รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การตรวจสอบและแก้ไขตู้ควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 30 แอมแปร์

Review and revision AC control station (220V/30A)

นายคุณากร ประสพไทย

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

T148504

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การตรวจสอบและแก้ไขตู้ควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 30 แอมแปร์

Review and revision AC control station (220V/30A)

นายคุณากร ประสพไทย

เลขหมู่ 148504
เลขทะเบียน
วัน,เดือน,ปี 30 ต.ค. 2560

b.12871047
i.

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา การตรวจสอบและแก้ไขตู้ควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 30 แอมแปร์
ชื่อ-สกุล นักศึกษา นายคุณากร ประสพไทย
คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชา** วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ อาจารย์ เฉลิมพันธ์ หวังวิวัฒนา
อาจารย์ ชินภัทร นันทจิวากรชัย
ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน คุณพงศ์สุวรรณ จุ่นหัวโทน
สถานประกอบการ บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการตรวจสอบและแก้ไขตู้ควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 โวลต์ 30 แอมแปร์ ซึ่งมีหน้าที่เป็นตัวแบ่งแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้แก่อุปกรณ์ต่างๆ บน Automation Reflow Soldering Machine ภายในประกอบไปด้วยพอร์ตจ่ายไฟกระแสสลับขนาด 220 โวลต์ทั้งหมด 8 พอร์ต และพอร์ตจ่ายไฟกระแสตรงขนาด 24 โวลต์ทั้งหมด 5 พอร์ต โดยพอร์ตจ่ายไฟทั้งหมดมีการแบ่งตามลักษณะการใช้งานเป็น 2 แบบ คือ พอร์ตที่มีการควบคุมโดยคอนโทรลเลอร์ และ พอร์ตที่ไม่มีการควบคุมโดยคอนโทรลเลอร์ โครงงานนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ การออกแบบวงจรไฟฟ้า(Circuit diagram) การออกแบบลายวงจรไฟฟ้า(Printed circuit board) อุปกรณ์ทางไฟฟ้า(Electrical component) ตลอดจนการทดสอบความปลอดภัยทางไฟฟ้า(Electrical safety test) ต่างๆของชิ้นงานเพื่อให้ได้วงจรไฟฟ้าที่มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งานและการซ่อมบำรุง รวมถึงมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดี

คำสำคัญ: แหล่งจ่ายไฟ, การออกแบบวงจรไฟฟ้า, การออกแบบลายวงจรไฟฟ้า, การทดสอบความปลอดภัยทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title:	Review and revision AC control station (220V/30A)
Student Intern Name:	Mr.Khunakorn Prasopthai
Faculty: Engineering	**Department:** Electronics Engineering
Advisor Name:	Mr. Chaleompun Wangwiwattana
	Mr. Chinnapat Nantajiwakornchai
Mentor Name:	Pongsuwan Junhuathon
Company:	Seagate Technology (Thailand) Ltd.

ABSTRACT

This project is concorned of impovement of AC control station (220V/30A). It serves as a divider supply electricity to devices on automation reflow soldering machine. It consists of AC power port 220 volts of 8 ports and DC power port 24 volts of 5 ports. All power port is divided into 2 types. There are ports controlled by the controller and ports are not controlled by the controller. This project is to study about circuit diagram of work, printed circuit board of work, and electrical component of work and electrical safety test of work. The purpose of the project is that the work is safe for usage and maintenance as well as a good performance.

Keywords: Power supply, Circuit diagram, Printed circuit board, Electrical component, Electrical safety test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงงานสหกิจศึกษา เพื่อการตรวจสอบและแก้ไขตู้ควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 30 แอมแปร์ของแผนก Advanced Manufacturing Engineering ณ บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับการช่วยเหลือ คำปรึกษา และคำแนะนำต่างๆ จากบุคลากรดังนี้

ขอขอบคุณ บุคลากรจากแผนก Advanced Manufacturing Engineering ของบริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด ทุกท่าน

ขอขอบคุณ ส่วนงานกิจการนักศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานประจำโครงการสหกิจศึกษาทุกท่าน ได้แก่ อาจารย์เฉลิมพันธ์ หวังวิวัฒนา และ อาจารย์ชินภัทร นันทจิวากรชัย ที่ได้ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือผู้จัดทำตลอดมา

กราบขอบพระคุณสมาชิกในครอบครัวของข้าพเจ้า ที่คอยให้กำลังใจ เป็นที่ปรึกษา สนับสนุนการจัดทำโครงงานตลอดมา

หากมีสิ่งผิดพลาดประการใดผู้วิจัยขอน้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้

คุณากร ประสพไทย
25 พฤศจิกายน 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VI
สารบัญภาพ VII
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ 1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2
1.4 วิธีดำเนินการโครงงาน 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 ไฟฟ้า (Electrical) 2
2.2 อุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า(Electrical protection devices) 6
2.3 รีเลย์ (Relay) 13
2.4 แหล่งจ่ายไฟ (Power supply) 15
2.5 สายไฟ (Cable) 17
2.6 แผ่นวงจรพิมพ์ (Printed circuit board) 24
2.7 ลายพิมพ์วงจร (Artwork) 28
2.8 มาตรฐานที่อ้างอิงบน PCB (Standard on Printed Circuit Boards) 39
2.9 พารามิเตอร์ต่างๆบน PCB (Parameters on PCB) 41
2.10 ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ (Product Safety) 44
บทที่ 3 การดำเนินงาน 51
3.1 แผนการดำเนินงาน 51
3.2 หลักการและการออกแบบ 52
3.3 คุณสมบัติและการใช้งาน 55
3.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน 56
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน 65
4.1 ผลการตรวจสอบลายวงจรบอร์ดก่อนทำการแก้ไข 65
4.2 ผลการตรวจสอบลายวงจรบอร์ดหลังทำการแก้ไข 69
4.3 ผลการทดลองเกี่ยวกับการทดสอบด้าน Electrical Safety 73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน อุปสรรคและข้อเสนอแนะ 75
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 75
5.2 อุปสรรค 76
5.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 76
5.4 ข้อเสนอแนะ 77
บรรณานุกรม 78
ภาคผนวก 79
ภาคผนวก ก ตารางแนะนำมาตรฐาน IPC-2221A 80
ภาคผนวก ข ตารางแนะนำมาตรฐาน IPC-2221B 87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ตารางข้อกำหนดการใช้งานของสายไฟฟ้าที่ผลิตตาม มอก. 11-2531 19
2.2 ตารางขนาดกระแสไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวน พีวีซี ตาม มอก. 11-2534....22
2.3 ตารางชนิดของตัวนำและรูปแบบการติดตั้ง....23
2.4 ตารางค่าตัวคูณคงที่ของสายไฟเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง....23
2.5 ตาราง Typical component Lead Sized....37
2.6 ตารางมาตรฐาน Electrical conductor spacing....40
2.7 ตารางค่ากระแสรั่วไหลตามมาตรฐาน UL....50
3.1 ตารางขั้นตอนการดำเนินงาน....51
4.1 ตารางผลการตรวจสอบลายวงจรก่อนทำการแก้ไขในส่วนของขนาดลายตัวนำ....65
4.2 ตารางผลการตรวจสอบลายวงจรก่อนทำการแก้ไขในส่วนของระยะห่างลายตัวนำ....67
4.3 ตารางผลการตรวจสอบลายวงจรหลังทำการแก้ไขในส่วนของขนาดลายตัวนำ....69
4.4 ตารางผลการตรวจสอบลายวงจรหลังทำการแก้ไขในส่วนของระยะห่างลายตัวนำ....71
4.5 ตารางผลการทดสอบ Dielectric Withstand (Hi-pot) แบบ AC Hi-pot ครั้งที่ 1....73
4.6 ตารางผลการทดสอบ Dielectric Withstand (Hi-pot) แบบ DC Hi-pot ครั้งที่ 1....73
4.7 ตารางผลการทดสอบ Dielectric Withstand (Hi-pot) แบบ AC Hi-pot ครั้งที่ 2....73
4.8 ตารางผลการทดสอบ Dielectric Withstand (Hi-pot) แบบ DC Hi-pot ครั้งที่ 2....74
4.9 ตารางผลการทดสอบ Ground Continuity....74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แรงดันไฟฟ้า และ กระแสไฟฟ้า	3
2.2 วงจรไฟฟ้าอย่างง่าย	4
2.3 แสดงความแตกต่างระหว่างไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ	5
2.4 แสดงความแตกต่างระหว่างไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ	6
2.5 Thermal UnitMagnetic MCCB	7
2.6 Thermal unit สภาวะปกติ และ เมื่อปลดวงจรออก	8
2.7 Magnetic unit	8
2.8 ไดอะแกรมของการสั่ง Trip	9
2.9 ลักษณะ Air Circuit Breaker	9
2.10 เซอร์กิตเบรคเกอร์ชนิดปรับค่าไม่ได้ และ Earth leakage CB	9
2.11 Disconnecting Switch	11
2.12 Power line filter	12
2.13 รูปร่างของรีเลย์ที่มีตัวถังเป็นพลาสติกใสป้องกันฝุ่น	13
2.14 สัญลักษณ์รีเลย์แบบพันลวด และ แบบตัวเหนี่ยวนำพันแกนเหล็ก	13
2.15 วงจรการทำงานของรีเลย์อย่างง่าย	14
2.16 โซลิดสเตตรีเลย์	14
2.17 วงจรการต่อใช้งานแบบพื้นฐานของอาร์เมเจอร์รีเลย์ และ โซลิคสเตตรีเลย์	15
2.18 Safety relays	15
2.19 แหล่งจ่ายไฟแบบหลอดสูญญากาศ	15
2.20 DC Power supply	16
2.21 AC Power supply	16
2.22 สายไฟ VAF	18
2.23 สายไฟ VFF	18
2.24 สายไฟ VSF	18
2.25 สายไฟ THW	18
2.26 สายไฟ VCT 4 แกน	19
2.27 สายไฟ VCT 4 แกน มีสายดิน	19
2.28 สายไฟ NYY 4 แกน	19
2.29 สายไฟ NYY 4 แกน มีสายดิน	19
2.30 แผ่นวงจรพิมพ์ (PCB)	24
2.31 PCB ชนิดหน้าเดียว (Single Side)	26
2.32 PCB ชนิดสองหน้า (Double Side PCB)	27
2.33 PCB ชนิดสองหน้า แบบ Non PTH	27
2.34 PCB ชนิดสองหน้า แบบ PTH	27
2.35 PCB ชนิดหลายชั้น (Multi Layer)	28

เอกสารนี้มีไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.36 PCB ลายพิมพ์วงจร (Artwork)	28
2.37 การแนะนำการวาดลายพิมพ์วงจร Conductor shapes	29
2.38 การแนะนำการวาดลายพิมพ์วงจร Conductor angles	30
2.39 การแนะนำการวาดลายพิมพ์วงจร Minimum conductor	30
2.40 การแนะนำการวาดลายพิมพ์วงจร Sharp internal angles	31
2.41 การแนะนำการวาดลายพิมพ์วงจร parallel pattern	31
2.42 การแนะนำการวาดลายพิมพ์วงจร Utilize space to optimum extent	31
2.43 การแนะนำการวาดลายพิมพ์วงจร Utilize space to optimum	31
2.44 การแนะนำการวาดลายพิมพ์วงจร Routing pattern	33
2.45 Conductor Routing	34
2.46 มาตรฐานอ้างอิง IPC-2221B	34
2.47 Conductor Spacing	35
2.48 กราฟเปรียบเทียบมาตรฐานอ้างอิง Conductor Spacing	35
2.49 Hole Diameter	36
2.50 Solder Pad Diameter	38
2.51 Solder pad diameter and conductor width	38
2.52 Square Land / Square Pad	39
2.53 สัญลักษณ์มาตรฐาน IPC (IPC Standard)	40
2.54 ไดนามิกส์ความร้อนของลายตัวนำ	42
2.55 AC Hipot Tester	46
2.56 Ground Continuity Test	47
2.57 Ground Bond Test	48
2.58 Insulation Resistance Test	49
2.59 Insulation tester , Mega Ohmmeter	49
2.60 Leakage Current Test	50
3.1 บล็อกไดอะแกรมหลักการทำงานของตู้ควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 30 แอมแปร์	52
3.2 วงจรการใช้งาน Solid-state relays	54
3.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า RC และสัญญาณ Pulse voltage	54
3.4 การตรวจสอบ Electrical Schmetic (1)	56
3.5 การตรวจสอบ Electrical Schmetic (2)	56
3.6 การวัดค่าความกว้างของ Trace และ Spacing	57
3.7 คำนวณค่าความกว้างของ Trace และ Spacing ตามมาตรฐาน IPC-2221	57
3.8 Check list ข้อมูลกับตัวลายวงจร	58
3.9 การตรวจสอบลายวงจร	58
3.10 ปัญหาการวางลายวงจร(Layout) ต่างๆตามหลักการออกแบบ PCB เบื้องต้น	59

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3.11 การกำหนดสัญลักษณ์สำหรับปัญหาการวางลายวงจร(Layout) ต่างๆ 59
3.12 การวางแผนปรับแก้การวางลายวงจร(Layout).....60
3.13 การปรับแก้ Electrical Schmetic.....60
3.14 การปรับแก้ลาย PCB(Printed circuit board).....61
3.15 ไฟล์ Gerber.....64
3.16 บอร์ดสำหรับการทดสอบ Hipot.....62
3.17 การทดสอบ AC Hi-pot.....62
3.18 การทดสอบ DC Hi-pot.....63
3.19 บอร์ดสำหรับการทดสอบ Ground Continuity.....63
3.20 การทดสอบ Ground Continuity.....64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันการจัดเก็บข้อมูลเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก ตลอดจนการบริหารงานขององค์กรต่างๆ เทคโนโลยีสมัยใหม่ถือเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่สำคัญของการจัดเก็บข้อมูล เนื่องจากมีการจัดเก็บข้อมูลที่ใช้พื้นที่ในการจัดเก็บน้อย สะดวกและรวดเร็วในการจัดเก็บ หรือค้นหาข้อมูล ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Hard disk drive) เป็นผลิตภัณฑ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ที่ช่วยตอบโจทย์ในการแก้ปัญหาด้านการจัดเก็บข้อมูลเป็นอย่างดี

อุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเริ่มเข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมาก ในยุคที่มีการจัดเก็บข้อมูลผ่านเทคโนโลยี ในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมประกอบไปด้วยผลิตผลที่ได้มาจากแรงงานของมนุษย์(Human) และ แรงงานจากเครื่องจักรกลอัตโนมัติ(Automation machine) แต่ในปัจจุบันอุตสาหกรรมได้หันมาสนใจในการพัฒนาระบบการผลิตของเครื่องจักรกลอัตโนมัติ เนื่องจากสามารถสร้างผลกำไรได้มากขึ้นในหลายๆด้าน เช่น การลดต้นทุนการผลิต การลดความผิดพลาดในการผลิต การเพิ่มขึ้นของความสามารถในการผลิต รวมถึงความแม่นยำในการผลิต

ในระบบของเครื่องจักรกลอัตโนมัติ จะประกอบไปด้วยการทำงานของหลายๆ ส่วน หนึ่งในส่วนที่มีความสำคัญในการขับเคลื่อนของเครื่องจักรกลอัตโนมัติก็ คือ ส่วนของไฟฟ้า (Electrical) เนื่องจากใช้เป็นแหล่งพลังงานหลักในการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิตของฮาร์ดดิกส์ไดร์ฟ แบบระบบเครื่องจักรกลอัตโนมัติ จะมีส่วนผลิตที่เรียกว่า กระบวนการเชื่อมต่อโลหะโดยอาศัยโลหะบัดกรี (Reflow soldering) ซึ่งในระบบการผลิตนี้จำเป็นต้องใช้แหล่งพลังงานที่เป็นพลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนระบบ ดังนั้น จึงมีแนวคิดที่จะศึกษาและพัฒนาระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าของระบบเครื่องจักรกลอัตโนมัติ ให้สามารถจ่ายพลังงานให้กับเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ได้อย่างเพียงพอ ตรงตามลักษณะการใช้งาน และมีระบบความปลอดภัยทางด้านไฟฟ้า (Electrical safety system) เพื่อใช้ป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นจากไฟฟ้าทำให้ลดอัตราเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุจากระบบเครื่องจักรกลอัตโนมัติที่จะก่อให้เกิดความสูญเสียต่อองค์กร

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อตรวจสอบและแก้ไขวงจรของตู้ควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 30 แอมแปร์ ให้ตรงตามหลักการออกแบบและมาตรฐานที่กำหนด

1.2.2 เพื่อตรวจสอบและแก้ไขวงจรของตู้ควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 30 แอมแปร์ โดยให้มีระบบความปลอดภัยทางไฟฟ้าที่ถูกต้อง

1.2.3 เพื่อทดสอบวงจรของตู้ควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 30 แอมแปร์ตามหลักการทดสอบความปลอดภัยทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 การตรวจสอบและแก้ไข

1.3.1.1 ตรวจสอบและแก้ไขวงจรไฟฟ้า (Circuit diagram) ของตู้ควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 30 แอมแปร์

1.3.1.2 ตรวจสอบและแก้ไขลายวงจรไฟฟ้า (Printed circuit board) ของตู้ควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 30 แอมแปร์

1.3.2 การทดสอบ

1.3.2.1 ทดสอบความปลอดภัยทางด้านไฟฟ้า (Electrical safety test) ของตู้ควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 30 แอมแปร์

1.4 วิธีการดำเนินการโครงงาน

1.4.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 วางแผนการดำเนินงาน

1.4.3 ศึกษาระบบการผลิตและกระบวนการทำงานของเครื่องจักรกลอัตโนมัติ

1.4.4 ศึกษาโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบวงจรทางไฟฟ้า

1.4.5 ตรวจสอบและแก้ไขวงจรทางไฟฟ้า

1.4.6 ตรวจสอบและแก้ไขลายวงจรทางไฟฟ้า

1.4.7 ตรวจสอบและสั่งทำบอร์ดลายวงจรทางไฟฟ้า

1.4.8 ประกอบอุปกรณ์ลงบอร์ดลายวงจรทางไฟฟ้า

1.4.9 ทดสอบความปลอดภัยทางไฟฟ้าของชิ้นงาน

1.4.10 เก็บข้อมูลและสรุปผล

1.4.11 จัดทำรายงานและนำเสนอ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 วงจรของตู้ควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 30 แอมแปร์ ตรงตามหลักการออกแบบและมาตรฐานที่กำหนด

1.5.2 วงจรของตู้ควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 30 แอมแปร์ มีระบบความปลอดภัยทางไฟฟ้าที่ถูกต้อง

1.5.3 วงจรของตู้ควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 30 แอมแปร์ตาม ผ่านการทดสอบความปลอดภัยทางไฟฟ้าเพื่อรับรองความปลอดภัยในการใช้งาน

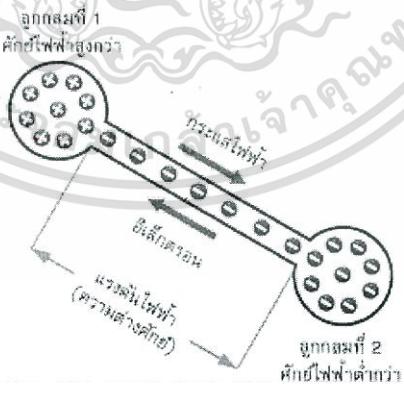
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไฟฟ้า (Electrical)

2.1.1 กระแสไฟฟ้า (Electric current)

จากปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าต่างๆ ที่เกิดขึ้น จะพบว่ามีสาเหตุมาจากการไหลของไฟฟ้า ไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ได้จะมีคุณสมบัติตรงข้ามกับไฟฟ้าสถิตย์ เรียกว่า ไฟฟ้าเคลื่อนไหว สายไฟทั่วไปทำด้วยลวดตัวนำ คือ โลหะทองแดงและอะลูมิเนียม อะตอมของโลหะมีอิเล็กตรอนอิสระ ไม่ยึดแน่นกับอะตอม จึงเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระ ถ้ามีประจุลบเพิ่มขึ้นในสายไฟ อิเล็กตรอนอิสระ 1 ตัวจะถูกดึงเข้าหาประจุไฟฟ้าบวก แล้วรวมตัวกับประจุไฟฟ้าบวกเพื่อเป็นกลาง ดังนั้น อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ เมื่อเกิดสภาพขาดอิเล็กตรอนจึงจ่ายประจุไฟฟ้าลบออกไปแทนที่ ทำให้เกิดการไหลของอิเล็กตรอนในสายไฟจนกว่าประจุไฟฟ้าบวกจะถูกทำให้เป็นกลางทั้งหมด การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนหรือการไหลของอิเล็กตรอนในสายไฟนี้เรียกว่ากระแสไฟฟ้า (Electric Current) สำหรับในตัวนำที่เป็นของแข็ง กระแสไฟฟ้าเกิดจากการไหลของอิเล็กตรอนโดยอิเล็กตรอนจะไหลจากขั้วลบไปหาขั้วบวกเสมอใน ตัวนำที่เป็นของเหลวและก๊าซ กระแสไฟฟ้าเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนกับโปรตอน โดยจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าที่มีประจุตรงข้ามถ้าจะเรียกว่า กระแสไฟฟ้าคือการไหลของอิเล็กตรอนก็ได้ แต่ทิศทางของกระแสไฟฟ้าจะตรงข้ามกับการไหลของอิเล็กตรอนขนาดของ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายไฟฟ้านั้น กำหนดได้จากปริมาณของประจุไฟฟ้าที่ไหลผ่านจุดใดๆในเส้นลวดใน 1 วินาที มีหน่วยเป็นแอมแปร์(Ampereซึ่งแทนด้วยA) กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำไฟฟ้า 2 ตัวที่วางขนานกันโดยมีระยะห่าง 1 เมตร แล้วทำให้เกิดแรงในแต่ละตัวนำเท่ากับ 2×10^{-7} นิวตันต่อเมตร หรือเท่ากับประจุไฟฟ้า 1 คูลอมบ์ ซึ่งเทียบได้กับอิเล็กตรอน 6.24×10^{18} ตัวไหลผ่านใน 1 วินาที



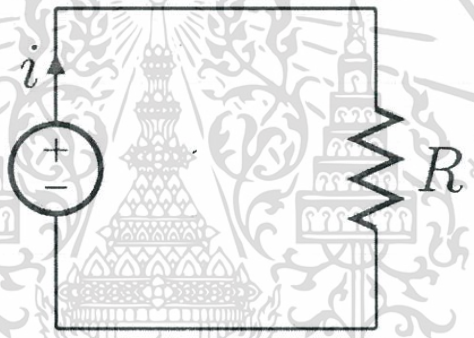
ภาพที่ 2.1 แรงดันไฟฟ้า และ กระแสไฟฟ้า **ที่มา** [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 แรงดันไฟฟ้า (Electric Potential)

กระแสไฟฟ้าเกิดจากการที่มีอิเล็กตรอนไหลในสายไฟ ซึ่งการที่อิเล็กตรอนไหลหรือเคลื่อนที่ได้นั้นจะต้องมีแรงมากระทำต่ออิเล็กตรอนทำให้เกิดกระแสไหล แรงดังกล่าวนี้เรียกว่า แรงดันไฟฟ้า (Voltage) ศักย์ไฟฟ้าเป็นอีกคำหนึ่งที่คล้ายกับแรงดันไฟฟ้า จะหมายถึง ระดับไฟฟ้า เช่น ลูกกลมที่ 1 มีประจุไฟฟ้าบวกจะมีศักย์ไฟฟ้าสูง ส่วนลูกกลมที่ 2 มีประจุไฟฟ้าลบจะมีศักย์ไฟฟ้าต่ำ ดังนั้น ลูกกลมที่ 1 และ 2 จึงมีความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้า เรียกว่า ความต่างศักย์ไฟฟ้า แรงขับเคลื่อนทางไฟฟ้า หมายถึง แรงที่สร้างให้เกิดแรงดันไฟฟ้าซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระตลอดเวลา กระแสไฟฟ้าจึงไหลตลอดเวลา แรงเคลื่อนไฟฟ้านี้อาจเกิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, แบตเตอรี่, ถ่านไฟฉาย และเซลล์เชื้อเพลิง ฯลฯ หน่วยของแรงดันไฟฟ้า, ความต่างศักย์ไฟฟ้า หรือ แรงขับเคลื่อนทางไฟฟ้า มีหน่วยเดียวกันคือโวลต์ (Voltage ซึ่งแทนด้วย A)แรงดันไฟฟ้า 1 โวลต์ คือ แรงดันที่ทำให้กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ไหลผ่านเข้าไปในความต้านทาน 1 โอห์ม

2.1.3 กฎของโอห์ม (Ohm 's law)



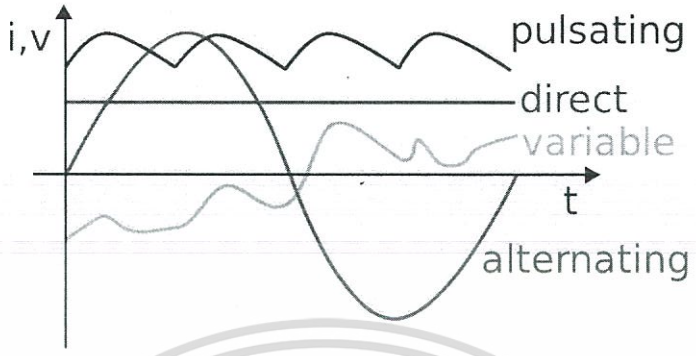
ภาพที่ 2.2 วงจรไฟฟ้าอย่างง่าย ที่มา [1]

กฎของโอห์ม ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า กับ ความต่างศักย์ไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้ากับความต้านทาน กล่าวคือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำใดๆ แปรผันโดยตรงกับความต่างศักย์ (แรงดันไฟฟ้า หรือ แรงดันตกคร่อม) (คือกระแสมีค่ามากหรือน้อยตามความต่างศักย์นั้น) เขียนเป็นสมการได้ว่า $I \alpha V$ และกระแสไฟฟ้าจะแปรผกผันกับความต้านทานระหว่างสองจุดนั้น(คือถ้าความต้านทานมากจะทำให้กระแสไหลผ่านน้อย, ถ้าความต้านทานน้อยจะทำให้มีกระแสมาก) เขียนเป็นสมการได้ว่า $I \alpha 1/R$ นำสูตรสมการทางคณิตศาสตร์ทั้งสองมารวมกัน เขียนได้ดังนี้ $I = V/R$ โดยที่ V คือความต่างศักย์ มีหน่วยเป็น โวลต์, I คือกระแสในวงจร หน่วยเป็น แอมแปร์ และ R คือความต้านทานในวงจร หน่วยเป็น โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating current electricity: AC)

ไฟฟ้ากระแสสลับ หมายถึง กระแสที่มีทิศทางไปและกลับตลอดระยะเวลา ไม่เหมือนกระแสตรง (Direct current electricity: DC) ที่ไหลไปในทิศทางเดียว ไม่ไหลกลับ



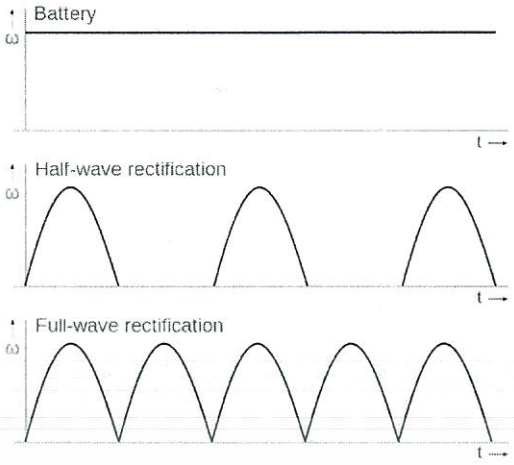
ภาพที่ 2.3 แสดงความแตกต่างระหว่างไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ **ที่มา** [1]

ไฟ AC เป็นไฟฟ้าสำหรับบ้านเรือนหรือธุรกิจอุตสาหกรรมที่ใช้ปริมาณไฟมากๆ รูปคลื่นเป็น sine wave ในบางกรณี รูปคลื่นอาจเป็นสามเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยม การจำหน่ายไฟฟ้า AC อาจจะเพิ่มขึ้น หรือ ลดลงด้วยหม้อแปลงไฟฟ้า การใช้แรงดันไฟฟ้าที่สูงจะมีประสิทธิภาพในการส่งพลังงานมากอย่างมีนัยสำคัญ การสูญเสียพลังงานในตัวนำเป็นผลคูณของกระแสยกกำลังสอง กับ ค่าความต้านทานของตัวนำ ตามสูตร $P_L = I^2R$ ซึ่งหมายความว่าเมื่อส่งไฟฟ้าด้วยพลังงานคงที่บนลวดใดๆ ถ้ากระแสลดลงสองเท่า, การสูญเสียพลังงานจะลดลงสี่เท่า ดังนั้น ถ้าต้องการส่งพลังงานเท่าเดิม แต่ให้การสูญเสียน้อยที่สุด คือลดกระแสที่ส่งลง แต่เพิ่มแรงดันไฟฟ้าขึ้น (มักจะหลายร้อยกิโลโวลต์) เพราะการที่ใช้กระแสที่ต่ำ ทำให้เกิดพลังงานสูญเสียน้อยลง อย่างไรก็ตาม การใช้แรงดันไฟฟ้าที่สูงยังมีข้อเสียเหมือนกัน อย่างแรก คือฉนวนไฟฟ้าต้องเพิ่มขึ้นและอย่างที่สองเรื่องความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน ในโรงไฟฟ้าพลังงานจะถูกสร้างขึ้นที่แรงดันไฟฟ้าหนึ่งและจากนั้นก็เพิ่มแรงดันสำหรับการส่ง ใกล้โหลดแรงดันจะถูกปรับลงเหลือไม่กี่ร้อยโวลต์

2.1.5 ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct current electricity: DC)

ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นกระแสไฟฟ้าประเภทหนึ่ง ที่มีความแรงและทิศทางไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาเปลี่ยน ตรงข้ามกับไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ในอดีตไฟฟ้ากระแสตรงเคยถูกเรียกว่า กระแสกัลวานิก (galvanic current) อุปกรณ์ที่สามารถผลิตไฟฟ้ากระแสตรงได้ เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ทั้งชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ได้และชนิดใช้แล้วทิ้ง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถไหลผ่านตัวนำไฟฟ้า เช่น สายไฟ สารกึ่งตัวนำ ฉนวนไฟฟ้า หรือแม้กระทั่งเคลื่อนที่ในภาวะสุญญากาศในรูปของลำอิเล็กตรอนหรือลำไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.4 แสดงความแตกต่างระหว่างไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ **ที่มา** [1]

เราสามารถใช้ตัวเรียงกระแสเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงได้ โดยส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ภายในตัวเรียงกระแส จะบังคับให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ในทิศทางเดียว นอกจากนี้ยังสามารถเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับได้ โดยใช้อินเวอร์เตอร์ หรือชุดไดนามอเตอร์

2.2 อุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า (Electrical protection devices)

การไหลของกระแสในวงจรไฟฟ้า จำเป็นต้องอาศัยส่วนประกอบอย่างน้อย 3 ส่วน คือ แหล่งจ่ายแรงดันตัวนำ (สายไฟฟ้า) และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า(Load) โดยมีสวิตช์ทำหน้าที่ควบคุมปิด-เปิดการจ่ายกระแสไฟฟ้า ในสภาวะปกติเมื่อกดสวิตช์ต่อวงจร จะมีกระแสไฟฟ้าไหลครบวงจร ทำให้หลอดฟลูออเรสเซนต์ ติดสว่าง ถ้าหากหลอดฟลูออเรสเซนต์ต่อขนานกันหลายๆหลอดจะมีกระแสไหลมากขึ้นทำให้สายไฟฟ้า มีอุณหภูมิสูงขึ้น เรื่อย ๆ ถึงขั้นฉนวนของสายหลอมละลาย หากไม่มีอุปกรณ์ป้องกันอาจจะทำให้เกิดเพลิงไหม้ลักษณะเช่นนี้เรียกว่ากระแสไหลเกินเนื่องจากโหลดเกิน เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าโอเวอร์โหลด(Over load) ถ้าหากมีตัวนำหรือสายไฟฟ้าต่อขนาดกับแหล่งจ่ายแรงดันเมื่อกดสวิตช์ต่อวงจรจะทำให้ เกิดกระแสไหลมากกว่า กระแสปกติเรียกว่ากระแสเกินเนื่องจากลัดวงจร (Short circuit)ซึ่งจะมีกระแส ไหล จำนวนหลายเท่าของกระแสในสภาวะปกติ ส่งผลให้แหล่งจ่าย แรงดันเสียหายหรือหน้าสัมผัสของสวิตช์หลอมละลายและเป็นอันตรายต่อระบบไฟฟ้าโดยรวมดังนั้นในทางปฏิบัติ จึงต้องมีอุปกรณ์ป้องกัน(Protection) โดยการเปิดวงจร(Open circuit) หรือ ตัดวงจรทันที

การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้าจำเป็นต้องมีมาตรการต่าง ๆ มารองรับอาทิ เช่น มาตรการในการเลือก ใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมก่อนจะนำไปใช้งาน ต้องศึกษาให้เข้าใจถึงคุณสมบัติต่างๆ รวมถึงวิธีการติดตั้งอุปกรณ์เหล่านี้ได้แก่ ฟิวส์ เซฟตี้สวิตช์ สวิตช์ทิชิโน อุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจรลงดิน รีเลย์ป้องกันกระแสเกิน เครื่องป้องกันไฟฟ้ารั่วลงดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit breaker)

เซอร์กิตเบรกเกอร์ เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ซีบี (CB.) NEMA (National Electrical Manufacturers Association) ให้นิยามเซอร์กิตเบรกเกอร์ดังนี้ อุปกรณ์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อเปิดและ ปิดวงจรโดยไม่อัตโนมัติและสามารถเปิดวงจรได้โดยอัตโนมัติเมื่อกระแสไหลเกิน กว่าค่าที่กำหนดไว้โดยที่ตัวมันเองไม่ได้รับความเสียหาย จากนิยามจะเห็นว่าเซอร์กิตเบรกเกอร์จะเกี่ยวข้องกับกระแสเกินเป็นหลัก เซอร์กิตเบรกเกอร์ในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ (น้อยกว่า 1,000 โวลท์) แบ่งออกได้ 3 ประเภทดังนี้

1. MCCB. (Molded Case Circuit Breaker)
2. Air Circuit Breaker หรือ Power Circuit Breaker
3. Miniature Circuit Breaker

แต่ละชนิดมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1.1 MCCB. (Molded Case Circuit Breaker)

คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ห่อหุ้มปิดมิดชิดโดย molded จำนวนสองส่วนซึ่งได้ทำการทดสอบ dielectric strength ก่อนที่จะวางจำหน่าย molded ทำหน้าที่เป็นฉนวนหุ้มปกปิดเซอร์กิตเบรคเกอร์ส่วนใหญ่ทำจาก phenolicเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดนี้ทำหน้าที่หลัก 2 อย่างคือทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิด-ปิดด้วยมือและเปิดวงจรโดยอัตโนมัติ (เมื่อกระแสเกินเนื่องจากโหลดเกินหรือลัดวงจร) เมื่อเซอร์กิตเบรคเกอร์เปิดวงจรจะสังเกตเห็นว่าด้ามจับคันโยกจะเลื่อนมาที่ตำแหน่ง Trip ซึ่งจะอยู่กึ่งกลางระหว่าง ON และ OFF (ลักษณะนี้เซอร์กิตเบรกเกอร์ได้เปิดวงจรออกจากระบบเรียบร้อยแล้ว) เมื่อช่างได้ทำการแก้ไขสิ่งผิดปกติ (fault)ออกจากระบบ ก็จะสามารถโยกเลื่อนกลับไปต่อใช้งานได้เช่นเดิม ด้วยการ reset คือกดลงตำแหน่ง OFF ก่อน จากนั้นจึงเลื่อนไป ยังตำแหน่ง ON ถ้าเลื่อน ไปยังตำแหน่ง ON ผลปรากฏว่าด้ามจับรีกลับมา ที่ตำแหน่ง Trip แสดงว่า ขณะนั้นเกิดสภาวะกระแสเกินเนื่องจากกระแสไหลเกิน จะต้องหาสาเหตุของสภาวะผิดปกติและแก้ไขให้เรียบร้อยจึงจะสามารถดันด้ามจับไปตำแหน่ง ON ได้การทำงานในลักษณะดังกล่าวเรียกว่า Quick make หรือ Quick break Molded Case Circuit Breaker ที่จำหน่ายในท้องตลาด แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. Thermal magnetic MCCB. ลักษณะดังภาพที่ 2.5 เป็นตัวอย่างขนาด 1 ขั้ว และ 2 ขั้ว MCCB. ชนิดนี้มีอุปกรณ์สำหรับการสั่งปลดวงจรจำนวน 2 ส่วน คือ

ภาพที่ 2.5 Thermal UnitMagnetic MCCB **ที่มา** [2]

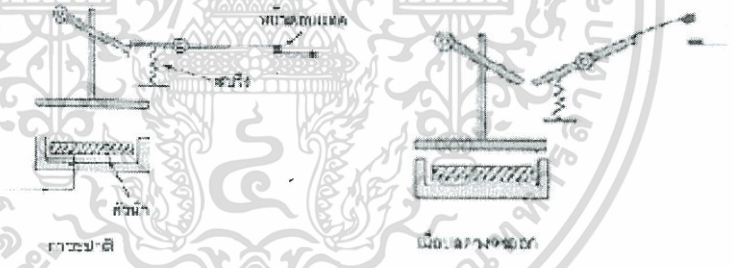
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. Thermal Unit ใช้สำหรับปลดวงจรออกเมื่อกระแสเกินเนื่องจากโหลดเกิน (over load) จากรูป เมื่อกระแสเกินเนื่องจากโหลดเกินไหลผ่านแผ่นไบเมทอล (bimeta) จะเกิดความร้อนจนโก่งงอไปปลดอุปกรณ์ทางกล (mechanical) ทำให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ปลดวงจรออก หรือที่เรียกว่าเซอร์กิตเบรคเกอร์ทริป (trip)

ภาพที่ 2.6 Thermal unit สภาวะปกติ และ เมื่อปลดวงจรออก **ที่มา** [2]

โดยทั่วไปการสั่งปลดวงจรของ Thermal it จะใช้เวลานานพอสมควร (ขึ้นอยู่กับจำนวนกระแสและความร้อนที่จะทำให้แผ่นไบเมทอลเกิดการโค้งงอ) ดังนั้นเมื่อเกิดการลัดวงจรจึงต้องมีอุปกรณ์อีกตัวหนึ่งเพื่อปลดวงจรออกอย่างรวดเร็ว

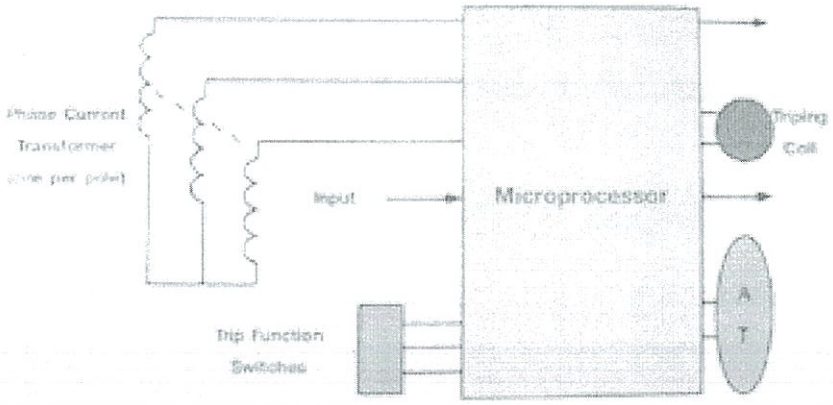
ข. Magnetic unit ใช้สำหรับปลดวงจรออกเมื่อกระแสเกินเนื่องจากลัดวงจร (short circuit) จากภาพที่ 2.7 ถ้าหากเกิดการลัดวงจรหรือกระแสสูงๆ ประมาณ 8-10 เท่าขึ้นไปไหลผ่านจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กและเกิดแรงขึ้นจำนวนหนึ่งจนสามารถดึงอุปกรณ์ทางกล ทำให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ปลดวงจรออกได้



ภาพที่ 2.7 Magnetic unit **ที่มา** [2]

2. Electronic trip MCC. หรือ solid state trip จะใช่วงจรอิเล็กทรอนิกส์วิเคราะห์ค่ากระแสเพื่อส่งปลดวงจรดังรูป ภายในจะมีหม้อแปลงกระแส (Current transformer: CT) ทำหน้าที่แปลงกระแส ให้มีขนาดต่ำลง โดยมีไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) ทำหน้าที่วิเคราะห์ค่อของการะแสที่ไหลผ่าน ถ้าหกาสูงเกิน กว่าค่าที่กำหนดไว้ก็จะสั่งให้ triping coil ดึงอุปกรณ์ทางกลเพื่อให้ เซอร์กิตเบรกเกอร์ปลดวงจร เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดนี้ จะมีปุ่มปรับค่ากระแสและเวลาปลดวงจร ดังรูป นอกจากนี้ยังสามารถติดตั้ง อุปกรณ์ที่เรียนกว่า ammeter & fault indicator โดยจะแสดงสาเหตุการผิดปกติของวงจรและค่ากระแส ได้อีกด้วยดังรูป ทำให้การวิเคราะห์หาสาเหตุในการปลด วงจรทำได้อย่างรวดเร็ว

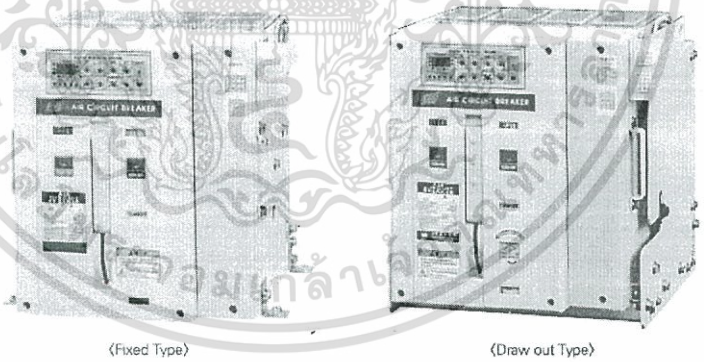
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 ไดอะแกรมของการสั่ง Trip **ที่มา** [2]

2.2.1.2 Air Circuit Breaker (ACB)

ใช้สำหรับระบบแรงดันไฟฟ้าน้อยกว่า 1,000 โวลท์ ส่วนใหญ่จะมีพิกัดกระแสระหว่าง 255A-6,300A และมีค่า interrupting capacity (กระแสลัดวงจรสูงสุดที่ CB. ยังสามารถปลดวงจรได้อย่างปลอดภัย) ตั้งแต่ 35 KA - 150 KA ส่วนใหญ่โครงสร้างจะทำด้วยเหล็ก ทำให้มีน้ำหนักมาก จึงต้องติดตั้งในรางเลื่อน Air Circuit Breaker ส่วนใหญ่จะใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นตัววิเคราะห์ค่ากระแสเพื่อสั่งปลดวงจร ABC มี 2 ประเภทคือ Fixed type และ Draw out type ดังรูป

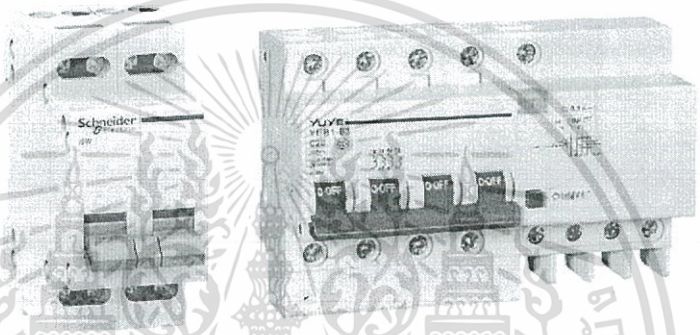


ภาพที่ 2.9 ลักษณะ Air Circuit Breaker **ที่มา** [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.3 Miniature Circuit Breaker

เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาดเล็กใช้ติดตั้งเป็นอุปกรณ์ป้องกัน วงจรย่อยในแผงไฟฟ้าย่อย (Load center) หรือแผงไฟฟ้าประจำห้องพักอาศัย (Consumer unit) มีทั้งชนิด 1 Pole, 2 Pole, 3 Poleแต่เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดนี้ จะไม่สามารถปรับตั้งค่าได้ ดังรูปโดยทั่วไปจะ มีพิกัดแรงดัน 240/415 Vac. พิกัดกระแสสูงสุด 100A และมีค่ากระแสลัดวงจรติดตั้งแต่ 5KA ถึง 10KA โดยจะนำไป ใช้ป้องกันวงจรย่อยหลายอย่าง อาทิเช่นแสงสว่าง,เต้ารับ, เครื่องปรับอากาศ,มอเตอร์ขนาดเล็ก เนื่องจากทนกระแสลัดวงจรได้ต่ำ ปัจจุบันเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดป้องกัน ไฟฟ้าดูด (Earth leakage) ดังรูป เป็นที่นิยมมากขึ้น เนื่องจากมีความเชื่อถือได้ ปลอดภัยต่อผู้ใช้ กล่างคือ ถ้าหากกระแสรั่วไหลมากกว่า 10 mAจะปลดวงจร ภายใน 0.02 วินาที นิยมนำไปติดตั้งใช้กับวงจรเครื่องทำน้ำร้อน เครื่องซักผ้า และ อื่นๆ



ภาพที่ 2.10 เซอร์กิตเบรคเกอร์ชนิดปรับค่าไม่ได้ และ Earth leakage CB **ที่มา** [2]

2.2.1.4 คำศัพท์เฉพาะของเซอร์กิตเบรกเกอร์

1. Amp trip หรือ Ampare trip (AT) หมายถึง พิกัดกระแสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ส่วนใหญ่จะแสดงไว้ที่ name plate หรือด้ามคันโยก ถ้าหากเป็นชนิดปรับค่าไม่ได้จะปั๊มตัวนูนไว้ ที่ด้ามคันโยก การกำหนดค่า AT ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ตามมาตรฐานของ NEC (มาตรฐานนานาชาติ) กำหนดพิกัดกระแสไว้ดังนี้ 15 , 20 , 25 , 30 , 35 , 40 , 50 , 60 , 70 , 80 , 90 , 100 , 110 , 125 , 150 , 175 , 200 ,225 , 250 , 300 , 350 , 400 , 450 , 500 , 600 , 700 , 800 , 1,000 , 1,200 , 1,600 , 2,00 , 2,500 , 3,000 , 4,000 , 5,000 และ 6,000A อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ป้องกันของผู้ผลิตอาจจะไม่ตรงตามที่ระบุไว้การกำหนดขนาดของ Amp trip ของเซอร์กิตเบรคเกอร์ NEC กำหนดไว้ว่า “หากวงจรมีโหลดทั้งโหลดต่อเนื่องและโหลดไม่ต่อเนื่อง ขนาดของอุปกรณ์ป้องกันต้องมีค่าไม่น้อยกว่าผลรวมของโหลดไม่ต่อ- เนื่อง รวมกับ 125% ของโหลดต่อเนื่องยกเว้นอุปกรณ์ป้องกันที่เป็นชนิด 100%” (โหลดต่อเนื่องคือโหลดที่ใช้งานต่อเนื่องเป็นเวลาเท่ากับหรือมากกว่า 3 ชั่วโมง) โดยทั่วไปการปลดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีอยู่ 2 ลักษณะ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. Standard Circuit breaker มาตรฐาน NEC กำหนดไว้ว่า “หากนำเซอร์กิตเบรคเกอร์ ชนิดนี้ไปใช้กับโหลดต่อเนื่อง จะปลดวงจรที่พิกัดกระแสของเซอร์กิตเบรกเกอร์”

ข. 100% rated circuit breaker มาตรฐาน NEC กำหนดไว้ว่า “หากนำเซอร์กิตเบรคเกอร์ชนิดนี้ไปใช้กับโหลดต่อเนื่อง จะปลดวงจรที่พิกัดกระแสของเซอร์กิตเบรกเกอร์”

สรุปได้ดังนี้คือ - กรณีอุปกรณ์ป้องกันทั่วไป (standard)

CB. = 1.25(กระแสโหลดต่อเนื่อง) + 1.00 (กระแสโหลดไม่ต่อเนื่อง)

- กรณีอุปกรณ์ป้องกันที่ทำงานได้ 100% ของขนาดที่ตั้งไว้ (100% rated)

CB. = 1.00 (กระแสโหลดต่อเนื่อง) + 1.00 (กระแสโหลดไม่ต่อเนื่อง)

2. Amp frame หรือ Ampare frame (AF) คือ ขนาด AT สูงสุด ที่ CB. ในรุ่นนั้นมีจำหน่ายเช่น CB. ขนาด 125AT/250AF แสดงว่า CB. รุ่นนี้มี CB. รุ่น 250 AT/250AF เป็นพิกัดกระแสสูงสุดโดยที่เซอร์กิต เบรกเกอร์ทั้งสองรุ่น จะใช้ molded และอุปกรณ์ประกอบชนิดเดียวกัน จะแตกต่างกัน ก็ คือ การปรับแต่งค่าของกระแส ปลดวงจรซึ่งจะทำการทดสอบก่อน ส่งออกจำหน่าย นั่นคือค่า Amp frame จะแสดงค่าทางกายภาพด้วย มาตรฐาน NEMA ระบุขนาด AF ไว้ดังนี้ 50 , 100 , 225 ,400 , 600 , 800 , 1,000 , 1,200 , 1,600 , 2,000 ,2,500 ,4,000 และ 5,000 F

3. Pole หรือขั้วจะบอกให้ทราบว่า CB. เป็นชนิด 1 เฟส หรือ 3 เฟส

- 1 Pole หมายถึงเซอร์กิตเบรกเกอร์สำหรับระบบ 1 เฟสโดยใช้ป้องกันสาย lineอย่างเดียว
- 2 Pole หมายถึงเซอร์กิตเบรกเกอร์สำหรับระบบ 1 เฟสโดยใช้ป้องกันสาย line และสาย meutral
- 3 Pole หมายถึงเซอร์กิตเบรกเกอร์สำหรับ ระบบ 3 เฟส โดยใช้ป้องกันสาย line อย่างเดียว
- 4 Pole หมายถึงเซอร์กิตเบรกเกอร์สำหรับระบบ 3 เฟส โดยใช้ป้องกันสาย line และสาย neutral

4. IC หรือ interrupting capacity หมายถึง ค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดที่ CB. นั้นสามารถปลดวงจรได้โดยตัวมันเอง ไม่เกิดความเสียหาย ส่วนใหญ่จะระบุหน่วยเป็นกิโลแอมป์ (KA) กระแสลัดวงจรจะทำให้เกิดความเครียดทางกล (mechanical stress) และความเครียดทางความร้อน (thermal stress) ซึ่งเป็นอันตราย ต่ออุปกรณ์ป้องกันและผู้ใช้

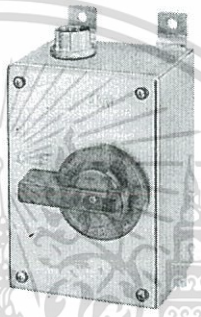
5. Push to trip คือ ปุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสภาพการทำงานทางกลของเซอร์กิตเบรกเกอร์ มื่อติดตั้งใช้งานนาน 2-3 ปีอาจจะไม่เคยเกิดสภาวะผิดปกติ สปริงยังมีแรงดึงปลดวงจรได้ทันท่วงทีหรือไม่โดยทั่วไปจะทดสอบปีละครั้ง

6. Triping curve หมายถึง กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับเวลาปลดวงจร บาง ครั้งเรียกว่า I-T curve บนกราฟจะมีสเกลของ Log แกน X แสดงจำนวนเท่าของกระแสพิกัด ส่วน แกน Y แสดงค่าเวลา ในหน่วย วินาที Triping curve ของเซอร์กิตเบรกเกอร์แต่ละยี่ห้อแต่ละรุ่น จะมีลักษณะแตกต่างกันไปโดยจะแบ่งเป็น 2 แบบตามลักษณะการสั่งปลดวงจร ได้แก่ Thermal magnetic CB. Triping curve และ Electronic trip CB. Triping curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ดิสคอนเนคติ้งสวิชต์ (Disconnecting Switch: DS)

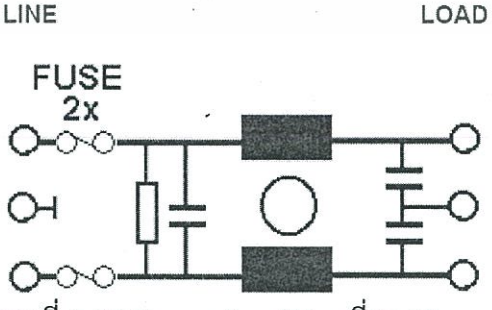
หากจะเปรียบเทียบ ก็นึกถึง Cut-Out ไฟฟ้าแรงต่ำ ซึ่ง DS มีหน้าที่ คือ ทำหน้าที่เป็นสะพานไฟฟ้าเปิด หรือปิด แต่จะต่างจาก Cut-Out ที่ใช้ตามบ้าน คือ DS ที่ใช้ เป็นระบบไฟฟ้ากำลัง หรือระบบจ่ายไฟฟ้ามากๆ กระแสต่างๆ ที่จะวิ่งผ่านขณะเปิด และปิดวงจรจะมีค่าสูง ดังนั้นการใช้งานที่ปลอดภัย และถูกต้อง DS จะต้องเปิด หรือปิดวงจรไฟฟ้า ขณะที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเท่านั้น ทั้งนี้เพราะลักษณะของโครงสร้างของ DS มีลักษณะดังนี้ DS ไม่มี Arcing Contact หากมีกระแสค่าสูงๆ ไหลผ่านขณะเปิด-ปิดวงจรที่ Main Contact แล้วเกิด Arc ขึ้นจะทำให้เกิดผลเสียต่อหน้าสัมผัส ทำให้อายุการใช้งานสั้นลง DS เกือบทุกประเภทไม่มีระบบสะสมพลังงาน (Spring Store Energy) ที่จะสับ หรือปลดชุดใบมีดให้มีความเร็วสูงเพื่อลดเวลาการเกิด Arc ให้สั้นที่สุด ประโยชน์ของ DS ที่ใช้ในงาน Power System คือเพื่อความปลอดภัยในการซ่อมบำรุง



ภาพที่ 2.11 Disconnecting Switch **ที่มา** [2]

2.2.3 ไลน์ฟิลเตอร์ (Line filter)

Line filter เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้า มีหน้าที่กรองไฟ (ความถี่) ที่เกิดจากเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีมอเตอร์ในการทำงาน เพื่อป้องกันความถี่ที่เกิดขึ้นออกไปรบกวนเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น หรือ มีหน้าที่สำหรับกรองสัญญาณรบกวน (EMI) จากระบบไฟหลักไม่ให้เข้าสู่เครื่องใช้ไฟฟ้าของเรา นอกจากนี้บางวงจร อาจเพิ่มเติมส่วนป้องกันแรงดันไฟกระชาก / ไฟเกินไว้อีกด้วย ในบางวงจรอาจจะประกอบไปด้วย Varistor ในภาค input ซึ่งจะทำหน้าที่ลัดวงจรเมื่อแรงดันไฟฟ้าเกินค่าพิกัดของตัวมันเอง โดยทั่วไป Varistor จะวางอยู่หลัง Fuse ดังนั้นมันจะทำให้ Fuse ขาดและแยกวงจรออกจาก Power line ทันทีเพื่อป้องกันความเสียหายของวงจรภายในที่สำคัญ

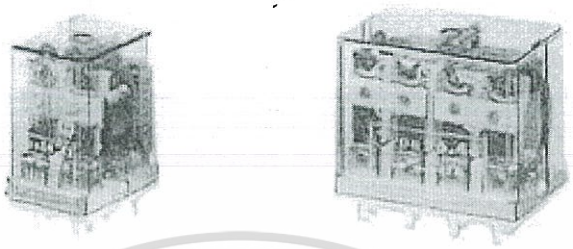


ภาพที่ 2.12 Power line filter **ที่มา** [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 รีเลย์ (Relay)

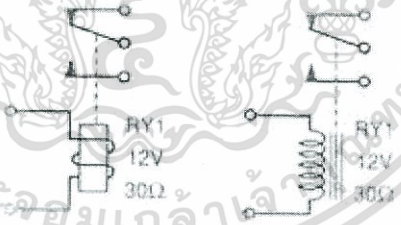
เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานแม่เหล็ก เพื่อใช้ในการดึงดูดหน้าสัมผัสของคอนแทคให้เปลี่ยนสภาวะโดยการป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวด เพื่อทำการปิดหรือเปิดหน้าสัมผัสคล้ายกับสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเราสามารถนำรีเลย์ไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมวงจรต่าง ๆ ในงานช่างอิเล็กทรอนิกส์มากมาย



ภาพที่ 2.13 รูปร่างของรีเลย์ที่มีตัวถังเป็นพลาสติกใสป้องกันฝุ่น **ที่มา** [2]

รีเลย์ ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนหลักก็คือ

1. ส่วนของขดลวด (coil) เหนี่ยวนำกระแสต่ำ ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าให้แกนโลหะไปกระทุ้งให้หน้าสัมผัสต่อกัน ทำงานโดยการรับแรงดันจากภายนอกต่อคร่อมที่ขดลวดเหนี่ยวนำนี้ เมื่อขดลวดได้รับแรงดัน(ค่าแรงดันที่รีเลย์ต้องการขึ้นกับชนิดและรุ่นตามที่ผู้ผลิตกำหนด) จะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้แกนโลหะด้านในไปกระทุ้งให้แผ่นหน้าสัมผัสต่อกัน
2. ส่วนของหน้าสัมผัส (Contact) ทำหน้าที่เหมือนสวิตช์จ่ายกระแสไฟให้กับอุปกรณ์ที่เราต้องการนั่นเอง

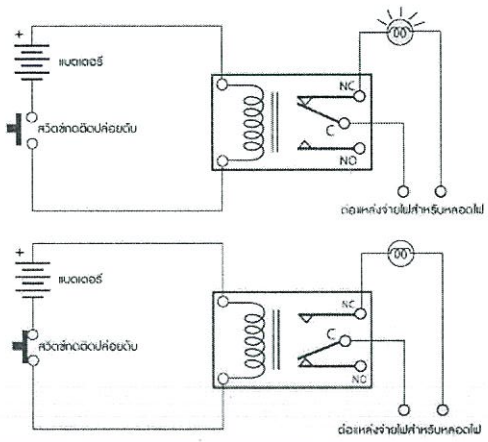


ภาพที่ 2.14 สัญลักษณ์รีเลย์แบบพันลวด และ แบบตัวเหนี่ยวนำพันแกนเหล็ก **ที่มา** [2]

จุดต่อใช้งานมาตรฐาน ประกอบด้วย

- จุดต่อ NC ย่อมาจาก normal close หมายความว่าปกติดปิด หรือ หากยังไม่จ่ายไฟให้ขดลวดเหนี่ยวนำหน้าสัมผัสจะติดกัน โดยทั่วไป เรามักต่อจุดนี้เข้ากับอุปกรณ์ หรือ เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการให้ทำงานตลอดเวลาเช่น
- จุดต่อ NO ย่อมาจาก normal open หมายความว่าปกติเปิด หรือหากยังไม่จ่ายไฟให้ขดลวดเหนี่ยวนำหน้าสัมผัสจะไม่ติดกัน โดยทั่วไปเรามักต่อจุดนี้เข้ากับอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการควบคุมการเปิดปิดเช่นโคมไฟสนามหนือหน้าบ้าน
- จุดต่อ C ย่อมากจาก common คือจุดร่วมที่ต่อมาจากแหล่งจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



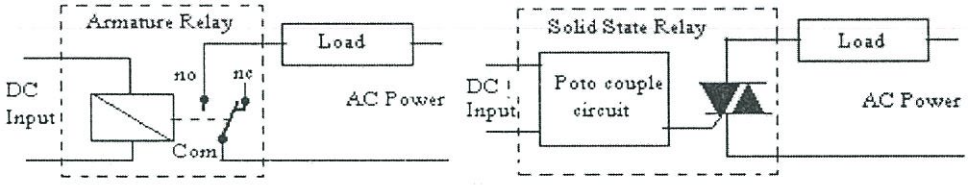
ภาพที่ 2.15 วงจรการทำงานของรีเลย์อย่างง่าย **ที่มา** [2]

2.3.1 โซลิดสเตตรีเลย์ (Solid-state relays)

คือ รีเลย์ที่ไม่ใช้หน้าสัมผัสที่ ซึ่งใช้เทคโนโลยีของ Semiconductor ทำให้ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ เพื่อลดเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นจากรีเลย์แบบหน้าสัมผัส และ เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานระยะยาว เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อ (Interface) ระหว่างภาคควบคุม(Control) ซึ่งเป็นส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ กับวงจรภาคไฟฟ้ากำลัง (Power) โดยที่ภาคทั้งสองจะมีระบบกราวด์ (Ground) ที่แยกออกจากกันทำให้สามารถป้องกันการลัดวงจร (Short circuit) และการรบกวนซึ่งกันและกันได้

ภาพที่ 2.16 โซลิดสเตตรีเลย์ **ที่มา** [3]

โซลิคสเตตรีเลย์ อาจถือได้ว่าเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ออกแบบมาเพื่อใช้แทนอาร์เมเจอร์รีเลย์ (Armature Relay) แต่มีข้อดีกว่า คือ มีขนาดเล็กกว่า มีความไวในการทำงานที่สูงกว่า และ มีอายุการทำงานนานกว่า เป็นต้น

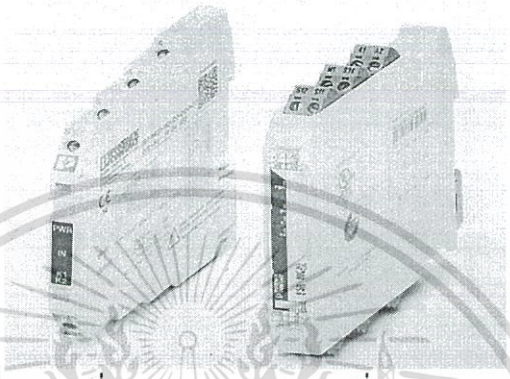


ภาพที่ 2.17 วงจรการต่อใช้งานแบบพื้นฐานของอาร์เมเจอร์รีเลย์ และ โซลิคสเตดรีเลย์ **ที่มา** [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 เซฟตี้รีเลย์ (Safety relays)

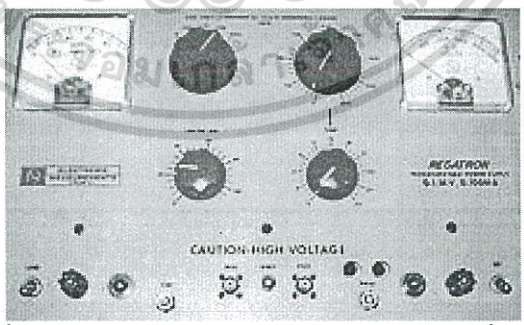
คือ Relay ที่กำหนดการทำงานได้เมื่อเกิดกรณีขัดข้องนั่นเอง ซึ่งจะมีความแตกต่างจาก Relay ทั่วไป โดยที่ Safety Relay มีกลไกการเชื่อมต่อของหน้าคอนแทคที่ทำให้มีการเคลื่อนที่ของหน้าคอนแทคทั้งชุดไปพร้อมกัน ทำให้สามารถป้องกันการทำงานผิดพลาดในกรณีที่หน้าคอนแทคหลอมละลายได้ ดังนั้น Safety Relay จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องมีการใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ในประเภทเซนเซอร์ที่ใช้สำหรับการป้องกันอันตรายต่อมนุษย์ในพื้นที่อันตรายเพื่อให้การป้องกันภัยเป็นระบบที่สมบูรณ์สูงสุด



ภาพที่ 2.18 Safety relays **ที่มา** [3]

2.4 แหล่งจ่ายไฟ (Power supply)

เป็นอุปกรณ์ที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดไฟฟ้า เป็นคำที่ใช้กันมากที่สุด ในการแปลงพลังงานไฟฟ้าจากรูปแบบหนึ่ง ไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่ง แม้ว่ามันจะยังอาจหมายถึง อุปกรณ์ที่แปลงพลังงานรูปแบบหนึ่ง (เช่นพลังงานกล, พลังงานเคมี, พลังงานแสงอาทิตย์) ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า แหล่งจ่ายไฟแบบควบคุมได้(Regulated power supply) สามารถควบคุม แรงดันหรือกระแสเอาต์พุตให้มีค่าที่คงที่แน่นอน แม้ว่าโหลดจะมีการเปลี่ยนแปลงหรือมีการเปลี่ยนแปลงที่พลังงานที่อินพุทก็ตาม



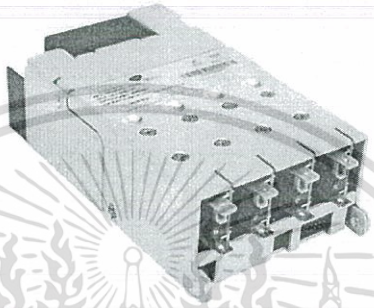
ภาพที่ 2.19 แหล่งจ่ายไฟแบบหลอดสุญญากาศ **ที่มา** [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.4.1 แหล่งจ่ายไฟตรง (DC Power supply)

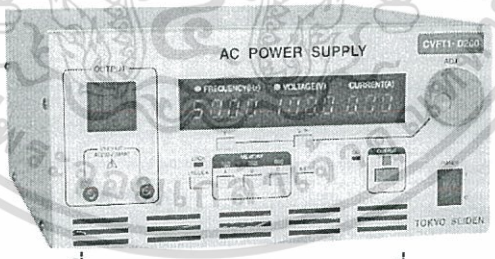
แหล่งจ่ายไฟ DC ที่ไม่ควบคุมปกติจะใช้หม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อแปลงแรงดันจากไฟบ้าน ให้ต่ำลงให้ได้แรงดันที่ต้องการ ถ้าต้องการผลิต แรงดัน DC, วงจรเรียงกระแส จะใช้ในการ แปลงแรงดันไฟฟ้าสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้าตรง(ยังเป็นรูปคลื่นอยู่) ตามด้วยตัวกรองประกอบด้วยตัวเก็บประจุ ตัวต้านทาน อย่างน้อยหนึ่งตัว และบางครั้งมี ตัวเหนี่ยวนำด้วยเพื่อ ทำการกรอง (ทำให้เรียบ) ของคลื่นเหล่านั้น คลื่นขนาดเล็กที่เหลือจากการกรองหรือที่เรียกว่า ripple นี้เป็นสิ่งไม่พึงประสงค์ ซึ่งอาจมีความถี่น้อยหรือมากกว่าความถี่จาก AC input (ขึ้นอยู่กับวิธีเรียงกระแสว่าเป็นแบบครึ่งคลื่นหรือ เต็มคลื่น) ripple นี้จะขี่ไปบนแรงดันไฟฟ้าตรง อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้



ภาพที่ 2.20 DC Power supply **ที่มา** [4]

2.4.2 แหล่งจ่ายไฟสลับ (AC Power supply)

แหล่งจ่ายไฟ AC ปกติจะใช้แรงดันไฟฟ้าจากเต้าเสียบ (ไฟบ้าน) และ ลดแรงดันลงในระดับแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการ บางครั้ง การกรองก็ต้องการเช่นกัน



ภาพที่ 2.21 AC Power supply **ที่มา** [4]

แหล่งจ่ายไฟ AC สามารถผลิตไฟฟ้า AC ได้จากไฟ DC วงจรที่ใช้เปลี่ยนไฟ DC ให้เป็นไฟ AC เรียกว่า Inverter อินเวอร์เตอร์ทำงานด้วยอุปกรณ์ power switching ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำที่ควบคุมได้. รูปคลื่น AC ที่เอาต์พุตจึงมีค่าที่ไม่เกาะติดกัน เนื่องจากการแปลงทำงานอย่างรวดเร็วแทนที่จะเป็นการแปลงอย่างราบรื่น ความสามารถในการสร้างรูปคลื่นใกล้รูปซายน์ที่มีความถี่ใกล้ๆ ความถี่พื้นฐานถูกบังคับโดยใช้เทคนิคการมอดดูเลชั่นที่มีการควบคุมตลอดเวลาที่ เพาเวอร์วาล์วเปิดและปิด

148504

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 สายไฟ (Cable)

2.5.1 การใช้งานของสายไฟฟ้า

สายไฟฟ้าเป็นสื่อกลางในการนำเอากำลังไฟฟ้าจากแหล่งต้นกำลังไปยังสถานที่ต่าง ๆ ที่ต้องการ ใช้ไฟฟ้าไปติดตั้ง ใช้งาน จะพิจารณาจากข้อมูลเบื้องต้น ดังนี้

1. ความสามารถในการนำกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด โดยไม่ทำให้ฉนวนของสาย (insulated) ได้รับความเสียหายซึ่งสามารถดูเปรียบเทียบได้จากตารางสำเร็จรูปโดยที่ข้อกำหนดการใช้งานของสายไฟฟ้าขนาดต่างๆดังกล่าวเป็นไปตามมาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้า

2. แรงดันไฟฟ้าที่สายไฟฟ้าทนได้ ส่วนใหญ่ผู้ผลิตจะพิมพ์ติดไว้ที่ผิวฉนวนด้านนอกของสาย-ไฟฟ้า เช่น300V. หรือ 750V. เป็นต้น

3. อุณหภูมิแวดล้อมขณะใช้งาน เช่น 60°C หรือ 70°C เป็นต้น

4. ชนิดของฉนวน เช่น ฉนวนพีวีซี(PVC) หรือ ที่เรียกว่า โพลิไวนิลคลอไรด์ (Polyviny-lchloride) เหมาะสำหรับการเดินสายไฟฟ้าในอาคารทั่วไป ทั้งนี้เนื่องจากพลาสติกพีวีซีมีความอ่อนตัวสามารถดัดโค้งงอได้ทนต่อความร้อนเหนียวและไม่เปื่อยง่าย ฉนวนพลาสติกอีกชนิดหนึ่ง คือ ครอสลิ่งก์โพลีเอธทีลีน (cross linked Polyethylene: XLPE) ซึ่งเป็นสายอะลูมิเนียมหุ้มฉนวนหนาพิเศษจึงสามารถรับแรงกระแทกได้มากขึ้น

5. ลักษณะการนำไปใช้งาน โดยพิจารณาจากลักษณะการติดตั้ง สถานที่ใช้งานสภาพความแข็งแรงของสายไฟฟ้าทั้งนี้จะต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับสายไฟฟ้าแต่ละชนิดด้วย

2.5.2 การแบ่งชนิดสายไฟ

ข้อกำหนดทั่วไปเกี่ยวกับสายไฟฟ้า ที่ควรทราบมีดังนี้

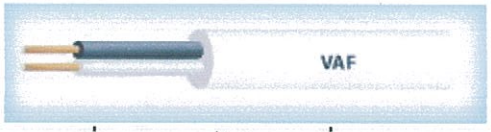
1. สีของฉนวนหุ้มสายไฟฟ้า โค๊ดสีมาตรฐานมีดังนี้

สายหุ้มฉนวนแกนเดียว	ใช้ได้ทุกสี
สายหุ้มฉนวน 2 แกน	ใช้สีเทาอ่อน ดำ
สายหุ้มฉนวน 3 แกน	ใช้สีเทาอ่อน ดำ แดง
สายหุ้มฉนวน 4 แกน	ใช้สีเทาอ่อน ดำ แดง น้ำเงิน
สายหุ้มฉนวน 5 แกน	ใช้สีเทาอ่อน ดำ แดง น้ำเงิน เหลือง
สำหรับสายดิน (earth)	ใช้สายสีเขียวหรือเขียวสลับเหลือง

2. ชนิดของสายหุ้มฉนวน สายที่นิยมใช้ในงานติดตั้งไฟฟ้าทั่วไป ที่ควรทราบ ได้แก่ สาย VAF, VFF, VSF, THW, VCT และสาย NYY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. สาย VAF เนื่องจากมีรูปทรงแบน จึงเรียกว่า สายแบนแกนคู่ ภายในประกอบด้วยสายทองแดงจำนวนสองเส้นหุ้ม ด้วยฉนวนพีวีซีสองชั้นหรือ (PVC/PVC) ดังภาพที่ 2.22 เหมาะสำหรับงานเดิน สายไฟฟ้าด้วยเข็มขัดรัดสายเนื่องจากสามารถดัดโค้งงอได้ดี พิกัดแรงดัน 300 โวลท์ อุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส มีหลายขนาดเช่น 2 × 5 (มม)^2 หมายถึง ภายในสาย VAF ประกอบด้วยสายจำนวน 2 เส้น แต่ละเส้นมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 1.5 ตารางมิลลิเมตร เป็นต้น



ภาพที่ 2.22 สายไฟ VAF **ที่มา** [5]

ข. สาย VFF ภายในประกอบด้วยสายทองแดงฝอยจำนวนสองแกนหุ้มด้วยฉนวน พีวีซีชั้นเดียว (pvc insulated) ดังภาพที่ 2.23 เหมาะสำหรับงานที่ต้องเคลื่อนย้ายบ่อย ๆ พิกัดแรงดดันและอุณหภูมิใช้งานเหมือนกับสาย VAF

ภาพที่ 2.23 สายไฟ VFF **ที่มา** [5]

ค. สาย VSF ภายในประกอบด้วยสายทองแดงฝอยหุ้มด้วยฉนวนพีวีซีชั้นเดียว จำนวนงานเหมือนกับสาย VAF

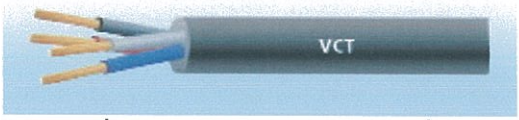
ภาพที่ 2.24 สายไฟ VSF **ที่มา** [5]

ง. สาย THW ภายในประกอบด้วยสายทองแดงตันเส้นเดียว หุ้มด้วยฉนวนพีวีซีชั้นเดียวดังภาพที่ 2.25 ใช้สำหรับติดตั้งในท่อร้อยสายพิกัดแรงดัน 750 โวลท์ อุณหภูมิใช้งาน ไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส

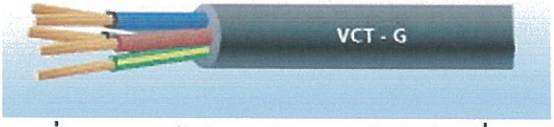
ภาพที่ 2.25 สายไฟ THW **ที่มา** [5]

จ. สาย VCT ภายในประกอบด้วยสายทองแดงฝอยจำนวน 2 แกน หรือมากกว่า หุ้มฉนวนสองชั้น ดังภาพที่ 2.26 ใช้ต่อเข้ากับปลั๊กตัวผู้ของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ และอื่น ๆ พิกัดแรง ดันและอุณหภูมิใช้งานเหมือนกับสาย THW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.26 สายไฟ VCT 4 แกน **ที่มา** [5]



ภาพที่ 2.27 สายไฟ VCT 4 แกน มีสายดิน **ที่มา** [5]

ฉ. สาย NYY ภายในประกอบด้วยสายทองแดงจำนวนสองแกนหรือมากกว่า หุ้มด้วยฉนวนสามชั้น ดังภาพที่ 2.28 เหมาะสำหรับการเดินสายใต้ดินโดยตรงหรือใช้งานทั่วไป บางชนิดจะมีแผ่นเหล็กเป็นเกราะกำบัง พิกัดแรงดันและอุณภูมิใช้งานเหมือนกับสาย VCT

ภาพที่ 2.28 สายไฟ NYY 4 แกน **ที่มา** [5]

ภาพที่ 2.29 สายไฟ NYY 4 แกน มีสายดิน **ที่มา** [5]

2.5.2 การใช้งานของสายไฟฟ้า

สายไฟฟ้าที่ผลิตตามมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.11-2531 ได้กำหนดชนิดของสายไฟฟ้าและลักษณะการติดตั้งไว้ดังตารางที่ 2.1 ขนาดกระแสและรูปแบบการติดตั้งแสดงดังรูปที่ 2.2 และตารางที่ 2.3

สายไฟฟ้าตาม มอก. 11-2531 ตารางที่	แรงดันใช้งาน(V)	สถานที่ใช้งาน	ลักษณะการติดตั้ง
1 (IV)	300	ใช้ในสถานที่แห้งและสถานที่เปียก	- เดินลอยต้องยึดด้วยวัสดุฉนวน - เดินในท่อหรือช่องเดินสายในสถานที่แห้ง - ห้ามร้อยท่อฝังดิน หรือฝังดินโดยตรง
2 (VAF)	300	ใช้ในสถานที่แห้งและสถานที่เปียก	สายกลม - เดินลอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

			- เดินเกาะผนัง - เดินซ่อน(Conceal)ในผนัง - เดินในท่อหรือช่องเดินสาย - เดินร้อยท่อ (Conduit) ฝังดินได้ แต่ต้องป้องกันไม่ให้น้ำเข้าภายในท่อ และป้องกันไม่ให้สายมีโอกาสแช่น้ำ - ห้ามฝังดินโดยตรง สายแบน - เดินเกาะผนัง - เดินซ่อนในผนัง - ห้ามฝังดินโดยตรง - เดินฝังในผนังปูนฉาบ
3 (VVR)	300	ใช้ในสถานที่แห้งและสถานที่เปียก	- ใช้งานได้ทั่วไป - ห้ามฝังดินโดยตรง
4 (THW)	750	ใช้ในสถานที่แห้งและสถานที่เปียก	- เดินลอยต้องยึดด้วยวัสดุฉนวน - เดินในท่อหรือช่องเดินสายในสถานที่แห้ง - ห้ามฝังดินโดยตรง - ร้อยท่อฝังดินได้ แต่ต้องป้องกันไม่ให้น้ำเข้าไปในท่อและป้องกันไม่ให้สายมีโอกาสแช่น้ำ
5 (VVF)	750	ใช้ในสถานที่แห้งและสถานที่เปียก	สายกลม - เดินลอย - เดินเกาะผนัง - เดินฝังในผนังปูนฉาบ - เดินซ่อนในผนัง - เดินในท่อหรือช่องเดินสาย - เดินร้อยท่อ ฝังดินได้ แต่ต้องป้องกันไม่ให้น้ำเข้าไปในท่อและป้องกันไม่ให้สายมีโอกาสแช่น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

			สายแบน - เดินเกาะผนัง - เดินซ่อนในผนัง - ห้ามฝังดินโดยตรง
6 (NYY)	750	ใช้ในสถานที่แห้ง และสถานที่เปียก	- ใช้งานได้ทั่วไป - ฝังดินโดยตรง
7 (NYY)	750	ใช้ในสถานที่แห้ง และสถานที่เปียก	- ใช้งานได้ทั่วไป - ฝังดินโดยตรง
8 (NYY-N)	750	ใช้ในสถานที่แห้ง และสถานที่เปียก	- ใช้งานได้ทั่วไป - ฝังดินโดยตรง
9 (VAF-G)	750	ใช้ในสถานที่แห้ง และสถานที่เปียก	- ใช้ต่อเข้าเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า และเครื่องใช้ไฟฟ้า
10 (VFF)	300	ใช้ในสถานที่แห้ง และสถานที่เปียก	- ใช้ต่อเข้าเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า ชนิดหยิบยกได้และใช้ต่อเข้าดวงโคม
11 (VAF-G)	300	ใช้ในสถานที่แห้ง และสถานที่เปียก	- เดินเกาะผนัง - เดินซ่อนในผนัง - เดินฝังในผนังปูนฉาบ - ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดินโดยตรง
12 (VVR-G)	300	ใช้ในสถานที่แห้ง และสถานที่เปียก	- ใช้งานได้ทั่วไป - ห้ามฝังดินโดยตรง
13 (VVF-G)	750	ใช้ในสถานที่แห้ง และสถานที่เปียก	- เดินเกาะผนัง - เดินซ่อนในผนัง - เดินฝังในผนังปูนฉาบ - ห้ามฝังดินโดยตรง
14 (NYY-G)	750	ใช้ในสถานที่แห้ง และสถานที่เปียก	- ใช้งานได้ทั่วไป - ฝังดินโดยตรง
15 (VCT-G)	750	ใช้ในสถานที่แห้ง และสถานที่เปียก	- ใช้ต่อเข้าเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้า และเครื่องใช้ไฟฟ้า
16 (VFF-G)	300	ใช้ในสถานที่แห้ง และสถานที่เปียก	- ใช้ต่อเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดหยิบ ยกได้และต่อเข้าดวงโคม

ตารางที่ 2.1 ตารางข้อกำหนดการใช้งานของสายไฟฟ้าที่ผลิตตาม มอก. 11-2531 **ที่มา** [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)						
	วิธีการเดินสาย						
	ก	ข	ค		ง		จ
			ท่อโลหะ	ท่ออโลหะ	ท่อโลหะ	ท่ออโลหะ	
0.5	9	8	8	7	10	9	-
1	14	11	11	10	15	13	21
1.5	17	15	14	13	18	16	26
2.5	23	20	18	17	24	21	34
4	31	27	24	23	32	28	45
6	42	35	31	30	42	36	56
10	60	50	43	42	58	50	75
16	81	66	56	54	77	65	97
25	111	89	77	74	103	87	125
35	137	110	95	91	126	105	150
50	169	-	119	114	156	129	177
70	217	-	148	141	195	160	216
95	271	-	187	180	242	200	259
120	316	-	214	205	279	228	294
150	364	-	251	236	322	259	330
185	424	-	287	269	370	296	372
240	509	-	344	329	440	352	431
300	592	-	400	373	508	400	487
400	696	-	474	416	599	455	552
500	818	-	514	469	684	516	623

ตารางที่ 2.2 ตารางขนาดกระแสไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวน พีวีซี ตาม มอก. 11-2534 **ที่มา** [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการเดินสาย	ชนิดของตัวนำและรูปแบบการติดตั้ง
ก	สายแกนเดียวหุ้มฉนวนเดินในอากาศ
ข	สายแบบหุ้มฉนวนมีเปลือกเดินเกาะผนัง
ค	สายแกนเดียวหุ้มฉนวนไม่เกิน 3 เส้น หรือสายหุ้มฉนวนมีเปลือกไม่กิน 3 แกน เดินในท่อในอากาศ ในท่อฝังในผนังปูนฉาบ หรือในท่อฝ้าเพดาน
ง	สายแกนเดียวหุ้มฉนวนไม่เกิน 3 เส้น หรือสายหุ้มฉนวนมีเปลือกไม่เกิน 3 แกน เดินในท่อฝังดิน
จ	สายแกนเดียวหุ้มฉนวนมีเปลือกไม่เกิน 3 เส้น, สายหุ้มฉนวนมีเปลือกไม่เกิน 3 แกน ฝังดินโดยตรง

ตารางที่ 2.3 ตารางชนิดของตัวนำและรูปแบบการติดตั้ง **ที่มา** [5]

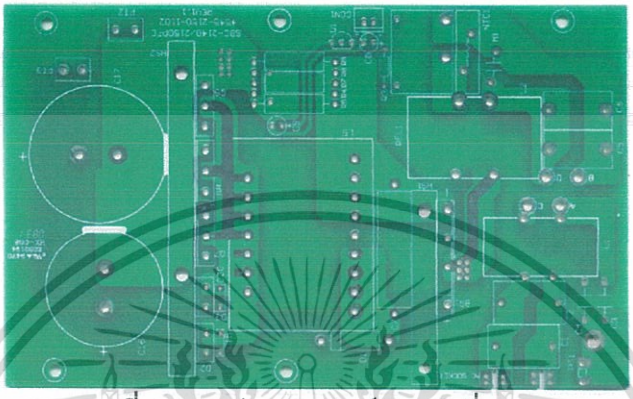
อุณหภูมิโดยรอบ (องศาเซลเซียส)	ตัวคูณ	
	วิธีเดินสาย ก-ค	วิธีเดินสาย ง และ จ
21-25	-	1.06
26-30	-	1
31-35	1.08	0.94
36-40	1	0.87
41-45	0.91	0.79
46-50	0.82	0.71
51-55	0.71	-
56-60	0.58	-

ตารางที่ 2.4 ตารางค่าตัวคูณคงที่ของสายไฟเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง **ที่มา** [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 แผ่นวงจรพิมพ์ (Printed circuit board)

แผ่นวงจรพิมพ์จะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ แผ่นฐานหรือซับสเตรตกับส่วนที่เป็นตัวนำ ในชุดแรกแผ่นวงจรพิมพ์จะประกอบขึ้นจากแผ่นฐานที่ทำจากฉนวนบาง ๆ ยึดรวมกันด้วยสารประเภทเทอร์โมเซตติง เพื่อให้รองรับกับตัวนำที่ใช้เชื่อมต่อตัวอุปกรณ์ตัวนำที่ใช้เชื่อมต่อตัวอุปกรณ์จะใช้วิธีการพิมพ์หมึกที่สามารถนำไฟฟ้าได้ลงไปบนแผ่นฐานวงจรพิมพ์ จึงเป็นที่มาของคำว่า Printed Circuit Board หรือ PCB และยังนิยมใช้คำนี้อยู่จนถึงปัจจุบัน



ภาพที่ 2.30 แผ่นวงจรพิมพ์ (PCB) **ที่มา** [6]

พีซีบี (PCB) หรือ แผ่นวงจรพิมพ์ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

1) ส่วนฉนวน (Non conductive substrate)

เช่น พลาสติก เป็นต้น นิยมใช้หน่วยวัดความหนาเป็น "มิลลิเมตร"

2) ส่วนนำไฟฟ้า (Copper sheet laminated)

เช่น ทองแดง เป็นต้น นิยมใช้หน่วยวัดน้ำหนัก "ออนซ์" เพื่อบ่งบอกถึงความหนา

แผ่นวงจรพิมพ์ Printed circuit board (PCB)หรือ Printed circuit wiring board (PWB) เป็นแผ่นฉนวนบางๆ ทำหน้าที่เป็นที่วาง และ ยึดติดตัวอุปกรณ์มีตัวนำไฟฟ้าเป็นตัวต่อวงจรให้แก่อุปกรณ์ไปด้วยใน ตัว โดยทั่วไปจะใช้ทองแดงเป็นตัวต่ออาจจะทำเป็นหน้าเดียว(Single-sided) หรือสองหน้า(Double-sided)แต่ถ้าวงจรมีความหนาสูงมีความซับซ้อนมากๆ ก็อาจจะต้องทำเป็นหลายๆ ชั้น(Multi-layered)ก็ได้ วิธีการพิมพ์หมึกลงบนแผ่นวงจรพิมพ์นั้น ในการนำมาใช้งานพบว่าหมึกหลุดล่อนได้ง่ายทำให้เกิดความเสียหายต่อวงจร เทคนิคที่นำมาใช้แทนที่ คือ วิธีที่เรียกว่าซับแทร็กตีฟโปรเซส (Suptractive process) หรือ เคมิคอลฟอยล์เอนซึ่ง (chemical foilencing) โดยขั้นแรกจะทำการยึดแผ่นทองแดงบางๆ ซึ่งเป็นวัสดุที่นำไฟฟ้าได้ดีกว่าหมึกพิมพ์ และมีความคงทนกว่าเข้ากับผิวหน้าของแผ่นฐานด้วยกาวผลที่ได้จะเกิดวัสดุที่เรียกว่า “metal clad laminate” แต่เราก็ยังเรียกกันว่า “Printed Circuit Board” อยู่ดีแผ่นฐานจะทำมาจากวัสดุที่เป็นฉนวนน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรงที่นิยมใช้มี 3 ชนิด คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ฟีนอลิก (phenolic)
2. กลาสอีพอกซี่ (glass epoxy)
3. สารประกอบ อีพอกซี่ (composite epoxy)

ในครั้งแรกๆ การใช้งานแผ่นวงจรพิมพ์ แผ่นฐานที่ใช้จะทำจากกระดาษบางๆ ชุบฟีนอลิกแล้วอัดรวมกันให้แข็งแรง แต่แผ่นวงจรพิมพ์ที่ทำจากฟีนอลิกนั้นจะมีลักษณะประเภทแตกหักได้ง่าย มีความแข็งแรงต่ำไม่ค่อยต้านทานความชื้นต่อมาได้มีการนำใยฝ้ายมาใช้แทนที่กระดาษ ทำให้ได้ความแข็งแรงทางกลสูงขึ้น และ มีความต้านทานต่อความชื้นสูงแต่ทำให้ความแข็งแรงทางไฟฟ้าลดลง จากนั้นจึง ได้มีการนำใยแก้วมาทำเป็นแผ่นฐาน โดยทอใยแก้วชั้นเดียวหรือหลายชั้นเข้าด้วยกัน แล้วยึดด้วยอีพอกซีเรซินจึงเรียกแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดนี้ว่ากลาสอีพอกซี่ ลักษณะการทอเป็นพื้นของใยแก้ว

2.6.1 การแบ่งเกรดของแผ่นวงจรพิมพ์

สมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อเมริกา (NEVA:National Electrical Manufacturers Association) ได้แบ่งชนิดของแผ่นวงจรพิมพ์ไว้ถึง 30 ชนิด แต่โดยทั่วไปเราจะพบประมาณ 10 ชนิด ดังต่อไปนี้ เกรด XXX PC แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดนี้ ทำขึ้นจากกระดาษยึดรวมตัวกันด้วยฟีนอลิกเรซั่นเป็นชนิดที่ ใช้งานทั่วๆไป ทนความชื้นได้ไม่สูงนักมีความต้านทานค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับแผ่นวงจรพิมพ์ที่ทำจากสารชนิดอื่นสามารถใช้กับงานความถี่สูงได้ถึงย่านความถี่วิทยุ ออกแบบมาเพื่อให้ตัดเจาะได้ที่อุณหภูมิต่ำ

1. เกรด FR-2 ทำจากฟีนอลิก ลักษณะโดยทั่วๆ ไป คล้ายกับ เกรด XXX PC แต่ออกแบบมาให้ติดไฟได้ยากกว่า ทำให้สามารถนำไปใช้กับงานที่อุณหภูมิสูงกว่าได้

2. เกรด FR-3 แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดนี้ทำจากกระดาษบาง ๆ ยิดติดกันด้วยอีพ็อกซี่เรซินมีความแข็งแรงสูงสามารถใช้กับงานที่แรงดันสูงและความชื้นสูงได้ ดีกว่าเกรด XXX PC และยังออกแบบมาให้ตัดเจาะได้ง่ายที่อุณหภูมิห้อง

3. เกรด FR-4 พัฒนาขึ้นมาจากเกรด FR-3 ทำจากใยแก้วยึดด้วยอีพอกซี่เรซิน สามารถใช้ได้กับงานหลายประเภท ทนต่อความชื้นและอุณหภูมิสูง และสามารถใช้งานกับแรงดันสูงได้ดีกว่า เกรด XXX PC, FR-2 และ FR-3

4. เกรด FR-5 พัฒนาขึ้นจากเกรดFR-4 โดยยังคงใช้เส้นใยแก้วยึดด้วยอีพอกซี่เรซินแต่มีความแข็งแรงสูงกว่าทั้งทางกลและทางไฟฟ้า นอกจากนี้ยังติดไฟได้ยากอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เกรด FR-6 ทำจากแผ่นใยแก้วบาง ๆ ยึดรวมกันด้วยเทอร์โมเซตติงโพลีเอสเตอร์ มีค่าคงที่ทางไดอิเล็กตริกต่ำ มีความแข็งแรงต่ำ แต่ได้ปรับปรุงคุณสมบัติในด้านการทนต่อความชื้น จึงสามารถใช้กับงานที่ความชื้นสูงได้

6. เกรด CEM1 แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดนี้ใช้เซลลูโลสเป็นแกนกลางมีใยแก้วทอเป็นผิวสองด้านยึดติดกันด้วยอีพอกซี่เรซินเช่นเดิม ทำให้ตัดเจาะได้ง่าย แต่ทนความชื้นได้ต่ำกว่าเกรด FR-4,FR-5 และ FR-6

7. เกรด G-10 เป็นแผ่นวงจรพิมพ์ ชนิดอีพอกซี่ไฟเบอร์ไกลาส มีความแข็งแรงทางกลสูง มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าดีเยี่ยมลักษณะทั่วไปคล้ายกับเกรด FR-4 แต่ติดไฟยากกว่าแผ่นวงจรทั้งหมดที่กล่าวมานั้น ยังใช้วัสดุแบบเดิม ๆ ทำเป็นแผ่นฐาน ซึ่งยังมีแผ่นวงจรพิมพ์ที่ใช้สารที่พัฒนาขึ้นมาใหม่เป็นแผ่นฐาน ได้แก่เกรด G-30 และเกรด G-60

8. เกรด G-30 ใช้ใยแก้วทอยึดตัวด้วยโพลีอะไมด์เรซินมีความคงตัวสามารถต้านทานต่อความชื้นสูงมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าดีเยี่ยม เหมาะสำหรับการนำมาใช้ทำแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดมัลติเลเยอร์

9. เกรด G-60 เป็นแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดพิเศษที่ใช้สารโพลีซัลโฟนเทอร์โมพลาสติก ทำเป็นแผ่นฐานเนื่องจากมีค่าความสูญเสียในไดอิเล็กตริกต่ำ สามารถควบคุมคุณสมบัติของไดอิเล็กตริกได้ง่าย นิยมใช้ในงานความถี่สูงมาก ๆ เป็นกิกะเฮิรตซ์ (GHZ) สำหรับไมโครชิปเป็นต้น คุณสมบัติทางไดอิเล็กตริกและความสูญเสียในไดอิเล็กตริกของสารโพลีซัลไฟด์ที่ใช้กับย่านความถี่ไมโครเวฟ

2.6.2 การแบ่งชนิดของแผ่นวงจรพิมพ์

1. PCB ชนิดหน้าเดียว (Single Side) เป็น PCB ที่มีเส้นลายวงจรเพื่อเชื่อมสัญญาณทางไฟฟ้าอยู่ด้านเดียวและมักจะใส่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อยู่ด้านตรงข้ามกับเส้นลายวงจร และมักจะมี Silk Screen ด้านเดียวกับอุปกรณ์

ภาพที่ 2.31 PCB ชนิดหน้าเดียว (Single Side) **ที่มา** [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. PCB ชนิดสองหน้า (Double Side PCB) เป็น PCB ที่มีทองแดงเคลือบอยู่ทั้ง 2 ด้าน ส่วนใหญ่ด้านหนึ่งมักจะปล่อยให้เป็นลายทองแดงเต็มแผ่นในลักษณะเป็น กราวน์เพลน (Ground Plane) โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดสัญญาณรบกวน มักใช้ในวงจรเครื่องรับหรือเครื่องส่งวิทยุ

ภาพที่ 2.32 PCB ชนิดสองหน้า (Double Side PCB) **ที่มา** [6]

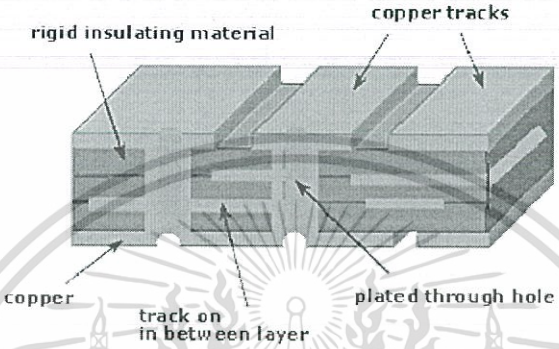
3. PCB ชนิดสองหน้า (Double Side Plate Through Hole) เป็น PCB ชนิดที่มีลายทองสองด้านซึ่งประกอบไปด้วย ชั้นของแผ่นตัวนำสองด้านคือด้านบนและด้านล่างประกบกับชั้นซับเตรดอยู่ PCB ที่มีเส้นลายวงจรเพื่อเชื่อมสัญญาณทางไฟฟ้าทั้งสองด้าน และภายในรูมักจะชุบด้วยทองแดงเพื่อเชื่อมสัญญาณระหว่างด้าน และ มักจะใส่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และมี Silk Screen ได้ทั้งสองด้าน วัสดุที่นิยมนำมาใช้คือ ไฟเบอร์กลาสอีพ็อกซี่ แผ่นวงจรลักษณะนี้จะเหมาะสำหรับงานที่มีตัวอุปกรณ์ที่มีความหนาแน่นมากซึ่ง แผ่น PCB ประเภท Double-sided จะเหมาะสำหรับงานหรือวงจรที่ใช้ความถี่ปานกลางถึงความถี่สูง และยังสามารถเชื่อมต่อแบบ Plat through Hole (PTH) เพื่อให้เส้นทั้งสองเชื่อมต่อกันได้สิ้นลงด้วย

ภาพที่ 2.33 PCB ชนิดสองหน้า แบบ Non PTH **ที่มา** [6]

ภาพที่ 2.34 PCB ชนิดสองหน้า แบบ PTH **ที่มา** [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

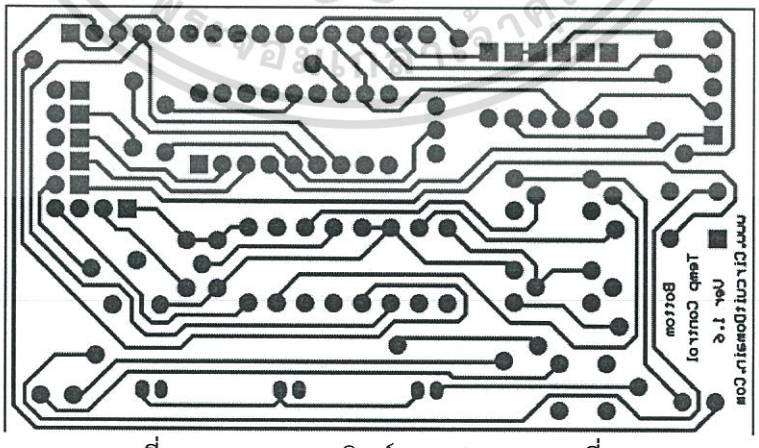
4. PCB ชนิดหลายชั้น (Multi Layer) เป็น PCB ที่มีเส้นลายวงจรเพื่อเชื่อมสัญญาณทางไฟฟ้าระหว่างชั้นใน (Inner Layer) 2,4..Layer และชั้นนอก (Outer Layer) และภายในรูมักจะชุบด้วยทองแดง เพื่อเชื่อมสัญญาณระหว่างชั้น และ มักจะใส่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และมี Silk Screen ได้ทั้งสองด้านเป็น แผ่นวงจรชนิดหลายชั้น แผ่นวงจรชนิดนี้จะประกอบไปด้วยชั้นของแผ่นตัวนำและซัพเตรดมากกว่าสองชั้น ขึ้นไป โดยการอัดชั้นต่างเข้าหากันโดยใช้ความร้อนและเครื่องอัดแรงดันสูงเหมาะ สำหรับงานที่มีความหนาแน่นของตัวอุปกรณ์สูงถึงสูงมาก



ภาพที่ 2.35 PCB ชนิดหลายชั้น (Multi Layer) **ที่มา** [6]

2.7 ลายพิมพ์วงจร (Artwork)

Artwork เป็นลายพิมพ์ของตัวนำหรือทองแดงบน PCB (printed circuit board) ซึ่งเปรียบเสมือนเครื่องมือพื้นฐานที่ถูกใช้ในการผลิตลายวงจรของ PCB เพราะ Artwork เป็นตัวกำหนดรูปแบบต่างๆบนบอร์ดเพียงหนึ่งเดียว โดยลายทองแดงของ PCB ก็จะขึ้นกับลักษณะของ Artwork ดังนั้น ใน Artwork จะประกอบไปด้วย Solder pad, Lands และ Conductor ตามสเกลที่ถูกต้องตามแบบที่กำหนด และนอกจากนั้น Artwork ยังถูกใช้เพื่อเป็นเส้นแสดงขอบของบอร์ด PCB อีกด้วย



ภาพที่ 2.36 PCB ลายพิมพ์วงจร (Artwork) **ที่มา** [7]

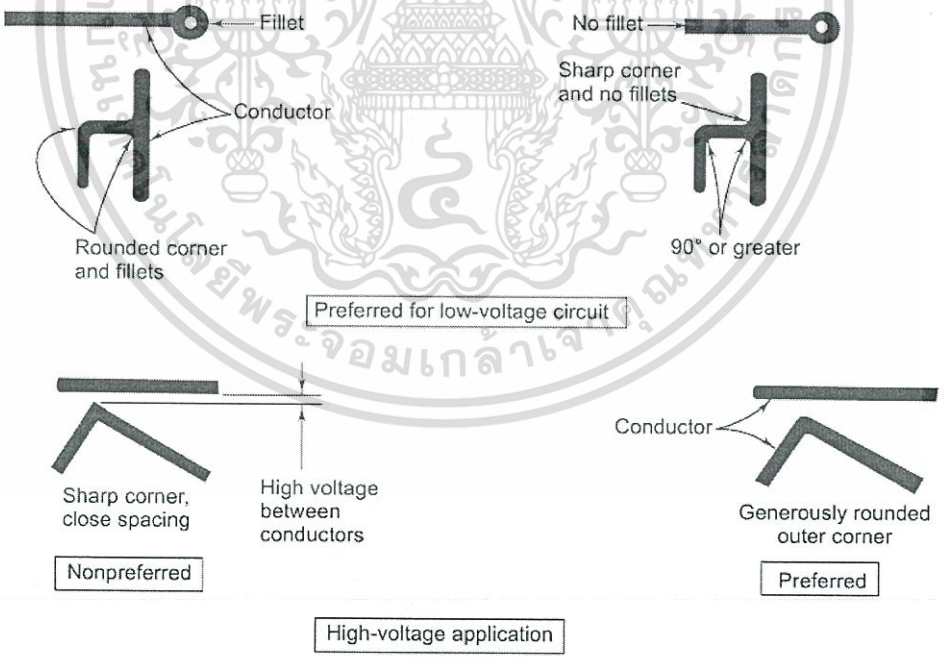
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของ Artwork ถือเป็นขั้นตอนแรกๆของกระบวนการผลิต PCB มันจึงมีผลต่อผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นอย่างมาก ซึ่งขึ้นกับความถูกตรงและความแม่นยำของ Artwork โดยการสร้าง Artwork ที่ซับซ้อนจะขึ้นอยู่กับขนาดของบอร์ดและความแม่นยำบนบอร์ด ดังนั้น ความสมบูรณ์แบบของ Artwork จึงเป็นสิ่งที่จะละเลยไปไม่ได้ ปัญหาที่มักเกิดขึ้นในส่วนของ Artwork ที่ไม่ดี เช่น การบันทึกเส้นลายที่ไม่แม่นยำ เส้นลายวงแหวนที่มีรอยแตก หรือแม้กระทั่ง พื้นที่ว่างระหว่างเส้นลายที่น้อยเกินไป ดังนั้นการพัฒนา Artwork ให้มีความชัดเจนและความแม่นยำจึงจำเป็นต้องใช้ทักษะและความอดทนในส่วนของงานที่ได้รับมอบหมาย

2.7.1 แนวทางการออกแบบทั่วไปสำหรับการเตรียม Artwork

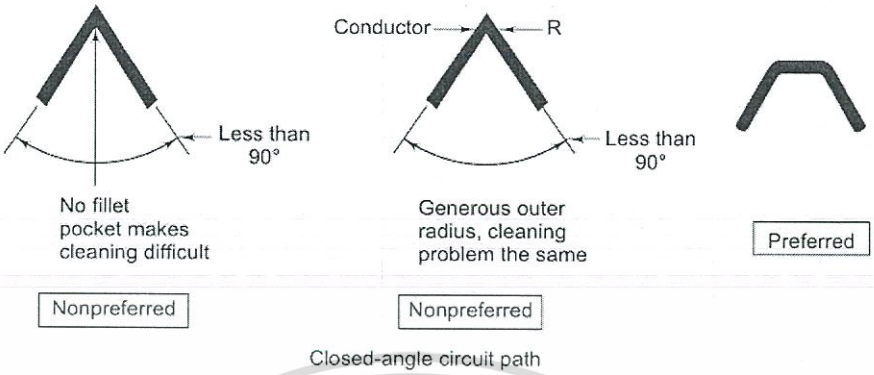
ถ้าไม่คำนึงถึงกรรมวิธีในการเตรียม Artwork แนวทางการออกแบบทั่วไปจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆดังนี้ ขนาดและจำนวนของ pad ที่เหมาะสม , เส้นรอบวงของ drill และ ความยาวของ route เป็นต้น

2.7.1.1 Conductor Orientation เป็นลักษณะการวางลายตัวนำหรือทองแดงขั้นพื้นฐานในด้านหนึ่งด้านซึ่งประกอบในทิศทางแกน x และแกน y



ภาพที่ 2.37 การแนะนำการวาดลายพิมพ์วงจร Conductor shapes **ที่มา** [7]

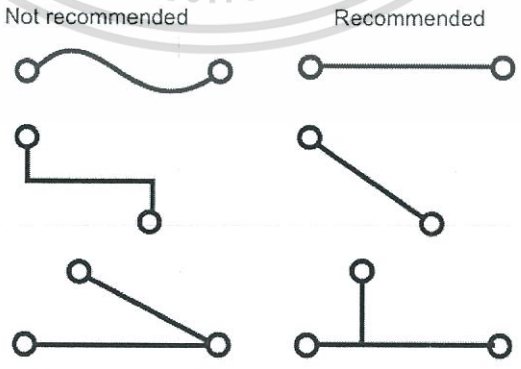
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.38 การแนะนำการวาดลายพิมพ์วงจร Conductor angles **ที่มา** [7]

มุมของลายตัวนำที่ควรใช้มักจะเป็นมุม 30,45,60,90 องศา โดยมุมต่างๆเหล่านี้มักนำมาใช้ในการออกแบบวงจรดิจิตอล สำหรับวงจรอะนาล็อคการหักมุมของลายตัวนำมักจะทำในรูปแบบมุมโค้งหรือพยายามให้เสมือนมุมโค้ง ถึงแม้ว่าลายตัวนำอาจจะกำกับให้เป็นมุมต่างๆได้ แต่สิ่งสำคัญของการวางลายตัวนำอีกอย่างหนึ่งก็คือการวางลายให้ขนาน และ เป็นมุมเดียวกันอย่างเป็นรูปแบบ โดยพยายามใช้ประโยชน์สูงสุดจากพื้นที่ที่มีอยู่

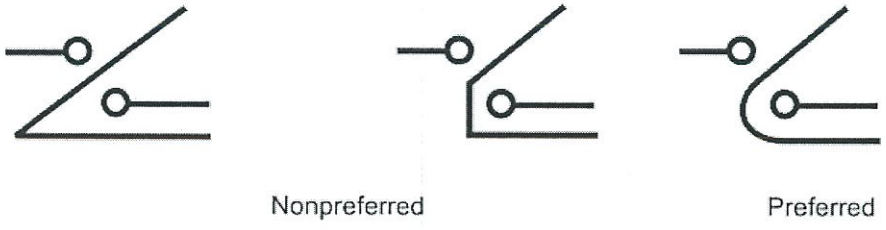
1. ถึงแม้ว่าบน PCB จะมีพื้นที่ว่างอยู่มากและลายตัวนำสามารถวางผ่านทิศทางใดก็ได้ แต่การวางลายวงจรให้มีระยะทางสั้นที่สุดก็เป็นสิ่งที่จำเป็น และยังเป็นสิ่งที่สำคัญมากใน PCB ของวงจรความถี่สูง โดยปกติ หลักการวางลายตัวนำที่ดีคือจุดเริ่มต้นและจุดจบของเส้นควรอยู่บน Pad แต่ถ้ามันส่งผลทำให้ระยะทางของลายวงจรมีขนาดยาวขึ้น เราสามารถใช้การเชื่อมระหว่างลายตัวนำแทนได้



ภาพที่ 2.39 การแนะนำการวาดลายพิมพ์วงจร Minimum conductor **ที่มา** [7]

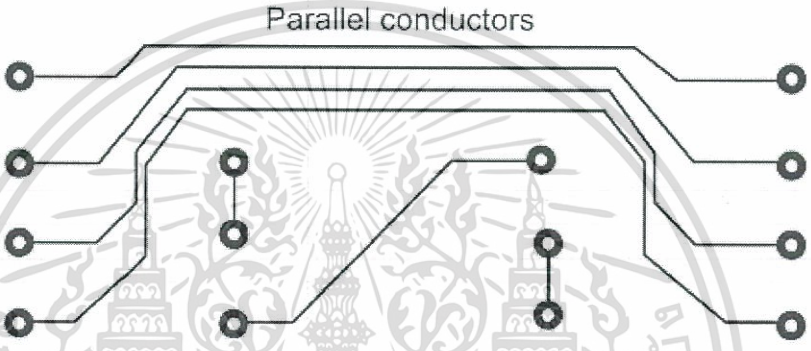
2. มุมที่น้อยที่สุดในการหักมุมของลายตัวนำควรอยู่ที่ 60 องศา ควรหลีกเลี่ยงมุมภายในที่น้อยกว่า 60 องศา เพราะจะทำให้เกิดปัญหาในกระบวนการกัดวัสดุส่วนเกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



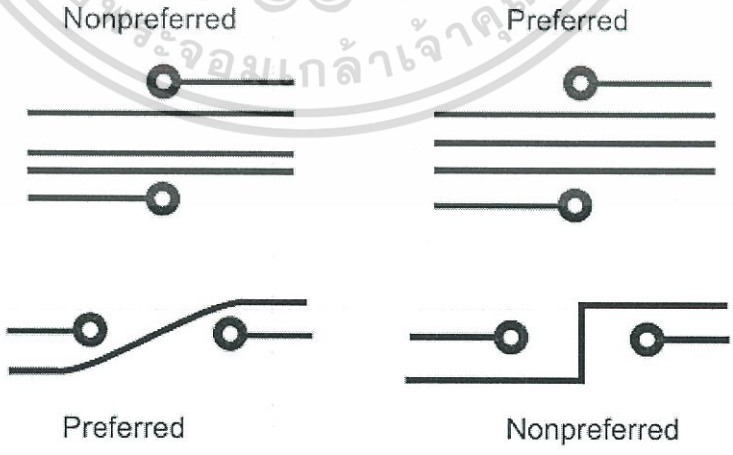
ภาพที่ 2.40 การแนะนำการวาดลายพิมพ์วงจร Sharp internal angles **ที่มา** [7]

3. ลายตัวนำจะต้องวางแนวเส้นขนานกันและหักมุมเป็นมุมแบบเดียวกันให้เป็นรูปแบบที่เป็นระเบียบ ซึ่งจะช่วยลดความแปรปรวนของการเหนี่ยวนำในพื้นที่ว่างระหว่างลายตัวนำ



ภาพที่ 2.41 การแนะนำการวาดลายพิมพ์วงจร parallel pattern **ที่มา** [7]

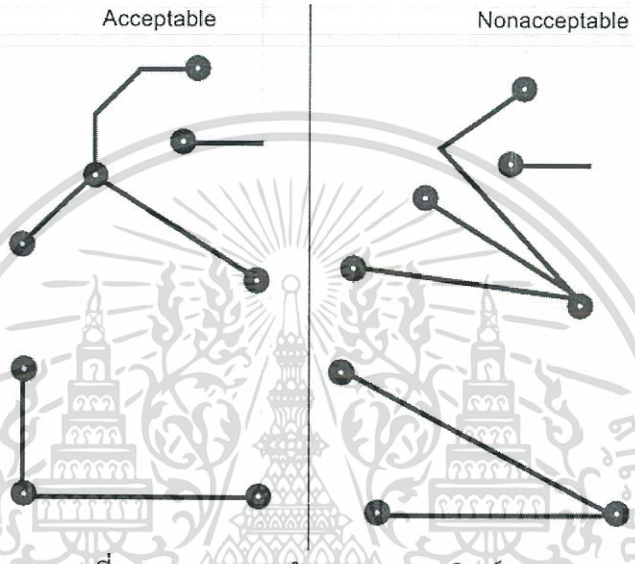
4. เมื่อวางลายตัวนำตั้งแต่ 1 เส้นขึ้นไป พลาดผ่านระหว่าง pad หรือลายตัวนำอื่น จะต้องมีการกระจายพื้นที่ว่างระหว่างลายตัวนำให้มีขนาดเท่ากันสม่ำเสมอ และ หลีกเลี่ยงการลากลายตัวนำแบบตั้งฉากระหว่างช่องทางเดินแคบ



ภาพที่ 2.42 การแนะนำการวาดลายพิมพ์วงจร
Utilize space to optimum extent **ที่มา** [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

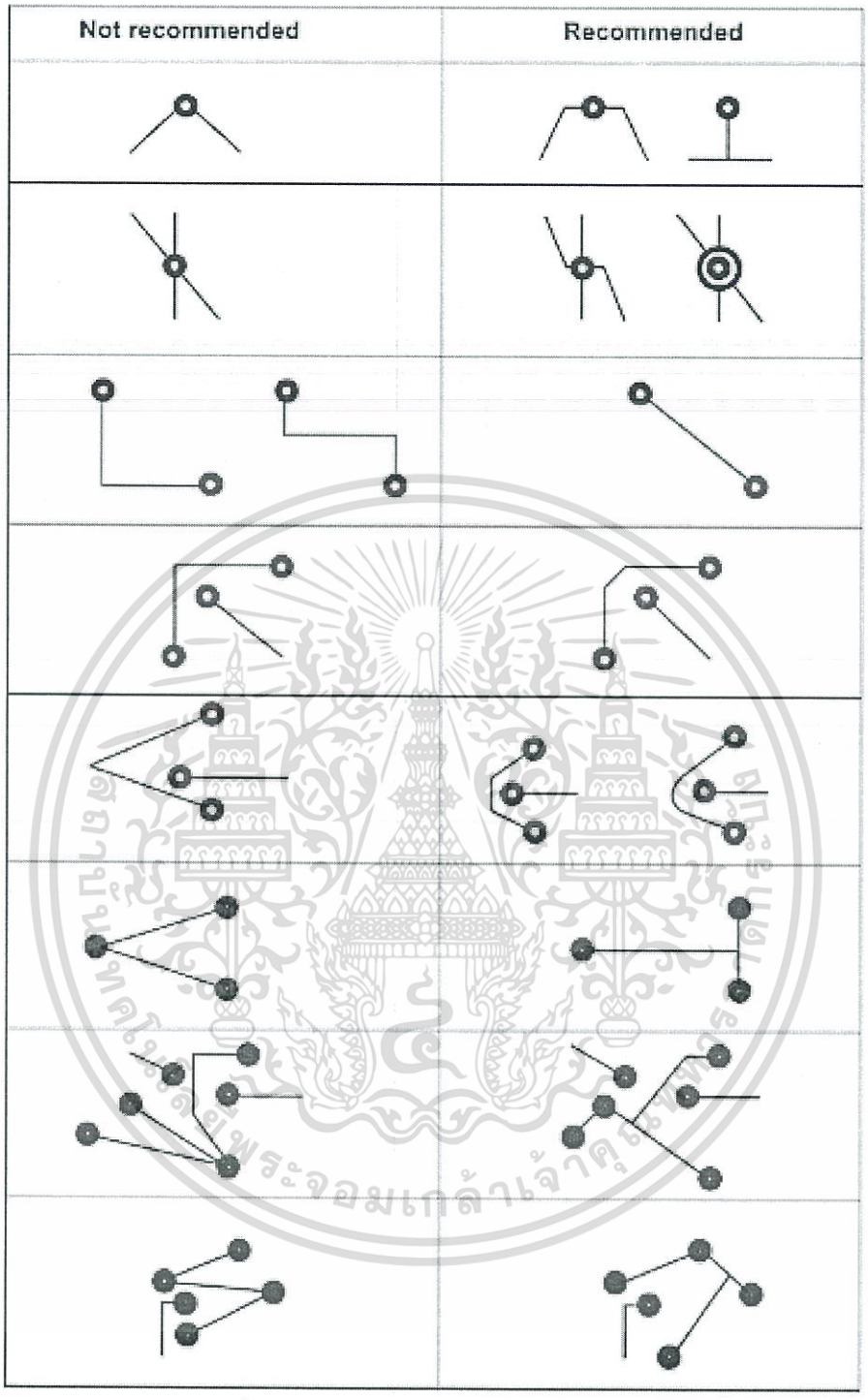
5. การลากลายตัวนำแบบขนานโดยมีระยะช่องว่างแคบ จะทำให้เกิดปัญหาในกระบวนการผลิต PCB ดังนั้นควรหลีกเลี่ยงโดยการกระจายลายตัวนำให้ห่างสม่ำเสมอภายใต้พื้นที่ที่มีอยู่
6. เส้นทางของลายตัวนำไม่ควรมีลักษณะจุดรวมที่ไม่พึงประสงค์ (unwanted bunching) ของ pad ที่เป็นจุดๆเดียว ควรหลีกเลี่ยงการลากลายตัวนำหลายเส้นมาเชื่อมกันใน pad อันเดียวกัน



ภาพที่ 2.43 การแนะนำการวาดลายพิมพ์วงจร
Utilize space to optimum **ที่มา** [7]

7. โดยปกติความกว้างของลายตัวนำจะเลือกจากขนาดกระแสที่ไหลผ่านในลายตัวนำนั้น ซึ่งจะยึดการคำนวณตามหลักมาตราฐาน
8. ลายตัวนำที่เป็น Ground ควรจะมีขนาดที่ใหญ่กว่าลายตัวนำที่เป็น Power โดยขนาดของลายตัวนำที่เลือกควรเลือกขนาดที่เหมาะสมตามมาตรฐานและมี Temparature rise อยู่ที่ประมาณ 20 องศาเซลเซียส
9. ลายตัวนำโดยทั่วไปควรหลีกเลี่ยงการลากผ่าน pad ซึ่งจะทำให้เกิดพื้นที่แคบๆระหว่าง pad กับลายตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

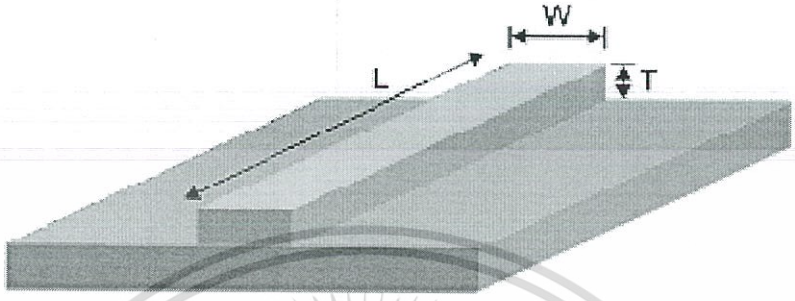


ภาพที่ 2.44 การแนะนำการวาดลายพิมพ์วงจร
Routing pattern **ที่มา** [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1.2 Conductor Routing

เป็นการออกแบบของลายตัวนำในลักษณะของขนาดซึ่งจะประกอบด้วย ความกว้าง (Width) และความหนา(Thickness) ของตัวนำ โดยพิจารณาจากปริมาณกระแส และ Temperature rise สูงสุดบนลายตัวนำเป็นเกณฑ์ในการพิจารณา



ภาพที่ 2.45 Conductor Routing **ที่มา** [8]

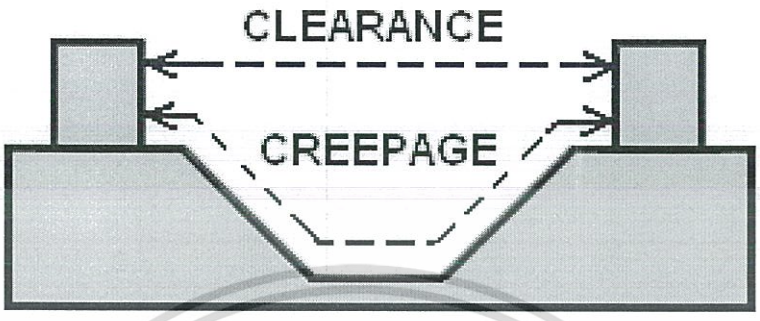
โดยปกติการคำนวณขนาดของลายตัวนำบน PCB จะใช้มาตรฐาน IPC-2221B หรือ IPC-2152 เป็นเกณฑ์ในการพิจารณา ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการทดลองและการเก็บผลมาเป็นระยะเวลานาน มาตราฐาน IPC-2152 จะเป็นมาตรฐานอ้างอิงโดยข้อมูลที่ใหม่กว่า และยังคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่ส่งต่อการคำนวณขนาดลายตัวนำมากกว่ามาตรฐาน IPC-2221B

ภาพที่ 2.46 มาตรฐานอ้างอิง IPC-2221B **ที่มา** [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

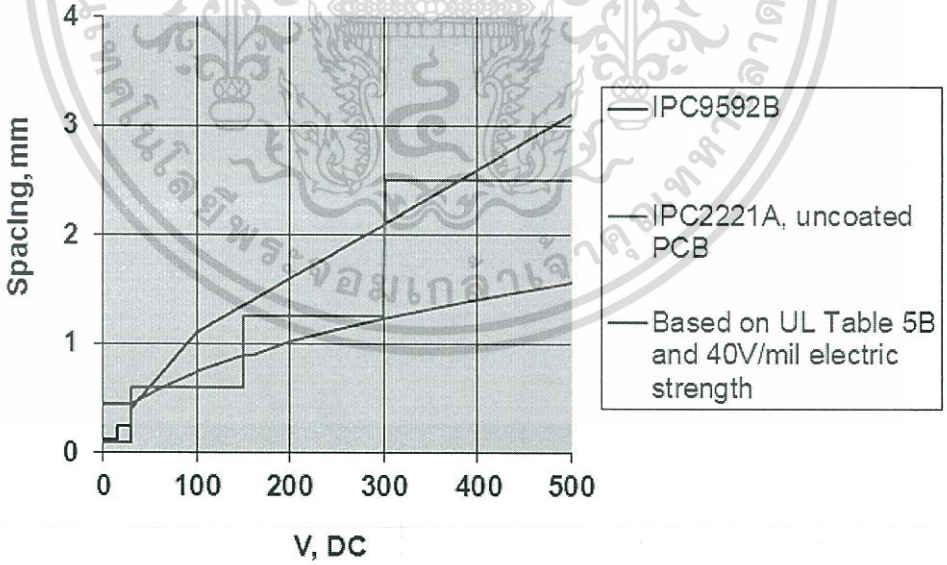
2.7.1.3 Conductor Spacing

เป็นการออกแบบของพื้นที่ว่างระหว่างลายตัวนำ(Space) โดยพิจารณาจากค่าแรงดันสูงสุด(Voltage peak) บนลายตัวนำเป็นเกณฑ์ในการพิจารณา



ภาพที่ 2.47 Conductor Spacing **ที่มา** [8]

พื้นที่ว่างระหว่างลายตัวนำที่เหมาะสมมีความสำคัญเป็นอย่างมากเนื่องจากใช้หลีกเลี่ยงปัญหาการเกิด Voltage flash-over ระหว่างตัวนำไฟฟ้า จึงจำเป็นต้องมีการหาขนาดพื้นที่ว่างระหว่างลายตัวนำที่เหมาะสมโดยอ้างอิงจากเกณฑ์มาตรฐาน อาทิ เช่น IPC(Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits),IEC(International Electrotechnical Commission),UL(Underwriters Laboratories) เป็นต้น



ภาพที่ 2.48 กราฟเปรียบเทียบมาตรฐานอ้างอิง Conductor Spacing **ที่มา** [8]

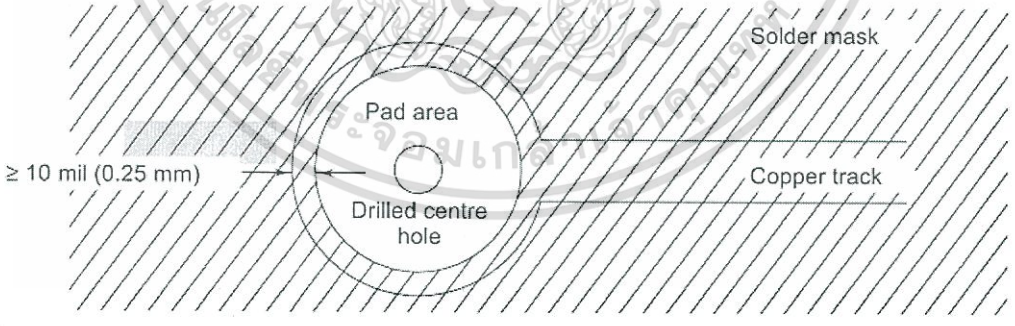
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1.4 Hole Diameter

Hole Diameter คือ ขนาดของรูที่ใช้ในการใส่ชิ้นงานลงบน PCB ซึ่งถือเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการติดตั้งชิ้นงานลงบน PCB Hole Diameter ที่ดีจะทำให้การใส่ชิ้นงานลงบน PCB เป็นไปด้วยความง่ายโดยไม่ต้องใช้แรงในการกดชิ้นงานลงบน PCB มาก ในขณะเดียวกันมันจะต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะทำให้ก๊าซสำหรับกระบวนการ wave soldering ผ่านไปได้ เนื่องจากขนาดที่ใหญ่ไม่เพียงพอจะทำให้เกิดความเสียหายต่อ Hole ซึ่งส่งผลต่อกระบวนการ solder joints และ through-holes ทำให้เสถียรภาพลดลง บน PCB ที่มี Hole Diameter ที่มีขนาดต่างกันเป็นจำนวนจะทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้น ดังนั้นควรมีระยะเพื่อ(Clearance) ไว้สำหรับ Hole Diameter ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ดังนี้

สำหรับ nominal drill dia < 0.8 mm จะใช้ระยะเพื่อ(Clearance) เท่ากับ 0.10 mm
สำหรับ nominal drill dia > 0.8 mm จะใช้ระยะเพื่อ(Clearance) เท่ากับ 0.13 mm

- Hole Diameter จะต้องมีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ แต่สามารถปรับขนาดได้ตามช่วง
- ระยะเพื่อ(Clearance) แต่ถ้ามีขนาดที่ใหญ่เกินจากช่วงระยะเพื่อ(Clearance)ก็จะทำให้เกิดปัญหาในกระบวนการ Soldering
- ผลของกระบวนการ Soldering จะออกมาเป็นที่น่าพอใจ ถ้าขนาดของ Hole Diameter หลังการชุบมีค่าระยะเพื่อ(Clearance)ประมาณ 0.2-0.5 mm เทียบจาก nominal diameter ของขาอุปกรณ์
- Hole diameter = effective lead diameter + hole location tolerance (PTH) + 0.2 mm



ภาพที่ 2.49 Hole Diameter **ที่มา** [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pad หรือ Land มีความสัมพันธ์กับ Hole Diameter โดยขึ้นอยู่กับการบัดกรีขาอุปกรณ์หรือแม้กระทั่งการชุบ ถ้าให้ D คือ Pad Diameter หรือ Land Diameter และ d คือ Hole Diameter

- D/d ≥ 40 mil (1mm) for non-plated holes
- D/d ≥ 20 mil (0.5mm) for plated through-hole

กรณีถ้าคำนึงถึงวัสดุที่ใช้ในการทำบอร์ด PCB

- D/d = 2.5 to 3.0 for non-plated holes in phenolic boards
- D/d = 1.8 to 3.0 for non-plated holes in epoxy boards
- D/d = 1.5 to 2.0 for plated through-holes

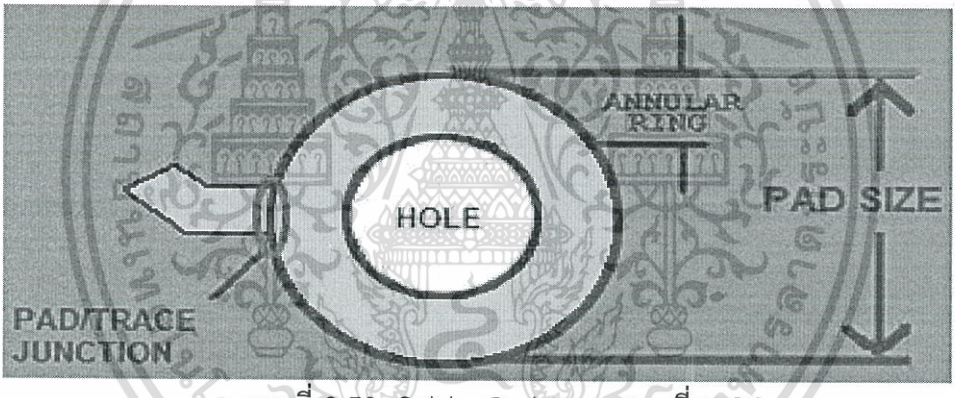
Component type	Lead spacing	Lead thickness	Standard hole size
¼ W register	0.400"	0.023"	0.028"
¼ W Carbon Comp Register	0.400"	0.025"	0.028"
½ W Carbon Comp Register	0.600"	0.032"	0.035"
1 W Carbon Comp Register	0.900"	0.041"	0.052
2 W Carbon Comp Register	1.000"	0.045"	0.052"
Small Ceramic Capacitor	0.100"	0.020"	0.028"
Large Ceramic Capacitor (>0.2uf)	0.200"	0.020"	0.028"
Small Silver Mica Capacitor	0.150"	0.015"	0.028"
Small Transistors (TO-92)	0.050"	0.018"	0.028"
Small Transistors (TO-220)	0.100"	0.036"	0.042"
T-1 ¾ LED	0.100"	0.028"	0.035"
Small Crystal	0.100"	0.018"	0.028"
IC	0.100"	0.023"	0.028"
IC Machine Pin Socket	0.100"	0.020"	0.028"
IC Solder Socket	0.100"	0.025"	0.028"
Headers/Jumpers	0.100"	0.035"	0.042"
Large Headers	0.156"	0.063"	0.086"
D Connector	0.109"	0.035"	0.042"
#4 Clear Hole	N/A	0.124"	0.125"
#6 Clear Hole	N/A	0.150"	0.156"

ตารางที่ 2.5 ตาราง Typical component Lead Sized **ที่มา** [8]

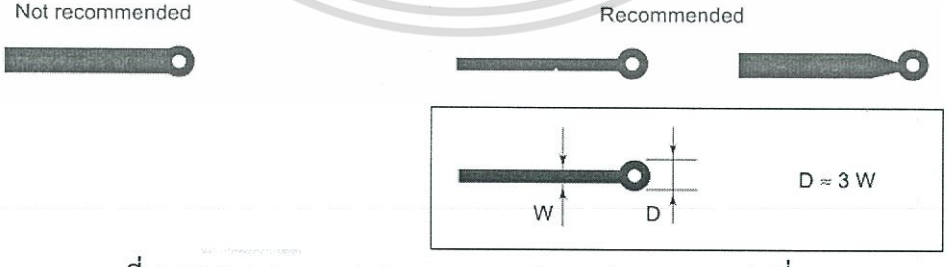
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1.5 Solder Pad Diameter

Solder Pad Diameter คือขนาดของตัวนำที่มีลักษณะเป็นวงแหวนกลมโดยมี hole อยู่ตรงกลาง ซึ่งเป็นบริเวณพื้นที่ที่เชื่อมต่อระหว่างขาอุปกรณ์และลายตัวนำ Hole Diameter จะต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอต่อขาอุปกรณ์เช่นเดียวกัน Pad Diameter ก็ต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอต่อ Hole Diameter ซึ่งประกอบไปด้วยตัวนำหรือทองแดงที่ล้อมรอบ Hole ดังนั้น Pad Diameter จึงถือเป็นอีกหนึ่งตัวแปรสำคัญสำหรับการเชื่อมต่อลายตัวนำ โดยปกติใน PCB แบบ Plated through-holes จะมีขนาดของวงแหวน pad (annular ring) อยู่ที่ประมาณ 0.3 ถึง 0.6 mm แต่สำหรับใน PCB แบบ non-plated through-holes จะมีขนาดของวงแหวน pad (annular ring) ที่ใหญ่กว่า เนื่องจากต้องการความแข็งแรงทางด้านเชิงกล อย่างไรก็ตามเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างมากกำหนดขนาดของวงแหวน pad (annular ring) ให้เพียงพอเพื่อป้องกันต่อความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับ Pad นอกจากนี้ขนาดของ Pad Diameter และความกว้างในการเชื่อมต่อกับลายตัวนำ(Joining Conductor) ก็ยังถือเป็นปัจจัยสำคัญอีกเช่นกัน ขนาดของลายตัวนำมักจะมีขนาดเป็น 1/3 เท่าของ Pad Diameter



ภาพที่ 2.50 Solder Pad Diameter **ที่มา** [8]

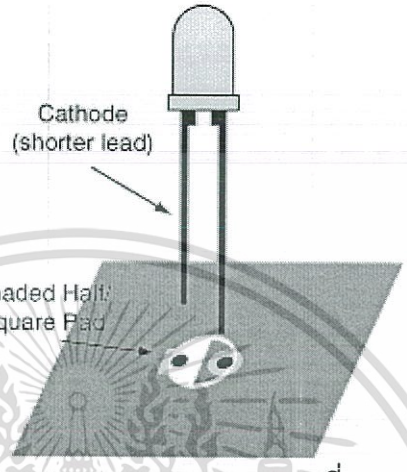


ภาพที่ 2.51 Solder pad diameter and conductor width **ที่มา** [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1.6 Square Land / Square Pad

เป็นบริเวณพื้นที่ที่เชื่อมต่อระหว่างขาอุปกรณ์และลายตัวนำที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมโดยมี hole อยู่ตรงกลาง แตกต่างกับ Pad ธรรมดาตรงที่มักใช้แทนในการบอกขั้วของอุปกรณ์ในอุปกรณ์ประเภทมีขั้ว เช่น LEDs หรือ Diode และมักใช้เป็นสัญลักษณ์แทนการบอกขา Pin-1 ของอุปกณ์จำพวก Multi-pinned เช่น IC หรือ Op-amp



ภาพที่ 2.52 Square Land / Square Pad **ที่มา** [8]

2.8 มาตรฐานที่อ้างอิงบน PCB (Standard on Printed Circuit Boards)

ขั้นตอนการออกแบบ(Design) ,การสร้าง(Fabrication) ,การประกอบ(Assembly) และ การทดสอบ(Testing) ของ PCB ถือว่ามีความซับซ้อนมากสำหรับผู้ผลิต PCB ด้วยเหตุผลนี้จึงจำเป็นต้องมีมาตรฐานในการอ้างอิง (Standard) ของ PCB เพื่อใช้เป็นข้อตกลงสากลสำหรับการผลิตแผงวงจรที่มีคุณภาพ ใช้เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่นานาชาติยอมรับ หรือ ใช้เป็นข้อตกลงทางการค้า

องค์กร ISO (the International Organization for Standardization นิยามความหมายของคำว่ามาตรฐาน(Standard) ไว้ว่า : เป็นข้อตกลงที่มีการบันทึกข้อมูลจำเพาะทางเทคนิคหรือเกณฑ์ที่แม่นยำ ที่จะนำมาใช้เพื่อกฎเกณฑ์ แนวทาง หรือ คำจำกัดความของลักษณะ ของวัสดุ ผลิตภัณฑ์ กระบวนการและบริการ ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

องค์กรที่มีความกว้างขวางและได้รับการยอมรับจากระดับนานาชาติในมาตรฐานการพัฒนาและข้อกำหนดต่างๆที่เกี่ยวข้องกับ PCB มีดังนี้

1. American National Standards Institute (ANSI)
2. Institute for interconnecting and Packaging electronic Circuits (IPC)
3. International Electrotechnical Commission (IEC)
4. Department of Defense,USA (DoD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1 มาตรฐาน IPC (IPC Standard)

IPC - Association Connecting Electronics Industries เป็นสมาคมการค้าที่มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างมาตรฐานการประกอบและผลิตของ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และส่วนประกอบตามความต้องการ ได้ก่อตั้งขึ้นในปี 1957 เป็นสถาบันเพื่อการวงจรพิมพ์(Printed Circuits) ชื่อของมันในภายหลังได้เปลี่ยนไปเป็น the Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits (IPC) ที่มุ่งเน้นเกี่ยวกับการพัฒนาของอุตสหกรรมแผ่นวงจรกับบรรจุภัณฑ์และส่วนประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์ ในปี 1999 ได้จัดตั้งองค์กรอย่างเป็นทางการและได้เปลี่ยนชื่อเป็น IPC พร้อมกับสโลแกน Association Connecting Electronics Industries

ภาพที่ 2.53 สัญลักษณ์มาตรฐาน IPC (IPC Standard) **ที่มา** [8]

2.8.1.1 IPC-2221A (Generic Standard on Printed Board Design)

IPC-2221A เป็นมาตรฐานที่ยอมรับกันโดยทั่วไปในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในการออกแบบ PCB เมื่อไรก็ตามที่ต้องการหาระยะห่างระหว่างลายตัวนำ (Spacing) เราสามารถเทียบดูได้จากตางรางที่ 6-1 ใน IPC-2221A standard

Table 6-1 Electrical Conductor Spacing

Voltage Between Conductors (DC or AC Peaks)	Minimum Spacing						
	Bare Board				Assembly		
	B1	B2	B3	B4	A5	A6	A7
0-15	0.05 mm [0.00197 in]	0.1 mm [0.0039 in]	0.1 mm [0.0039 in]	0.05 mm [0.00197 in]	0.13 mm [0.00512 in]	0.13 mm [0.00512 in]	0.13 mm [0.00512 in]
16-30	0.05 mm [0.00197 in]	0.1 mm [0.0039 in]	0.1 mm [0.0039 in]	0.05 mm [0.00197 in]	0.13 mm [0.00512 in]	0.25 mm [0.00984 in]	0.13 mm [0.00512 in]
31-50	0.1 mm [0.0039 in]	0.6 mm [0.024 in]	0.6 mm [0.024 in]	0.13 mm [0.00512 in]	0.13 mm [0.00512 in]	0.4 mm [0.016 in]	0.13 mm [0.00512 in]
51-100	0.1 mm [0.0039 in]	0.6 mm [0.024 in]	1.5 mm [0.0591 in]	0.13 mm [0.00512 in]	0.13 mm [0.00512 in]	0.5 mm [0.020 in]	0.13 mm [0.00512 in]
101-150	0.2 mm [0.0079 in]	0.6 mm [0.024 in]	3.2 mm [0.126 in]	0.4 mm [0.016 in]	0.4 mm [0.016 in]	0.8 mm [0.031 in]	0.4 mm [0.016 in]
151-170	0.2 mm [0.0079 in]	1.25 mm [0.0492 in]	3.2 mm [0.126 in]	0.4 mm [0.016 in]	0.4 mm [0.016 in]	0.8 mm [0.031 in]	0.4 mm [0.016 in]
171-250	0.2 mm [0.0079 in]	1.25 mm [0.0492 in]	6.4 mm [0.252 in]	0.4 mm [0.016 in]	0.4 mm [0.016 in]	0.8 mm [0.031 in]	0.4 mm [0.016 in]
251-300	0.2 mm [0.0079 in]	1.25 mm [0.0492 in]	12.5 mm [0.4921 in]	0.4 mm [0.016 in]	0.4 mm [0.016 in]	0.8 mm [0.031 in]	0.8 mm [0.031 in]
301-500	0.25 mm [0.00984 in]	2.5 mm [0.0984 in]	12.5 mm [0.4921 in]	0.8 mm [0.031 in]	0.8 mm [0.031 in]	1.5 mm [0.0591 in]	0.8 mm [0.031 in]
> 500 See para. 6.3 for calc.	0.0025 mm /volt	0.005 mm /volt	0.025 mm /volt	0.00305 mm /volt	0.00305 mm /volt	0.00305 mm /volt	0.00305 mm /volt

B1 - Internal Conductors
B2 - External Conductors, uncoated, sea level to 3050 m [10,007 feet]
B3 - External Conductors, uncoated, over 3050 m [10,007 feet]
B4 - External Conductors, with permanent polymer coating (any elevation)
A5 - External Conductors, with conformal coating over assembly (any elevation)
A6 - External Component lead/termination, uncoated, sea level to 3050 m [10,007 feet]
A7 - External Component lead termination, with conformal coating (any elevation)

ตารางที่ 2.6 ตารางมาตรฐาน Electrical conductor spacing **ที่มา** [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่ว่างระหว่างลายตัวนำในแต่ชั้น(Layer) ควรมีค่ามากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ แต่ด้วยพื้นที่บน PCB ที่มีจำกัด จึงจำเป็นต้องใช้ขนาดที่เล็กที่สุดของพื้นที่ว่างระหว่างลายตัวนำที่ไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อการทำงานของ PCB โดยสามารถเทียบตารางที่ 6-1 ใน IPC-2221A standard โดยใช้ขนาดแรงดันสูงในการเทียบ

2.8.1.2 IPC-2152 (Standard for Determining Current Carrying Capacity in Printed Board Design)

IPC-2152 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมสำหรับการกำหนดขนาดลายตัวนำภายนอก (External conductors) และ ลายตัวนำภายใน (Internal conductors) ของ PCB ซึ่งเกี่ยวข้องกับปริมาณกระแสที่ PCB จะสามารถรองรับได้ (Current-carrying capacity) และอุณหภูมิที่จะเกิดขึ้นบน PCB (Temperature rise) โดย IPC-2152 เป็นมาตรฐานที่เข้ามาแทนที่ IPC-2221B เนื่องจากอ้างอิงโดยข้อมูลที่ใหม่กว่า และยังคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่ส่งต่อการคำนวณขนาดลายตัวนำมากกว่ามาตรฐาน IPC-2221B

2.9 พารามิเตอร์ต่างๆบน PCB (Parameters on PCB)

ในการออกแบบ pcb layout ถูกกำหนดมาเพื่อวัตถุประสงค์ใน 2 ข้อคือ ใช้ในการออกแบบการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่างๆไปพร้อมๆกับการลดขนาดของชิ้นงาน และ ลดผลกระทบของปัญหาต่างๆที่จะส่งผลต่อการทำงานของชิ้นงาน วงจรอิเล็กทรอนิกส์บน PCB จะมีพารามิเตอร์อยู่ 3 ตัวที่ส่งผลต่อการทำงานของวงจร คือ ความต้านทาน(Resistance) ความจุไฟฟ้า(Capacitance) และความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Inductiance) ที่เกิดจากตัวนำ 2 ตัว นอกจากนี้ยังมีพารามิเตอร์แฝงที่เกิดขึ้นเป็นพารามิเตอร์จำพวกความร้อนที่เกิดขึ้นในวงจร (Heat)

2.9.1 ความต้านทาน (Resistance)

2.9.1.1 ความต้านทานทั่วไป (Resistance in General)

ลายตัวนำบน PCB จะความต้านทานที่ถูกกำหนดไว้ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับแรงดันที่ตกคร่อมและปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านในลายตัวนำนั้นๆ วัตถุประสงค์ในทางปฏิบัติ จะช่วยให้รู้ว่าความต้านทานในพื้นที่ลายตัวนำ 1 mm ต่อ ความยาว 1 cm มีค่าเท่าไร โดยคำนวณได้จากสมการ

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad [\Omega] \tag{2.1}$$

โดย ρ คือ resistivity [Ω cm x 10^{-6}]

l คือ conductor length [cm]

A คือ conductor cross-section [cm^2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.1.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนของต้านทาน (Thermal Coefficient of - Resistivity)

การเพิ่มขึ้นของความต้านทานจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ดังนั้นความต้านทานจะเป็นระบุถึงอุณหภูมิด้วยเช่นกัน ซึ่งโดยปกติจะมีการกำหนดอุณหภูมิแวดล้อม หรืออุณหภูมิห้องของ PCB อยู่ที่ 20 องศาเซลเซียส ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนของต้านทานโดยปกติจะแทนด้วยสัญลักษณ์อัลฟา (Alpha, α) มันคือแฟกเตอร์(Factor) ของความต้านทานและอุณหภูมิ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ได้ตามสมการที่ 2.2 โดยความต้านทานของตัวนำที่อุณภูมิอ้างอิง (R_{ref}) โดยอุณหภูมิอ้างอิงไม่จำเป็นจะต้องมีค่าเท่ากับ 20 องศาเซลเซียส

$$R = R_{ref}\,(1+\alpha\Delta T) \quad [\Omega] \tag{2.2}$$

หรือสามารถจัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$\Delta T = \frac{1}{\alpha}\left[\frac{R}{R_{ref}} - 1\right] \quad [^{\circ}C\,] \tag{2.3}$$

โดย R คือ ความต้านทานที่ต้องการ

R_{ref} คือ ความต้านทานที่อุณหภูมิอ้างอิง

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนของต้านทานที่อุณหภูมิอ้างอิง

ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิที่ต้องการกับอุณหภูมิอ้างอิง ($^{\circ}C$)

2.9.1.3 ไดนามิกส์ความร้อนของลายตัวนำ (Routing Heating Dynamics)

เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลายตัวนำ จะก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเนื่องจากบนลายตัวนำมีความต้านทานซึ่งเป็นไปตามกฎของโอห์ม(Ohm's Law) V = IR เมื่อลายตัวนำมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมก็จะมีการสูญเสียพลังงาน(Power dissipated) เกิดขึ้น โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้ P= VI = I^2R โดยการสูญเสียพลังงานในรูป I^2R แสดงให้เห็นถึงการสูญเสียพลังงานซึ่งเกิดขึ้นโดยกระแสไฟฟ้าและความต้านทานภายในลายตัวนำ การสูญเสียพลังงานมีความเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิ โดยเมื่อพลังงานที่สุญเสียเพิ่มมากขึ้น(เนื่องจากปริมาณกระแสไฟฟ้าหรือค่าความต้านทานที่มากขึ้น)ก็จะทำให้อุณหภูมิมีค่ามากขึ้นด้วยเช่นกัน

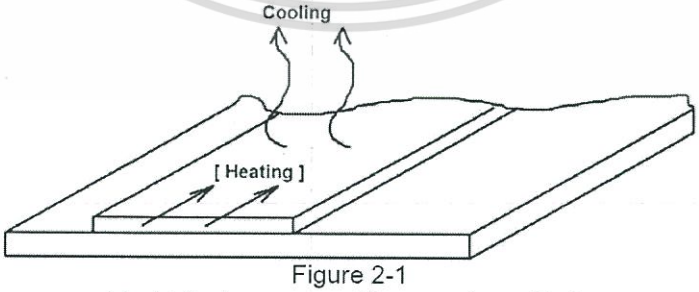


Figure 2-1
Model for trace current/temperature effects

ภาพที่ 2.54 ไดนามิกส์ความร้อนของลายตัวนำ **ที่มา** [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนบนลายตัวนำเกิดขึ้นจากพลังงานสูญเสีย ส่วนการเย็นตัวลงของลายตัวนำจะเกิดจากการพาความร้อน จากลายตัวนำสู่อากาศ และ การแผ่ความร้อนจากลายตัวนำสู่ฉนวน เสถียรภาพของอุณหภูมิจะเกิดขึ้นเมื่อผลของความร้อนเท่ากับผลของความเย็น ดังนั้น เราสามารถคาดการ์ณอุณหภูมิบนลายตัวนำที่จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนของพลังงานสูญเสีย หรือ ลดลงเป็นสัดส่วนของผิวหน้าสัมผัสของลายตัวนำได้ โดยมีสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$\Delta T \alpha \frac{I^2 R}{(W + Th)} \tag{2.4}$$

โดยที่ I คือ กระแสไฟฟ้า

R คือ ความต้านทานของลายตัวนำ

Th คือ ความหนาของลายตัวนำ

W คือ ความกว้างของลายตัวนำ

2.9.2 ความจุไฟฟ้า (Capacitance)

2.9.2.1 ความจุไฟฟ้าระหว่างตัวนำบนด้านตรงข้ามของ PCB

ลายตัวนำบน PCB 2 ที่ถูกกั้นโดยฉนวนไฟฟ้า ทำให้เกิดเป็นโมเดลของตัวเก็บประจุ โดยสามารถประมาณค่าได้จากสูตร

$$C = 0.886 \times \varepsilon_r \times \frac{A}{b}[pF]$$

(2.5) โดย A คือ พื้นที่ทั้งหมดที่ซ้อนทับกันระหว่างลายตัวนำ [cm^2]

b คือ ความหนาของฉนวน [mm]

ε_r คือ ค่าคงที่ relative dielectric

2.9.2.2 ความจุไฟฟ้าระหว่างลายตัวนำที่ใกล้กัน

การกำหนดปริมาณความจุไฟฟ้าระหว่างลายตัวนำที่อยู่ใกล้กันเป็นเรื่องที่ซับซ้อน มันเป็นสิ่งสำคัญอีกอย่างหนึ่งในการออกแบบลายตัวนำ ซึ่งความจุไฟฟ้าระหว่างลายตัวนำสามารถประมาณค่าได้จากสูตร

$$C' = 0.122 \times \frac{t}{s} + 0.0905(1 + \varepsilon_r) \times \log_{10}\left(1 + \frac{2w}{s} + 2\sqrt{\frac{w}{s} + \frac{w^2}{200}}\right) \qquad \left[\frac{pF}{cm}\right] \tag{2.6}$$

$$C = C' \times l \tag{2.7}$$

โดย l คือ ความยาวของลายตัวนำที่ขนานกัน [cm]

S คือ ระยะห่างระหว่าง 2 ตัวนำที่อยู่ใกล้กัน [mm]

t คือ ความหนาของตัวนำ [mm]

w คือ ความกว้างของตัวนำ [mm]

ε_r คือ ค่าคงที่ relative dielectric

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.3 ความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Inductance)

ในวงจรลอจิกประเภท fast-signal หรือ high-speed ลายตัวนำถูกพิจารณาให้เป็นเสมือนสายสัญญาณในการส่งข้อมูล(Transmission line) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องมากที่สุดเกี่ยวกับสายส่งสัญญาณคืออิมพีแดนซ์คลื่น (Z_w) ถ้าไม่พิจารณาถึง Ohmic losses ความต้านทานคลื่นในวัสดุเนื้อเดียวสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$Z_w = \sqrt{\frac{L'}{C'}} \qquad [\Omega] \qquad (2.8)$$

โดย L' คือ ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยความยาว

C' คือ ค่าความจุไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยความยาว

2.10 ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ (Product Safety)

การสร้างชิ้นงานทางไฟฟ้าให้มีความปลอดภัยจำเป็นต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับความอันตรายซึ่งเกิดไฟฟ้า อันตรายต่างๆ มักเกิดขึ้นในอุปกรณ์ทางไฟฟ้านั้นเป็นเพราะลักษณะที่ถูกใช้ในการเป็นแหล่งจ่ายพลังงานและใช้ตามวัตถุประสงค์ต่างๆ ซึ่ง 4 อันตรายพื้นฐานจะต้องได้รับการประเมินเป็นส่วนหนึ่งของการประเมินความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์จะประกอบไปด้วย

- Electrical shock
- Mechanical/physical injury
- Low voltage/high energy
- Fire

ข้อมูลจำเพาะต่างๆที่เกี่ยวกับความอันตรายจะถูกบรรจุอยู่ในทุกมาตรฐานความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ แม้ว่าจะมีข้อกำหนดเพิ่มเติมที่ถูกเพิ่มเข้ามาในมาตรฐานมากมาย แต่พื้นฐานของมาตรฐานความปลอดภัยจะขึ้นอยู่กับ 4 ปัจจัยหลักที่กล่าวไป โดยในคำแนะนำนี้จะเน้นเฉพาะเจาะจงเกี่ยวกับ Electrical shock

Electrical Shock และผลกระทบของมันสามารถเกิดขึ้นได้และได้รับอิทธิพลจากปัจจัยหลายประการ โดยผลกระทบหลักจะเป็นผลที่มาจากการส่งผ่านกระแสไฟฟ้าผ่านร่างกายมนุษย์ ความรุนแรงของการบาดเจ็บต่อร่างกายมนุษย์เป็นผลกระทบโดยตรงจากตัวแปรต่างๆ เช่น ลักษณะของแรงดันไฟฟ้า (AC หรือ DC) , เส้นทางเดินทางร่างการมนุษย์ (Pathway) , สภาพนำไฟฟ้าของตัวนำ (เปียก หรือ แห้ง) , ขนาดและรูปร่างของแต่ละบุคคล (Impedance) , ระยะเวลาในการสัมผัส และ ขนาดของพื้นที่สัมผัส โดยปัจจัยทั้งหมดนี้จะส่งผลต่อขนาดกระแสที่จะไหลผ่านร่างกายของบุคคลนั้นๆ มันเป็นเรื่องยากเพื่อจะกำหนดมาตรฐานเพื่อปกป้องผู้ใช้จากเงื่อนไขความผิดพลาดที่แตกต่างกัน แต่ด้วยความต้องการจำนวนมาก จึงมีการจัดแบ่งระดับพื้นฐานความปลอดภัยของผู้ใช้ไว้ ความถี่ในหน่วยเฮิรตซ์ (Hz) คือ รอบต่อวินาทีของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ายังเป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการพิจารณาผลกระทบที่ตามมาและปฏิกิริยาต่อร่างกายมนุษย์เมื่ออยู่ภายใต้การไหลของกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการศึกษาซึ่งแสดงถึงไฟฟ้าความถี่ต่ำ เช่น ไฟฟ้ากระแสสลับ (50/60Hz) ซึ่งพบได้ตามทั่วไปในบ้านหรือที่ทำงาน มีผลกระทบและสร้างความเสียหายมากกว่าไฟฟ้าแระแสตรงเมื่อมีการสัมผัสโดยร่างกายมนุษย์ ดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญในชิ้นงานจำพวกผลิตภัณฑ์ทางไฟฟ้าที่ถูกออกแบบมาเพื่อปกป้องผู้ใช้จากการสัมผัสกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ

มาตรฐานความปลอดภัยส่วนใหญ่แก้ไขปัญหาเหล่านี้โดยใช้มาตรการกำหนดฉนวนของผลิตภัณฑ์ทางไฟฟ้าที่เหมาะสม คือ ใช้เป็นสิ่งห่อหุ้มเพื่อไม่ให้ผู้ใช้เข้าถึงการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าได้โดยตรง , มีคุณสมบัติเป็นฉนวนที่ดี (Good dielectric) และ มีกระแสรั่วไหลน้อย (Very low leakage current) เนื่องจากมาตรฐานมีความเฉพาะเจาะจงมากเกี่ยวกับข้อจำกัดเหล่านี้ ผู้ผลิตจึงจำเป็นต้องระมัดระวังในการทดสอบผลิตภัณฑ์ให้ตรงกับมาตรฐานความปลอดภัยเพื่อให้มั่นใจว่าผลิตภัณฑ์นั้นมีความปลอดภัยในการใช้งาน

อันตรายจาก Electrical Shock สามารถป้องกันได้โดยการทดสอบดังต่อไปนี้

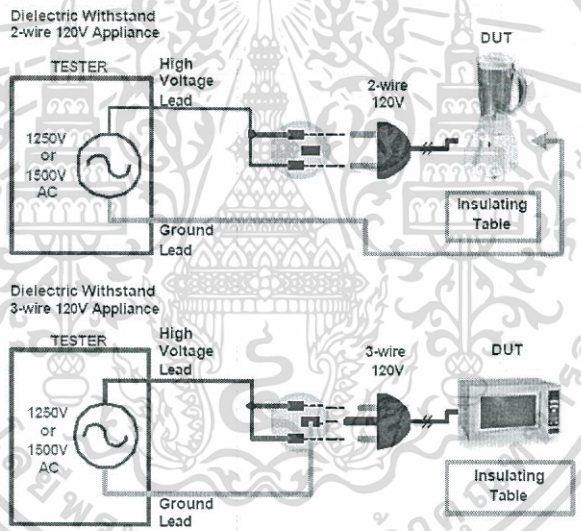
1. Dielectric Withstand (Hipot) Tests เป็นการทดสอบด้วยการป้อนไฟแรงดันสูงเข้าระหว่างวงจรชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ภายในกับตัวถังหรือ สายดินด้วยแรงดันประมาณ 1,250-1,500 VAC เพื่อตรวจสอบว่าฉนวนไฟฟ้าของอุปกรณ์สามารถทนแรงดันทางไฟฟ้าไม่ให้เข้าสู่ตัวสัมผัส
2. Insulation Resistance Tests เป็นการทดสอบคุณภาพของฉนวนที่ใช้ผลิต ว่าดีพอที่จะป้องกันไฟฟ้าระหว่างส่วนต่าง ๆ
3. Leakage Current Tests เพื่อตรวจว่ามีกระแสไฟรั่วจากแหล่งจ่ายไฟเข้ามายังสายดินน้อยกว่าค่าที่กำหนดตามมาตรฐานความปลอดภัย
4. Ground Continuity Tests ตามหลักการทางไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าอันตรายที่มีการรั่วไหลจะต้องลงสู่ระบบสายดิน เป็นการลดความต่างศักย์ไฟฟ้าให้เหลือน้อยที่สุด หรือกระตุ้นให้ระบบตัดไฟตัดวงจรทำงาน ซึ่งเป็นการตรวจสอบสายดินที่ออกแบบไว้ ว่าจะต้องมีการต่อเชื่อมกันทั้งระบบและติดต่อถึงกันอย่างดีจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.1 ความทนฉนวนไฟฟ้า (Dielectric Withstand Tests)

การทดสอบความเป็นฉนวนไฟฟ้าจะเป็นตัวกำหนดความเหมาะสมฉนวนไฟฟ้าระหว่างส่วนที่เป็นอันตรายและส่วนที่ไม่อันตราย โดยปกติฉนวนไฟฟ้าถือเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับมาตรฐานความปลอดภัยของอันตรายระหว่างวงจรไฟฟ้ากับส่วนที่ผู้ใช้สามารถสัมผัสได้โดยตรง โดยจุดที่ใช้ในการทดสอบความทนฉนวนไฟฟ้าส่วนใหญ่จะใช้ระหว่างวงจรไฟฟ้ากระแสสลับปฐมภูมิ(AC primary circuits)กับวงจรไฟฟ้าแรงดันต่ำทุติยภูมิ (Low voltage secondary circuits) หรือ ระหว่างวงจรไฟฟ้ากระแสสลับปฐมภูมิ(AC primary circuits)กับส่วนที่เป็นกราวน์ (parts/ground.)

การทดสอบนี้ถือเป็นการยืนยันว่าฉนวนไฟฟ้าของพื้นที่ที่ทำการตรวจสอบมีระดับการป้องกันอันตรายจาก Electrical Shock ที่เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขปกติ การทดสอบความทนฉนวนไฟฟ้า (Dielectric Withstand Tests or dielectric strength test) จะปรากฏในเกือบทุกมาตรฐานความปลอดภัยและเป็นการทดสอบพื้นฐานที่ใช้ในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่ประกอบในสายการผลิต



ภาพที่ 2.55 AC Hipot Tester **ที่มา** [9]

การทดสอบความทนฉนวนไฟฟ้า (Dielectric Withstand Tests or dielectric strength test) เรียกกันโดยทั่วไปว่า "high potential Test" หรือ การทดสอบ "hipot" ซึ่งเป็นการทดสอบความเครียดของฉนวนภายใต้อุปกรณ์ทดสอบ (Device under test ,DUT) ในการทดสอบดังกล่าวมีจะใช้แรงดันไฟฟ้าในการ DUT ที่จะสูงกว่าปกติ โดยใช้แรงดันไฟฟ้าปฏิบัติการ 1000VAC บวกสองเท่าของแรงดันไฟฟ้าปฏิบัติการตามปกติ สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยทั่วไปที่ออกแบบมาเพื่อใช้งานที่ 120 หรือ 240 VAC ก็จะใช้แรงดันในการทดสอบอยู่ที่ประมาณ 1250 ถึง 1500 VAC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

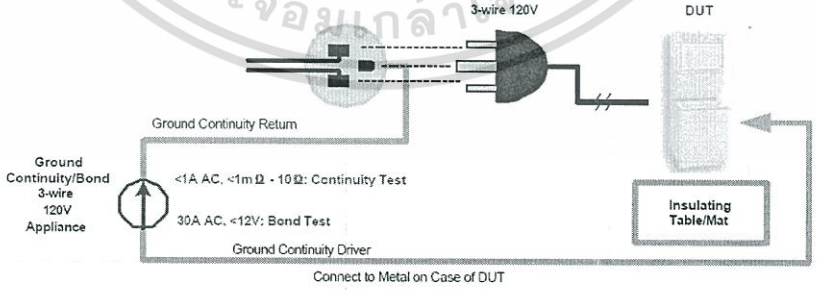
วัตถุประสงค์ของการทดสอบเพื่อให้แน่ใจว่าผู้ใช้จะไม่ได้รับอันตรายจากไฟฟ้าช็อตเมื่อใช้ผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจเกิดจากการสลายของฉนวนกันความร้อนไฟฟ้า อีกทั้งการทดสอบยังเป็นการตรวจสอบข้อบกพร่องที่เป็นไปได้ในการออกแบบและการผลิตที่ก่อให้เกิดปัญหาของส่วนประกอบและตัวนำที่อาจจะเว้นระยะใกล้ชิดเกินไป อันตรายดังกล่าวจะเกิดจากช่องว่างอากาศ (Air gaps) ระหว่างตัวนำหรือส่วนประกอบของวงจรซึ่งอาจจะถูกอุดตันด้วยฝุ่นละอองหรือสิ่งสกปรกและสารปนเปื้อนอื่น ๆ เมื่อเวลาผ่านไปในสภาพแวดล้อมที่มีผู้ใช้งาน ถ้าหากระยะห่างระหว่างตัวนำในการออกแบบไม่เพียงพอจะก่อให้เกิดอันตรายจาก Electrical Shock ได้ สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ใช้แรงดันสูงในการทดสอบ hipot จะทำให้เกิดการอาร์คไฟฟ้า (Electric-Arcing) ถ้าเกิดมีช่องว่างระหว่างลายตัวนำที่น้อยเกินไป แต่ถ้าผลิตภัณฑ์ผ่านการทดสอบ hipot จะมีโอกาสยากมากที่จะเกิดอันตรายจาก Electrical Shock ในสภาวะการใช้งานปกติ

ความทนแรงดันของฉนวนจะบ่งบอกถึงระยะความปลอดภัย (Safety margin) ที่ใช้ปกป้องผู้ใช้จากอันตรายทางด้านไฟฟ้า ซึ่งเป็นการทดสอบที่จำเป็นในหน่วยงานที่กำกับดูแลก่อนผลิตผลิตภัณฑ์มายังผู้ใช้งาน

2.10.2 การทดสอบความต่อเนื่องของสายดิน (Ground Continuity Test)

วัตถุประสงค์ของการทดสอบความต่อเนื่องของสายดิน คือ การตรวจสอบวัสดุที่เป็นตัวนำทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ที่สามารถถูกสัมผัสได้โดยตรงจากผู้ใช้ว่ามีการเชื่อมต่อกับสายดิน ("green wire") โดยทฤษฎีถ้าฉนวนกันไฟฟ้าเกิดความเสียหายทำให้ Power line เกิดการเชื่อมต่อกับวัสดุที่เป็นตัวนำของผลิตภัณฑ์ และมีผู้ใช้งานมาสัมผัสตัววัสดุนั้น กระแสไฟฟ้าจะวิ่งผ่านไปยังวัสดุที่มีความต้านทานที่ต่ำ(Low resistance) ซึ่งก็คือสายดิน ทำให้เกิดการตัดของเบกเกอร์ไฟฟ้าหรือฟิวส์ แทนที่จะวิ่งผ่านร่างกายของผู้ที่สัมผัสซึ่งมีค่าความต้านทานที่สูงกว่า(Higher resistance)

ในระบบการเดินสายไฟแบบเก่าจะเป็นระบบ 2 สายโดยไม่มีระบบสายดิน ต่อปัจจุบันมักนิยมใช้ระบบ 3 สาย โดยมีระบบสายดินทำให้ผู้ใช้มีความปลอดภัยมากกว่า



ภาพที่ 2.56 Ground Continuity Test **ที่มา** [9]

ในการทดสอบความต่อเนื่องของสายดินโดยปกติจะใช้ไฟกระแสตรงแรงดันต่ำในการตรวจสอบค่าความต้านทาน(Resistance)ของการเชื่อมต่อสายดินว่ามีค่าความต้านทานน้อยกว่า 1

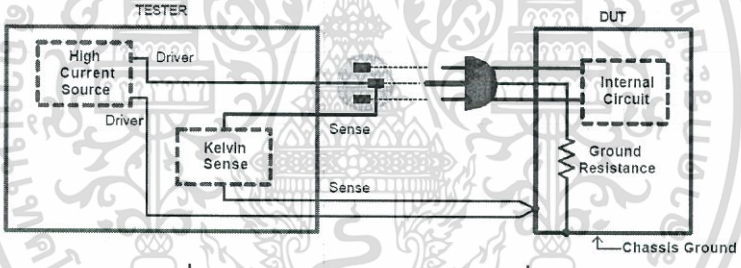
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โอห์มหรือไม่ ซึ่งการทดสอบนี้ไม่ได้มีประโยชน์เพียงแค่การวางระบบสายดินในห้องปฏิบัติการ แต่ยังเป็นประโยชน์ในสายการผลิตเพื่อให้ชิ้นงานมีคุณภาพและผู้ใช้มีความปลอดภัย

2.10.3 การทดสอบความทนทานของสายดินต่อกระแสไฟฟ้ารั่วไหล (Ground Bond Test).

วัตถุประสงค์ของการทดสอบความทนทานของสายดินต่อกระแสไฟฟ้ารั่วไหล คือ การตรวจสอบคุณสมบัติของสายดินว่า เหมาะสมกับการป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วไหลที่เปลือกหุ้มหรือไม่ เป็นการป้องกันผู้ใช้จากอันตรายเนื่องจากการเชื่อมต่อสายดินที่ผิดพลาดหรือไม่ดีพอ มันแตกต่างจากการทดสอบความต่อเนื่องของสายดินตรงที่จะเป็นการทดสอบว่าค่ากระแสไฟฟ้าเท่าไรที่สายดินสามารถรองรับได้อย่างปลอดภัย โดยการทดสอบจะวัดค่าความต้านทานของสายดินภายใต้สภาวะแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ค่ากระแสสูง

ยกตัวอย่าง เช่น ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทดสอบความต่อเนื่องของสายดิน แต่ระบบสายดินเป็นการใช้เส้นลวดฝอยเพียงไม่กี่เส้น เมื่อวงจรเกิดความผิดพลาดและทำให้มีกระแสค่าสูงไหลลงสายดินจะทำให้ระบบสายดินนี้ขาดและเป็นการเปิดวงจรสายดินของระบบ ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อผู้ใช้เมื่อผู้ใช้สัมผัสส่วนที่นำไฟฟ้าที่ถูกตัดระบบสายดินออก การทดสอบนี้นอกจากจะเป็นการตรวจสอบว่าสายดินมีค่าความต้านทานที่ต่ำและสามารถรองรับค่ากระแสรั่วไหลได้เพียงพอแล้วยังเป็นการยืนยันอีกว่าเมื่อเกิดความผิดพลาดของระบบไฟฟ้า จะทำให้เกิดการตัดของเบกเกอร์ไฟฟ้าหรือฟิวส์เพื่อตัดแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบอัติโนมัติ



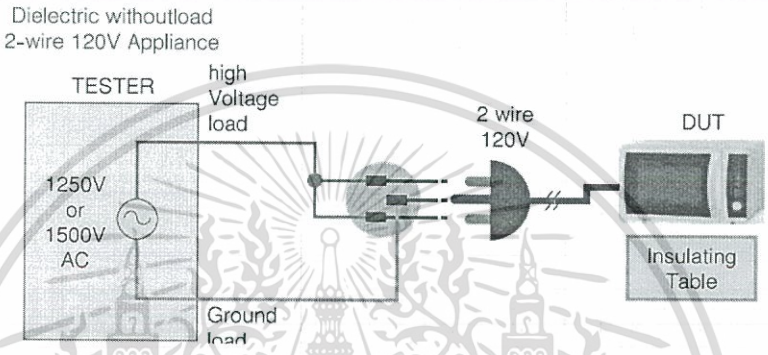
ภาพที่ 2.57 Ground Bond Test **ที่มา** [9]

หนึ่งในวิธีการทดสอบคือจ่ายกระแส 25 แอมแปร์ระหว่างสายดินกับชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ที่เป็นวัสดุนำไฟฟ้าซึ่งผู้ใช้มีโอกาสที่จะสัมผัสโดน เครื่องทดสอบจะจ่ายค่ากระแสตามที่เรากำหนดและแสดงค่าความต้านทานของสายดิน โดยปกติค่าความต้านทานของสายดินมักจะมีต่ำมากๆ ค่าความต้านทานของตัวนำของเครื่องทดสอบจึงมักทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน ความผิดพลาดดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยวัดความต้านทานตัวนำของเครื่องทดสอบก่อน และนำไปลบกับค่าที่วัดได้จากเครื่องทดสอบ หรือเลือกใช้การติดตั้งที่เรียกว่าเคลวิน (Kelvin)ในการทดแทน ในมาตรฐานส่วนใหญ่จะมีการกำหนดค่าความต้านทานของสายดินไว้ให้ $\leq$ 100 มิลลิ-โอห์ม โดยไม่รวมสายไฟ (Power cable)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.4 การทดสอบความต้านทานฉนวน (Insulation Resistance Test)

เป็นการทดสอบความต้านทานบนฉนวนไฟฟ้าโดยวัดความต้านทานรวมระหว่าง 2 จุดของฉนวนไฟฟ้า การทดสอบจะเป็นการกำหนดประสิทธิของฉนวนว่ามีประสิทธิภาพในการต่อต้านกระแสเท่าใด การทดสอบสอบนี้เป็นประโยชน์ในการตรวจสอบคุณภาพของฉนวน ไม่เพียงแต่ครั้งแรกในขบวนการผลิต ยังครอบคลุมถึงเมื่อระยะเวลาการใช้งานผ่านไปด้วย การทดสอบดังกล่าวสามารถตรวจสอบได้ก่อนฉนวนจะเกิดความเสียหาย ทำให้เป็นการลดค่าใช้จ่ายและลดการเกิดอุบัติเหตุ



ภาพที่ 2.58 Insulation Resistance Test **ที่มา** [9]

การทดสอบค่าความต้านทานของฉนวนไฟฟ้าตามมาตรฐานสากล ค่าความต้านทานของฉนวนไฟฟ้าสำหรับแรงดันน้อยกว่า หรือเท่ากับ 500 V ให้ทดสอบด้วยแรงดันทดสอบกระแสตรง (Test Voltage DC) 500 โวลต์ ของเครื่องวัดความต้านทาน ของฉนวนไฟฟ้า โดยที่ค่าความต้านทานของฉนวนไฟฟ้าต้องไม่น้อยกว่า0.5เมกกะโอห์ม

ภาพที่ 2.59 Insulation tester , Mega Ohmmeter **ที่มา** [9]

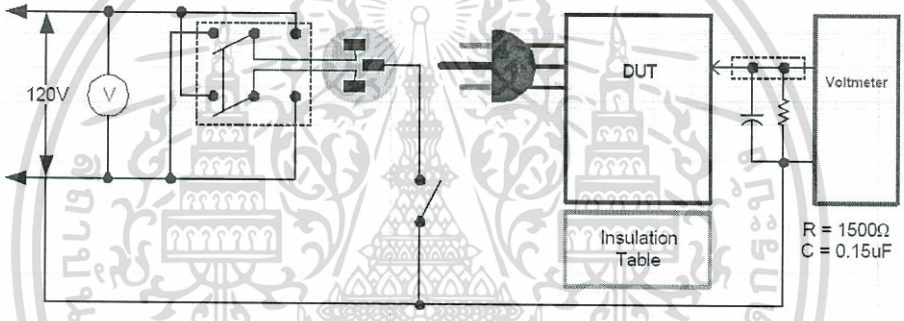
Insulation Tester เครื่องมือทดสอบความเป็นฉนวนไฟฟ้า คือ เครื่องมือที่ใช้วัดค่าความต้านทานชนิดพิเศษ ใช้วัดความต้านทานที่มีค่าสูงมากเป็นเมกะโอห์ม (Meg Ohm) ซึ่งเป็นค่าความต้านทานที่บอกถึงความเป็นฉนวนไฟฟ้า หรือเป็นเครื่องชี้การรั่วลงดิน (Ground) ของเครื่องมือหรืออุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องวัดแบบนี้มีพิสัยวัดจาก 10 กิโลโอห์ม ถึง 10 เมกกะโอห์ม (โดยมีความถูกต้อง 3 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.5 การทดสอบกระแสไฟรั่ว (Leakage Current Test)

กระแสที่สามารถไหลผ่านฉนวนได้จะเรียกว่า กระแสรั่วไหล(Leakage Current) โดยจะมีค่ากระแสเป็นไปตามกฎแบ่งแรงดันตามค่าความต้านทานฉนวน จุดประสงค์ของการทดสอบเพื่อวัดค่าความต้านทานฉนวน มาคำนวณตามกฎของโอห์ม(V=IR) เพื่อใช้หาค่ากระแสรั่วไหล

มนุษย์จะสามารถรับรู้ถึงกระแสรั่วไหลได้เมื่อ ค่าของกระแสมีขนาดเกิน 1 มิลลิแอมแปร์ ถ้าค่ากระแสสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน อาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดอันตรายต่อกล้ามเนื้อโดยวงจรที่ใช้เปรียบเทียบร่างกายมนุษย์จะประกอบไปด้วยตัวต้านทานขนาด 1500 โอห์ม ขนานกับ ตัวเก็บประจุขนาด 0.15 ไมโครฟารัด โดยมีการกำหนดขอบเขตความปลอดภัยให้มีค่ากระแสรั่วไหลได้ไม่เกิน 0.5 มิลลิแอมแปร์ แต่ในผลิตภัณฑ์ที่เป็นระบบปลั๊ก 3 ตา และมีสัญลักษณ์ปิดเตือนกระแสรั่วไหลอาจจะมีค่ากระแสรั่วไหลได้ไม่เกิน 0.75 มิลลิแอมแปร์



ภาพที่ 2.60 Leakage Current Test **ที่มา** [9]

วงจรตรวจสอบกระแสรั่วไหลจะสามารถต่อได้ดังรูปที่ 17 จะทำการวัดกระแสรั่วไหลภายใต้เงื่อนไขความผิดต่าง ๆ เช่น ไม่มีสายดิน หรือที่มีสาย line และ neutral ที่เชื่อมต่อสลับกัน และจ่ายแรงดันให้แก่วงจร โดยการวัดค่ากระแสรั่วไหลจำเป็นจะต้องรู้ชนิดของการเชื่อมต่อวงจรพลังงาน เพื่อใช้เทียบกับค่ากระแสรั่วไหลที่ระบุไว้ในมาตรฐานความปลอดภัย

Class	Equipment Type	Maximum Leakage Current
II Ungrounded	All	0.25mA
I Grounded	Hand-held	0.75mA
I Grounded	Movable (Not hand-held)	3.5mA
I Grounded	Stationary, Type A	3.5mA

ตารางที่ 2.7 ตารางค่ากระแสรั่วไหลตามมาตรฐาน UL **ที่มา** [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การดำเนินงาน

3.1 แผนการดำเนินงาน

ระยะเวลาในการดำเนินงานทั้งหมด 22 สัปดาห์

การดำเนินงาน	เดือน																					
	ส.ค.				ก.ย.				ต.ค.				พ.ย.				ธ.ค.				ม.ค.	
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
1.การกำหนดหัวข้อโครงงาน																						
2.วางแผนการทำงาน																						
เรียนรู้งานของแผนก																						
กำหนดความต้องการของระบบ																						
ค้นหาและรวบรวมข้อมูล																						
3.การตรวจสอบและแก้ไข																						
ตรวจสอบและแก้ไขวงจรทางไฟฟ้า																						
ตรวจสอบและแก้ไขลายวงจรทางไฟฟ้า																						
4.การจัดเตรียม																						
จัดเตรียมและตรวจสอบ Gerber file																						
จัดเตรียมบอร์ดทดสอบ																						
จัดเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือ																						
5.การทดสอบ																						
การทดสอบความทนฉนวนไฟฟ้า																						
การทดสอบแก้ไขความผิดพลาด																						
การทดสอบความต่อเนื่องของสายดิน																						
6.จัดทำคู่มือระบบและรายงาน																						
7.นำเสนอโครงงาน																						
โปสเตอร์																						
การนำเสนอ																						
รูปเล่มโครงงาน																						
ปัจฉิมนิเทศสหกิจศึกษา																						

ตารางที่ 3.1 ตารางขั้นตอนการดำเนินงาน

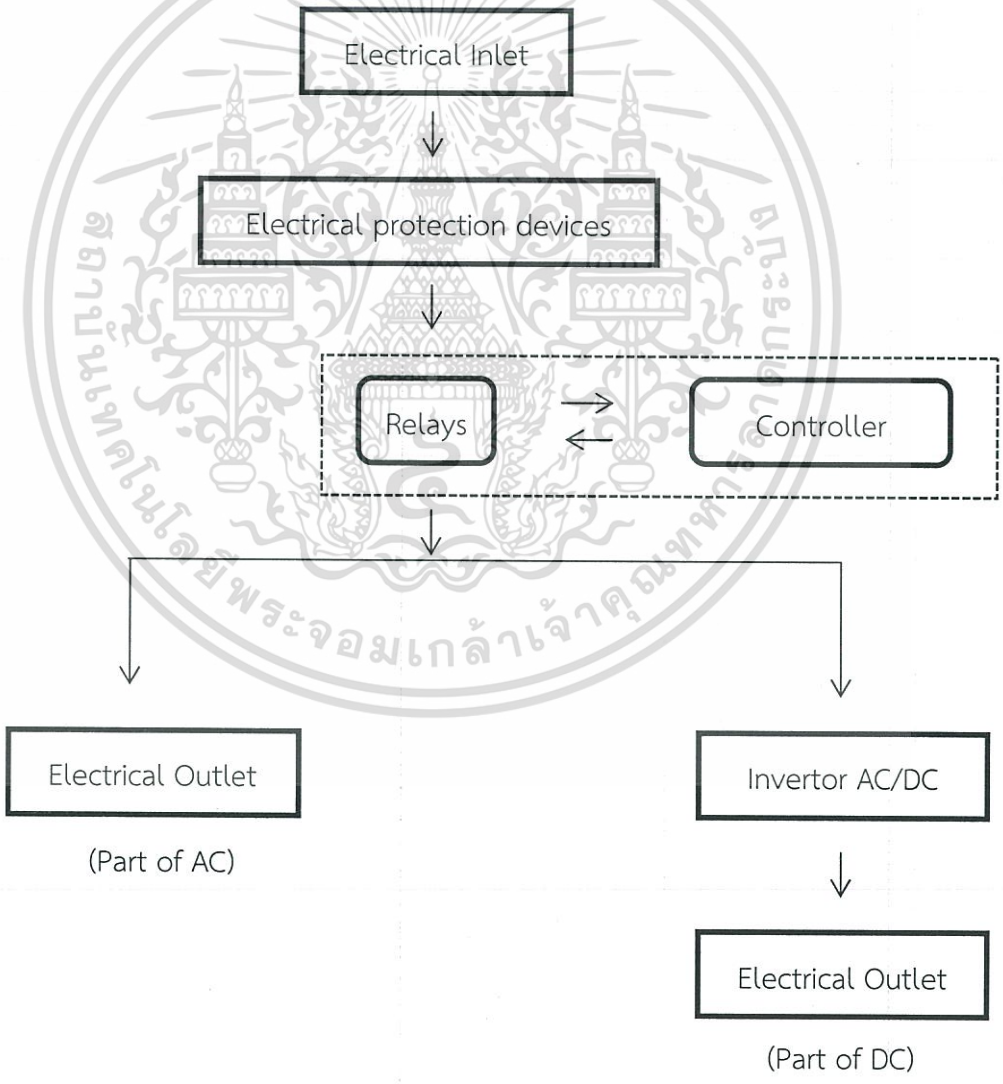
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 หลักการและการออกแบบ

หลักการออกแบบ “ตู้ควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 30 แอมแปร์” แบ่งออกเป็นส่วนหลักๆ 5 ส่วนด้วยกันคือ

1. ส่วนรับไฟฟ้า (Electrical Inlet)
2. ส่วนป้องกันทางไฟฟ้า (Electrical protection devices)
3. ส่วนควบคุมการเปิด-ปิด (Controller and Relays)
4. ส่วนแปลงไฟฟ้ากระแสตรง(Invertor AC/DC)
5. ส่วนจ่ายไฟฟ้า (Electrical Outlet)

ซึ่งในส่วนของฮาร์ดแวร์นั้นมีลักษณะโครงสร้างที่เป็นไปตามบล็อกไดอะแกรมดังรูป



ภาพที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมหลักการทำงานของตู้ควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 30 แอมแปร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 ส่วนรับไฟฟ้า (Electrical Inlet)

ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

1) เต้ารับไฟฟ้า (Power Inlet): ทำหน้าที่เป็นส่วนรับไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ชิ้นงาน เลือกใช้เป็นแบบเต้ารับไฟฟ้า 3 ขาประกอบด้วยขา ขา AC, ขา Neutral และ ขา Ground เป็นเต้ารับที่ใช้สำหรับไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดัน 220 V กระแส 30 A ความถี่ 50 Hz

2) สายไฟ 3 แกน (Cable 3 CORE): ทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่เต้ารับไฟฟ้า เลือกใช้สายชนิด VCT แบบ 3 แกนที่สามารถรองรับไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดัน 220 V กระแส 30 A ความถี่ 50 Hz โดยเลือกขนาดพื้นที่หน้าตัด 4 sq.mm ขึ้นไป

3.2.2 ส่วนป้องกันทางไฟฟ้า (Electrical protection devices)

ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ

1) สวิตซ์ตัดวงจร (Disconnecting Switch) : ทำหน้าที่เป็นสะพานไฟฟ้าเปิด หรือปิด เพื่อความปลอดภัยในการซ่อมบำรุง

2) ไลน์ฟิลเตอร์ (Line filter) : ทำหน้าที่กรองความถี่ทางไฟฟ้า ที่เกิดจากเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีมอเตอร์ในการทำงาน เพื่อป้องกันความถี่ที่เกิดขึ้นออกไปรบกวนเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น

3) เซอร์กิตเบรกเกอร์หลัก (Main Circuit breaker) : ทำหน้าที่ควบคุมปิด-เปิดการจ่ายกระแสไฟฟ้าทั้งหมด และป้องกันค่ากระแสพิกัดเกิน ซึ่งเลือกใช้ขนาดตามแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีอยู่คือขนาด 30 A

4) เซอร์กิตเบรกเกอร์ย่อย (Sub-Circuit breaker) : ทำหน้าที่ควบคุมปิด-เปิดการจ่ายกระแสไฟฟ้าแต่ละไลน์ และป้องกันค่ากระแสพิกัดเกิน ซึ่งในแต่ละไลน์ของวงจรทางไฟฟ้าจะมีขนาดที่แตกต่างกันออกไปตามลักษณะโหลดที่ใช้งาน โดยสามารถคำนวณขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ย่อยได้จากสูตรดังนี้

$$I_{CB} = 125\% \times I_L$$

โดย I_{CB} คือ ค่าต่ำสุดของขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ย่อยที่จะเลือกใช้ (A)

I_L คือ ค่าของกระแสโหลด (A)

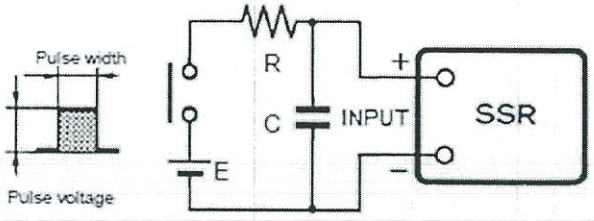
3.2.3 ส่วนควบคุมการเปิด-ปิด (Controller and Relays)

ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

1) รีเลย์ป้องกัน (Safety relays) : ทำหน้าที่ปิดหรือเปิดวงจรโดยความคุมการทำงานจากอุปกรณ์ป้องกัน(Safety device) เช่น ม่านแสงนิรภัย (Light Curtain), ปุ่มฉุกเฉิน (EMO Switch) เป็นต้น โดยจะสามารถตัดการเชื่อมต่อวงจรได้พร้อมๆกันในหลายไลน์เมื่อได้รับคำสั่งจากอุปกรณ์ป้องกัน

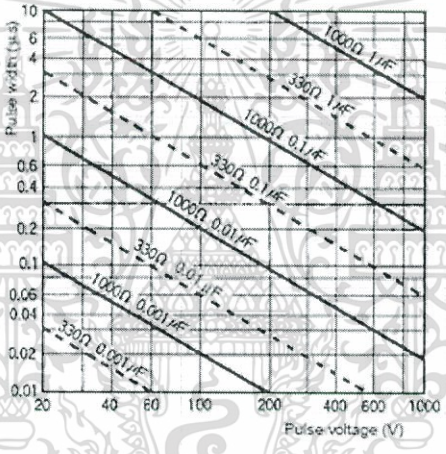
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) โซลิดสเตตรีเลย์ (Solid-state relays) : ทำหน้าที่ปิดหรือเปิดวงจรโดยความคุมการทำงานจาก Controller โดยในการต่อใช้งานจะต่อร่วมกับตัวต้านทาน(Resistor)และตัวเก็บประจุ (Capacitor) เพื่อลดปัญหาในด้านสัญญาณรบกวน โดยต่อวงจรตามลักษณะดังภาพ



ภาพที่ 3.2 วงจรการใช้งาน Solid-state relays

โดยการเลือกค่าความต้านทาน และค่าความเก็บประจุจะเลือกจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ดังนี้



ภาพที่ 3.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า RC และสัญญาณ Pulse voltage

3.2.4 ส่วนแปลงไฟฟ้ากระแสตรง (Invertor AC/DC)

ประกอบด้วย 1 ส่วน คือ

1) ตัวแปลงไฟกระแสตรง(Invertor AC/DC) : ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระตรง โดยเลือกใช้ตัวแปลงไฟกระแสตรงที่มีคุณสมบัติแปลงไฟกระแสสลับขนาด 220 V เป็นไฟกระแสตรงขนาด 24 V

3.2.5 ส่วนจ่ายไฟฟ้า (Electrical Outlet)

ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

1) ส่วนจ่ายไฟกระแสสลับ(AC Outlet): ทำหน้าที่เป็นส่วนจ่ายกระแสสลับขนาด 220 V โดยมีทั้งหมด 8 ทางออก

2) ส่วนจ่ายไฟกระแสตรง(DC Outlet): ทำหน้าที่ส่วนจ่ายกระแสตรงขนาด 24 V โดยมีทั้งหมด 5 ทางออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 คุณสมบัติและการใช้งาน

3.3.1 ส่วนจ่ายไฟกระแสสลับ (AC Outlet) มีจำนวนทั้งหมด 8 ทางออก โดยแบ่งเป็น

1) ส่วนจ่ายไฟกระแสสลับแบบที่ไม่มีการควบคุมโดย Controller (Unswitch AC Outlet) มีจำนวน 3 ทางออก
- ทางออกที่ 1 : ความสามารถในการจ่ายไฟฟ้า : 220V 2.5A
- ทางออกที่ 2 : ความสามารถในการจ่ายไฟฟ้า : 220V 2.5A
- ทางออกที่ 3 : ความสามารถในการจ่ายไฟฟ้า : 220V 3.5A

2) ส่วนจ่ายไฟกระแสสลับแบบที่มีการควบคุมโดย Controller (Switch AC Outlet) มีจำนวน 5 ทางออก
- ทางออกที่ 4 : ความสามารถในการจ่ายไฟฟ้า : 220V 2.5A
- ทางออกที่ 5 : ความสามารถในการจ่ายไฟฟ้า : 220V 3.2A
- ทางออกที่ 6 : ความสามารถในการจ่ายไฟฟ้า : 220V 3.2A
- ทางออกที่ 7 : ความสามารถในการจ่ายไฟฟ้า
  กรณีมีการจ่ายโหลดพร้อมทางออกที่ 8 : 220V 4.0A
  กรณีไม่มีการจ่ายโหลดพร้อมทางออกที่ 8 : 220V 8.0A
- ทางออกที่ 8 : ความสามารถในการจ่ายไฟฟ้า
  กรณีมีการจ่ายโหลดพร้อมทางออกที่ 7 : 220V 4.0A
  กรณีไม่มีการจ่ายโหลดพร้อมทางออกที่ 7 : 220V 8.0A

3.3.2 ส่วนจ่ายไฟกระแสตรง (DC Outlet) มีจำนวนทั้งหมด 5 ทางออก โดยแบ่งเป็น

1) ส่วนจ่ายไฟกระแสตรงแบบที่ไม่มีการควบคุมโดย Controller (Unswitch DC Outlet) มีจำนวน 4 ทางออก
- ทางออกที่ 1 : ความสามารถในการจ่ายไฟฟ้า
  กรณีมีการจ่ายโหลดพร้อมทางออกที่ 2,3 : 24V 2.1A
  กรณีไม่มีการจ่ายโหลดพร้อมทางออกที่ 2,3 : 24V 6.4A
- ทางออกที่ 2 : ความสามารถในการจ่ายไฟฟ้า
  กรณีมีการจ่ายโหลดพร้อมทางออกที่ 1,3 : 24V 2.1A
  กรณีไม่มีการจ่ายโหลดพร้อมทางออกที่ 1,3 : 24V 6.4A
- ทางออกที่ 3 : ความสามารถในการจ่ายไฟฟ้า
  กรณีมีการจ่ายโหลดพร้อมทางออกที่ 1,2 : 24V 2.1A
  กรณีไม่มีการจ่ายโหลดพร้อมทางออกที่ 1,2 : 24V 6.4A
- ทางออกที่ 4 : ความสามารถในการจ่ายไฟฟ้า : 24V 4.8A

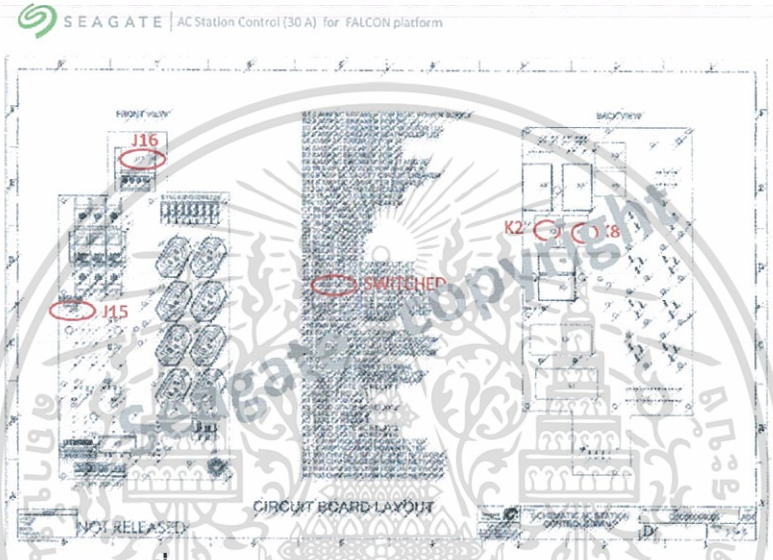
2) ส่วนจ่ายไฟกระแสตรงแบบที่มีการควบคุมโดย Controller (Switch DC Outlet) มีจำนวน 1 ทางออก
- ทางออกที่ 5 : ความสามารถในการจ่ายไฟฟ้า : 24V 8.0A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

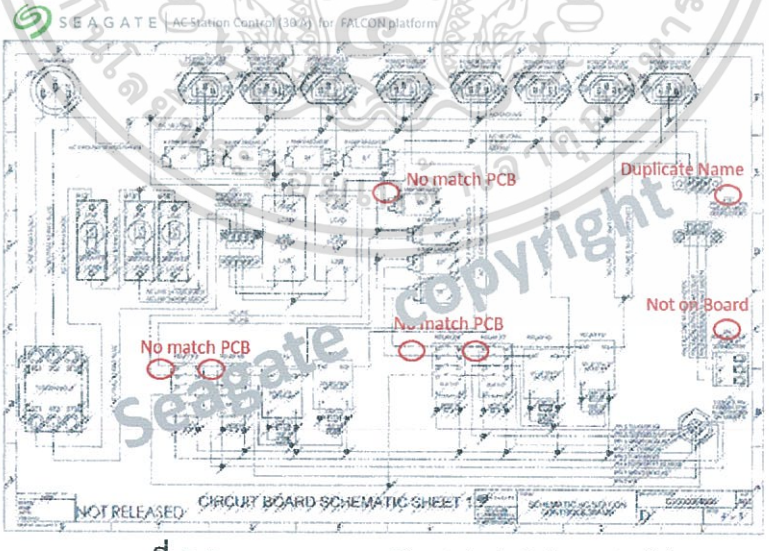
3.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.4.1 ตรวจสอบ Electrical Schmetic ของ AC control station (220V/30A) โดยตรวจสอบความถูกต้องของลักษณะต่างๆดังนี้

- การเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่างๆ
- การคำนวณขนาดของอุปกรณ์จำพวกเซอร์กิตเบกเกอร์
- การกำหนดชื่อและคุณสมบัติของอุปกรณ์ต่างๆ
- การกำหนดขาของอุปกรณ์



ภาพที่ 3.4 การตรวจสอบ Electrical Schmetic (1)



ภาพที่ 3.5 การตรวจสอบ Electrical Schmetic (2)

โดยขั้นตอนการตรวจสอบทั้งหมดบันทึกไว้ในโปรแกรม Microsoft office powerpoint

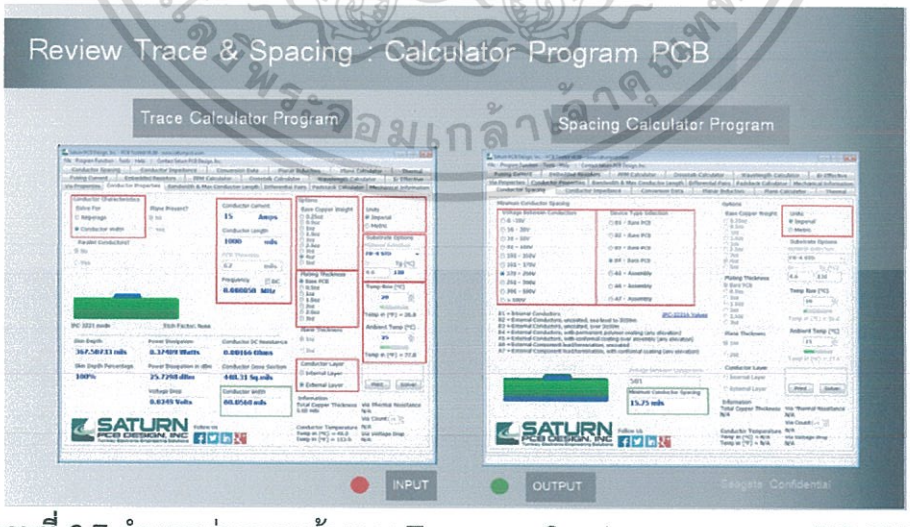
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 ตรวจสอบลาย PCB(Printed circuit board) ของ AC control station (220V/30A) เป็น PCB ชนิด 4 ชั้น โดยตรวจสอบความถูกต้องอ้างอิงตามมาตรฐานการออกแบบ PCB IPC-2221 และตามหลักการออกแบบ PCB เบื้องต้น โดยปัจจัยที่ทำการตรวจสอบ คือ

1. ขนาดความกว้างของลายวงจร(Trace)และระยะห่างของลายวงจร(Spacing) ตรวจสอบเทียบกับมาตรฐาน IPC-2221 โดยทำการ check list แต่ละเส้นของลายวงจร
1) วัดค่าความกว้างของ Trace และ Spacing จากโปรแกรม CAM350

ภาพที่ 3.6 การวัดค่าความกว้างของ Trace และ Spacing

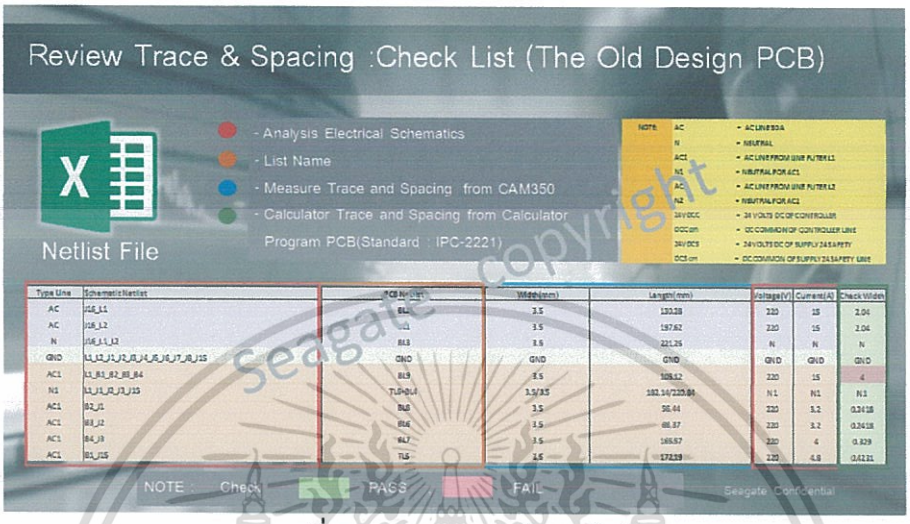
2) คำนวณค่าความกว้างของ Trace และ Spacing ตามมาตรฐาน IPC-2221 โดยใช้โปรแกรม Saturn PCB Design Toolkit



ภาพที่ 3.7 คำนวณค่าความกว้างของ Trace และ Spacing ตามมาตรฐาน IPC-2221

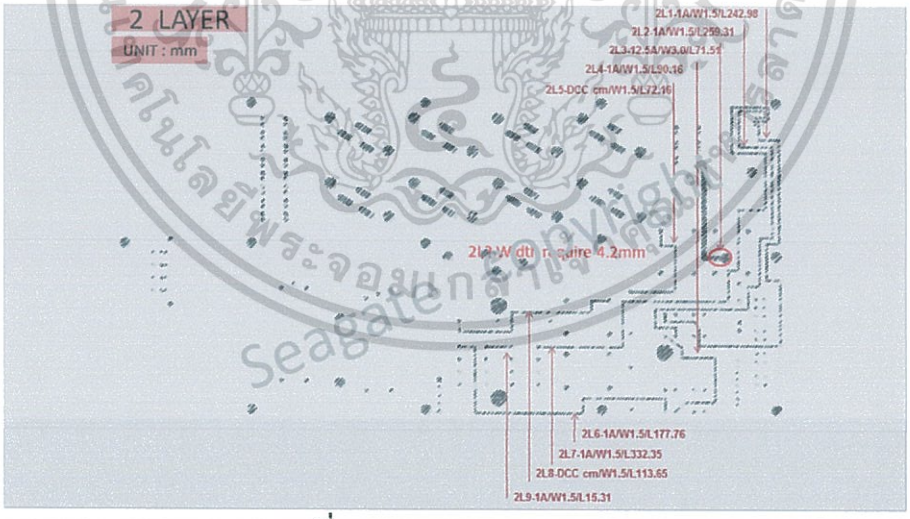
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ทำการ List ข้อมูลกับตัวลายวงจรแต่ละเส้นลงในโปรแกรม Microsoft office excel โดยข้อมูลประกอบไปด้วย ชื่อเส้นของลายวงจร,ชั้น layer ของ PCB ,ขนาดแรงดันและกระแสที่ต้องรองรับ, ขนาด Trace และ Spacingที่ได้จากการวัด และขนาด Trace และ Spacingที่ได้จากการคำนวณตามมาตรฐาน



ภาพที่ 3.8 Check list ข้อมูลกับตัวลายวงจร

4) ตรวจสอบลายวงจรแต่ละเส้นตามข้อมูลที่ List ในโปรแกรม Microsoft office excel ตรวจสอบหาเส้นลายวงจรที่มีขนาด Trace และ Spacing ไม่ผ่านตามมาตรฐาน IPC-2221

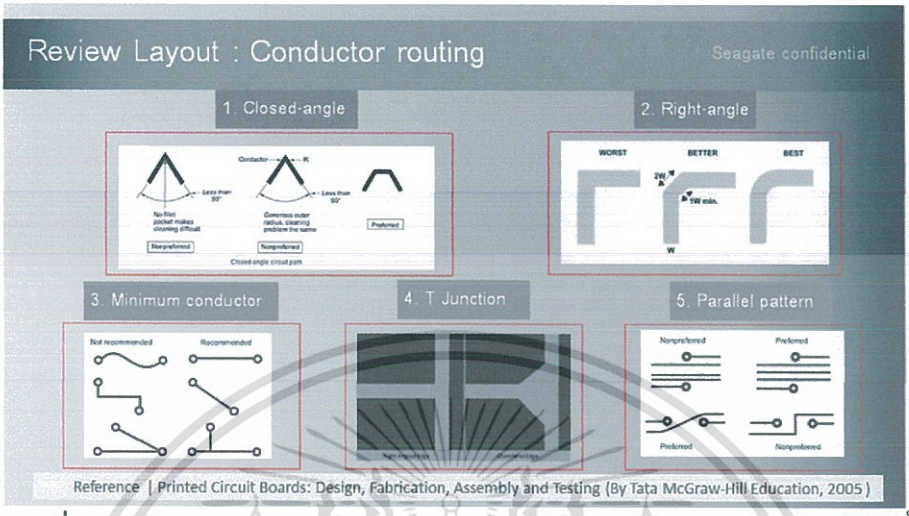


ภาพที่ 3.9 การตรวจสอบลายวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

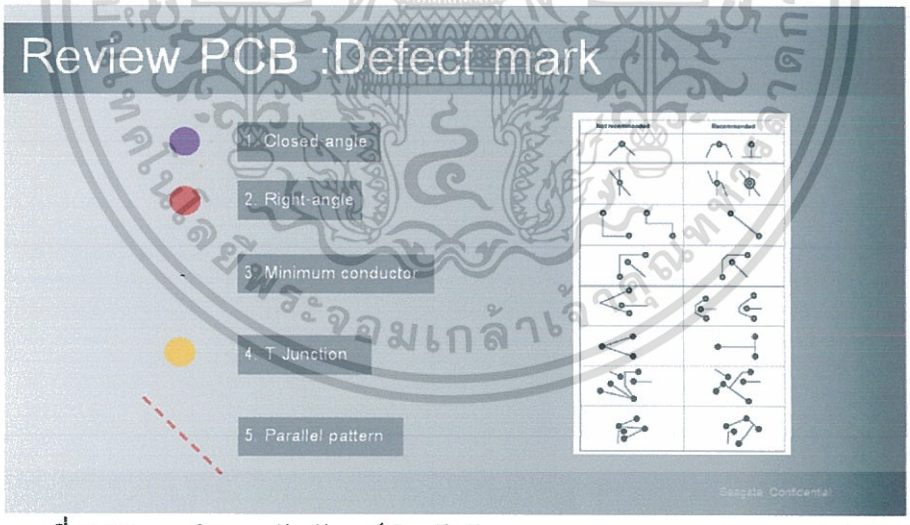
2. ลักษณะการวางลายวงจร(Layout) ถูกต้องตามหลักการออกแบบ PCB เบื้องต้นและการเชื่อมต่อถูกต้องตรงตาม Electrical Schmetic

1) กำหนดลักษณะปัญหาการวางลายวงจร(Layout) ต่างๆตามหลักการออกแบบ PCB เบื้องต้น



ภาพที่ 3.10 ปัญหาการวางลายวงจร(Layout) ต่างๆตามหลักการออกแบบ PCB เบื้องต้น

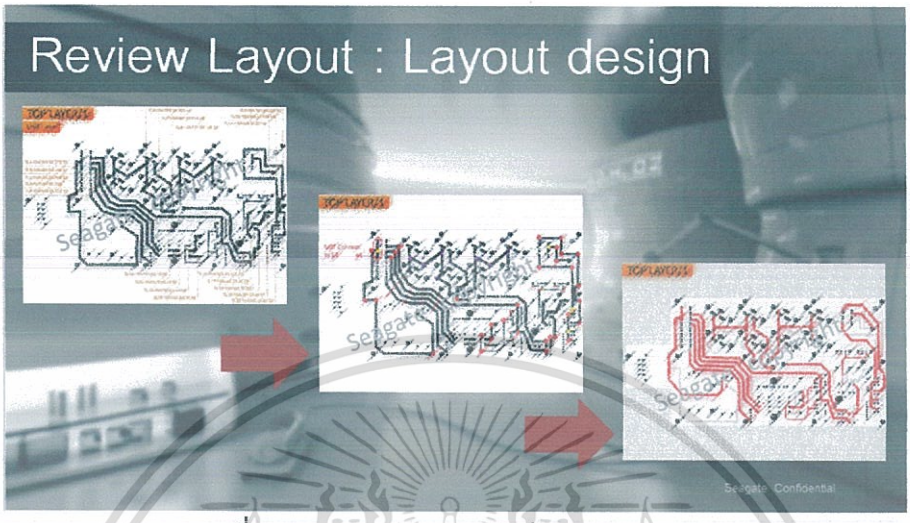
2) กำหนดสัญลักษณ์สำหรับปัญหาการวางลายวงจร(Layout) ต่างๆและทำการ Mark สัญลักษณ์บริเวณจุดที่พบปัญหา



ภาพที่ 3.11 การกำหนดสัญลักษณ์สำหรับปัญหาการวางลายวงจร(Layout) ต่างๆ

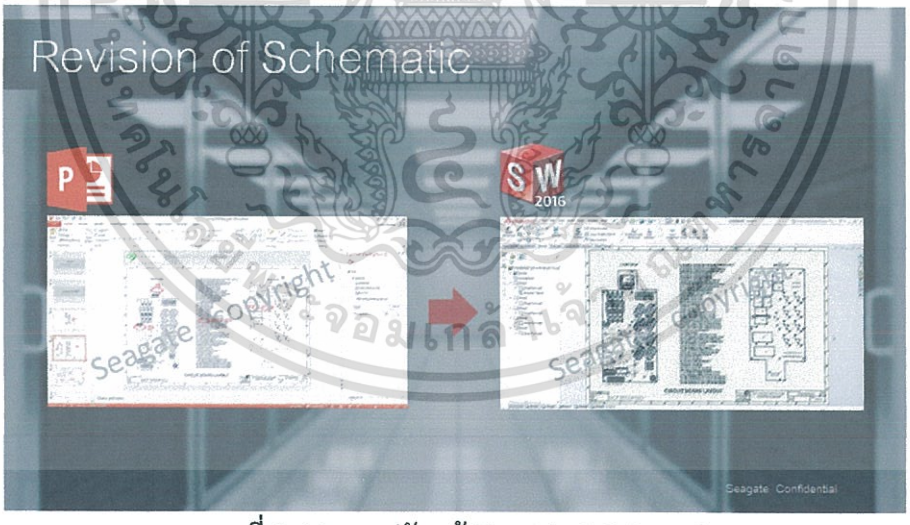
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) วางแผนปรับแก้การวางลายวงจร(Layout) ตาม Mark รวมถึงตรวจสอบการเชื่อมต่อที่ไม่ถูกต้อง ตรงตาม Electrical Schmetic



ภาพที่ 3.12 การวางแผนปรับแก้การวางลายวงจร(Layout)

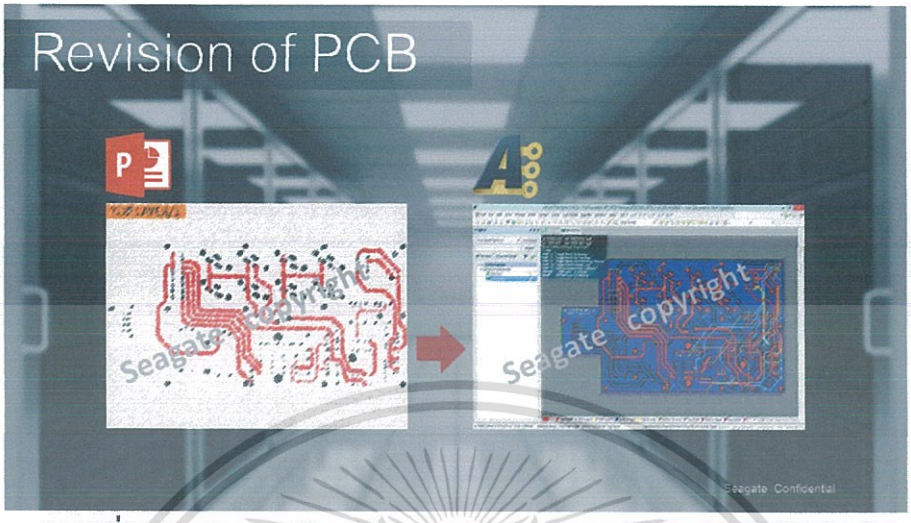
3.4.3 ปรับแก้ Electrical Schmetic ของ AC control station (220V/30A) ตามข้อบกพร่องต่างๆ ที่มาจากการตรวจสอบ ปรับแก้โดยใช้โปรแกรม Solidwork



ภาพที่ 3.13 การปรับแก้ Electrical Schmetic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 ปรับแก้ลาย PCB(Printed circuit board) ของ AC control station (220V/30A) ตามข้อบกพร่องต่างๆ ที่มาจากการตรวจสอบ ปรับแก้โดยใช้โปรแกรม Altium Designer



ภาพที่ 3.14 การปรับแก้ลาย PCB(Printed circuit board)

3.4.5 ตรวจสอบ Electrical Schmetic และ ลาย PCB(Printed circuit board) ของ AC control station (220V/30A) ที่ทำการปรับแก้จากกระบวนการที่ 3.4.3 และ 3.4.4 โดยทำการตรวจสอบตามขั้นตอนที่ 3.4.1 และ 3.4.2

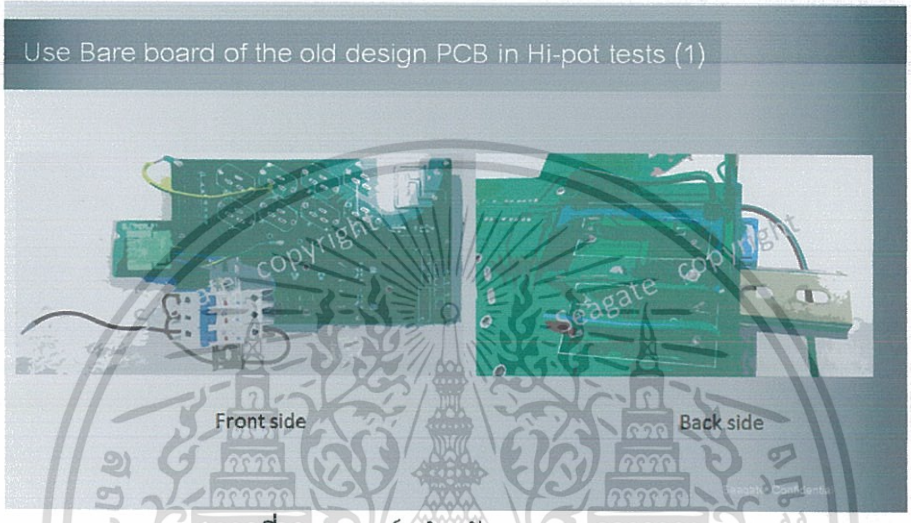
3.4.6 หลังจากทำการตรวจสอบการปรับแก้แล้ว ทำการจัดเตรียมไฟล์เป็นไฟล์ Gerber เพื่อใช้ในการสั่งทำบอร์ด PCB

ภาพที่ 3.15 ไฟล์ Gerber

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

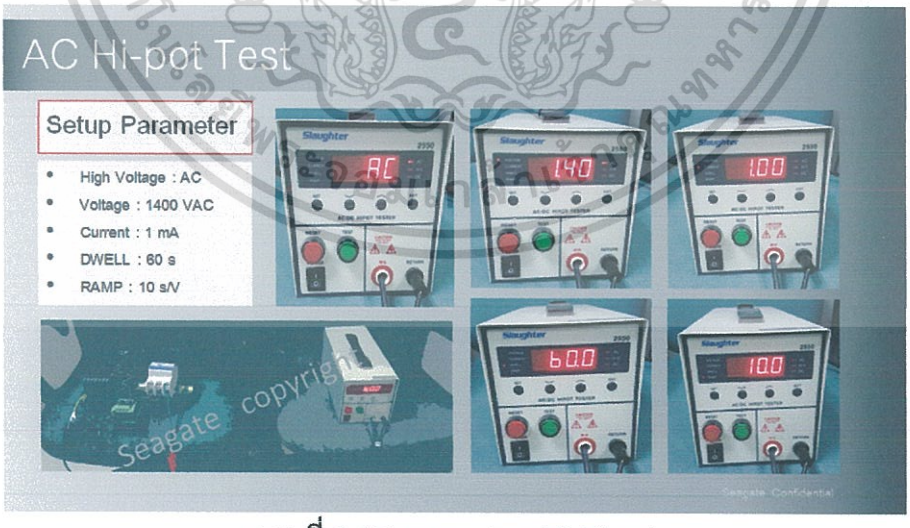
3.4.7 จัดเตรียมบอร์ดเพื่อใช้สำหรับการทดสอบในด้าน Electrical safety โดยใช้ตัวบอร์ดที่ยังไม่ผ่านการปรับแก้ โดยจะทำการทดสอบในเรื่อง Hi-pot และ Ground continuity
หมายเหตุ : (1)(2)

1) การทดสอบ Dielectric Withstand (Hi-pot)
1.1 จัดเตรียมบอร์ดสำหรับการทดสอบ Hipot



ภาพที่ 3.16 บอร์ดสำหรับการทดสอบ Hipot

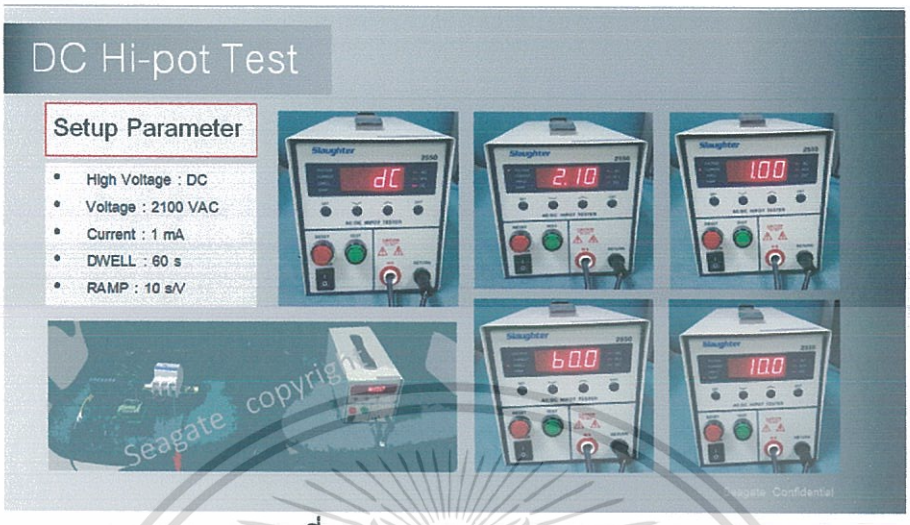
1.2 ทำการทดสอบ AC Hi-pot แล้วบันทึกผลการทดสอบ ทำซ้ำเป็นจำนวนทั้งหมด 3 ครั้ง



ภาพที่ 3.17 การทดสอบ AC Hi-pot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ทำการทดสอบ DC Hi-pot แล้วบันทึกผลการทดสอบ ทำซ้ำเป็นจำนวนทั้งหมด 3 ครั้ง

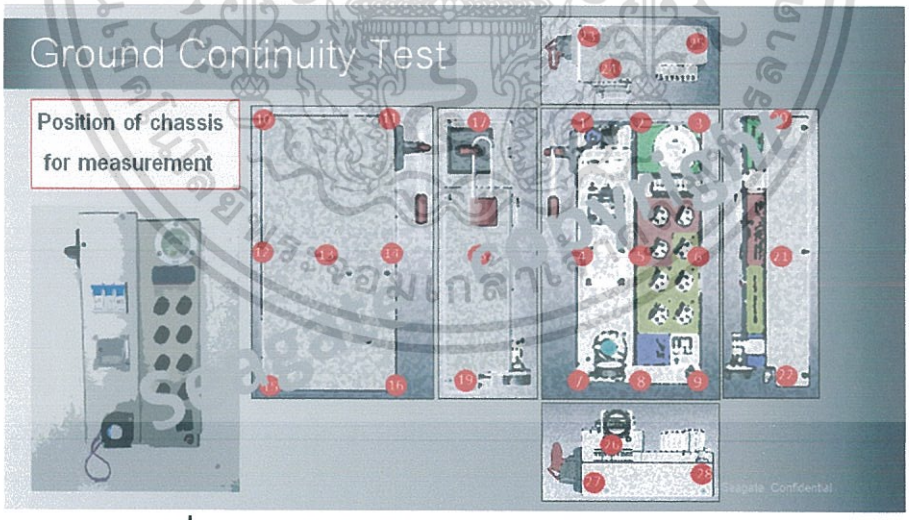


ภาพที่ 3.18 การทดสอบ DC Hi-pot

1.4 ถ้าการทดสอบเกิดการ Fail ให้ทำการปรับแก้บอร์ดแล้วทำการทดสอบใหม่ตั้งแต่หัวข้อที่ 1.1

2) การทดสอบ Ground Continuity

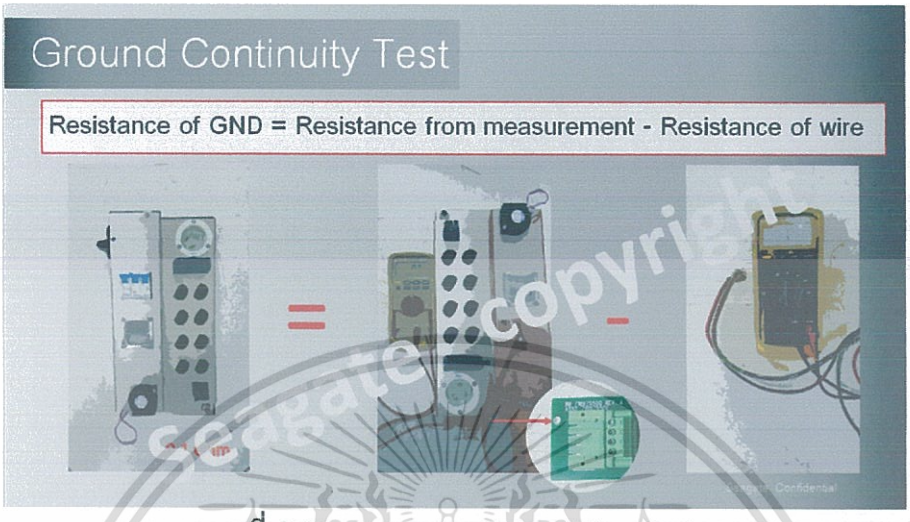
2.1 จัดเตรียมบอร์ดสำหรับการทดสอบ Ground Continuity



ภาพที่ 3.19 บอร์ดสำหรับการทดสอบ Ground Continuity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ทำการวัดค่าความต้านทานในสายส่งของอุปกรณ์วัด และค่าความต้านทานกราวน์ที่ตำแหน่งต่างๆ จำนวน 28 จุดของชิ้นงาน แล้วบันทึกผลการทดลอง



ภาพที่ 3.20 การทดสอบ Ground Continuity

หมายเหตุ :

(1) เนื่องจากการจัดทำบอร์ดใหม่จำเป็นต้องใช้ระยะยาวในการจัดทำนาน อีกทั้งการทดสอบในเรื่อง Hi-pot และ Ground continuity เป็นการทดสอบที่เกี่ยวกับฉนวนและกราวน์ซึ่งในบอร์ดที่มีการปรับแก้ ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงในเรื่องฉนวนและกราวน์ จึงสามารถใช้ผลการทดลองอ้างอิงได้

(2) ในส่วนของการทดสอบ Leakage Current และ Ground Bond ไม่ได้ทำการทดสอบเนื่องจากขาดความพร้อมในด้านเครื่องมือทดสอบและอุปกรณ์โหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการตรวจสอบลายวงจรบอร์ดก่อนทำการแก้ไข

4.1.1 การตรวจสอบลายวงจรก่อนทำการแก้ไขในส่วนของขนาดลายตัวนำ (Trace)

Type Line	PCB Netlist	Current(A)	Trace (mm) Measurement	Trace (mm) Standard	Result
AC	BL2	15	3.8	2.04	Pass
AC	BL1	15	3.5	2.04	Pass
N	BL3	N	3.5	N	Pass
GND	GND	GND	GND	GND	Pass
AC1	BL9	15	3.5	2.04	Pass
N1	TL6+BL4	N1	3.5/3.5	N1	Pass
AC1	BL8	3.2	3.5	0.2418	Pass
AC1	BL6	3.2	3.5	0.2418	Pass
AC1	BL7	4	3.5	0.329	Pass
AC1	TL5	4.8	3.5	0.4231	Pass
AC1	TL4	3.2	3.5	0.2418	Pass
AC1	TL12	3.2	3.5	0.2418	Pass
AC1	TL15	3.2	3.5	0.2418	Pass
AC1	TL7+BL12	3.2	3.5/3.5	0.2418	Pass
AC2	TL1	15	3.5	2.04	Pass
N2	TL8+BL13	N2	3.5/3.5	N2	Pass
AC2	TL3	3.2	3.5	0.2418	Pass
AC2	TL13	3.2	3.5	0.2418	Pass
AC2	TL14	3.2	3.5	0.2418	Pass
AC2	BL11	3.2	3.5	0.2418	Pass
AC2	TL2	3.2	3.5	0.2418	Pass
AC2	BL17	3.2	3.5	0.2418	Pass
AC2	TL17	3.2	3.5	0.2418	Pass
AC2	BL10	3.2	3.5	0.2418	Pass
AC2	TL16+BL5	8	3.5/3.5	2.2931	Pass
AC2	TL18	8	3.5	2.2931	Pass
AC2	TL19	8	3.5	2.2931	Pass
AC2	BL14	8	3.5	2.2931	Pass

ตารางที่ 4.1 ตารางผลการตรวจสอบลายวงจรก่อนทำการแก้ไขในส่วนของขนาดลายตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Type Line	PCB Netlist	Current (A)	Trace (mm) Measurement	Trace(mm) Standard	Result
24 VDCC	2L7	1	1.5	0.1265	Pass
24 VDCC	2L6+3L1	1	1.5/1.5	0.1265	Pass
24 VDCC	2L9	1	1.5	0.1265	Pass
24 VDCC	2L4	1	1.5	0.1265	Pass
24 VDCC	TL26+3L5	1	1.5/1.5	0.1265	Pass
24 VDCC	TL26+3L4	1	1.5/1.5	0.1265	Pass
24 VDCC	TL25+BL15	1	1.5/1.5	0.1265	Pass
24 VDCC	TL25+2L1+3L6	1	1.5/1.5/1.5	0.1265	Pass
DCC cm	TL22x2+TL24x2+TL27x2 +TL29x2+2L5+2L8+3L2	DCC cm	1.5/1.5/1.5/1.5 /1.5/1.5/1.5	DCC cm	Pass
24 VDCC	2L2	1	1.5	0.1265	Pass
24 VDCC	TL21	1	1.5	0.1265	Pass
24 VDCC	TL23	1	1.5	0.1265	Pass
24 VDCC	TL23	1	1.5	0.1265	Pass
24 VDCC	TL30	1	1.5	0.1265	Pass
24 VDCC	TL28	1	1.5	0.1265	Pass
24 VDCC	TL28	1	1.5	0.1265	Pass
24 VDCS	TL11+BL19	6.25+6.25	3.0/3.0	1.584	Pass
24 VDCS	TL20+BL16	6.4	3.0/3.0	0.6291	Pass
24 VDCS	TL9	4.8	3	0.4231	Pass
24 VDCS	BL18	6.25+6.25	3	1.584	Pass
24 VDCS	2L3+3L3	6.25+6.25	3	4.1206	Fail
24 VDCS	TL10	8	3	0.8559	Pass
DCS cm	BL20	DCS cm	3	DCS cm	Pass

ตารางที่ 4.1 ตารางผลการตรวจสอบลายวงจรก่อนทำการแก้ไขในส่วนของขนาดลายตัวนำ (ต่อ)

หมายเหตุ :

AC	=	AC LINE 30 A
N	=	NEUTRAL
AC1	=	AC LINE FROM LINE FLITER L1
N1	=	NEUTRAL FOR AC1
AC2	=	AC LINE FROM LINE FLITER L2
N2	=	NEUTRAL FOR AC2
24VDCC	=	24 VOLTS DC OF CONTROLLER
DCC cm	=	DC COMMON OF CONTROLLER LINE
24VDCS	=	24 VOLTS DC OF SUPPLY 24 SAFETY
DCS cm	=	DC COMMON OF SUPPLY 24 SAFETY LINE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การตรวจสอบลายวงจรก่อนทำการแก้ไขในส่วนของระยะห่างลายตัวนำ (Spacing)

PCB Netlist	Voltage (V)	Spacing(mm) Measurement	Spacing(mm) Standard	Result
TL1	220VAC2	3.7	0.4	Pass
TL2	220VAC2	2.8	0.4	Pass
TL3	220VAC2	2.1	0.4	Pass
TL4	220VAC1	2.1	0.4	Pass
TL5	220VAC1	3.6	0.4	Pass
TL6	N1	6.3	N1	Pass
TL7	220VAC1	6.6	0.4	Pass
TL8	N2	6.6	N2	Pass
TL9	24VDCS	0.7	0.05	Pass
TL10	24VDCS	0.7	0.05	Pass
TL11	24VDCS	4	0.05	Pass
TL12	220VAC1	4	0.4	Pass
TL13	220VAC2	4	0.4	Pass
TL14	220VAC2	5.6	0.4	Pass
TL15	220VAC1	5.6	0.4	Pass
TL16	220VAC2	3.9	0.4	Pass
TL17	220VAC2	1.65	0.4	Pass
TL18	220VAC2	2.8	0.4	Pass
TL19	220VAC2	2.8	0.4	Pass
TL20	24VDS	1.3	0.05	Pass
TL21	24VDCC	1.9	0.05	Pass
TL22	DCC cm	1.9	DCC cm	Pass
TL23	24VDCC	1.9	0.05	Pass
TL24	DCC cm	2	DCC cm	Pass
TL25	24VDCC	2	0.05	Pass
TL26	24VDCC	2	0.05	Pass
TL27	DCC cm	2	DCC cm	Pass
TL28	24VDCC	1.87	0.05	Pass
TL29	DCC cm	1.87	DCC cm	Pass
TL30	24VDCC	1.9	0.05	Pass
2L1	24VDCC	2.3	0.05	Pass
2L2	24VDCC	0.7	0.05	Pass
2L3	24VDCS	3.2	0.05	Pass
2L4	24VDCC	1.5	0.05	Pass
2L5	DCC cm	4	DCC cm	Pass

ตารางที่ 4.2 ตารางผลการตรวจสอบลายวงจรก่อนทำการแก้ไขในส่วนของระยะห่างลายตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PCB Netlist	Voltage (V)	Spacing(mm) Measurement	Spacing(mm) Standard	Result
2L6	24VDCC	3.9	0.05	Pass
2L7	24VDCC	0.7	0.05	Pass
2L8	DCC cm	7.4	DCC cm	Pass
2L9	24VDCC	4.7	0.05	Pass
3L1	24VDCC	2.26	0.05	Pass
3L2	DCC cm	2.8	DCC cm	Pass
3L3	24VDCS	3.7	0.05	Pass
3L4	24VDCC	1.58	0.05	Pass
3L5	24VDCC	1.58	0.05	Pass
3L6	24VDCC	4.15	0.05	Pass
BL1	220VAC	1.5	0.4	Pass
BL2	220VAC	1.5	0.4	Pass
BL3	N	1.5	N	Pass
BL4	N1	1.5	N1	Pass
BL5	220VAC2	1.5	0.4	Pass
BL6	220VAC1	1.5	0.4	Pass
BL7	220VAC1	1.5	0.4	Pass
BL8	220VAC1	1.5	0.4	Pass
BL9	220VAC1	1.5	0.4	Pass
BL10	220VAC2	1.5	0.4	Pass
BL11	220VAC2	1.5	0.4	Pass
BL12	220VAC1	1.5	0.4	Pass
BL13	N2	1.5	N2	Pass
BL14	220VAC2	1.5	0.4	Pass
BL15	24VDCC	1.5	0.05	Pass
BL16	24VDCS	1.5	0.05	Pass
BL17	220VAC2	1.5	0.4	Pass
BL18	24VDCS	1.5	0.05	Pass
BL19	24VDCS	1.5	0.05	Pass
BL20	DCS cm	1.5	DCS cm	Pass

ตารางที่ 4.2 ตารางผลการตรวจสอบลายวงจรก่อนทำการแก้ไขในส่วนของระยะห่างลายตัวนำ(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการตรวจสอบลายวงจรบอร์ดหลังทำการแก้ไข

4.2.1 การตรวจสอบลายวงจรหลังทำการแก้ไขในส่วนของขนาดลายตัวนำ (Trace)

Type Line	PCB Netlist	Current(A)	Trace (mm) Measurement	Trace (mm) Standard	Result
AC	BL2	15	3.5	2.04	Pass
AC	BL1	15	3.5	2.04	Pass
N	BL3	N	3.5	N	Pass
GND	GND	GND	GND	GND	Pass
AC1	BL9	15	3.5	2.04	Pass
N1	TL6+BL4	N1	3.5/3.5	N1	Pass
AC1	BL8	3.2	3.5	0.2418	Pass
AC1	BL6	3.2	3.5	0.2418	Pass
AC1	BL7	4	3.5	0.329	Pass
AC1	TL5	4.8	3.5	0.4231	Pass
AC1	TL4	15	3.5	0.2418	Pass
AC1	TL12	N2	4/3.5	0.2418	Pass
AC1	TL15	3.2	3.5	0.2418	Pass
AC1	TL7+BL12	3.2	3.5	0.2418	Pass
AC2	TL1	3.2	3.5	2.04	Pass
N2	TL8+BL13	3.2	4/3.5	N2	Pass
AC2	TL3	3.2	3.5	0.2418	Pass
AC2	TL13	3.2	3.5	0.2418	Pass
AC2	TL14	3.2	4	0.2418	Pass
AC2	BL11	3.2	3.5	0.2418	Pass
AC2	TL2	3.2	3.5	0.2418	Pass
AC2	BL17	3.2	3.5	0.2418	Pass
AC2	TL17	3.2	3.5	0.2418	Pass
AC2	BL10	3.2	4	0.2418	Pass
AC2	TL16+BL5	8	3.5/3.5	2.2931	Pass
AC2	TL18	8	4	2.2931	Pass
AC2	TL19	8	3	2.2931	Pass
AC2	BL14	8	4	2.2931	Pass

ตารางที่ 4.3 ตารางผลการตรวจสอบลายวงจรหลังทำการแก้ไขในส่วนของขนาดลายตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Type Line	PCB Netlist	Current (A)	Trace (mm) Measurement	Trace(mm) Standard	Result
24 VDCC	2L7	1	1.5	0.1265	Pass
24 VDCC	2L6+3L1	1	1.5/1.5	0.1265	Pass
24 VDCC	2L9	1	1.5	0.1265	Pass
24 VDCC	2L4	1	1.5	0.1265	Pass
24 VDCC	TL26+3L5	1	1.5/1.5	0.1265	Pass
24 VDCC	TL26+3L4	1	1.5/1.5	0.1265	Pass
24 VDCC	TL25+BL15	1	1.5/1.5	0.1265	Pass
24 VDCC	TL25+2L1+3L6	1	1.5/1.5/1.5	0.1265	Pass
DCC cm	TL22x2+TL24x2+TL27x2 +TL29x2+2L5+2L8+3L2	DCC cm	1.5/1.5/1.5/1.5 /1.5/1.5/1.5	DCC cm	Pass
24 VDCC	2L2	1	1.5	0.1265	Pass
24 VDCC	TL21	1	1.5	0.1265	Pass
24 VDCC	TL23	1	1.5	0.1265	Pass
24 VDCC	TL23	1	1.5	0.1265	Pass
24 VDCC	TL30	1	1.5	0.1265	Pass
24 VDCC	TL28	1	1.5	0.1265	Pass
24 VDCC	TL28	1	1.5	0.1265	Pass
24 VDCS	TL11+BL19	6.25+6.25	3.0/3.0	1.584	Pass
24 VDCS	TL20+BL16	6.4	3.0/3.0	0.6291	Pass
24 VDCS	TL9	4.8	3	0.4231	Pass
24 VDCS	BL18	6.25+6.25	3	1.584	Pass
24 VDCS	2L3+3L3	6.25+6.25	4.5	4.1206	Pass
24 VDCS	TL10	8	3	0.8559	Pass
DCS cm	BL20	DCS cm	3	DCS cm	Pass

ตารางที่ 4.3 ตารางผลการตรวจสอบลายวงจรหลังทำการแก้ไขในส่วนของขนาดลายตัวนำ(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การตรวจสอบลายวงจรหลังทำการแก้ไขในส่วนของระยะห่างลายตัวนำ (Spacing)

PCB Netlist	Voltage (V)	Spacing(mm) Measurement	Spacing(mm) Standard	Result
TL1	220VAC2	1.5	0.4	Pass
TL2	220VAC2	1.15	0.4	Pass
TL3	220VAC2	1.15	0.4	Pass
TL4	220VAC1	1.38	0.4	Pass
TL5	220VAC1	0.74	0.4	Pass
TL6	N1	4.4	N1	Pass
TL7	220VAC1	3.59	0.4	Pass
TL8	N2	4.81	N2	Pass
TL9	24VDCS	1.27	0.05	Pass
TL10	24VDCS	1.53	0.05	Pass
TL11	24VDCS	2.5	0.05	Pass
TL12	220VAC1	1.32	0.4	Pass
TL13	220VAC2	4	0.4	Pass
TL14	220VAC2	2.04	0.4	Pass
TL15	220VAC1	3.74	0.4	Pass
TL16	220VAC2	3.25	0.4	Pass
TL17	220VAC2	1.91	0.4	Pass
TL18	220VAC2	2.65	0.4	Pass
TL19	220VAC2	1.55	0.4	Pass
TL20	24VDS	1.27	0.05	Pass
TL21	24VDCC	1.9	0.05	Pass
TL22	DCC cm	1.9	DCC cm	Pass
TL23	24VDCC	1.9	0.05	Pass
TL24	DCC cm	2	DCC cm	Pass
TL25	24VDCC	2	0.05	Pass
TL26	24VDCC	2	0.05	Pass
TL27	DCC cm	2	DCC cm	Pass
TL28	24VDCC	1.87	0.05	Pass
TL29	DCC cm	1.87	DCC cm	Pass
TL30	24VDCC	1.9	0.05	Pass
2L1	24VDCC	0.55	0.05	Pass
2L2	24VDCC	0.18	0.05	Pass
2L3	24VDCS	2.54	0.05	Pass
2L4	24VDCC	2.18	0.05	Pass
2L5	DCC cm	2	DCC cm	Pass

ตารางที่ 4.4 ตารางผลการตรวจสอบลายวงจรหลังทำการแก้ไขในส่วนของระยะห่างลายตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PCB Netlist	Voltage (V)	Spacing(mm) Measurement	Spacing(mm) Standard	Result
2L6	24VDCC	2.38	0.05	Pass
2L7	24VDCC	0.18	0.05	Pass
2L8	DCC cm	3.66	DCC cm	Pass
2L9	24VDCC	4.7	0.05	Pass
3L1	24VDCC	0.55	0.05	Pass
3L2	DCC cm	0.55	DCC cm	Pass
3L3	24VDCS	0.55	0.05	Pass
3L4	24VDCC	0.55	0.05	Pass
3L5	24VDCC	0.55	0.05	Pass
3L6	24VDCC	3.83	0.05	Pass
BL1	220VAC	1.5	0.4	Pass
BL2	220VAC	1.5	0.4	Pass
BL3	N	1.5	N	Pass
BL4	N1	1.5	N1	Pass
BL5	220VAC2	1.5	0.4	Pass
BL6	220VAC1	1.5	0.4	Pass
BL7	220VAC1	1.5	0.4	Pass
BL8	220VAC1	1.5	0.4	Pass
BL9	220VAC1	1.5	0.4	Pass
BL10	220VAC2	1.5	0.4	Pass
BL11	220VAC2	1.5	0.4	Pass
BL12	220VAC1	1.5	0.4	Pass
BL13	N2	1.5	N2	Pass
BL14	220VAC2	1.5	0.4	Pass
BL15	24VDCC	1.5	0.05	Pass
BL16	24VDCS	1.5	0.05	Pass
BL17	220VAC2	1.5	0.4	Pass
BL18	24VDCS	1.5	0.05	Pass
BL19	24VDCS	1.5	0.05	Pass
BL20	DCS cm	1.5	DCS cm	Pass

ตารางที่ 4.4 ตารางผลการตรวจสอบลายวงจรหลังทำการแก้ไขในส่วนของระยะห่างลายตัวนำ(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลองเกี่ยวกับการทดสอบด้าน Electrical Safety

4.3.1 การทดสอบ Dielectric Withstand (Hi-pot) แบบ AC Hi-pot ครั้งที่ 1

AC LINE				Neutral Line			
Voltage (kVAC)	Current (mA)	Dwell (s)	Result	Voltage (kVAC)	Current (mA)	Dwell (s)	Result
0.75	0.27	7.5	Fail	0.61	0.15	6.1	Fail
0.75	0.29	7.5	Fail	0.63	0.15	6.3	Fail
0.74	0.25	7.4	Fail	0.62	0.16	6.2	Fail

ตารางที่ 4.5 ตารางผลการทดสอบ Dielectric Withstand (Hi-pot) แบบ AC Hi-pot ครั้งที่ 1

4.3.2 การทดสอบ Dielectric Withstand (Hi-pot) แบบ DC Hi-pot ครั้งที่ 1

AC LINE				Neutral Line			
Voltage (kVDC)	Current (mA)	Dwell (s)	Result	Voltage (kVDC)	Current (mA)	Dwell (s)	Result
0.64	0.2	6.4	Fail	0.57	0.11	5.7	Fail
0.64	0.21	6.4	Fail	0.58	0.11	5.8	Fail
0.62	0.23	6.2	Fail	0.56	0.11	5.6	Fail

ตารางที่ 4.6 ตารางผลการทดสอบ Dielectric Withstand (Hi-pot) แบบ DC Hi-pot ครั้งที่ 1

หมายเหตุ : หลังจากทำการแก้ไขบอร์ดโดยการ Soldering ใหม่ ให้พื้นที่ที่ Soldering อยู่เพียงบน Pad ที่ต้องการเชื่อมต่อ และเพิ่มฉนวนป้องกันบริเวณจุดเสี่ยง

4.3.3 การทดสอบ Dielectric Withstand (Hi-pot) แบบ AC Hi-pot ครั้งที่ 2

AC LINE				Neutral Line			
Voltage (kVDC)	Current (mA)	Dwell (s)	Result	Voltage (kVDC)	Current (mA)	Dwell (s)	Result
1.4	0.24	60	Pass	1.4	0.1	60	Pass
1.4	0.27	60	Pass	1.4	0.11	60	Pass
1.4	0.23	60	Pass	1.4	0.1	60	Pass

ตารางที่ 4.7 ตารางผลการทดสอบ Dielectric Withstand (Hi-pot) แบบ AC Hi-pot ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 การทดสอบ Dielectric Withstand (Hi-pot) แบบ DC Hi-pot ครั้งที่ 2

AC LINE				Neutral Line			
Voltage (kVDC)	Current (mA)	Dwell (s)	Result	Voltage (kVDC)	Current (mA)	Dwell (s)	Result
2.1	0.18	60	Pass	2.1	0.1	60	Pass
2.1	0.19	60	Pass	2.1	0.11	60	Pass
2.1	0.17	60	Pass	2.1	0.12	60	Pass

ตารางที่ 4.8 ตารางผลการทดสอบ Dielectric Withstand (Hi-pot) แบบ DC Hi-pot ครั้งที่ 2

4.3.5 การทดสอบ Ground Continuity

Position of chassis	Resistance from measurement (Ohm)	Resistance of GND (Ohm)	Position of chassis	Resistance from measurement (Ohm)	Resistance of GND (Ohm)
1	0.3	≈ 0	15	0.3	≈ 0
2	0.3	≈ 0	16	0.3	≈ 0
3	0.3	≈ 0	17	0.3	≈ 0
4	0.3	≈ 0	18	0.3	≈ 0
5	0.3	≈ 0	19	0.3	≈ 0
6	0.3	≈ 0	20	0.3	≈ 0
7	0.3	≈ 0	21	0.3	≈ 0
8	0.3	≈ 0	22	0.3	≈ 0
9	0.3	≈ 0	23	0.3	≈ 0
10	0.3	≈ 0	24	0.3	≈ 0
11	0.3	≈ 0	25	0.3	≈ 0
12	0.3	≈ 0	26	0.3	≈ 0
13	0.3	≈ 0	27	0.3	≈ 0
14	0.3	≈ 0	28	0.3	≈ 0

ตารางที่ 4.9 ตารางผลการทดสอบ Ground Continuity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงาน อุปสรรคและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

โครงงานนี้จัดทำขึ้นเพื่อตรวจสอบตู้ควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 30 แอมแปร์ และทำการแก้ไขจุดบกพร่องต่างๆของบอร์ด รวมถึงทดสอบด้านความปลอดภัยทางไฟฟ้าพื้นฐานกับบอร์ดที่ยังไม่ได้ผ่านการแก้ไขเพื่อใช้เป็นผลอ้างอิงและแนวทางในการทดสอบบอร์ดที่ถูกแก้ไขแล้ว โดยผลที่ได้จากโครงงานนี้จะทำให้ตัวชิ้นงานมีความถูกต้องในการออกแบบและความถูกต้องในการเก็บข้อมูลมากขึ้น

จากผลการทดลองในบทที่ 4 หัวข้อ 4.1 ผลการตรวจสอบลายวงจรบอร์ดก่อนทำการแก้ไขเป็นการวัดค่า ขนาดความกว้างของเส้นลายวงจร (Trace) และ ระยะห่างระหว่างเส้นลายวงจร(Spacing) ก่อนทำการแก้ไขบอร์ดเพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน IPC-2221 โดยมีเส้นลายวงจรที่ไม่ผ่านเกี่ยวกับค่าขนาดความกว้างของเส้นลายวงจร(Trace) คือ 2L3+3L3(เส้นลายวงจรชั้น layer 2 หมายเลข 3 และเส้นลายวงจรชั้น layer 3 หมายเลข 3) โดยมีค่าขนาดที่น้อยกว่าขนาดมาตรฐาน หลังจากนั้นยังมีการตรวจสอบลักษณะการวางลายวงจร(Layout) ซึ่งพบว่ามีปัญหาในการวางลายวงจรอยู่หลายตำแหน่ง

จากผลการทดลองในบทที่ 4 หัวข้อ 4.2 ผลการตรวจสอบลายวงจรบอร์ดหลังทำการแก้ไขเป็นการวัดค่า ขนาดความกว้างของเส้นลายวงจร (Trace) และ ระยะห่างระหว่างเส้นลายวงจร (Spacing) หลังทำการแก้ไขบอร์ดเพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน IPC-2221 พบว่าไม่มีเส้นลายวงจรที่มีขนาดและระยะห่างไม่ผ่านตามค่ามาตรฐาน นอกจากนั้นในการตรวจสอบลักษณะการวางลายวงจร(Layout) ก็พบว่ามีการวางลายวงจรที่ถูกต้องตามหลักการออกแบบ PCB มากขึ้น

จากผลการทดลองในบทที่ 4 หัวข้อ 4.3 ผลการทดลองเกี่ยวกับการทดสอบด้าน Electrical Safety มีการแบ่งการทดสอบเป็น 2 หัวข้อ ดังนี้

1.การทดสอบความทนแรงดัน(Hi-pot) พบว่าในการทดสอบบอร์ดจำลองครั้งแรกมีการ Fail ที่เวลาในการทดสอบยังไม่ถึง 60 วินาที ที่แรงดัน น้อยกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด ทั้งการทดสอบแบบ AC และ DC จึงทำการแก้ไขบอร์ดจำลองโดยทำการ Soldering ใหม่ และเพิ่มฉนวนในจุดที่เสี่ยง เพื่อลดจุดเสี่ยงในการ Fail แล้วทำการทดสอบใหม่เป็นครั้งที่สอง พบว่าให้ผลการทดสอบ Pass ทั้งการทดสอบแบบ AC และ DC จึงสรุปได้ว่าบอร์ดสามารถทนแรงดันทดสอบ AC High Voltage ได้ที่ค่า 1.4 kV และ DC High Voltage ได้ที่ค่า 2.1 kV

2. พบว่าในการทดสอบบอร์ดพร้อมประกอบกับตัว case โดยทำการวัดค่าความต้านทานทั้ง 28 จุด บนตัว case เทียบกราวน์แล้วให้ค่าความต้านทานที่ไม่เกินมาตรฐาน (น้อยกว่า 0.1 Ohm) จึงสรุปได้ว่าชิ้นงานผ่านการทดสอบความต่อเนื่องของกราวน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 อุปสรรค

การจัดทำโครงการ ผู้จัดทำได้พบอุปสรรคบางประการ ดังนี้

5.2.1 การสั่งทำบอร์ด PCB ใช้ระยะเวลาในการดำเนินการนาน ทำให้บอร์ดที่ทำการแก้ไขมาไม่ทันในการทดสอบด้านความปลอดภัยทางไฟฟ้า

5.2.2 อุปกรณ์ในการทดสอบทางด้านไฟฟ้าบางอย่างไม่มีในแผนก เช่น เครื่องทดสอบ Grond bound ทำให้การทดสอบด้านความปลอดภัยทางไฟฟ้าไม่ครบถ้วน

5.2.3 ไม่มีซอฟแวร์ในการออกแบบ PCB ภายในแผนก ทำให้ในการออกแบบต้องไปใช้ซอฟแวร์ของแผนก Test

5.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

5.3.1 ตรวจสอบและแก้ไขวงจรของตู้ควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 30 แอมแปร์ ให้ตรงตามหลักการออกแบบและมาตรฐานที่กำหนด

5.3.2 ตรวจสอบและแก้ไขวงจรของตู้ควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 30 แอมแปร์ โดยให้มีระบบความปลอดภัยทางไฟฟ้าที่ถูกต้อง

5.3.3 เพื่อทดสอบวงจรของตู้ควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 30 แอมแปร์ตามหลักการทดสอบความปลอดภัยทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 การติดตั้งอุปกรณ์ลงบอร์ด PCB ควรติดตั้งด้วยความระมัดระวังและติดตั้งโดยผู้ที่เข้าใจวงจรทางไฟฟ้าของชิ้นงานเพื่อป้องกันจุดเสี่ยงและอันตรายที่เกิดขึ้น เนื่องการชิ้นงานเป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่ใช้กำลังไฟค่อนข้างสูง

5.4.2 ในการทดสอบด้านความปลอดภัยทางไฟฟ้าควรอ้างอิงค่าตามมาตรฐาน และในการทดสอบควรมีผู้เชี่ยวชาญคอยแนะนำเนื่องจากบางการทดสอบใช้แรงดันไฟฟ้าสูงในการทดสอบ

5.4.3 ในออกแบบ PCB เพื่อใช้งานในค่ากระแสที่สูงและแรงดันที่สูง ทุกขั้นตอนในการออกแบบควรอ้างอิงตามมาตรฐาน เพื่อความปลอดภัยในการใช้ชิ้นงาน

5.4.4 บอร์ด PCB ในส่วนของฉนวนปกคลุมค่อนข้างบาง ทำให้เวลาเกิดรอยขีดข่วนขึ้นบนบอร์ดเมื่อผู้ใช้มาสัมผัสอาจเกิดอันตรายแก่ผู้ใช้ได้ ดังนั้นเวลาใช้งานควรมีกล่องที่เป็นฉนวนปกคลุมอีก 1 ชั้น

5.4.5 ในการออกแบบ PCB ที่มากกว่า 1 Layer ไม่ควรมีการติดตั้งอุปกรณ์ในลักษณะสองด้าน เนื่องจากขาของอุปกรณ์อาจเกิดการลัดวงจรได้

5.4.6 กล่องที่ในปกคลุมบอร์ดชิ้นงานควรมีการออกแบบให้ง่ายต่อการซ่อมบำรุงและการตรวจสอบ เนื่องจากเป็นสิ่งที่จำเป็นในด้านความปลอดภัยของการใช้งาน

5.4.7 ความร้อนและฝุ่นถือเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่เกิดให้เกิดความผิดพลาดในวงจร ควรหมั่นซ่อมบำรุงและตรวจสอบวงจรอย่างสม่ำเสมอ

5.4.8 การจัดทำโครงงานควรศึกษาข้อมูลจากหลายๆแหล่ง ทั้งเอกสารอ้างอิง รวมถึงผู้เชี่ยวชาญในศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน เพื่อให้เกิดมุมมองในการเกิดไขปัญหาที่หลากหลาย

5.4.9 ในการวางแผนโครงงานควรศึกษาระยะเวลาของกระบวนการทั้งหมดให้ถี่ถ้วนเพื่อระสิทธิภาพมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] WGBH Educational Foundation. (2012). General Article: AC/DC. Retrieved September 1, 2016, from WGBH Web site: http://www.pbs.org/wgbh/americanexperience/features/general-article/light-acdc/

[2] อาจารย์ สุรกิจ มโนรัศมี. (2015). อุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า. Retrieved August 30, 2016, from E.TECH Web site: http://e-learning.e-tech.ac.th/learninghtml/E2104/unit06.html

[3] บริษัท อินโน อินส์. จำกัด. (2015). Solid State Relay. Retrieved September 5, 2016, from inno-ins Web site: www.inno-ins.com/911124/โซลิคสเตตรีเลย์-ssr

[4] วิกิพีเดีย. (2015). แหล่งจ่ายไฟ. Retrieved September 5, 2016, from wikipedia Web site: https://th.wikipedia.org/wiki/แหล่งจ่ายไฟ

[5] อาจารย์ สุรกิจ มโนรัศมี. (2015). ชนิดและการใช้งานของสายไฟ. Retrieved August 30, 2016, from E.TECH Web site: http://e-learning.e-tech.ac.th/learninghtml/E2104/unit06.html

[6] Embedded Systems. (2016). PCB-Assembly. Retrieved September 10, 2016, from Embedded Systems Web site: https://embeddedsysthang.wordpress.com/2016/06/04/week-06-pcb-assembly

[7] R. S. Khandpur. (2011). Printed Circuit Boards: Design, Fabrication, Assembly and Testing. Tata McGraw-Hill Education, 691 pages

[8] Lazar Rozenblat. (2014). POWER ELECTRONICS GUIDE. Retrieved August 23, 2016, from LAZAR's POWER ELECTRONICS GUIDE Web site: http://www.smps.us

[8] Chroma. (2006). Electrical Safety Testing Reference Guide. Retrieved September 21, 2016, from instrumentos de medida Web site: www.psma.com/ul_files/forums/safety/estguide2.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ตารางแนะนำมาตรฐาน IPC-2221A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IPC

ASSOCIATION CONNECTING
ELECTRONICS INDUSTRIES®

IPC-2221A

Generic Standard on Printed Board Design

Developed by the IPC-2221 Task Group (D-31b) of the Rigid Printed Board Committee (D-30) of IPC

Supersedes:
IPC-2221 - February 1998

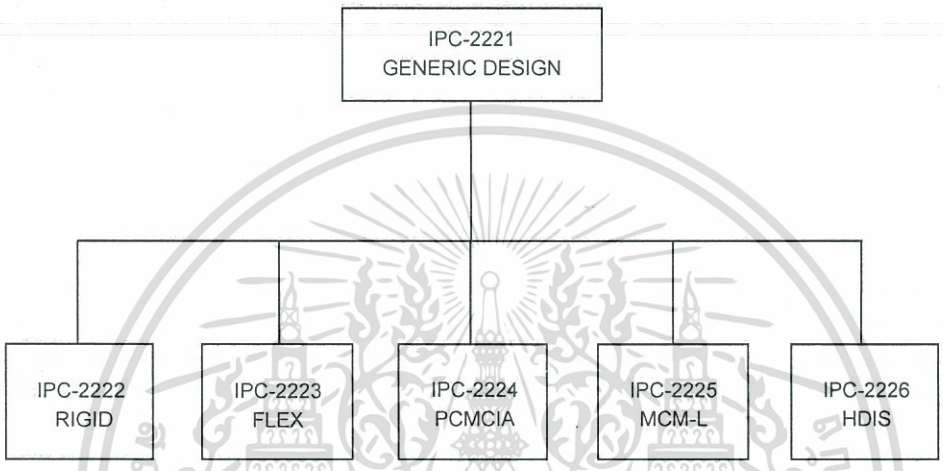
Users of this publication are encouraged to participate in the development of future revisions.

Contact:

IPC
2215 Sanders Road
Northbrook, Illinois
60062-6135
Tel 847 509.9700
Fax 847 509.9798

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HIERARCHY OF IPC DESIGN SPECIFICATIONS
(2220 SERIES)



FOREWORD

This standard is intended to provide information on the generic requirements for organic printed board design. All aspects and details of the design requirements are addressed to the extent that they can be applied to the broad spectrum of those designs that use organic materials or organic materials in combination with inorganic materials (metal, glass, ceramic, etc.) to provide the structure for mounting and interconnecting electronic, electromechanical, and mechanical components. It is crucial that a decision pertaining to the choice of product types be made as early as possible. Once a component mounting and interconnecting technology has been selected the user should obtain the sectional document that provides the specific focus on the chosen technology.

It may be more effective to consider alternative printed board construction types for the product being designed. As an example the application of a rigid-flex printed wiring board may be more cost or performance effective than using multiple printed wiring boards, connectors and cables.

IPC's documentation strategy is to provide distinct documents that focus on specific aspect of electronic packaging issues. In this regard document sets are used to provide the total information related to a particular electronic packaging topic. A document set is identified by a four digit number that ends in zero (0).

Included in the set is the generic information which is contained in the first document of the set and identified by the four digit set number. The generic standard is supplemented by one or many sectional documents each of which provide specific focus on one aspect of the topic or the technology selected. The user needs, as a minimum, the generic design document, the sectional of the chosen technology, and the engineering description of the final product.

As technology changes specific focus standards will be updated, or new focus standards added to the document set. The IPC invites input on the effectiveness of the documentation and encourages user response through completion of "Suggestions for Improvement" forms located at the end of each document.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table of Contents

1 SCOPE 1
1.1 Purpose 1
1.2 Documentation Hierarchy 1
1.3 Presentation 1
1.4 Interpretation 1
1.5 Definition of Terms 1
1.6 Classification of Products 1
1.6.1 Board Type 1
1.6.2 Performance Classes 1
1.6.3 Producibility Level 2
1.7 Revision Level Changes 2

2 APPLICABLE DOCUMENTS 2
2.1 IPC 2
2.2 Joint Industry Standards 3
2.3 Society of Automotive Engineers 3
2.4 American Society for Testing and Materials 3
2.5 Underwriters Labs 3
2.6 IEEE 3
2.7 ANSI 4

3 GENERAL REQUIREMENTS 4
3.1 Information Hierarchy 6
3.1.1 Order of Precedence 6
3.2 Design Layout 6
3.2.1 End-Product Requirements 6
3.2.2 Density Evaluation 6
3.3 Schematic/Logic Diagram 6
3.4 Parts List 6
3.5 Test Requirement Considerations 7
3.5.1 Printed Board Assembly Testability 7
3.5.2 Boundary Scan Testing 8
3.5.3 Functional Test Concern for Printed Board Assemblies 8
3.5.4 In-Circuit Test Concerns for Printed Board Assemblies 10
3.5.5 Mechanical 12
3.5.6 Electrical 12
3.6 Layout Evaluation 13
3.6.1 Board Layout Design 13
3.6.2 Feasibility Density Evaluation 13
3.7 Performance Requirements 15

4 MATERIALS 17
4.1 Material Selection 17
4.1.1 Material Selection for Structural Strength 17
4.1.2 Material Selection for Electrical Properties 17
4.1.3 Material Selection for Environmental Properties 17
4.2 Dielectric Base Materials (Including Prepregs and Adhesives) 17
4.2.1 Preimpregnated Bonding Layer (Prepreg) 17
4.2.2 Adhesives 17
4.2.3 Adhesive Films or Sheets 19
4.2.4 Electrically Conductive Adhesives 19
4.2.5 Thermally Conductive/Electrically Insulating Adhesives 19
4.3 Laminate Materials 20
4.3.1 Color Pigmentation 20
4.3.2 Dielectric Thickness/Spacing 20
4.4 Conductive Materials 20
4.4.1 Electroless Copper Plating 20
4.4.2 Semiconductive Coatings 20
4.4.3 Electrolytic Copper Plating 20
4.4.4 Gold Plating 20
4.4.5 Nickel Plating 22
4.4.6 Tin/Lead Plating 22
4.4.7 Solder Coating 22
4.4.8 Other Metallic Coatings for Edgeboard Contacts 23
4.4.9 Metallic Foil/Film 23
4.4.10 Electronic Component Materials 23
4.5 Organic Protective Coatings 24
4.5.1 Solder Resist (Solder Mask) Coatings 24
4.5.2 Conformal Coatings 25
4.5.3 Tarnish Protective Coatings 25
4.6 Marking and Legends 25
4.6.1 ESD Considerations 26

5 MECHANICAL/PHYSICAL PROPERTIES 26
5.1 Fabrication Considerations 26
5.1.1 Bare Board Fabrication 26
5.2 Product/Board Configuration 26
5.2.1 Board Type 26
5.2.2 Board Size 26
5.2.3 Board Geometries (Size and Shape) 26
5.2.4 Bow and Twist 27
5.2.5 Structural Strength 27
5.2.6 Composite (Constraining-Core) Boards 27
5.2.7 Vibration Design 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 Assembly Requirements 30
5.3.1 Mechanical Hardware Attachment 30
5.3.2 Part Support 30
5.3.3 Assembly and Test 30
5.4 Dimensioning Systems 31
5.4.1 Dimensions and Tolerances 31
5.4.2 Component and Feature Location 31
5.4.3 Datum Features 31

6 ELECTRICAL PROPERTIES 37
6.1 Electrical Considerations 37
6.1.1 Electrical Performance 37
6.1.2 Power Distribution Considerations 37
6.1.3 Circuit Type Considerations 39
6.2 Conductive Material Requirements 40
6.3 Electrical Clearance 42
6.3.1 B1–Internal Conductors 42
6.3.2 B2–External Conductors, Uncoated, Sea Level to 3050 m [10,007 feet] 42
6.3.3 B3–External Conductors, Uncoated, Over 3050 m [10,007 feet] 42
6.3.4 B4–External Conductors, with Permanent Polymer Coating (Any Elevation) 42
6.3.5 A5–External Conductors, with Conformal Coating Over Assembly (Any Elevation) 43
6.3.6 A6–External Component Lead/Termination, Uncoated, Sea Level to 3050 m [10,007 feet] 43
6.3.7 A7–External Component Lead/Termination, with Conformal Coating (Any Elevation) 43
6.4 Impedance Controls 43
6.4.1 Microstrip 44
6.4.2 Embedded Microstrip 44
6.4.3 Stripline Properties 44
6.4.4 Asymmetric Stripline Properties 46
6.4.5 Capacitance Considerations 46
6.4.6 Inductance Considerations 47

7 THERMAL MANAGEMENT 48
7.1 Cooling Mechanisms 48
7.1.1 Conduction 49
7.1.2 Radiation 49
7.1.3 Convection 49
7.1.4 Altitude Effects 49
7.2 Heat Dissipation Considerations 49
7.2.1 Individual Component Heat Dissipation 50
7.2.2 Thermal Management Considerations for Board Heatsinks 50
7.2.3 Assembly of Heatsinks to Boards 50
7.2.4 Special Design Considerations for SMT Board Heatsinks 52
7.3 Heat Transfer Techniques 52
7.3.1 Coefficient of Thermal Expansion (CTE) Characteristics 52
7.3.2 Thermal Transfer 53
7.3.3 Thermal Matching 53
7.4 Thermal Design Reliability 53

8 COMPONENT AND ASSEMBLY ISSUES 55
8.1 General Placement Requirements 55
8.1.1 Automatic Assembly 55
8.1.2 Component Placement 55
8.1.3 Orientation 57
8.1.4 Accessibility 57
8.1.5 Design Envelope 57
8.1.6 Component Body Centering 57
8.1.7 Mounting Over Conductive Areas 57
8.1.8 Clearances 58
8.1.9 Physical Support 58
8.1.10 Heat Dissipation 59
8.1.11 Stress Relief 60
8.2 General Attachment Requirements 60
8.2.1 Through-Hole 60
8.2.2 Surface Mounting 60
8.2.3 Mixed Assemblies 61
8.2.4 Soldering Considerations 61
8.2.5 Connectors and Interconnects 62
8.2.6 Fastening Hardware 63
8.2.7 Stiffeners 64
8.2.8 Lands for Flattened Round Leads 64
8.2.9 Solder Terminals 64
8.2.10 Eyelets 65
8.2.11 Special Wiring 65
8.2.12 Heat Shrinkable Devices 67
8.2.13 Bus Bar 67
8.2.14 Flexible Cable 67
8.3 Through-Hole Requirements 67
8.3.1 Leads Mounted in Through-Holes 67
8.4 Standard Surface Mount Requirements 71
8.4.1 Surface-Mounted Leaded Components 71
8.4.2 Flat-Pack Components 71
8.4.3 Ribbon Lead Termination 72
8.4.4 Round Lead Termination 72
8.4.5 Component Lead Sockets 72
8.5 Fine Pitch SMT (Peripherals) 72
8.6 Bare Die 73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.6.1 Wire Bond 73
8.6.2 Flip Chip 73
8.6.3 Chip Scale 73
8.7 Tape Automated Bonding 73
8.8 Solderball 73

9 HOLES/INTERCONNECTIONS 73
9.1 General Requirements for Lands with Holes .. 73
9.1.1 Land Requirements 73
9.1.2 Annular Ring Requirements 73
9.1.3 Thermal Relief in Conductor Planes 74
9.1.4 Lands for Flattened Round Leads 74
9.2 Holes 75
9.2.1 Unsupported Holes 75
9.2.2 Plated-Through Holes 75
9.2.3 Location 76
9.2.4 Hole Pattern Variation 76
9.2.5 Tolerances 76
9.2.6 Quantity 77
9.2.7 Spacing of Adjacent Holes 77
9.2.8 Aspect Ratio 77

10 GENERAL CIRCUIT FEATURE REQUIREMENTS 77
10.1 Conductor Characteristics 77
10.1.1 Conductor Width and Thickness 77
10.1.2 Electrical Clearance 78
10.1.3 Conductor Routing 78
10.1.4 Conductor Spacing 78
10.1.5 Plating Thieves 79
10.2 Land Characteristics 79
10.2.1 Manufacturing Allowances 79
10.2.2 Lands for Surface Mounting 79
10.2.3 Test Points 79
10.2.4 Orientation Symbols 79
10.3 Large Conductive Areas 79

11 DOCUMENTATION 81
11.1 Special Tooling 81
11.2 Layout 81
11.2.1 Viewing 81
11.2.2 Accuracy and Scale 81
11.2.3 Layout Notes 81
11.2.4 Automated-Layout Techniques 81
11.3 Deviation Requirements 83
11.4 Phototool Considerations 83
11.4.1 Artwork Master Files 83
11.4.2 Film Base Material 83
11.4.3 Solder Resist Coating Phototools 83

12 QUALITY ASSURANCE 83
12.1 Conformance Test Coupons 83
12.2 Material Quality Assurance 84
12.3 Conformance Evaluations 84
12.3.1 Coupon Quantity and Location 84
12.3.2 Coupon Identification 84
12.3.3 General Coupon Requirements 84
12.4 Individual Coupon Design 86
12.4.1 Coupon A and B or A/B (Plated Hole Evaluation, Thermal Stress and Rework Simulation) 86
12.4.2 Coupon C (Peel Strength) 87
12.4.3 Coupon D (Interconnection Resistance and Continuity) 87
12.4.4 Coupons E and H (Insulation Resistance) 88
12.4.5 Registration Coupon 89
12.4.6 Coupon G (Solder Resist Adhesion) 96
12.4.7 Coupon M (Surface Mount Solderability - Optional) 96
12.4.8 Coupon N (Peel Strength, Surface Mount Bond Strength - Optional for SMT) 96
12.4.9 Coupon S (Hole Solderability - Optional) 96
12.4.10 Coupon T 96
12.4.11 Process Control Test Coupon 96
12.4.12 Coupon X (Bending Flexibility and Endurance, Flexible Printed Wiring) 96

Appendix A Example of a Testability Design Checklist 103

Appendix B Conductor Current-Carrying Capacity and Conductor Thermal Management 104

Figures

Figure 3-1 Package Size and I/O Count 7
Figure 3-2 Test Land Free Area for Parts and Other Intrusions 11
Figure 3-3 Test Land Free Area for Tall Parts 11
Figure 3-4 Probing Test Lands 11
Figure 3-5 Example of Usable Area Calculation, mm [in] (Usable area determination includes clearance allowance for edge-board connector area, board guides, and board extractor.) 14
Figure 3-6 Printed Board Density Evaluation 16
Figure 5-1 Example of Printed Board Size Standardization, mm [in] 28
Figure 5-2 Typical Asymmetrical Constraining-Core Configuration 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 5-3A Multilayer Metal Core Board with Two Symmetrical Copper-Invar-Copper Constraining Cores (when the Copper-Invar-Copper planes are connected to the plated-through hole, use thermal relief per Figure 9-4) 29
Figure 5-3B Symmetrical Constraining Core Board with a Copper-Invar-Copper Center Core 29
Figure 5-4 Advantages of Positional Tolerance Over Bilateral Tolerance, mm [in] 32
Figure 5-4A Datum Reference Frame 32
Figure 5-5A Example of Location of a Pattern of Plated-Through Holes, mm [in] 33
Figure 5-5B Example of a Pattern of Tooling/Mounting Holes, mm [in] 33
Figure 5-5C Example of Location of a Conductor Pattern Using Fiducials, mm [in] 34
Figure 5-5D Example of Printed Board Profile Location and Tolerance, mm [in] 35
Figure 5-5E Example of a Printed Board Drawing Utilizing Geometric Dimensioning and Tolerancing, mm [in] 35
Figure 5-6 Fiducial Clearance Requirements 36
Figure 5-7 Fiducials, mm 36
Figure 5-8 Example of Connector Key Slot Location and Tolerance, mm [in] 37
Figure 6-1 Voltage/Ground Distribution Concepts 38
Figure 6-2 Single Reference Edge Routing 39
Figure 6-3 Circuit Distribution 39
Figure 6-4 Conductor Thickness and Width for Internal and External Layers 41
Figure 6-5 Transmission Line Printed Board Construction 45
Figure 6-6 Capacitance vs. Conductor Width and Dielectric Thickness for Microstrip Lines, mm [in] 47
Figure 6-7 Capacitance vs. Conductor Width and Spacing for Striplines, mm [in] 48
Figure 6-8 Single Conductor Crossover 48
Figure 7-1 Component Clearance Requirements for Automatic Component Insertion on Through-Hole Technology Printed Board Assemblies [in] 51
Figure 7-2 Relative Coefficient of Thermal Expansion (CTE) Comparison 54
Figure 8-1 Component Orientation for Boundaries and/or Wave Solder Applications 57
Figure 8-2 Component Body Centering 58
Figure 8-3 Axial-Leaded Component Mounted Over Conductors 58
Figure 8-4 Uncoated Board Clearance 59
Figure 8-5 Clamp-Mounted Axial-Leaded Component 59
Figure 8-6 Adhesive-Bonded Axial-Leaded Component .. 59
Figure 8-7 Mounting with Feet or Standoffs 59
Figure 8-8 Heat Dissipation Examples 60
Figure 8-9 Lead Bends 61
Figure 8-10 Typical Lead Configurations 61
Figure 8-11 Board Edge Tolerancing 63
Figure 8-12 Lead-In Chamfer Configuration 63
Figure 8-13 Typical Keying Arrangement 63
Figure 8-14 Two-Part Connector 64
Figure 8-15 Edge-Board Adapter Connector 64
Figure 8-16 Round or Flattened (Coined) Lead Joint Description 65
Figure 8-17 Standoff Terminal Mounting, mm [in] 66
Figure 8-18 Dual Hole Configuration for Interfacial and Interlayer Terminal Mountings 66
Figure 8-19 Partially Clinched Through-Hole Leads 68
Figure 8-20 Dual In-Line Package (DIP) Lead Bends 68
Figure 8-21 Solder in the Lead Bend Radius 69
Figure 8-22 Two-Lead Radial-Leaded Components 69
Figure 8-23 Radial Two-Lead Component Mounting, mm [in] 69
Figure 8-24 Meniscus Clearance, mm [in] 69
Figure 8-25 "TO" Can Radial-Leaded Component, mm [in] 69
Figure 8-26 Perpendicular Part Mounting, mm [in] 70
Figure 8-27 Flat-Packs and Quad Flat-Packs 70
Figure 8-28 Examples of Configuration of Ribbon Leads for Through-Hole Mounted Flat-Packs 70
Figure 8-29 Metal Power Packages with Compliant Leads 70
Figure 8-30 Metal Power Package with Resilient Spacers 71
Figure 8-31 Metal Power Package with Noncompliant Leads 71
Figure 8-32 Examples of Flat-Pack Surface Mounting 72
Figure 8-33 Round or Coined Lead 72
Figure 8-34 Configuration of Ribbon Leads for Planar Mounted Flat-Packs 72
Figure 8-35 Heel Mounting Requirements 72
Figure 9-1 Examples of Modified Land Shapes 74
Figure 9-2 External Annular Ring 74
Figure 9-3 Internal Annular Ring 74
Figure 9-4 Typical Thermal Relief in Planes 75
Figure 10-1 Example of Conductor Beef-Up or Neck-Down 78
Figure 10-2 Conductor Optimization Between Lands 79
Figure 10-3 Etched Conductor Characteristics 80
Figure 11-1 Flow Chart of Printed Board Design/Fabrication Sequence 82
Figure 11-2 Multilayer Board Viewing 83
Figure 11-3 Solder Resist Windows 83
Figure 12-1 Location of Test Circuitry 85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 12-2 Test Coupons A and B, mm [in] 87
Figure 12-3 Test Coupons A and B (Conductor Detail) mm, [in] 88
Figure 12-4 Test Coupon A/B, mm [in] 89
Figure 12-5 Test Coupon A/B (Conductor Detail), mm [in] 90
Figure 12-6 Coupon C, External Layers Only, mm [in] 90
Figure 12-7 Test Coupon D, mm [in] 91
Figure 12-8 Example of a 10 Layer Coupon D, Modified to Include Blind and Buried Vias 93
Figure 12-9 Test Coupon D for Process Control of 4 Layer Boards 94
Figure 12-10 Coupon E, mm 94
Figure 12-11 Optional Coupon H, mm [in] 95
Figure 12-12 Comb Pattern Examples 95
Figure 12-13 "Y" Pattern for Chip Component Cleanliness Test Pattern 96
Figure 12-14 Test Coupon F, mm [in] 97
Figure 12-15 Test Coupon R, mm [in] 98
Figure 12-16 Worst-Case Hole/Land Relationship 98
Figure 12-17 Test Coupon G, Solder Resist Adhesive, mm [in] 99
Figure 12-18 Test Coupon M, Surface Mounting Solderability Testing, mm [in] 99
Figure 12-19 Test Coupon N, Surface Mounting Bond Strength and Peel Strength, mm [in] 100
Figure 12-20 Test Coupon S, mm [in] 100
Figure 12-21 Systematic Path for Implementation of Statistical Process Control (SPC) 101
Figure 12-22 Test Coupon X, mm [in] 102
Figure 12-23 Bending Test 102
Figure B-1 Original Design Chart 104
Figure B-2 IPC 2221A External Conductor Chart 106
Figure B-3 Board Thickness 106
Figure B-4 Board Material 107
Figure B-5 Air/Vacuum Environment 107

Tables

Table 3-1 PCB Design/Performance Tradeoff Checklist 4
Table 3-2 Component Grid Areas 15
Table 4-1 Typical Properties of Common Dielectric Materials 18
Table 4-2 Environmental Properties of Common Dielectric Materials 18
Table 4-3 Final Finish, Surface Plating Coating Thickness Requirements 21
Table 4-4 Gold Plating Uses 22
Table 4-5 Copper Foil/Film Requirements 23
Table 4-6 Metal Core Substrates 23
Table 4-7 Conformal Coating Functionality 26
Table 5-1 Fabrication Considerations 27
Table 5-2 Typical Assembly Equipment Limits 31
Table 6-1 Electrical Conductor Spacing 43
Table 6-2 Typical Relative Bulk Dielectric Constant of Board Material 45
Table 7-1 Effects of Material Type on Conduction 49
Table 7-2 Emissivity Ratings for Certain Materials 49
Table 7-3 Board Heatsink Assembly Preferences 52
Table 7-4 Comparative Reliability Matrix Component Lead/Termination Attachment 53
Table 9-1 Minimum Standard Fabrication Allowance for Interconnection Lands 74
Table 9-2 Annular Rings (Minimum) 74
Table 9-3 Minimum Drilled Hole Size for Buried Vias 76
Table 9-4 Minimum Drilled Hole Size for Blind Vias 76
Table 9-5 Minimum Hole Location Tolerance, dtp 76
Table 10-1 Internal Layer Foil Thickness After Processing 77
Table 10-2 External Conductor Thickness After Plating 78
Table 10-3 Conductor Width Tolerances for 0.046 mm [0.00181 in] Copper 78
Table 12-1 Coupon Frequency Requirements 85
Table B-1 Test Samples 106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Generic Standard on Printed Board Design

1 SCOPE

This standard establishes the generic requirements for the design of organic printed boards and other forms of component mounting or interconnecting structures. The organic materials may be homogeneous, reinforced, or used in combination with inorganic materials; the interconnections may be single, double, or multilayered.

1.1 Purpose The requirements contained herein are intended to establish design principles and recommendations that **shall** be used in conjunction with the detailed requirements of a specific interconnecting structure sectional standard (see 1.2) to produce detailed designs intended to mount and attach passive and active components. This standard is not intended for use as a performance specification for finished boards nor as an acceptance document for electronic assemblies. For acceptability requirements of electronic assemblies, see IPC/EIA-J-STD-001 and IPC-A-610.

The components may be through-hole, surface mount, fine pitch, ultra-fine pitch, array mounting or unpackaged bare die. The materials may be any combination able to perform the physical, thermal, environmental, and electronic function.

1.2 Documentation Hierarchy This standard identifies the generic physical design principles, and is supplemented by various sectional documents that provide details and sharper focus on specific aspects of printed board technology. Examples are:

IPC-2222	Rigid organic printed board structure design
IPC-2223	Flexible printed board structure design
IPC-2224	Organic, PC card format, printed board structure design
IPC-2225	Organic, MCM-L, printed board structure design
IPC-2226	High Density Interconnect (HDI) structure design
IPC-2227	Embedded Passive Devices printed board design (In Process)

The list is a partial summary and is not inherently a part of this generic standard. The documents are a part of the PCB Design Document Set which is identified as IPC-2220. The number IPC-2220 is for ordering purposes only and will include all documents which are a part of the set, whether released or in-process proposal format at the time the order is placed.

1.3 Presentation All dimensions and tolerances in this standard are expressed in hard SI (metric) units and parenthetical soft imperial (inch) units. Users of this and the corresponding performance and qualification specifications are expected to use metric dimensions.

1.4 Interpretation "**Shall,**" the imperative form of the verb, is used throughout this standard whenever a requirement is intended to express a provision that is mandatory. Deviation from a "**shall**" requirement may be considered if sufficient data is supplied to justify the exception.

The words "should" and "may" are used whenever it is necessary to express nonmandatory provisions. "Will" is used to express a declaration of purpose.

To assist the reader, the word "**shall**" is presented in bold characters.

1.5 Definition of Terms The definition of all terms used herein **shall** be as specified in IPC-T-50.

1.6 Classification of Products This standard recognizes that rigid printed boards and printed board assemblies are subject to classifications by intended end item use. Classification of producibility is related to complexity of the design and the precision required to produce the particular printed board or printed board assembly.

Any producibility level or producibility design characteristic may be applied to any end-product equipment category. Therefore, a high-reliability product designated as Class "3" (see 1.6.2), could require level "A" design complexity (preferred producibility) for many of the attributes of the printed board or printed board assembly (see 1.6.3).

1.6.1 Board Type This standard provides design information for different board types. Board types vary per technology and are thus classified in the design sectionals.

1.6.2 Performance Classes Three general end-product classes have been established to reflect progressive increases in sophistication, functional performance requirements and testing/inspection frequency. It should be recognized that there may be an overlap of equipment between classes. The printed board user has the responsibility to determine the class to which his product belongs. The contract **shall** specify the performance class required and indicate any exceptions to specific parameters, where appropriate.

Class 1 General Electronic Products Includes consumer products, some computer and computer peripherals, as well as general military hardware suitable for applications where cosmetic imperfections are not important and the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ตารางแนะนำมาตรฐาน IPC-2221B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IPC-2221B

Generic Standard on Printed Board Design

Developed by the IPC-2221 Task Group (D-31b) of the Rigid Printed Board Committee (D-30) of IPC

Supersedes:
IPC-2221A - May 2003
IPC-2221 - February 1998

Users of this publication are encouraged to participate in the development of future revisions.

Contact:

IPC
3000 Lakeside Drive, Suite 309S
Bannockburn, Illinois
60015-1249
Tel 847 615.7100
Fax 847 615.7105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table of Contents

1 SCOPE 1
1.1 Purpose 1
1.2 Documentation Hierarchy 1
1.3 Presentation 1
1.3.1 Dimensional Units 1
1.4 Interpretation 1
1.5 Definition of Terms 2
1.5.1 Microvia 2
1.6 Classification of Products 2
1.6.1 Printed Board Type 2
1.6.2 Performance Classification 2
1.6.3 Producibility Level 2
1.7 Revision Level Changes 3

2 APPLICABLE DOCUMENTS 3
2.1 IPC 3
2.2 Joint Industry Standards 4
2.3 Society of Automotive Engineers 5
2.4 American Society for Testing and Materials 5
2.5 Underwriters Labs 5
2.6 IEEE 5
2.7 ANSI 5
2.8 ANSI/ESD 5
2.9 PCMCIA 5

3 GENERAL REQUIREMENTS 6
3.1 Information Hierarchy 8
3.1.1 Order of Precedence 8
3.1.2 End-Product Performance Requirements 8
3.2 Design Considerations 8
3.3 Schematic/Logic Diagram 9
3.4 Density Evaluation 9
3.5 Parts List 10
3.6 Test Requirement Considerations 10
3.6.1 Electrical 10
3.6.2 Printed Board Assembly Testability 12
3.6.3 Boundary Scan Testing 13
3.6.4 Functional Test Concern for Printed Board Assemblies 14
3.6.5 In-Circuit Test Concerns for Printed Board Assemblies 15
3.6.6 Mechanical 17
3.7 Layout Evaluation 17
3.7.1 Printed Board Layout Design 17
3.7.2 Feasibility Density Evaluation 18

4 MATERIALS 21
4.1 Material Selection 21
4.1.1 Material Selection for Structural Strength 21
4.1.2 Material Selection for Electrical Properties 21
4.1.3 Material Selection for Environmental Properties 21
4.2 Dielectric Base Materials (Including Prepregs and Adhesives) 21
4.2.1 Preimpregnated Bonding Layer (Prepreg) 22
4.2.2 Adhesives 22
4.2.3 Adhesive Films or Sheets 24
4.2.4 Electrically Conductive Adhesives 24
4.2.5 Thermally Conductive/Electrically Insulating Adhesives 24
4.3 Laminate Materials 25
4.3.1 High T_g Laminates 25
4.3.2 Color Pigmentation 25
4.3.3 Dielectric Thickness/Spacing 25
4.3.4 Thermally Conductive Laminates 25
4.3.5 Minimum Base Material Thickness for PC Card Form Factors 26
4.4 Conductive Materials 26
4.4.1 Electroless Copper Plating 29
4.4.2 Semiconductive Coatings 29
4.4.3 Electrolytic Copper Plating 29
4.4.4 Gold Plating 29
4.4.5 Immersion Silver 31
4.4.6 Immersion Tin 31
4.4.7 Organic Solderability Preservative (OSP) 32
4.4.8 Nickel Plating 32
4.4.9 Tin/Lead Plating 33
4.4.10 Solder Coating 33
4.4.11 Other Metallic Coatings for Edge Printed Board Contacts 34
4.4.12 Metallic Foil/Film 34
4.5 Electronic Component Materials 36
4.5.1 Embedded (Buried) Resistors 36
4.5.2 Embedded (Buried) Capacitors 36
4.5.3 Embedded (Buried Inductors) 36
4.6 Organic Protective Coatings 36
4.6.1 Solder Mask Coatings 36
4.6.2 Conformal Coatings 37
4.6.3 Tarnish Protective Coatings 38
4.7 Marking and Legends 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.1 ESD Considerations 39
5 MECHANICAL/PHYSICAL PROPERTIES 39
5.1 Fabrication Considerations 39
5.1.1 Bare Printed Board Fabrication 39
5.2 Product/Printed Board Configuration 39
5.2.1 Printed Board Type 40
5.2.2 Printed Board Size 40
5.2.3 Printed Board Geometries (Size and Shape) ... 42
5.2.4 Bow and Twist 42
5.2.5 Structural Strength 42
5.2.6 Composite (Constraining-Core) Printed Boards 42
5.2.7 Vibration Design 43
5.3 Assembly Requirements 44
5.3.1 Mechanical Hardware Attachment 44
5.3.2 Part Support 44
5.3.3 Assembly and Test 45
5.3.4 Tooling Rails for PC Card Form Factor Printed Boards 45
5.4 Dimensioning Systems 45
5.4.1 Dimensions and Tolerances 45
5.4.2 Component and Feature Location 45
5.4.3 Datum Features 46
5.5 Printed Board Thickness Tolerance 49
5.6 Panelization 49
5.7 Palletization 49
6 ELECTRICAL PROPERTIES 53
6.1 Electrical Considerations 53
6.1.1 Electrical Performance 53
6.1.2 Power Distribution Considerations 53
6.1.3 Circuit Type Considerations 53
6.2 Conductive Material Requirements 56
6.3 Electrical Clearance 56
6.3.1 B1-Internal Conductors 57
6.3.2 B2-External Conductors, Uncoated, Sea Level to 3050 m [10,007 feet] 57
6.3.3 B3-External Conductors, Uncoated, Over 3050 m [10,007 feet] 57
6.3.4 B4-External Conductors, with Permanent Polymer Coating (Any Elevation) 58
6.3.5 A5-External Conductors, with Conformal Coating over Assembly (Any Elevation) 58
6.3.6 A6-External Component Lead/Termination, Uncoated, Sea Level to 3050 m [10,007 feet] 58
6.3.7 A7-External Component Lead/Termination, with Conformal Coating (Any Elevation) 58
6.4 Impedance Controls 58
6.4.1 Microstrip 59
6.4.2 Embedded Microstrip 60
6.4.3 Stripline Properties 61
6.4.4 Asymmetric Stripline Properties 61
6.4.5 Capacitance Considerations 62
6.4.6 Inductance Considerations 63
7 THERMAL MANAGEMENT 65
7.1 Cooling Mechanisms 65
7.1.1 Conduction 65
7.1.2 Radiation 65
7.1.3 Convection 66
7.1.4 Altitude Effects 66
7.2 Heat Dissipation Considerations 66
7.2.1 Printed Board Housings 66
7.2.2 Individual Component Heat Dissipation 67
7.2.3 Thermal Management Considerations for Printed Board Heatsinks 67
7.2.4 Assembly of Heatsinks to Printed Boards 68
7.2.5 Special Design Considerations for SMT Printed Board Heatsinks 69
7.3 Heat Transfer Techniques 70
7.3.1 Coefficient of Thermal Expansion (CTE) Characteristics 70
7.3.2 Thermal Transfer 70
7.3.3 Thermal Matching 70
7.4 Thermal Design Reliability 70
8 COMPONENT AND ASSEMBLY ISSUES 72
8.1 General Placement Requirements 73
8.1.1 Automatic Assembly 73
8.1.2 Component Placement 73
8.1.3 Orientation 74
8.1.4 Accessibility 75
8.1.5 Design Envelope 75
8.1.6 Component Body Centering 75
8.1.7 Flush Mounting Over Conductive Areas 75
8.1.8 Clearances 76
8.1.9 Physical Support 76
8.1.10 Heat Dissipation 78
8.1.11 Stress Relief 78
8.2 General Attachment Requirements 79
8.2.1 Through-Hole 79
8.2.2 Surface Mounting 80
8.2.3 Mixed Assemblies 80
8.2.4 Soldering Considerations 80
8.2.5 Connectors and Interconnects 81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2.6 Fastening Hardware 83
8.2.7 Stiffeners 83
8.2.8 Lands for Flattened Round Leads 84
8.2.9 Solder Terminals 84
8.2.10 Eyelets 86
8.2.11 Special Wiring 86
8.2.12 Heat Shrinkable Devices 87
8.2.13 Bus Bar 87
8.2.14 Flexible Cable 87
8.3 Through-Hole Requirements 87
8.3.1 Leads Mounted in Through-Holes 87
8.4 Standard Surface Mount Requirements 91
8.4.1 Surface-Mounted Leaded Components 91
8.4.2 Flat-Pack Components 92
8.4.3 Ribbon Lead Termination 92
8.4.4 Round Lead Termination 92
8.4.5 Component Lead Sockets 92
8.5 Fine Pitch SMT (Peripherals) 93
8.6 Bare Die 93
8.6.1 Wire Bond 93
8.6.2 Flip Chip 93
8.6.3 Chip Scale 93
8.7 Tape Automated Bonding 93
8.8 Grid Array SMT 93
8.9 No-Lead Devices 94
8.9.1 Small Outline and Quad Flat No Lead with Pullback Leads (PQFN, PSON) 94
8.10 Compliant Pin Design Guidelines 95

9 HOLES/INTERCONNECTIONS 95
9.1 General Requirements for Lands with Holes 95
9.1.1 Land Requirements 95
9.1.2 Annular Ring Requirements 96
9.1.3 Thermal Relief in Conductor Planes 97
9.1.4 Lands for Flattened Round Leads 97
9.2 Holes 98
9.2.1 Unsupported Holes 98
9.2.2 Plated Holes 98
9.2.3 Location 100
9.2.4 Hole Pattern Variation 100
9.2.5 Location Tolerances 100
9.2.6 Quantity 101
9.2.7 Spacing of Adjacent Holes 101
9.2.8 Aspect Ratio 101
9.3 Via Protection 101
9.3.1 Via Protection Requirements 101
9.3.2 Via Fill 101

10 GENERAL CIRCUIT FEATURE REQUIREMENTS 102
10.1 Conductor Characteristics 102
10.1.1 Conductor Width and Thickness 102
10.1.2 Electrical Clearance 105
10.1.3 Conductor Routing 105
10.1.4 Conductor Spacing 105
10.1.5 Plating Thieves 106
10.2 Land Characteristics 106
10.2.1 Manufacturing Allowances 106
10.2.2 Lands for Surface Mounting 106
10.2.3 Test Points 106
10.2.4 Orientation Symbols 106
10.3 Large Conductive Areas 106

11 DOCUMENTATION 106
11.1 Special Tooling 108
11.2 Layout 108
11.2.1 Viewing 108
11.2.2 Accuracy and Scale 108
11.2.3 Layout Notes 108
11.2.4 Automated-Layout Techniques 108
11.3 Deviation Requirements 108
11.4 Phototool Considerations 109
11.4.1 Artwork Master Files 109
11.4.2 Film Base Material 109
11.4.3 Solder Mask Coating Phototools 109

12 QUALITY ASSURANCE 109
12.1 Conformance Test Coupons 109
12.2 Material Quality Assurance 110
12.2.1 Laminates 110
12.2.2 Compliant Pin 110
12.3 Conformance Evaluations 110
12.3.1 Coupon Quantity and Location 110
12.3.2 Coupon Identification 114
12.3.3 General Coupon Requirements 114
12.4 Individual Coupon Design 114
12.4.1 Plated Hole Evaluation (Thermal Stress, Rework Simulation, Registration) Coupons 114
12.4.2 Moisture and Insulation Resistance Coupons 115
12.4.3 Hole Solderability Coupons 115
12.4.4 Surface Mount Solderability Coupons 115
12.4.5 Interconnect Resistance and Continuity Coupons 115
12.4.6 Solder Mask Adhesion Coupons 115
12.4.7 Surface Insulation Resistance Coupons 115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12.4.8 Peel Strength and Plating Adhesion Coupons 116
12.4.9 Controlled Impedance Coupons 116
12.4.10 Optional Legacy Registration Coupons 116
12.4.11 Legacy N Coupon (Peel Strength, Surface Mount Bond Strength - Optional for SMT) .. 116
12.4.12 Coupon X (Bending Flexibility and Endurance, Flexible Printed Board) 116
12.4.13 Process Control Test Coupon 116

APPENDIX A 117

APPENDIX B 142

APPENDIX C 162

Figures

Figure 1-1 Microvia Definition 2
Figure 3-1 Package Size and I/O Count 9
Figure 3-2 Test Land Free Area for Parts and Other Intrusions 16
Figure 3-3 Test Land Free Area for Tall Parts 16
Figure 3-4 Probing Test Lands 16
Figure 3-5 Example of Usable Area Calculation, mm [in] (Usable area determination includes clearance allowance for edge printed board connector area, printed board guides, and printed board extractor.) 18
Figure 3-6 Printed Board Density Evaluation 20
Figure 4-1 HASL Surface Topology Comparison 34
Figure 5-1 Example of Printed Board Size Standardization, mm [in] 41
Figure 5-2 Typical Asymmetrical Constraining-Core Configuration 43
Figure 5-3A Multilayer Metal Core Printed Board with Two Symmetrical Copper-Invar-Copper Constraining Cores (when the Copper-Invar-Copper planes are connected to the plated-through hole, use thermal relief per Figure 9-4) 43
Figure 5-3B Symmetrical Constraining Core Printed Board with a Copper-Invar-Copper Center Core 43
Figure 5-4 Advantages of Positional Tolerance Over Bilateral Tolerance, mm [in] 46
Figure 5-5 Datum Reference Frame 47
Figure 5-6 Example of Location of a Pattern of PTHs, mm [in] 48
Figure 5-7 Example of a Pattern of Tooling/Mounting Holes, mm [in] 48
Figure 5-8 Example of Location of a Conductor Pattern Using Fiducials, mm [in] 49
Figure 5-9 Example of Printed Board Profile Location and Tolerance, mm [in] 50
Figure 5-10 Example of a Printed Board Drawing Utilizing Geometric Dimensioning and Tolerancing, mm [in] 50
Figure 5-11 Fiducial Clearance Requirements 51
Figure 5-12 Printed Board Panelization/ Palletization, mm 51
Figure 5-13 Example of Connector Key Slot Location and Tolerance, mm [in] 52
Figure 6-1 Voltage/Ground Distribution Concepts 54
Figure 6-2 Single Reference Edge Routing 55
Figure 6-3 Circuit Distribution 55
Figure 6-4 Transmission Line Printed Board Construction 59
Figure 6-5 Capacitance vs. Conductor Width and Dielectric Thickness for Microstrip Lines, mm [in] 63
Figure 6-6 Capacitance vs. Conductor Width and Spacing for Striplines, mm [in] 64
Figure 6-7 Single Conductor Crossover 64
Figure 7-1 Component Clearance Requirements for Automatic Component Insertion 68
Figure 7-2 Relative Coefficient of Thermal Expansion (CTE) Comparison 71
Figure 8-1 Component Orientation for Boundaries and/or Wave Solder Applications 75
Figure 8-2 Component Body Centering 75
Figure 8-3 Axial-Leaded Component Mounted Over Conductors 76
Figure 8-4 Uncoated Board Clearance 76
Figure 8-5 Clamp-Mounted Axial-Leaded Component ... 76
Figure 8-6 Adhesive-Bonded Axial-Leaded Component 76
Figure 8-7 Example of Filleting Compared to Bonding .. 77
Figure 8-8 Mounting with Feet or Standoffs 77
Figure 8-9 Heat Dissipation Examples 78
Figure 8-10 Lead Bends 79
Figure 8-11 Typical Lead Configurations 79
Figure 8-12 Typical Keying Arrangement 82
Figure 8-13 Printed Board Edge Tolerancing 82
Figure 8-14 Lead-In Chamfer Configuration 83
Figure 8-15 Two-Part Connector 83
Figure 8-16 Edge-Board Adapter Connector 83
Figure 8-17 Round or Flattened (Coined) Lead Joint Description 85
Figure 8-18 Standoff Terminal Mounting, mm [in] 85
Figure 8-19 Dual Hole Configuration for Interfacial and Interlayer Terminal Mountings 86
Figure 8-20 Partially Clinched Through-Hole Leads 88
Figure 8-21 Dual In-Line Package (DIP) Lead Bends 88
Figure 8-22 Solder in the Lead Bend Radius 88
Figure 8-23 Two-Lead Radial-Leaded Components 89
Figure 8-24 Radial Two-Lead Component Mounting, mm [in] 89
Figure 8-25 Meniscus Clearance, mm [in] 89
Figure 8-26 "TO" Can Radial-Leaded Component, mm [in] 89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 8-27 Perpendicular Part Mounting, mm [in] 90
Figure 8-28 Flat-Packs and Quad Flat-Packs 90
Figure 8-29 Examples of Configuration of Ribbon Leads for Through-Hole Mounted Flat-Packs 90
Figure 8-30 Metal Power Packages with Compliant Leads 90
Figure 8-31 Metal Power Package with Resilient Spacers 90
Figure 8-32 Metal Power Package with Noncompliant Leads 90
Figure 8-33 Examples of Flat-Pack Surface Mounting 91
Figure 8-34 Round or Coined Lead 92
Figure 8-35 Configuration of Ribbon Leads for Planar Mounted Flat-Packs 92
Figure 8-36 Heel Mounting Requirements 92
Figure 8-37 TSSOP Package Construction 93
Figure 8-38 SQFP Package Construction 93
Figure 8-39 Examples of Ball Grid Array (BGA) Package Construction 94
Figure 8-40 Ceramic Column Grid Array (CGA) Package Construction 94
Figure 8-41 Land Grid Array (LGA) Package Construction 94
Figure 8-42 Quad Flat No-Lead (QFN) Construction 95
Figure 8-43 Small Outline No-lead (SON) Construction .. 95
Figure 8-44 Pullback Quad Flat No Lead (PQFN) Construction 95
Figure 9-1 Examples of Modified Land Shapes 96
Figure 9-2 External Annular Ring 97
Figure 9-3 Internal Annular Ring 97
Figure 9-4 Typical Thermal Relief in Planes 97
Figure 10-1 Etched Conductor Characteristics 104
Figure 10-2 Example of Conductor Beef-Up or Neck-Down 105
Figure 10-3 Conductor Optimization Between Lands 105
Figure 11-1 Flow Chart of Printed Board Design/ Fabrication Sequence 107
Figure 11-2 Multilayer Printed Board Viewing 108
Figure 11-3 Gang Solder Mask Window 109
Figure 11-4 Pocket Solder Mask Window 109
Figure 12-1 Panel Utilization among IPC-2221B Conformance Coupon Designs 112
Figure 12-2 Panel Utilization among Legacy Conformance Coupon Designs 113
Figure 12-3 Example Stack-up for a Ten Layer Printed Board 113
Figure 12-4 Systematic Path for Implementation of Statistical Process Control (SPC) 116
Figure A.2-1 AB/R Coupon Layout, mm [in] 119
Figure A.2-2 AB/R Coupon Example Layers 120
Figure A.3-1 A/R Coupon Layout, mm [in] 122
Figure A.3-2 A/R Coupon Example Layers 123
Figure A.4-1 B/R Coupon Layout, mm [in] 125
Figure A.5-1 E Coupon Layout, mm [in] 126
Figure A.5-2 E Coupon 127
Figure A.6-1 S Coupon Layout, mm [in] 128
Figure A.6-2 S Coupon Example Layers 129
Figure A.7-1 W Coupon Layout, mm [in] 130
Figure A.7-2 W Coupon Layout 131
Figure A.8-1 D Coupon Layout with A and B Features, mm [in] 132
Figure A.8-2 D Coupon Example Layers with A and B Features 133
Figure A.8-3 D Coupon Layout with Non-through Via B Features, mm [in] 133
Figure A.9-1 G Coupon Layout, mm [in] 135
Figure A.9-2 G Coupon Example Layers 136
Figure A.10-1 H Coupon Layout, mm [in] 137
Figure A.10-2 H Coupon Example Layers 138
Figure A.11-1 P Coupon Layout, mm [in] 139
Figure A.11-2 P Coupon Example Layers 139
Figure A.12-1 Z Coupon Layout (Microstrip and edge-coupled microstrip), mm [in] 140
Figure A.12-2 Z Coupon Example Layers 141
Figure A.12-3 Z Coupon Layout (Microstrip and edge-coupled microstrip using alternative test points), mm [in] 141
Figure B.2-1 Test Coupons A and B, mm [in] 143
Figure B.2-2 Test Coupons A and B (Conductor Detail), mm [in] 144
Figure B.2-3 Test Coupon A/B, mm [in] 145
Figure B.2-4 Test Coupon A/B (Conductor Detail), mm [in] 146
Figure B.3-1 Coupon E, mm 147
Figure B.3-2 "Y" Pattern for Chip Component Cleanliness Test Pattern 147
Figure B.4-1 Test Coupon S, mm [in] 148
Figure B.5-1 Test Coupon M, Surface Mounting Solderability Testing, mm [in] 149
Figure B.6-1 Test Coupon D, mm [in] 150
Figure B.6-2 10 Layer Example 151
Figure B.6-3 Example of a 10 Layer Coupon D, Modified to Include Blind and Buried Vias 152
Figure B.6-4 Test Coupon D for Process Control of 4 Layer Printed Boards 153
Figure B.7-1 Test Coupon G, Solder Resist Adhesive, mm [in] 153
Figure B.8-1 Optional Coupon H, mm [in] 154
Figure B.8-2 Comb Pattern Examples 155
Figure B.9-1 Coupon C, External Layers Only, mm [in] .. 155
Figure B.10-1 Test Coupon F, mm [in] 157
Figure B.10-2 Test Coupon R, mm [in] 158
Figure B.10-3 Worst-Case Hole/Land Relationship 158
Figure B.11-1 Test Coupon N, Surface Mounting Bond Strength and Peel Strength, mm [in] 159

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure B.12-1 Test Coupon X, mm [in] 161
Figure B.12-2 Bending Test 161

Tables

Table 3-1 PCB Design/Performance Tradeoff Checklist 6
Table 3-2 Component Grid Areas 19
Table 4-1 Typical Properties of Common Dielectric Materials 23
Table 4-2 Final Finish and Coating Requirements 26
Table 4-3 Surface and Hole Copper Plating Minimum Requirements for Buried Vias >2 Layers, Through-Holes, and Blind Vias 27
Table 4-4 Surface and Hole Copper Plating Minimum Requirements for Microvias (Blind and Buried) 27
Table 4-5 Surface and Hole Copper Plating Minimum Requirements for Buried Via Cores (2 Layers) 27
Table 4-6 Surface Finishes 28
Table 4-7 Gold Plating Uses 29
Table 4-8 ENIG Surface Finish Advantages and Disadvantages 30
Table 4-9 ENIG/EG Surface Finish Advantages and Limitations 30
Table 4-10 ENEPIG Surface Finish Advantages and Disadvantages 31
Table 4-11 Immersion Silver Surface Finish Advantages and Disadvantages 31
Table 4-12 Immersion Tin Surface Finish Advantages and Disadvantages 32
Table 4-13 OSP Surface Finish Advantages and Limitations 33
Table 4-14 Copper Foil/Film Requirements 35
Table 4-15 Metal Core Substrates 36
Table 4-16 Typical Minimum Solder Mask Clearances and Dams 37
Table 4-17 Conformal Coating Types and Thickness Range 38
Table 4-18 Conformal Coating Functionality 38
Table 5-1 Fabrication Assumptions and Considerations 40
Table 5-2 PC Card Form Factor Substrate Dimensions 40
Table 5-3 Typical Assembly Equipment Limits 45
Table 6-1 Electrical Conductor Spacing 57
Table 6-2 Typical Relative Bulk Dielectric Constant of Printed Board Material 60
Table 6-3 Example Plane Sequences for a Six Layer Printed Board 62
Table 7-1 Effects of Material Type on Construction 65
Table 7-2 Emissivity Ratings for Certain Materials 66
Table 7-3 Printed Board Heatsink Assembly Preferences 69
Table 7-4 Comparative Reliability Matrix Component Lead/Termination Attachment 70
Table 9-1 Minimum Standard Fabrication Allowance for Interconnection Lands 96
Table 9-2 Annular Rings (Minimum) 97
Table 9-3 Minimum Drilled Hole Size for Buried Vias ... 99
Table 9-4 Minimum Drilled Hole Size for Blind Vias 99
Table 9-5 Minimum Hole Location Tolerance, dtp 101
Table 9-6 Through-Hole Diameters Minimum and Maximum and Aspect Ratio, mm [in] 102
Table 10-1 Internal Layer Foil Thickness After Processing 103
Table 10-2 External Conductor Thickness After Plating 103
Table 12-1 Appendix A Coupon Requirements 111
Table 12-2 Appendix B (Legacy) Coupon Requirements 111
Table A.1-1 IPC Coupons 117
Table A.2-1 AB/R Coupon Parameters, mm [in] 118
Table A.3-1 A/R Coupon Parameters, mm [in] 121
Table A.4-1 B/R Coupon Parameters, mm [in] 124
Table A.5-1 E Coupon Parameters, mm [in] 126
Table A.6-1 S Coupon Parameters, mm [in] 128
Table A.7-1 W Coupon Parameters, mm [in] 130
Table A.8-1 D Coupon Parameters, mm [in] 132
Table A.9-1 G Coupon Parameters, mm [in] 134
Table A.10-1 H Coupon Parameters, mm [in] 137
Table A.11-1 P Coupon Parameters, mm [in] 139
Table A.12-1 Z Coupon Parameters, mm [in] 140
Table B.1-1 IPC-2221 Legacy Coupons 142

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Generic Standard on Printed Board Design

1 SCOPE

This standard establishes the generic requirements for the design of organic printed boards and other forms of component mounting or interconnecting structures, including PC card form factors. The organic materials may be homogeneous, reinforced, or used in combination with inorganic materials; the interconnections may be single, double, or multilayered.

1.1 Purpose The requirements contained herein are intended to establish design principles and recommendations that **shall** be used in conjunction with the detailed requirements of a specific interconnecting structure sectional standard (see 1.2) to produce detailed designs intended to mount and connect components. This standard is not intended for use as a performance specification for finished printed boards nor as an acceptance document for electronic assemblies.

1.2 Documentation Hierarchy This standard identifies generic physical design principles, and is supplemented by various sectional standards that provide sharper focus on specific aspects of printed board technology. These include:

IPC-2222 Rigid organic printed board design
IPC-2223 Flexible printed board design
IPC-2225 Organic, MCM-L, printed board design
IPC-2226 High Density Interconnect (HDI) printed board design

The documents are a part of the Family of Design Documents which is identified as IPC-2220. The number IPC-2220 is for ordering purposes only and includes this standard and the four listed above.

Note: IPC-2224, a sectional design standard for PC card form factors, was cancelled by the IPC. Relevant PC form factor design information has been transferred to this revision of IPC-2221 and to IPC-2222.

1.3 Presentation All dimensions and tolerances in this standard are expressed in hard SI (metric) units and parenthetical soft imperial (inch) units. Users of this standard are expected to use metric dimensions. All dimensions greater than or equal to 0.1 mm [0.0039 in] will be expressed in millimeters and inches. All dimensions less than 0.1 mm [0.0039 in] will be expressed in micrometers and microinches.

1.3.1 Dimensional Units The following is taken from National Institute of Standards and Technology - Metric Information and Conversions: "Beginning January 1, 2010, the European Union Council Directive 80/181/EEC (Metric Directive) allowed the use of only metric units, and prohibited the use of any other measurements for most products sold in the European Union (EU). The Metric Directive made the sole use of metric units obligatory in all aspects of life in the European Union, extending to areas such as product literature and advertising."

Most component datasheets are provided in metric units. Many printed board designers spend a lot of time converting between imperial (inch) and SI (metric). Round-off errors, when converting units, can result in inaccuracies that result in marginal or failed designs. However, the printed board fabrication vendors often default to imperial units. Electronic Computer Aided Design (ECAD) tools accommodate both metric and imperial library components being placed on the same printed board because dimensional precision is large enough to describe most standard components accurately.

Problems arise when importing information from third party software or trying to mix units during printed board layout. For example, if a portion of the printed board design is an imported Drawing Exchange Format (.DXF) file with metric units that needs to interface with a digital portion done in imperial units, a problem can occur where the data from the two grids are mixed. Unlike importing from libraries, a conversion to printed board units is not always done when importing DXF.

While a user can convert printed board units from metric to imperial in modern day tools without problems, this should not be done too often during the design phase as repeated conversions can introduce unexpected errors. A single set of units should be used in the layout of the printed board. If imported data is in metric units, the layout portion of the process should use metric units. Once the layout is complete and verified, the designer can convert the printed board to imperial units for documentation, if necessary.

1.4 Interpretation "**Shall**," the imperative form of the verb, is used throughout this standard whenever a requirement is intended to express a provision that is mandatory. Deviation from a "**shall**" requirement may be considered if sufficient data is supplied to justify the exception.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้