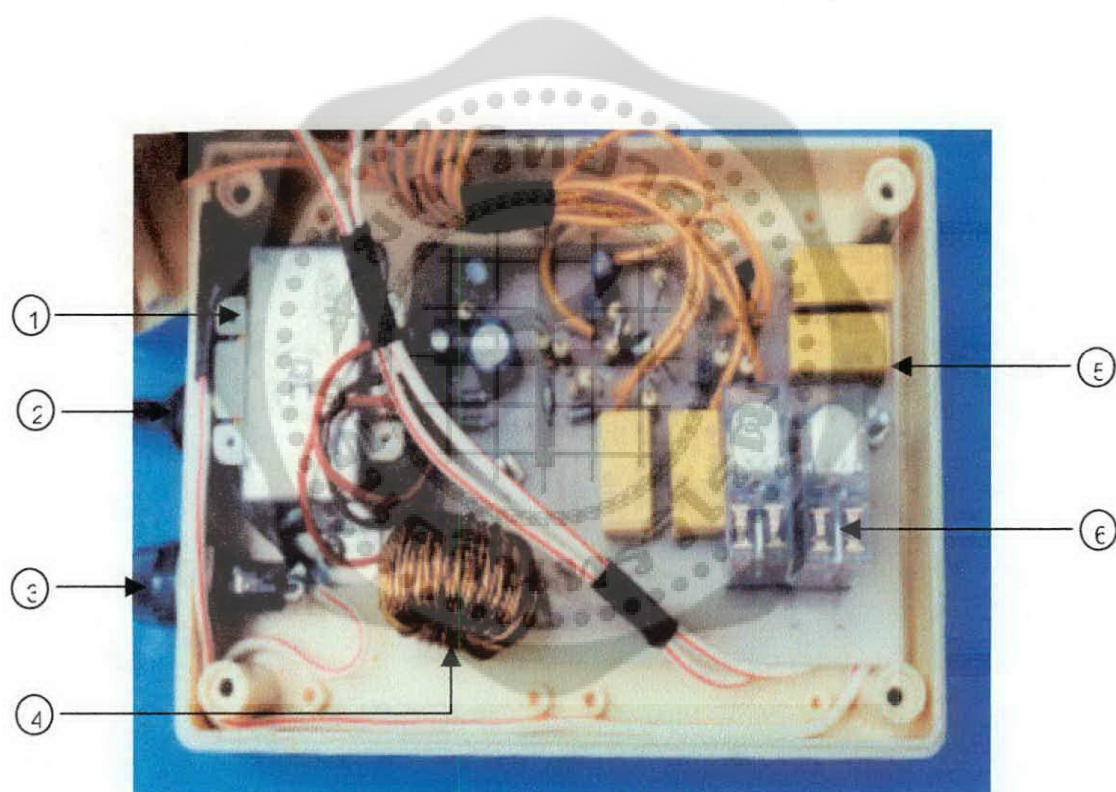
มีขนาดกว้าง 10.5 ยาว 15 สูง 6 เซนติเมตร ดังภาพประกอบ 55



ภาพประกอบ 55 แสดงขนาดของเต้ารับปลอตกัย

ส่วนประกอบภายในตู้รับปลดภัย

1. ชุดจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
2. สายไฟฟ้าสำหรับต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า 220 โวลต์
3. ฟิวส์ป้องกันกระแสไหล
4. หม้อแปลงกระแส (Current transformer) ของวงจรตรวจสอบไฟฟ้ากระแสสลับ
5. แผงวงจรรวมสำหรับตู้รับปลดภัย
6. ชุดรีเลย์สำหรับจ่ายแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์

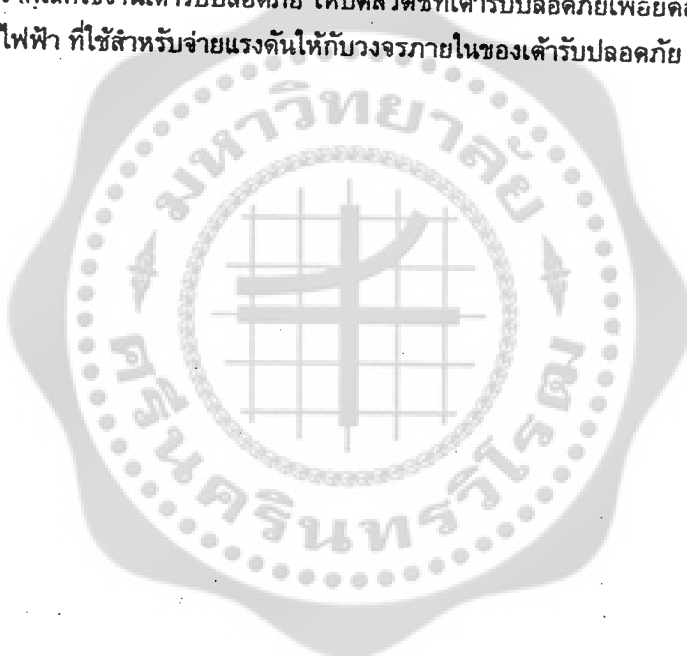


ภาพประกอบ 54 แสดงส่วนประกอบภายในตู้รับปลดภัย

วิธีการใช้งานตัวรับปลดกัย

หลังจากที่เสียบปลั๊กจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าตัวรับปลดกัยแล้ว โดยจะมีหลอด LED สีเหลืองทำงาน แสดงว่ามีแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์อยู่ในวงจรพร้อมที่จะจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า

1. ใช้ปลั๊กเสียบของอุปกรณ์ไฟฟ้า เสียบเข้ากับรูเสียบของตัวรับปลดกัย
2. ถ้าอุปกรณ์ไฟฟ้าปกติคือจะมีค่าความต้านทานตั้งแต่ 2.5-900 โอห์ม ตัวรับปลดกัยจะจ่ายแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าและจะมีหลอด LED สีเขียวทำงาน
3. ถ้าอุปกรณ์ไฟฟ้าไม่ปกติ หลอด LED สีแดงจะทำงานซึ่งจะแบ่งความไม่ปกติของอุปกรณ์ไฟฟ้าเป็น 2 กรณีคือ
 - 3.1 อุปกรณ์ไฟฟ้าอยู่ในสภาวะลัดวงจร คือจะมีค่าความต้านทานต่ำกว่า 2.5 โอห์ม
 - 3.1 อุปกรณ์ไฟฟ้าอยู่ในสภาวะเปิดวงจร คือจะมีค่าความต้านทานมากกว่า 900 โอห์ม
 - 3.3 ถ้าต้องการจะตรวจสอบอีกครั้ง ว่าอุปกรณ์ไฟฟ้ามีความผิดปกติหรือไม่ให้กดปุ่มรีเซต (สีเหลือง) ถ้าหลอดสีแดงทำงานแสดงว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าผิดปกติจริง
4. หลังจากเลิกใช้งานตัวรับปลดกัย ให้ปิดสวิทช์ที่ตัวรับปลดกัยเพื่อยืดอายุการใช้งานและประหยัดพลังงานไฟฟ้า ที่ใช้สำหรับจ่ายแรงดันให้กับวงจรภายในของตัวรับปลดกัย





รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ

1. รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ ตรวจสอบประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะได้รับปลอดภัย

- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1.1 อาจารย์ ดร. ละเอียด รักษ์เฒ่า | <p>ผู้เชี่ยวชาญด้านงานวิจัย</p> <p>ประสบการณ์ในการทำงาน 25 ปี</p> <p>สถานที่ทำงาน คณะศึกษาศาสตร์</p> <p>มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ</p> <p>วุฒิการศึกษา กศ.ด.</p> |
| 1.2 อาจารย์ไมตรี วรภูมิจรรยากุล | <p>ผู้เชี่ยวชาญด้านวงจรไฟฟ้า</p> <p>ประสบการณ์ในการทำงาน 25 ปี</p> <p>ตำแหน่ง อาจารย์ 3 ระดับ 8</p> <p>สถานที่ทำงาน แผนกช่างไฟฟ้ากำลัง</p> <p>วิทยาลัยเทคนิคจะเชิงเทรา</p> <p>วุฒิการศึกษา คอ.บ. ไฟฟ้ากำลัง</p> |
| 1.3 อาจารย์ปราโมทย์ ฤกษ์มงคล | <p>ผู้เชี่ยวชาญด้าน เครื่องมือวัดไฟฟ้า</p> <p>ประสบการณ์ในการทำงาน 18 ปี</p> <p>ตำแหน่ง อาจารย์ 2 ระดับ 7</p> <p>สถานที่ทำงาน แผนกช่างไฟฟ้ากำลัง</p> <p>วิทยาลัยเทคนิคจะเชิงเทรา</p> <p>วุฒิการศึกษา คอ.บ. ไฟฟ้ากำลัง</p> <p>คอ.ม. (เทคโนโลยีการศึกษาทางการอาชีวะและเทคนิคศึกษา)</p> |

2. รายชื่อผู้เชี่ยวชาญประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะได้รับปลอดภัย

- | | |
|-----------------------------------|---|
| 2.1 อาจารย์รัชชชัย อัดถวิบูลย์กุล | <p>ผู้เชี่ยวชาญด้านเครื่องกลไฟฟ้า</p> <p>ประสบการณ์ในการทำงาน 34 ปี</p> <p>ตำแหน่ง อาจารย์ 3 ระดับ 9</p> <p>รองอธิการสถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน</p> <p>ผลงานวิชาการ</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. เครื่องกลไฟฟ้า 1 (เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงและหม้อแปลงไฟฟ้า) 2. เครื่องกลไฟฟ้า 2 (Synchonouus machines & Induction motor) 3. เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง |
|-----------------------------------|---|

4. เครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ
5. ทฤษฎีหม้อแปลงไฟฟ้า
6. เครื่องกลไฟฟ้า 3
7. เครื่องกลไฟฟ้า 4

สถานที่ทำงาน สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
 วุฒิการศึกษา กศ.บ. (ฟิสิกส์)
 คอ.ม. (บริหารอาชีพและเทคโนโลยีศึกษา)

2.2 อาจารย์สมพงษ์ ศรีลัด

ผู้เชี่ยวชาญด้าน วงจรไฟฟ้า และอุปกรณ์ไฟฟ้า
 ประสบการณ์ในการทำงาน 23 ปี
 ตำแหน่ง หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
 สถานที่ทำงาน สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
 วุฒิการศึกษา คอ.บ. ไฟฟ้ากำลัง
 คอ.ม. วิศวกรรมไฟฟ้า
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

2.3 อาจารย์มงคล ฐระ

ผู้เชี่ยวชาญด้าน เครื่องวัดไฟฟ้า และวงจรไฟฟ้า
 ประสบการณ์ในการทำงาน 21 ปี
 ตำแหน่ง อาจารย์ 3 ระดับ 8
 ผลงานวิชาการ

1. เครื่องวัดไฟฟ้า
2. วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น 1 ภาค ปฏิบัติ
3. วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น 2 ภาค ปฏิบัติ

 สถานที่ทำงาน วิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่
 วุฒิการศึกษา คอ.บ. ไฟฟ้ากำลัง
 ศศ.ม. (วิจัยและสถิติการศึกษา)มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

2.4 อาจารย์ไพศาล จันทรไชย

ผู้เชี่ยวชาญด้าน วงจรการควบคุมเครื่องกลไฟฟ้า
 ประสบการณ์ในการทำงาน 19 ปี
 ตำแหน่ง อาจารย์ 2 ระดับ 7
 ผลงานวิชาการ การควบคุมเครื่องกลไฟฟ้า
 สถานที่ทำงาน วิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่
 วุฒิการศึกษา คอ.บ. ไฟฟ้ากำลัง
 ศศ.ม. (อาชีพศึกษา) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

2.5 อาจารย์วัชร สุธมมา

ผู้เชี่ยวชาญด้าน วงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

ประสบการณ์ในการทำงาน 19 ปี

ตำแหน่ง อาจารย์ 2 ระดับ 7

ผลงานวิจัย

งานวิจัยในชั้นเรียนเรื่อง การพัฒนารูปแบบการสอน
การคิดรวบยอดและหลักการวิชาทฤษฎีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแส
สลับ

สถานที่ทำงาน วิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ

วุฒิการศึกษา คอ.ม.วิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี







บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ บัณฑิตวิทยาลัย มศว โทร. 5731, 5644

ที่ ทม 1012/ 6371

วันที่ 23 สิงหาคม 2545

เรื่อง ขออนุญาตเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน คณะบดีคณะศึกษาศาสตร์

เนื่องด้วย นายฉัตรพล ฉลุธทอง นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การออกแบบวงจรสำหรับได้รับปลดปล่อย” โดยมี อาจารย์ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ อาจารย์ละเอียด รักษ์เผ่า เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบประเมินประสิทธิภาพได้รับปลดปล่อย

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นายฉัตรพล ฉลุธทอง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(รองศาสตราจารย์อภรณ์ หะวานนท์)

คณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ที่ ทม 1012/ 63 72



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๔3 สิงหาคม 2545

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมิน

เนื่องด้วย นายฉัฆพล ผลทอง นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์เรื่อง “การออกแบบวงจรสำหรับเตารับปลดก๊วย” โดยมี อาจารย์ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ อาจารย์ไมตรี วรวิจิตรชากุล และ อาจารย์ปราโมทย์ ฤกษ์มงคล เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินประสิทธิภาพเตารับปลดก๊วย

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นายฉัฆพล ผลทอง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นภาพร หะวานนท์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5731, 5644

โทรสาร. 02-258-4119

ที่ ทม 1012/ 6617



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

กัญชายน 2545

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน อธิการบดีสถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมิน

เนื่องด้วย นายณัฏพล ฉลุทอง นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์เรื่อง “การออกแบบวงจรสำหรับเตารับปลดก๊วย” โดยมี อาจารย์ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ อาจารย์ธวัชชัย อัดตวิญญ์กุล รองอธิการฝ่ายบริหาร และ อาจารย์สมพงษ์ ศรีลัด หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะเตารับปลดก๊วย

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นายณัฏพล ฉลุทอง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นายแพทย์ หะวานนท์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ปฏิบัติราชการแทนอธิการบดี

สำนักงานเลขานุการบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5731, 5618

โทรสาร. 02-258-4119

ที่ ทม 1012/ 6618



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

✕ กันยายน 2545

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมิน

เนื่องด้วย นายฉะพล ฉลุทอง นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การออกแบบวงจรสำหรับได้รับปลดปล่อย” โดยมี อาจารย์ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ อาจารย์มงคล ธุระ และ อาจารย์ไพศาล จันทรไชย เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะได้รับปลดปล่อย

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นายฉะพล ฉลุทอง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นภกรณ์ หะวานนท์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานเลขานุการบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5731, 5618

โทรสาร. 02-258-4119

ที่ ทม 1012/ 6619



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

4 กันยายน 2545

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคสาคู

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมิน

เนื่องด้วย นายฉัตรพล ฉลุธอง นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การออกแบบวงจรสำหรับได้รับปลดปล่อย” โดยมี อาจารย์ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ อาจารย์ชัชวาระ สุขมหา เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะได้รับปลดปล่อย

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นายฉัตรพล ฉลุธอง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นภาพร หะวานนท์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานเลขานุการบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5731, 5618

โทรสาร. 02-258-4119



ภาคผนวก จ

ตารางการวิเคราะห์ข้อมูลการหาสมรรถนะ

ตาราง 8 วิเคราะห์สมรรถนะด้านการใช้งานและด้านวงจรไฟฟ้าของตัวรับปลดถัก

ข้อที่	รายละเอียด	ระดับการประเมิน		ΣX	$\bar{x}$	N	ΣX^2	$N \Sigma X^2$	$(\Sigma X)^2$	$N \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2$	$\frac{N \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2}{N(N-1)}$	SD
		ดีมาก	ดี									
ด้านการใช้งาน												
1	ขนาดและรูปร่างมีความเหมาะสม	5555	4	24	4.80	5	116	580	576	4	0.2	0.45
2	การจัดตั้งใช้งาน	55	444	22	4.40	5	98	490	484	6	0.3	0.55
3	ความสะดวกในการใช้	555	44	23	4.60	5	107	535	529	6	0.3	0.55
4	มีความปลอดภัย	5555		25	5.00	5	125	625	625	0	0	0.00
5	การบำรุงรักษา	5	4444	21	4.20	5	89	445	441	4	0.2	0.45
ด้านวงจรไฟฟ้า												
1	อุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มีความเหมาะสม	55	444	22	4.40	5	98	490	484	6	0.3	0.55
2	การจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ในแผงวงจร	5555	4	24	4.80	5	116	580	576	4	0.2	0.45
3	รอยต่อการบัดกรีอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์	55555		25	5.00	5	125	625	625	0	0	0.00
4	การเดินสายเชื่อมต่ออุปกรณ์	55555		25	5.00	5	125	625	625	0	0	0.00
5	ความเหมาะสมของวงจรในการใช้งาน	55555		25	5.00	5	125	625	625	0	0	0.00
				24.20	4.84	5	117.80	589	587	2	0.10	0.20



ตาราง 9 แสดงการสรุปจำนวนและราคาของอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรได้รับปลดภัย 1 ตัว

ลำดับ	รายการ	จำนวน	ราคา/หน่วย	รวม(บาท)
1	ตัวต้านทาน	14	0.5	7
2	ไดโอด	6	1	6
3	LED	3	1	3
4	ซีเนอร์ไดโอด	2	3	6
5	คาปาซิเตอร์	4	2	8
6	ทรานซิสเตอร์ C458	4	3	12
7	เอส.ซี.อาร์ 5405	2	3	6
8	รีเลย์ 12 VDC	5	40	200
9	หม้อแปลง 220 / 9-0-9 V	1	80	80
10	แกนเหล็กหม้อแปลงกระแส	1	10	10
11	สวิตช์ Push Button	1	5	5
12	เต้ารับเนชั่นแนล	1	15	15
13	ปลั๊กตัวผู้	1	5	5
14	กล่องสำหรับวงจรเต้ารับ	1	20	20
15	แผ่นทองแดงสำหรับทำสายวงจร	1	100	100
16	น้ำยากัดลายแผ่นพิมพ์วงจร	1	40	40
17	ฟิวส์หลอดพร้อมฐานฟิวส์	1	30	30
	รวม			553

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ สกุล	นายณัฏพล ฉลุทอง
วัน เดือน ปีเกิด	31 สิงหาคม 2512
สถานที่เกิด	อ. แก้งสนามนาง จ. นครราชสีมา
ที่อยู่ปัจจุบัน	39/49 หมู่บ้านชื้อตรง ซ. สวัสดิ์ ถ. นวมินทร์ แขวง คลองกุ่ม อ. บึงกุ่ม กรุงเทพฯ 10230 โทรศัพท์ 0-25105215
สถานที่ทำงาน	แผนกช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคจะเชิงเตตรา ต. หน้าเมือง อ. เมือง จ. จะเชิงเตตรา 24000 โทรศัพท์ 038-511211 ต่อ 761,741
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2528	มัธยมศึกษาปีที่ 3 จากโรงเรียนเกล็ดลิ้นวิทยา จ. นครราชสีมา
พ.ศ. 2530	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) ไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่
พ.ศ. 2533	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยช่างกลปทุมวัน จ. กรุงเทพฯ
พ.ศ. 2537	ประกาศนียบัตรครูเทคนิคชั้นสูง (ปทส.) ไฟฟ้ากำลัง สถาบันเทคโนโลยี ปทุมวัน จ. กรุงเทพฯ
พ.ศ. 2546	กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ