

การวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยวิธีการเบนซ์เทส

THE LEAKAGE CURRENT MEASUREMENT OF MICROCONTROLLER
INTEGRATED CIRCUITS USING THE BENCH TEST METHOD



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษิตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะครุศาสตรอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-ED-M-232-007

การวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยวิธีการเบนซ์เทส

**THE LEAKAGE CURRENT MEASUREMENT OF MICROCONTROLLER
INTEGRATED CIRCUITS USING THE BENCH TEST METHOD**



**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์**

คณะครุศาสตรบัณฑิตและเทคโนโลยี

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-ED-M-232-007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**THE LEAKAGE CURRENT MEASUREMENT OF MICROCONTROLLER
INTEGRATED CIRCUITS USING THE BENCH TEST METHOD**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN INDUSTRIAL EDUCATION IN ELECTRONICS
FACULTY OF INDUSTRIAL EDUCATION AND TECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2017

KMITL-2017-ED-M-232-007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF INDUSTRIAL EDUCATION AND TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์
ด้วยวิธีเบนซ์เทส

THE LEAKAGE CURRENT MEASUREMENT
OF MICROCONTROLLER INTEGRATED CIRCUITS
USING THE BENCH TEST METHOD

นักศึกษา

นางสาวจิราภา มุ่งเจริญ

รหัสประจำตัว

58603059

ปริญญา

ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

อิเล็กทรอนิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงศ์ มะโน

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยาณี จิตต์การุณย์	
รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงศ์ มะโน	
รองศาสตราจารย์ ปิยะ ศุภวาราสวัฒน์	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย หมั่นสายญาติ	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพบุลย์ พวงวงศ์ตระกูล	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ

18 พฤศจิกายน 2560 เวลา 16.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ

ณ ห้องเรียนปริญญาเอก คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยีรับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงศ์ มะโน)

คณบดี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

วันที่...๑๑...เดือน...๕...พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์
ด้วยวิธีการเบนซ์เทส

นักศึกษา

นางสาวจิราภา มุ่งเจริญ

รหัสประจำตัว

58603059

ปริญญา

ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

อิเล็กทรอนิกส์

พ.ศ.

2560

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รศ.ดร.กิตติพงศ์ มะโน

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดหาค่ากระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยวิธีการเบนซ์เทสที่มีคุณภาพโดยเปรียบเทียบผลการวัดค่ากระแสรั่วไหลระหว่างไอซีที่ปกติ (Good Unit) กับไอซีที่ไม่ปกติ (Reject Unit) และวิเคราะห์รูปแบบของสาเหตุการเสียหาย โดยผ่านการประเมินคุณภาพวิธีการเบนซ์เทสจากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน กลุ่มตัวอย่างที่ใช้คือไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC12, PIC16, PIC18, PIC24 PIC32 และ DSPIC33 ที่ผ่านการทดสอบและมีข้อบกพร่องแล้วจากฝ่ายการผลิตของบริษัทผลิตไอซีในประเทศไทย จำนวน 6 ตระกูล โดยวิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงจำนวน 40 ตัว ตัวอย่างทั้ง 40 ตัวได้ผ่านกระบวนการวัดกระแสรั่วไหลจากไอวีเคิฟแล้วไม่สามารถวัดค่าได้ ผลการวิจัยพบว่าคุณภาพการวัดค่ากระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยวิธีการเบนซ์เทส มีคุณภาพอยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 3.93 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.86 และพบว่าไอซีที่ไม่ปกติมีค่ากระแสรั่วไหลสูงกว่าไอซีที่ปกติจำนวน 39 ตัว โดยรูปแบบสาเหตุการเสียหาย สามารถวิเคราะห์ได้ 6 รูปแบบ ซึ่งแสดงว่าการวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยวิธีการเบนซ์เทสนี้สามารถนำมาทดแทนได้ในกรณีที่ไอวีเคิฟไม่สามารถวัดหาค่ากระแสได้

Thesis Title	The Leakage current Measurement Of Microcontroller Integrated Circuits Using The Bench Test Method
Student	Miss Jirapa Mungjaroen
Student ID.	58603059
Degree	Master of Science in Industrial Education
Program	Electronics
Year	2017
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Kitipong Mano

ABSTRACT

The purposes of this research were to measure the leakage current of microcontroller integrated circuits by using a quality bench test method and to compare the leakage current measurement between a satisfactory microcontroller (good unit) and a rejected microcontroller (reject unit). The types of defect in the microcontroller were then analyzed and evaluated by three experts from the electronic industry. The sample units were defective microcontroller device which had failed electrical tests on the production line in the semiconductor industry in Thailand. Forty microcontroller devices of the PIC12, PIC16, PIC18, PIC24, PIC32 and DSPIC33 families were used. All sample units were unable to read the results by the curve measurement method. The results showed that the quality of the bench test measurement of the microcontrollers was at the high level ($\bar{X} = 3.93$, S.D. = 0.86). Thirty-nine units that were rejected had a higher current than the good ones. Only six types can be analyzed the type of defects. This means that the measurement of the leakage current of microcontroller devices by using the bench test method can be used while the I/V curve cannot measure the leakage current.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดีด้วยความอนุเคราะห์จาก รศ.ดร. กิติพงศ์ มะโน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำแนวทาง รวมทั้งการแก้ไข ปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ ในการทำวิจัยด้วยความเอาใจใส่เสมอมา ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ได้สละเวลาในการทำแบบประเมินคุณภาพการวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยวิธีการเบนซ์เทส รวมทั้งคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา ความรู้ ตลอดจนประสบการณ์ ข้อคิดต่างๆ ที่เป็นแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จนประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นขอขอบคุณเพื่อนสมาชิก นักศึกษาหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาอิเล็กทรอนิกส์ รุ่น 8 ทุกท่าน ที่คอยช่วยเหลือเป็นกำลังใจสนับสนุนให้ผู้วิจัยได้ประสบความสำเร็จ จึงขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณหัวหน้างานและพนักงานโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่ผลิตไอซีและให้ใช้เครื่องมือในการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลที่เป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับการวิจัยครั้งนี้

คุณค่าและประโยชน์ใดๆ ที่เป็นผลมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบกุศลผลบุญดังกล่าวให้กับ บิดา มารดา ญาติสนิท มิตรสหาย และผู้มีพระคุณ

จิราภา มุ่งเจริญ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 สมมุติฐานการวิจัย.....	3
1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	5
1.6 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	5
1.7 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในงานวิจัย.....	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 กระบวนการวิเคราะห์หาข้อผิดพลาดของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์.....	7
2.2 ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์.....	9
2.3 ความรู้พื้นฐานการเบนซ์เทส.....	14
2.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ไอซี.....	16
2.5 รูปแบบของสาเหตุการเสียหาย.....	29
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	32
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	35
3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย.....	35
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	36
3.3 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	40
3.4 การวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยวิธีเบนซ์เทส.....	43
3.5 การทดลองกับกลุ่มตัวอย่างและเก็บข้อมูล.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 สถิติที่ใช้ในการวิจัย.....	51
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	52
4.1 ผลการหาคุณภาพของการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทส	52
4.2 ผลการวัดค่ากระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทสระหว่างไอซีที่ปกติกับไอซีที่ไม่ปกติ	53
4.3 ผลการวิเคราะห์รูปแบบของสาเหตุการเสียหายที่เกิดจากกระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทส ...	58
บทที่ 5 อภิปรายผลการวิจัย สรุปผลและข้อเสนอแนะ	62
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	62
5.2 อภิปรายผลการวิจัย.....	64
5.3 ข้อเสนอแนะการวิจัย.....	65
บรรณานุกรม.....	66
ภาคผนวก.....	68
ประวัติผู้เขียน.....	76

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ขั้นตอนการเบนซ์เทสกรณีที่ 1	42
3.2 ขั้นตอนการเบนซ์เทสกรณีที่ 2	42
3.3 การติดตั้งขา VDD, VSS, MCLR และขา OSC	43
4.1 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและระดับความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ ที่มีต่อการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทส.....	53
4.2 แสดงผลการเปรียบเทียบค่ากระแสรั่วไหลของไอซีโดยวิธีการเบนซ์เทส.....	54
4.3 แสดงผลการเปรียบเทียบค่ากระแสรั่วไหลของไอซีโดยวิธีการเบนซ์เทส.....	56
4.4 แสดงผลการวิเคราะห์รูปแบบของสาเหตุการเสียหายที่เกิดจากกระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทส กับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 40 ตัว.....	58
4.5 แสดงรูปแบบสาเหตุการเสียหายและช่วงกระแสที่เกิดขึ้น.....	60

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 กรอบแนวคิดการวิเคราะห์หาข้อบกพร่องของไอซี	4
2.1 กระบวนการวิเคราะห์หาข้อผิดพลาดของไอซี	8
2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC32MX150F128D.....	10
2.3 ตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC32MX150F128D.....	10
2.4 การทดสอบ Opens / Shorts Test : VDD Diode.....	12
2.5 การทดสอบ Opens / Shorts Test : VSS Diode.....	12
2.6 วงจรความเร็วสูงของออปแอมป์และวงจรป้องกัน ESD	13
2.7 Layout ของงานที่มีวงจรป้องกัน ESD	13
2.8 Schematic ของงานที่มีวงจรป้องกัน ESD	13
2.9 ไอซีที่ผิดปกติและไอซีที่ปกติ	14
2.10 การเบนซ์ทดสอบจำลองสภาวะการทำงานฟังก์ชันต่างๆ เพื่อหากระแสรั่วไหลของไอซี	15
2.11 กราฟคุณลักษณะ ไอวี แสดงกระแสรั่วไหลและกระแสลัดวงจรของไอซีที่ไม่ปกติ เทียบกับไอซีที่ปกติ.....	15
2.12 ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์.....	16
2.13 เครื่องเอ็กซ์เรย์และไอซีที่นำไปเอ็กซ์เรย์.....	18
2.14 แสดงโครงสร้างหลอดเอกซเรย์ชนิด Stationary Anode	18
2.15 แสดงโครงสร้างหลอดเอกซเรย์ชนิด Rotating Anode.....	19
2.16 ลักษณะของหลอดเอ็กซ์เรย์แบบ Stationary Anode (ก) และ Rotating Anode(ข).....	19
2.17 เครื่องเคิฟเทรสเตอร์.....	21
2.18 กราฟกระแสลัดวงจรของไอซีที่ไม่ปกติ.....	22
2.19 กราฟกระแสรั่วไหลของไอซีที่ปกติ.....	22
2.20 ไดโอดประกอบด้วยขั้ว 2 ขั้ว.....	23
2.21 ไดโอดในทางอุดมคติ (Ideal Diode).....	23
2.22 กราฟคุณสมบัติของไดโอด	24
2.23 เครื่องไออาร์-โอเบิร์ช.....	25
2.24 ตำแหน่งข้อบกพร่องของไอซีจากเส้นทางกระแสรั่วไหลขณะไออาร์-โอเบิร์ช	25
2.25 การ Set Up เครื่องไออาร์-โอเบิร์ช.....	26

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.26 เปรียบเทียบความผิดปกติของผลจากโออาร์-โอเบิร์ช ระหว่างไอซีที่ปกติและไอซีที่ไม่ปกติ	26
2.27 มิเตอร์ชนิดต่างๆ.....	27
2.28 ผังแสดงการทำงานของอะนาล็อกและดิจิตอล มัลติมิเตอร์	28
2.29 ค่าที่วัดได้จากมัลติมิเตอร์แบบ True RMS และ MEAN.....	29
2.30 Chipped Crack Die	29
2.31 EOS บนหน้าได (Die).....	30
2.32 ESD บนหน้าได ถ่ายด้วยเครื่อง SEM	31
2.33 Wire Touch Die.....	31
2.34 Die Relate (OBIRCH Abnormal On Die).....	32
3.1 ระบบการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทส	36
3.2 ระบบการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีโอวีเคิฟ.....	37
3.3 การโออาร์-โอเบิร์ช.....	38
3.4 การติดตั้งและใช้เทคนิคโออาร์-โอเบิร์ช.....	39
3.5 เปรียบเทียบความผิดปกติของผลจากโออาร์-โอเบิร์ชระหว่างไอซีที่ปกติ (Good Unit) และไอซีที่ไม่ปกติ (Reject Unit).....	39
3.6 ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวัดกระแสรั่วไหล.....	41
3.7 ขั้นตอนการพัฒนาการวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์.....	43
3.8 รูปแบบการกำหนดขาต่างๆ จาก Datasheet อ้างอิงจาก PIC32MX150F128D.....	45
3.9 การกำหนดขาต่างๆ บนบอร์ดทดสอบอุปกรณ์.....	46
3.10 การติดตั้งการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทส.....	47
3.11 ขั้นตอนการทดลองกลุ่มตัวอย่างและเก็บข้อมูลการวัดกระแสรั่วไหล ของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยวิธีโอวีเคิฟ	48
3.12 ขั้นตอนการทดลองกลุ่มตัวอย่างและเก็บข้อมูลการวัดกระแสรั่วไหล ของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยวิธีเบนซ์เทส	49
3.13 ขั้นตอนการทดลองกลุ่มตัวอย่างและเก็บข้อมูลการวัดกระแสรั่วไหล ของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ในการวิเคราะห์หารูปแบบสาเหตุการเสียหาย.....	50
4.1 ผลการวัดกระแสของไอซีที่ไม่ปกติ	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.2 ผลการวัดกระแสของไอซีทีปกติ	54
4.3 ผลการวัดกระแสของไอวีเคีฟ	55
4.4 การเปรียบเทียบผลไออาร์-โอเบิร์ชด้วยวิธีไอวีเคีฟและวิธีเบนซ์เทส	56



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญต่อเศรษฐกิจไทยในปัจจุบัน เนื่องด้วยสินค้าส่วนใหญ่มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นสำคัญ ทั้งเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น โทรทัศน์ ตู้เย็น โทรศัพท์ คอมพิวเตอร์ เป็นต้น รวมถึงอุตสาหกรรมยานยนต์ซึ่งมีชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ อยู่ในระบบควบคุม เช่น รีโมทรถยนต์ ระบบไฟฟ้าในรถยนต์ เป็นต้น โดยสิ่งที่เป็นส่วนสำคัญของการประมวลผลและควบคุมอุปกรณ์เหล่านี้ คือ ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า MCU ทำหน้าที่หลักในการควบคุมระบบที่สำคัญต่างๆ ให้ทำงานได้ตรงตามที่ต้องการ หากไอซีชำรุดเสียหาย ระบบทำงานภายในอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ อาจเกิดความเสียหายได้ ผู้ผลิตไอซีทั้งหลาย จึงได้มีการวิเคราะห์และตรวจสอบคุณภาพเพื่อให้ได้มาตรฐานของไอซีอย่างเคร่งครัดต่อเนื่อง การวิเคราะห์หาสาเหตุข้อผิดพลาดของไอซี เป็นกระบวนการที่สำคัญเพื่อนำข้อผิดพลาดต่างๆ ไปแก้ไขส่วนที่บกพร่องของขั้นตอนการผลิตต่อไป

ความผิดพลาดจากการผลิตทำให้ไอซีเสียหายได้ เช่น ความเสียหายเชิงกล (Mechanical Damage) รอยขีดขูดบนหน้าได (Scratch On Die) ความเสียหายเนื่องจากอุปกรณ์ได้รับกระแส มากกว่าที่ไอซีสามารถทนได้ (Electrical Over Stress) ไฟฟ้าสถิตย์ (Electrical Static Discharge Relate) เป็นต้น จากสาเหตุดังกล่าวที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตทำให้ต้นทุนการผลิตไอซีเพิ่มขึ้น และไม่สามารถนำไอซีดังกล่าวไปจำหน่ายหรือส่งมอบให้ลูกค้าได้ ถ้าไอซีที่ผลิตไม่สามารถตรวจสอบข้อผิดพลาดได้และถูกส่งถึงลูกค้า ส่งผลให้ผู้ผลิตถูกดำเนินคดีความเชื่อมั่นจากลูกค้า และถูกยกเลิกรายการสินค้าทั้งหมด ซึ่งมีผลกระทบต่อการทำงานของบริษัทอย่างรุนแรง ขั้นตอนการวิเคราะห์ ไอซีมีหลากหลายรูปแบบและใช้อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน ดังนี้ การใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง (High Power Microscope) ในการตรวจสอบหน้าได การใช้เครื่องวัดคุณลักษณะทางไฟฟ้าของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Curve Tracer) สำหรับการตรวจสอบค่าการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้า การใช้เครื่อง SAM (Scanning Acoustic Microscope) สำหรับการตรวจสอบความผิดปกติบนหน้าไดด้วยหลักการสะท้อนของคลื่นวิทยุ เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่ข้อผิดพลาดของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เกิดขึ้นบนหน้าได มักพบได้จากงานที่สามารถตรวจวัดกระแสรั่วไหลได้ด้วย เครื่องเคิฟเทรสเซอร์ (James Beall และ David Wilson :1991.) ซึ่งไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์เหล่านี้ถูกนำเข้าสู่กระบวนการเปิดหน้าได (Decapsulation) เพื่อนำมาตรวจสอบภายในหน้าไดด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง ในบางข้อผิดพลาดสามารถตรวจสอบได้จากขั้นตอนนี้ แต่บาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นบนหน้าไตไม่สามารถที่จะตรวจสอบได้ เช่น บางข้อผิดพลาดมีขนาดเล็กมากและถูกจำกัดด้วยกำลังขยายของกล้อง ซึ่งข้อผิดพลาดดังกล่าวที่ไม่สามารถตรวจสอบได้จะถูกนำเข้าสู่ขั้นตอนการหาตำแหน่งของข้อผิดพลาดหน้าไต จากการให้แรงดันไฟฟ้าเข้าตัวไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อหาตำแหน่งข้อบกพร่องของไอซีจากเส้นทางกระแสรั่วไหลและจุดที่ค่าความต้านทานผิดปกติในตัวไอซี โดยใช้เครื่องอินฟรา-เรด-ออปติคัล บีม อินดิวซ์ เรซิสแตนซ์ แชนจ์ : IR-OBIRCH) ซึ่งในขั้นตอนนี้จะช่วยระบุตำแหน่งของข้อผิดพลาดบนหน้าไตได้อย่างชัดเจน และนำไปวิเคราะห์หาชนิดของข้อผิดพลาดนั้นต่อไป (Diwei Fan และสมาชิก : 2013.) อนึ่งหากกระบวนการทดสอบในขั้นตอนนี้ไม่สามารถวัดกระแสรั่วไหลจาก เครื่องเคิฟเทรสเซอร์ได้ส่งผลทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์กระบวนการต่อไปได้ ดังรายงานผลการวิจัยของ James Beall และ David Wilson เมื่อปี ค.ศ. 1991 ได้กล่าวว่า ขั้นตอนการวัดกระแสจากเครื่อง เคิฟเทรสเซอร์ เป็นขั้นตอนที่สำคัญมากสำหรับการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของตัวไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ เพราะสามารถเปรียบเทียบหาไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีคุณภาพดีและไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เกิดความเสียหายออกจากกันได้

จากปัญหาของกระบวนการวัดโดยวิธีต่างๆ ดังกล่าว ที่เครื่องเคิฟเทรสเซอร์ไม่สามารถวัดค่ากระแสรั่วไหลที่มีค่าต่ำๆ ของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ ในปี ค.ศ. 2013 Noorsyuhada และสมาชิก ได้นำเสนอวิธีการเบนซ์เทส (Bench Test) เพื่อหาข้อผิดพลาดของไอซีที่เกิดจากอุณหภูมิและในปี 2017 Parin และสมาชิก ได้นำเสนอวิธีการเบนซ์เทสในโหมด IPD wdt ซึ่งมีความเชื่อมโยงกับกระแสรั่วไหล ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจการวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยวิธีการเบนซ์เทส เพื่อเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ และนำผลการวัดด้วยวิธีนี้ไปสู่ขั้นตอนอินฟรา-เรด-ออปติคัล เพื่อวิเคราะห์หารูปแบบของสาเหตุการเสียหายต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อวัดหากระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยวิธีการเบนซ์เทสที่มีคุณภาพ
- 1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบผลการวัดค่ากระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทสระหว่างไอซีที่ปกติ (Good Unit) กับไอซีที่ไม่ปกติ (Reject Unit)
- 1.2.3 เพื่อวิเคราะห์หารูปแบบของสาเหตุการเสียหายที่เกิดจากกระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทส

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย

1.3.1 คุณภาพของการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทสจัดอยู่ในระดับดีขึ้นไป

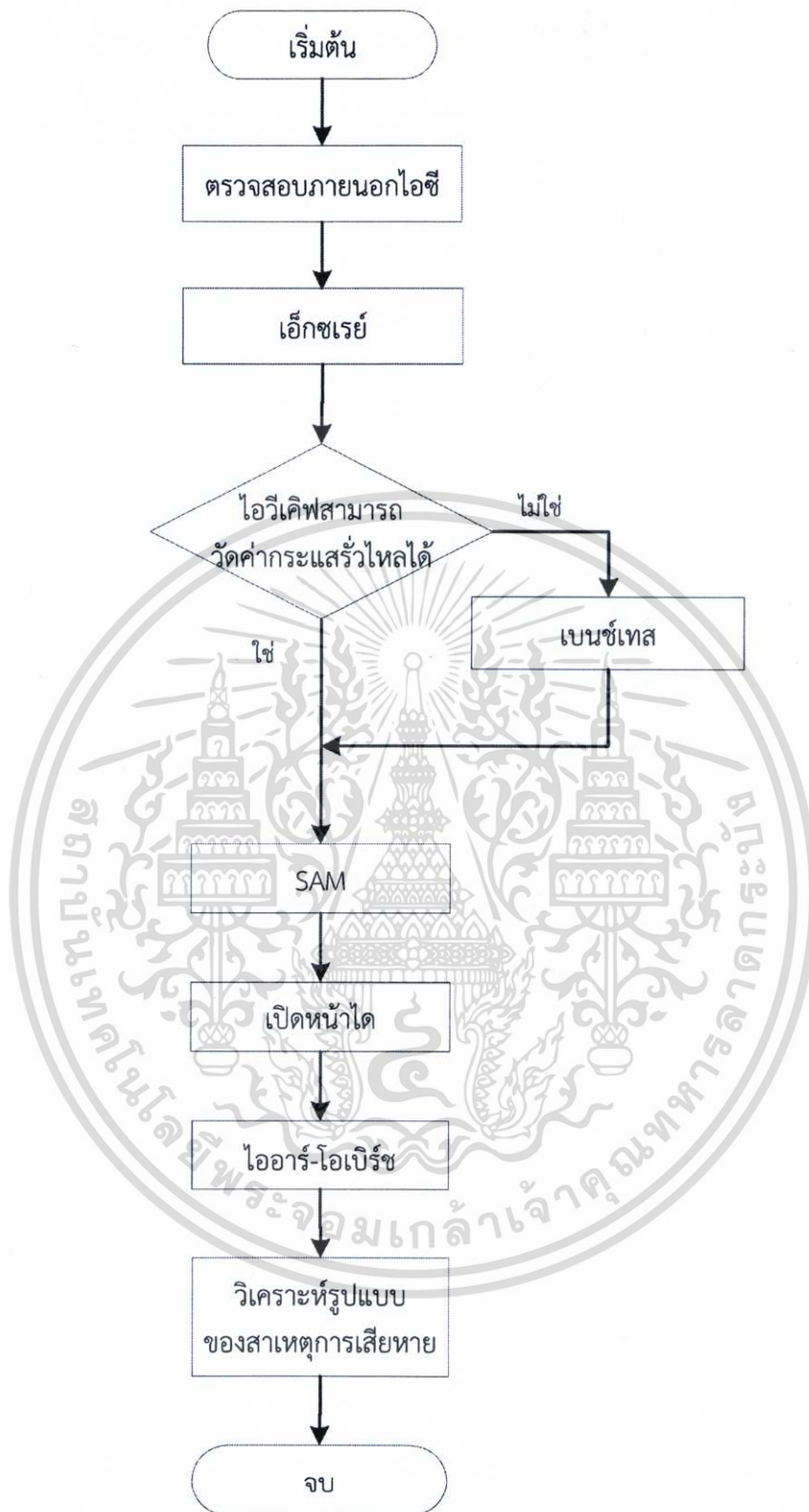
1.3.2 ผลการวัดค่ากระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทสของไอซีที่ไม่ปกติ (Reject Unit) สูงกว่า ไอซีที่ปกติ (Good Unit)

1.3.3 รูปแบบของสาเหตุการเสียหายที่เกิดจากกระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทสมีมากกว่าหรือเท่ากับ 5 รูปแบบ

1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย

ในการพัฒนาและหาคุณภาพวิธีการเบนซ์เทสสำหรับการวัดกระแสรั่วไหลของไอซี ไมโครคอนโทรลเลอร์ ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ขั้นตอนการวิจัยของ Noorsyuhada Hat (2013.) สรุปได้ตามภาพที่ 1.1 ดังนี้

1. ตรวจสอบลักษณะภายนอก (External Inspection) ของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์
2. ทำการเอ็กซ์เรย์ (X-ray) เพื่อดูการเชื่อมสาย (Wire Bond) และตรวจสอบภายในตัวไอซี
3. ทำการโอวีเคิฟเพื่อดูความผิดปกติของคุณลักษณะทางไฟฟ้าของไอซี
4. เบนซ์เทสเพื่อวัดหากระแสรั่วไหลของไอซี
5. SAM เพื่อตรวจเช็คช่องว่างของอากาศ (Delamination) บนไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์
6. เปิดหน้าได เพื่อตรวจสอบโครงสร้างและหน้าไดภายในไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์
7. ไออาร์-โอเบิรช เพื่อหาดำแหน่งข้อบกพร่องบนหน้าไดของไอซีจากเส้นทางกระแสรั่วไหล และจุดที่ค่าความต้านทานผิดปกติในตัวไอซี
8. วิเคราะห์รูปแบบของสาเหตุการเสียหาย เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงแก้ไขในกระบวนการผลิตต่อไป



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดการวิเคราะห์หาข้อบกพร่องของไอซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีขอบเขต ดังนี้

1.5.1 ประชากร

ประชากรในการวิจัยครั้งนี้ คือ ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล PIC12, PIC16, PIC18, PIC24 PIC32 และ DSPIC33 ที่ผ่านการทดสอบและมีข้อบกพร่องแล้วจากฝ่ายการผลิตของบริษัทผลิตไอซีในประเทศไทย

1.5.2 กลุ่มตัวอย่าง

ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ผ่านการทดสอบและมีข้อบกพร่องแล้วจากฝ่ายการผลิตของบริษัทผลิตไอซีในประเทศไทย จำนวน 6 ตระกูล โดยใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจงจำนวน 40 ตัว

1.5.3 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยนี้ประกอบด้วย

ตัวแปรต้น คือ การวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยวิธีการเบนซ์เทส

ตัวแปรตาม คือ คุณภาพ การวัดค่ากระแสรั่วไหลระหว่างไอซีที่ปกติ (Good Unit) กับไอซีที่ไม่ปกติ (Reject Unit) และรูปแบบของสาเหตุการเสียหายที่เกิดจากกระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทส

1.6 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.6.1 ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการวิจัย เป็นไอซีซึ่งถูกระบุผลว่ามีความเสียหายจากกระบวนการทดสอบ ATE : Auto Metric Test Equipment

1.7 คำศัพท์เฉพาะที่ใช้ในงานวิจัย

1.7.1 การวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยวิธีเบนซ์เทส หมายถึง การวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล PIC12, PIC16, PIC18, PIC24 PIC32 และ DSPIC33 ด้วยวิธีเบนซ์เทสที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น

1.7.2 ไอซี หมายถึง ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ประเภทสารกึ่งตัวนำที่รวบรวมฟังก์ชันการทำงานต่างๆ ไว้ภายใน โดยมีโครงสร้างใกล้เคียงกับคอมพิวเตอร์ คือ ภายในประกอบด้วยหน่วยรับข้อมูลและโปรแกรม หน่วยประมวลผล หน่วยความจำ และหน่วยแสดงผล

1.7.3 วิธีเบนซ์เทส หมายถึง การวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยจำลองสถานะการทำงานเสมือนจริง ใช้ในการตรวจสอบไอซีว่ามีกระแสรั่วไหลหรือไม่ โดยการติดตั้งกำหนดขาต่างๆของไอซีและใช้แอมมิเตอร์ ในการวัดกระแสรั่วไหลที่ขามัดปกติของไอซีบนบอร์ดทดสอบอุปกรณ์

1.7.4 กระแสรั่วไหล (Leakage Current) หมายถึง กระแสรั่วไหลของไดโอดที่อยู่ในวงจรป้องกันความเสียหาย (Protective Circuit) แต่ละขาของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์

1.7.5 คุณภาพ หมายถึง ผลการประเมินคุณภาพของการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทส โดยผู้เชี่ยวชาญ

1.7.6 แบบประเมินคุณภาพ หมายถึง แบบประเมินการให้คะแนนแบบมาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับ สำหรับผู้เชี่ยวชาญในการบันทึกและแสดงข้อมูล

1.7.7 รูปแบบของสาเหตุการเสียหาย หมายถึง รูปแบบของสาเหตุการเสียหายที่เกิดจากความบกพร่องของไอซีที่ไม่ปกติ โดยสามารถจำแนกเป็นสาเหตุหลักๆ 5 รูปแบบ

1.7.8 ATE (Automatic Test Equipment) หมายถึง เครื่องมือที่ใช้ทดสอบคุณสมบัติและคุณภาพของไอซีอย่างเป็นระบบ

บทที่ 2

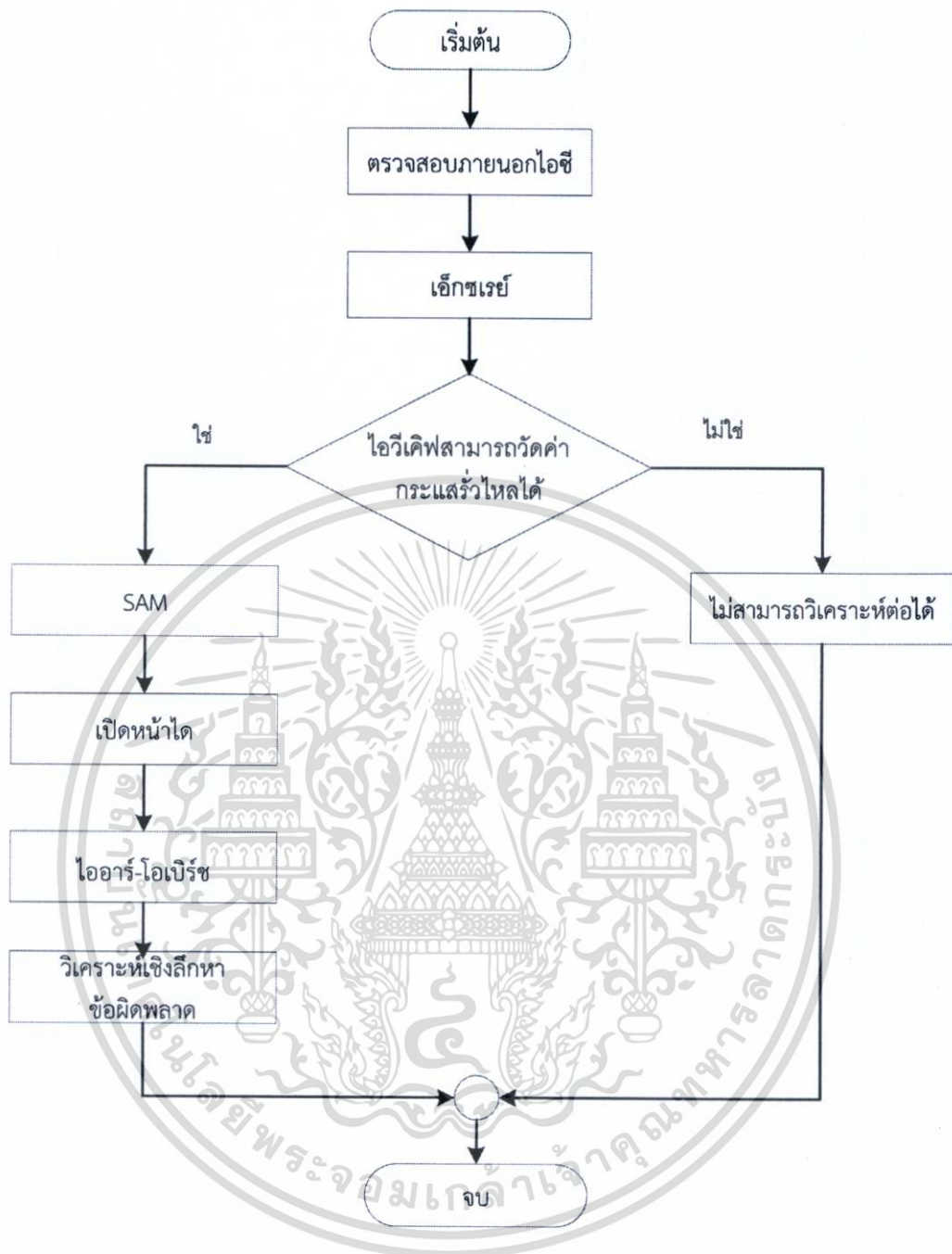
ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาการวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยวิธีการเบนซ์เทส โดยใช้ข้อมูลพื้นฐานจากการวิเคราะห์หาข้อผิดพลาดของไอซี (Failure Analysis) เพื่อให้เกิดความเข้าใจในรายละเอียดของงานวิจัยมากขึ้น ผู้วิจัยได้ลำดับหัวข้อการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อศึกษาข้อมูลต่างๆ ดังนี้

- 2.1 กระบวนการวิเคราะห์หาข้อผิดพลาดของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์
- 2.2 ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์
- 2.3 ความรู้พื้นฐานการเบนซ์เทส
- 2.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ไอซี
- 2.5 รูปแบบของสาเหตุการเสียหาย
- 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้เบื้องต้นและขั้นตอนในการวิเคราะห์หาข้อผิดพลาดของไอซี ไมโครคอนโทรลเลอร์

เศรษฐกิจของสังคมในปัจจุบันมีการเปิดเสรีทางการค้าอย่างกว้างขวางซึ่งการแข่งขันในกลุ่มของงานอุตสาหกรรมทางการผลิตชิ้นส่วน ประเภทอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เรียกว่า ไอซีมีการแข่งขันกันสูงทั้งภายในและภายนอกประเทศส่งผลให้กลุ่มผู้ผลิตชิ้นส่วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ดำเนินธุรกิจ โดยมุ่งเน้นในส่วนของบริหารจัดการการผลิตและการควบคุมคุณภาพเป็นหลักจึงทำให้สามารถลดต้นทุนและเพิ่มผลผลิต ทำให้เกิดผลกำไรที่มีมูลค่าสูงสุดและยังสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าได้อีกด้วย สำหรับการปรับปรุงคุณภาพการผลิตจะสามารถลดปริมาณของงานเสียได้ โดยการวิเคราะห์หาข้อผิดพลาดที่แท้จริงของไอซีที่เกิดจากกระบวนการผลิตหรือกระบวนการ Fabrication เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงและแก้ไขขั้นตอนการผลิตต่อไป ซึ่งกระบวนการวิเคราะห์หาข้อผิดพลาดของไอซีมีขั้นตอนดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 กระบวนการวิเคราะห์หาข้อผิดพลาดของไอซี

จากภาพที่ 2.1 เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์หาข้อผิดพลาดของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการรับไอซีที่พบความผิดปกติจากกระบวนการทดสอบ ATE (Auto Metric Test Equipment) พร้อมทั้งไอซีที่ปกติเพื่อไว้เปรียบเทียบกันแต่ละขั้นตอน เริ่มต้นจากการตรวจสอบภายนอก เพื่อดู Package ภายนอกว่ามีความผิดปกติหรือไม่ จากนั้นนำไอซีไปเอ็กซเรย์เพื่อตรวจสอบลักษณะ Wire และ ไดภายในตัวไอซี ต่อด้วยนำมาวัดหากระแสรั่วไหลด้วยวิธีไอวีเค็ฟ หากไอวีเค็ฟไม่สามารถวัดค่ากระแสรั่วไหลของไอซีได้ก็ไม่สามารถวิเคราะห์หาสาเหตุข้อบกพร่องได้ แต่หากไอวีเค็ฟสามารถวัดค่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่ากระแสรั่วไหลได้ก็สามารถนำไอซีไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไปได้ คือ SAM ใช้หลักการสะท้อนของคลื่นวิทยุตรวจสอบดูภายในไอซี ต่อด้วยการเปิดหน้าไคเป็นการวิเคราะห์แบบทำลายชิ้นงานเพื่อตรวจสอบดูภายในไอซี เมื่อตรวจสอบแล้วไม่มีสิ่งใดผิดปกติ นำไอซีไปไออาร์-โอเบิร์ชเพื่อหาตำแหน่งของข้อบกพร่องบนหน้าไค หลังจากนั้นนำไอซีไปวิเคราะห์เชิงลึก เช่น การใช้สารเคมี การขัดแต่ละเลเยอร์ เพื่อหาชนิดของข้อบกพร่องต่อไป

2.2 ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์

ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ อุปกรณ์ประเภทสารกึ่งตัวนำที่รวบรวมฟังก์ชันการทำงานต่างๆ ไว้ภายในตัวของมันเอง โดยมีโครงสร้างใกล้เคียงกับคอมพิวเตอร์ คือ ภายในประกอบด้วยหน่วยรับข้อมูลและโปรแกรม หน่วยประมวลผล หน่วยความจำ หน่วยแสดงผล ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้มีความสมบูรณ์ในตัว ทำให้ขนาดเล็กและสามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ที่เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน

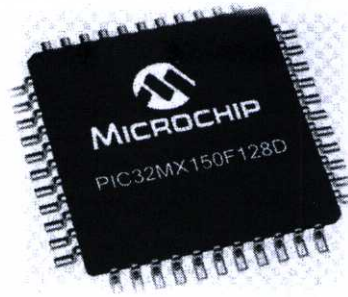
2.2.1 ส่วนประกอบทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์

1. หน่วยประมวลผลกลาง (Control Processing Unit)
2. หน่วยความจำ ซึ่งประกอบด้วย RAM (Random Access Memory) และ EEPROM / EPROM / PROM / ROM (Erasable Programmable Read Only Memory)
3. หน่วยรับ และแสดงผลข้อมูล (Input / Output) ซึ่งมีพอร์ตขยายแบบขนาน (Parallel) และอนุกรม (Serial)
4. ตัวนับเวลา (Timer)
5. หน่วยควบคุมการอินเทอร์รับ (Interrupt Controller)

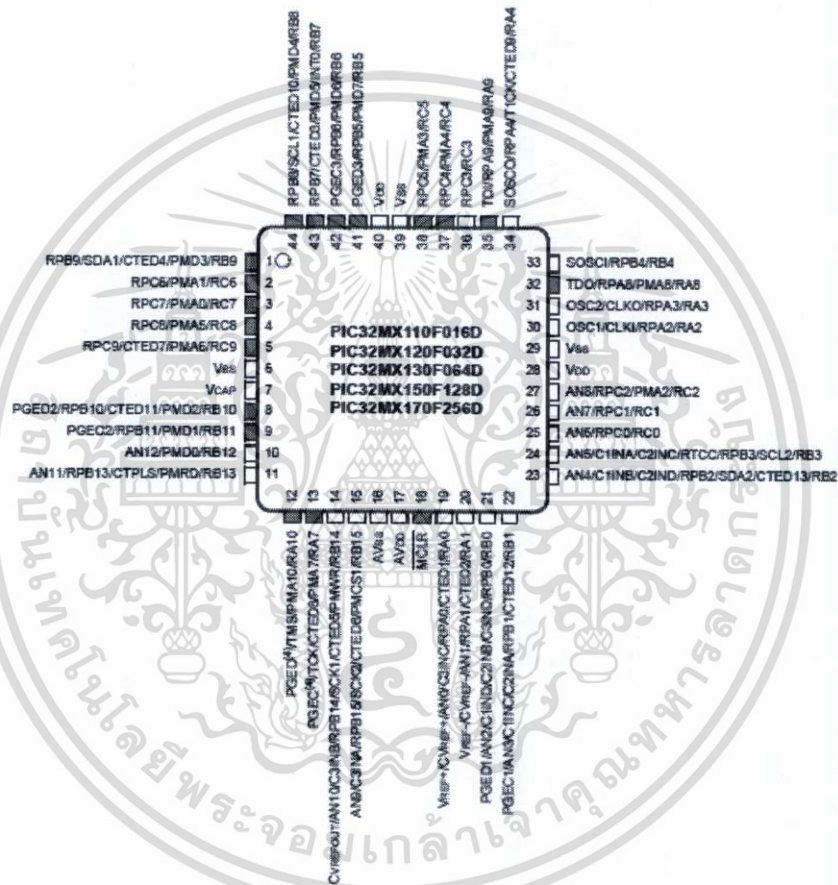
ส่วนประกอบเหล่านี้เป็นเพียงส่วนประกอบพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ยังมีส่วนประกอบอย่างอื่นอีก เพื่อเพิ่มเติมความสามารถขึ้นอยู่กับไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์ด้วย เช่น A/D (Analog to Digital), PWM (Pulse Width Modulator) เป็นต้น

2.2.2 ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล PIC32MX150F128D

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC32MX150F128D ดังภาพที่ 2.2 เป็นไอซีที่นำมาทดสอบระบบการวัดกระแสรั่วไหลโดยใช้วิธีเบนซ์เทสที่พัฒนาขึ้น มาเปรียบเทียบกับกรวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีไอวีเคิฟ และตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังภาพที่ 2.3 เพื่อให้ทราบการนำแต่ละขาไปใช้งานได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม



ภาพที่ 2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC32MX150F128D



ภาพที่ 2.3 ตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC32MX150F128D

ที่มา : <http://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC32MX150F128D>

โดยคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC32MX150F128D มีดังนี้

1. ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC32MX150F128D อยู่ในตระกูล PIC32
2. ความกว้างของบัสข้อมูล 32 bit
3. ทำงานที่ความถี่ 50 MHz
4. หน่วยความจำแฟลช 128 กิโลไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ขนาดข้อมูลใน RAM 32 KB
6. แรงดันที่ใช้งาน 2.3 V - 3.6 V
7. ค่าสูงสุดของอุณหภูมิในการใช้งาน +85 องศาเซลเซียส
8. ขนาดบิตอนาล็อก/ดิจิทัล 10 บิต
9. ประเภทอินเทอร์เฟซ I2C, SPI, UART, USB
10. ค่าต่ำสุดของอุณหภูมิในการใช้งาน -40 องศาเซลเซียส

จะเห็นได้ว่า PIC32MX150F128D เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ สะดวกต่อการใช้งาน ความกว้างของบัสข้อมูล 32 bit สามารถใช้งานที่ความถี่ 50 MHz มีขนาดหน่วยความจำของโปรแกรม 128 KB และหน่วยความจำใช้งานแบบ RAM 32 KB ซึ่งเหมาะสมกับการนำมาใช้งานที่ต้องเขียนโปรแกรมขนาดใหญ่ นอกจากนี้ยังสามารถอินเทอร์เฟซกับ I2C, SPI, USART, USB ได้อีกด้วย ถือว่าเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีทรัพยากรพื้นฐานครบถ้วน เหมาะสำหรับนำมาใช้งานในหลายด้านและนำไปประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการควบคุมและการประมวลผลต่าง ๆ เป็นอย่างดี

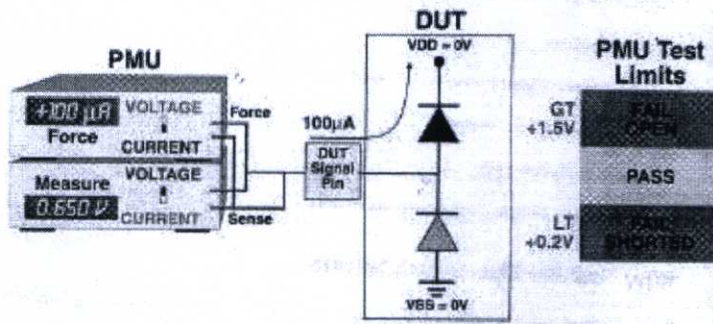
2.2.3 วงจรป้องกันของขาไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ (Protective Circuit Pin)

การทดสอบทางไฟฟ้า (Electrical Testing) เป็นการทดสอบเพื่อพิสูจน์ (Verify) พารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อใช้วิเคราะห์ว่าไอซีปกติหรือไม่ โดยทดสอบการเปิดและลัดวงจร (Opens and Shorts Test) การทดสอบนี้ บางครั้งเรียกว่า Continuity หรือ Contact Test สำหรับทดสอบว่ามีสัญญาณที่ขาอุปกรณ์หรือไม่ และขาเหล่านั้นมีการลัดวงจรกัน ลัดวงจรกับแหล่งจ่ายหรือกราวด์หรือไม่ การทดสอบแบบนี้ยังเป็นเครื่องบ่งชี้ว่าเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ Test Probe Card, Device Test Socket ต่ออย่างถูกต้องตรงกับตำแหน่งหรือไม่อีกด้วย

2.2.3.1 วิธีการในการทดสอบอุปกรณ์

อันดับแรกต่อขาสำหรับป้อนแรงดันและขากราวด์ ของอุปกรณ์ลงกราวด์ของแหล่งจ่ายไฟจากนั้นต่อขาของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับขาของอุปกรณ์ที่ต้องการทดสอบแล้วจ่ายกระแสเข้าไป ซึ่งมีผลทำให้ไดโอดที่ทำหน้าที่ป้องกัน (Protection Diode) ตัวใดตัวหนึ่งอยู่ในลักษณะไบแอสตรง ดังภาพ 2.4 และ 2.5 โดยหากป้อนกระแสบวกเข้าไปไดโอดตัวที่ต่อกับ VDD จะได้รับไบแอสตรง (Forward Bias) ซึ่งกระแสที่จ่ายเข้าไปมีค่าอยู่ระหว่าง 100 μA ถึง 500 μA ไดโอดที่ได้รับไบแอสตรงจะมีแรงดันตกคร่อมประมาณ 0.65 V ซึ่งแรงดันนี้สามารถใช้เป็นค่าในการตรวจสอบได้ ไม่ว่าจะเกิดการเปิดหรือลัดวงจรของขาอุปกรณ์ที่ทดสอบข้อดีของการทดสอบการเปิดและลัดวงจรนี้ คือ เมื่ออุปกรณ์ชำรุด ค่าแรงดันที่วัดได้ คือค่าแรงดันจริงที่สามารถวิเคราะห์ได้ว่าการลัดหรือเปิดวงจรได้ทันที แต่วิธีการนี้ มีข้อเสียในเรื่องต้องใช้เวลาสำหรับการตรวจสอบขาทุกขาของอุปกรณ์

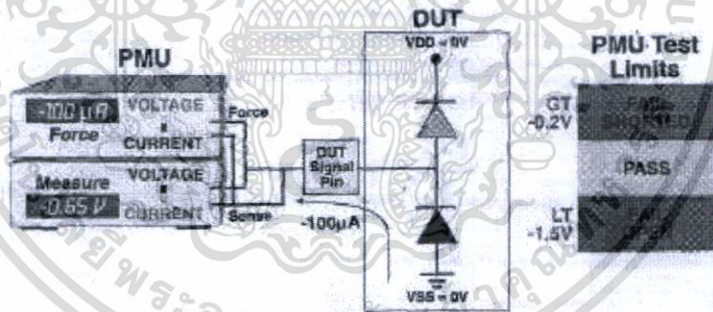
Opens/Shorts Test Serial/Static Method, VDD Diode



Ground all pins (including VDD).
Using PMU, force +100uA, one pin at a time.
Measure resultant voltage.
Fails test (open) if voltage measured is greater than +1.5V.
Fails test (shorted) if voltage measured is less than +0.2V.

ภาพที่ 2.4 การทดสอบ Opens / Shorts Test : VDD Diode
ที่มา : <http://sanong2003.tripod.com/icm1-05.htm>

Opens/Shorts Test Serial/Static Method, VSS Diode

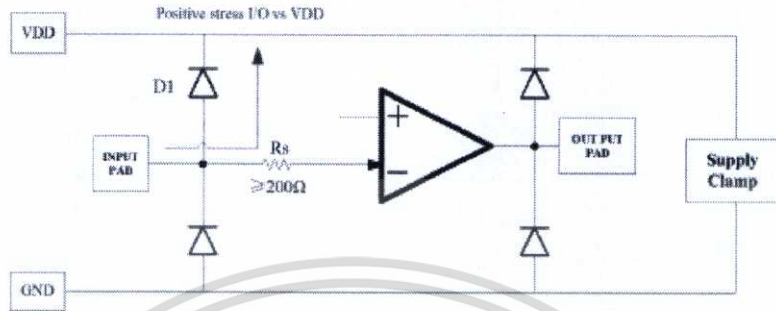


Ground all pins (including VDD).
Using PMU, Force -100uA, one pin at a time.
Measure resultant voltage.
Fails test (shorted) if voltage measured is greater than -0.2V.
Fails test (open) if voltage measured is less than -1.5V.

ภาพที่ 2.5 การทดสอบ Opens / Shorts Test : VSS Diode
ที่มา : <http://sanong2003.tripod.com/icm1-05.htm>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

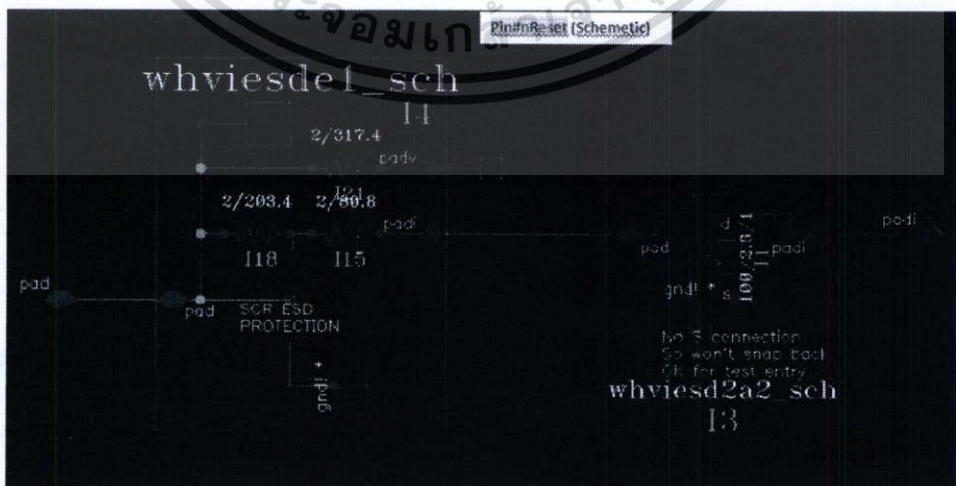
ขาของไอซีแต่ละขาจะมีวงจรป้องกัน เพื่อไม่ให้กระแสไฟฟ้าที่เกินกำหนดผ่านเข้าไปยังวงจรภายใน ดังผลงานวิจัยของ Liu Fan ได้วิจัยถึงวงจรป้องกัน ESD ของแต่ละขา (ESD Protective circuit pin) ดังภาพที่ 2.6 และเมื่อวิเคราะห์จาก Layout และ Schematic ของวงจรป้องกันจะแสดงดังภาพที่ 2.7 – ภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.6 วงจรความเร็วสูงของออปแอมป์และวงจรป้องกัน ESD



ภาพที่ 2.7 Layout ของงานที่มีวงจรป้องกัน ESD



ภาพที่ 2.8 Schematic ของงานที่มีวงจรป้องกัน ESD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ไอซีที่ปกติ (Good Unit) และไอซีที่ผิดปกติ (Reject Unit)

การทดสอบไอซี (Final Test) หลังจากที่ไอซีถูกประกอบ (Assembly) เป็นแพ็คเกจแล้ว เป็นขั้นตอนที่สำคัญต้องมีความถูกต้องและแม่นยำสูงมากเพื่อคัดแยกไอซีที่ปกติและไอซีที่ผิดปกติออกจากกัน โดยไอซีที่ปกติจะต้องผ่านการทดสอบฟังก์ชันการทำงานต่างๆ ในสภาวะแวดล้อมต่างๆ ตามที่ลูกค้าต้องการหรือข้อกำหนดที่ทางผู้ผลิตตั้งไว้ ส่วนไอซีที่ไม่ผ่านการทดสอบหรือไอซีที่ผิดปกติจะถูกคัดแยกออก นำไปสู่กระบวนการวิเคราะห์หาสาเหตุของข้อบกพร่อง (Failure Analysis) นั้นต่อไป เพื่อหาแนวทางการแก้ไขของสาเหตุที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการผลิตต่างๆ ยกตัวอย่างไอซีที่ปกติและไอซีที่ผิดปกติดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 ไอซีที่ผิดปกติและไอซีที่ปกติ

จากภาพที่ 2.9 แสดงไอซีที่ผิดปกติจากการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องเอ็กซเรย์ (X-ray) เมื่อเปรียบเทียบกับไอซีที่ปกติ โดยไอซีที่ผิดปกติเกิดจาก Wire ของขาที่ 3 Short กับ Ball Bond ของขาที่ 4 ทำให้ไม่ผ่านกระบวนการทดสอบ

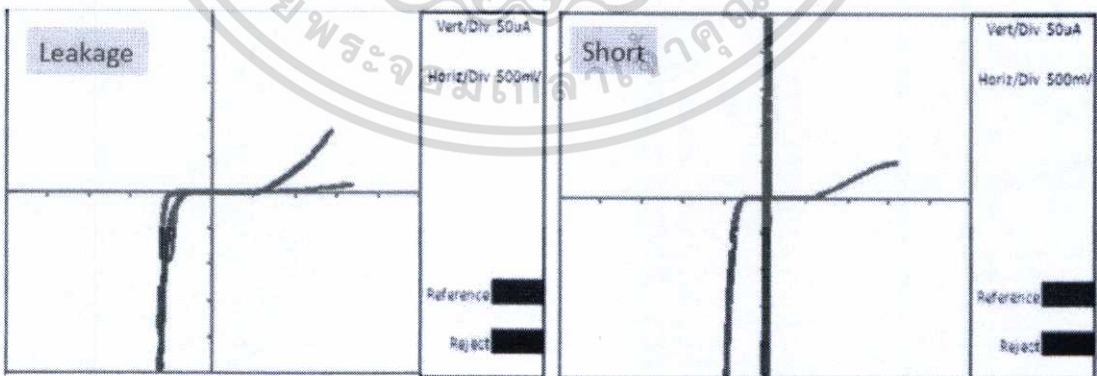
2.3 ความรู้พื้นฐานการเบนซ์เทส

เบนซ์เทสหรือการจำลองสภาวะการทำงานเสมือนจริง ใช้ในการตรวจสอบไอซีหรือตัวอย่างไอซี (Model) ตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์จำพวกซอฟต์แวร์ การเบนซ์เทส คือ การจำลองฟังก์ชันการทำงานเสมือนจริงสำหรับทดสอบไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ว่ามีประสิทธิภาพหรือไม่ แสดงดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 การเบนซ์ทดสอบสถานะการทำงานฟังก์ชันต่างๆ เพื่อหากระแสรั่วไหลของไอซี

สำหรับไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ การเบนซ์ทดสอบมีประโยชน์และช่วยในด้านการทดสอบได้มาก สามารถวัดค่ากระแสรั่วไหลและนำไปสู่การระบุตำแหน่งข้อบกพร่องของหน้าไดในกระบวนการไออาร์-โอเบ็ช (IR-OBIRCH) ได้ (Parin และสมาชิกร : 2017) การหาข้อบกพร่องในกระบวนการดังกล่าวได้ต้องมีการตรวจพบจากโอวีเค็ฟ ว่ากระแส Leakage หรือ Short เท่านั้น จึงจะสามารถเข้าสู่กระบวนการไออาร์-โอเบ็ช แสดงกราฟคุณลักษณะ ไอวี (I-V Curve Characteristic) ดังภาพที่ 2.11



ภาพ ก. โอวีเค็ฟแสดงกระแสรั่วไหล

ภาพ ข. โอวีเค็ฟแสดงกระแสลัดวงจร

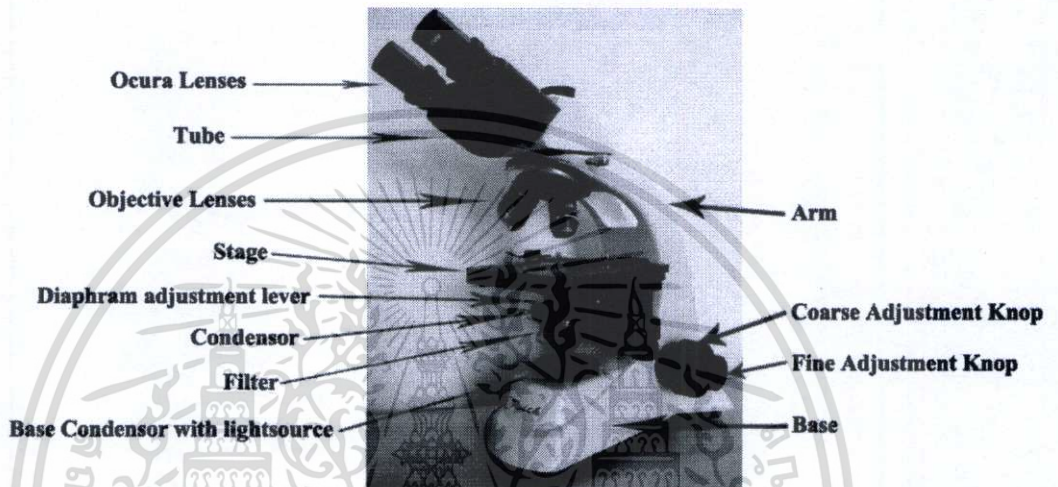
ภาพที่ 2.11 กราฟคุณลักษณะ ไอวี แสดงกระแสรั่วไหลและกระแสลัดวงจรของไอซีที่มีไม่ปกติเทียบกับไอซีที่ปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ไอซี

2.4.1 กล้องจุลทรรศน์ (Microscope)

กล้องจุลทรรศน์ เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการช่วยให้เห็นในสิ่งที่เล็กมากๆ เป็นเครื่องมือขยายขอบเขตของประสาทสัมผัสทางตา ให้เห็นสิ่งที่ไม่สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์ แสดงดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์

ที่มา : <http://nbschoolscitool.tripod.com/microscope.htm#top>

1. ฐาน (Base) ทำหน้าที่รับน้ำหนักทั้งหมดของกล้องจุลทรรศน์ มีภาพร่างสี่เหลี่ยม หรือ วงกลม ที่ฐานมีปุ่มสำหรับปิด-เปิดไฟฟ้า
2. อาร์ม (Arm) เป็นส่วนยึดลำกล้องและฐานไว้ด้วยกัน ใช้เป็นที่จับเวลาเคลื่อนย้ายกล้องจุลทรรศน์
3. ลำกล้อง (Body Tube) เป็นส่วนที่อยู่ต่อจากมือจับ มีลักษณะเป็นท่อกว้างปลายด้านบนมีเลนส์ใกล้ตาสวมอยู่ด้านบนอีกด้านหนึ่งมีชุดของเลนส์ใกล้วัตถุซึ่งติดอยู่กับจานหมุนที่เรียกว่า Revolving Nosepiece
4. แท่นวางวัตถุ (Stage) เป็นแท่นสำหรับวางสไลด์ตัวอย่างที่ต้องการศึกษา มีลักษณะเป็นแท่นสี่เหลี่ยม หรือวงกลมตรงกลางมีรูให้แสงจากหลอดไฟส่องผ่านวัตถุแท่นนี้สามารถเลื่อนขึ้นลงได้ ด้านในของแท่นวางวัตถุจะมีคริปสำหรับยึดสไลด์และมีอุปกรณ์ช่วยในการเลื่อนสไลด์ เรียกว่า Mechanical Stage นอกจากนี้ยังมีสเกลบอกตำแหน่งของสไลด์บนแท่นวางวัตถุ ทำให้สามารถบอกตำแหน่งของภาพบนสไลด์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เลนส์รวมแสง (Condenser) จะอยู่ด้านใต้ของแท่นวางวัตถุ เป็นเลนส์รวมแสง เพื่อรวมแสงผ่านไปยังวัตถุที่อยู่บนสไลด์ สามารถเลื่อนขึ้นลงได้โดยมีปุ่มปรับ

6. ไอริส ไดอะแฟรม (Iris Diaphragm) คือม่านปิดเปิดรูรับแสง สามารถปรับขนาดของรูรับแสงได้ตามต้องการ มีคันโยกสำหรับปรับขนาดรูรับแสงอยู่ด้านล่างใต้แท่นวางวัตถุ

7. เลนส์ใกล้วัตถุ (Objective Lens) จะติดอยู่เป็นชุดกับจานหมุน ซึ่งเป็นส่วนของกล้องที่ประกอบด้วยเลนส์ ซึ่งรับแสงที่ส่องผ่านมาจากวัตถุที่นำมาศึกษา (Specimen) เมื่อลำแสงผ่านเลนส์ใกล้วัตถุ เลนส์ใกล้วัตถุจะขยายภาพของวัตถุนั้น และทำให้ภาพที่ได้เป็นภาพจริงหัวกลับ (Primary Real Image) โดยเลนส์ใกล้วัตถุจะมีกำลังขยายต่าง ๆ กัน ได้แก่

7.1 เลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยายต่ำ (Lower Power) กำลังขยาย 5X, 10X

7.2 เลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยายสูง (High Power) 50X

7.3 เลนส์ใกล้วัตถุแบบ Oil Immersion ขนาด 100X

8. Revolving Nosepiece เป็นส่วนของกล้องที่ใช้สำหรับหมุน เพื่อเปลี่ยนกำลังขยายของเลนส์ใกล้วัตถุ

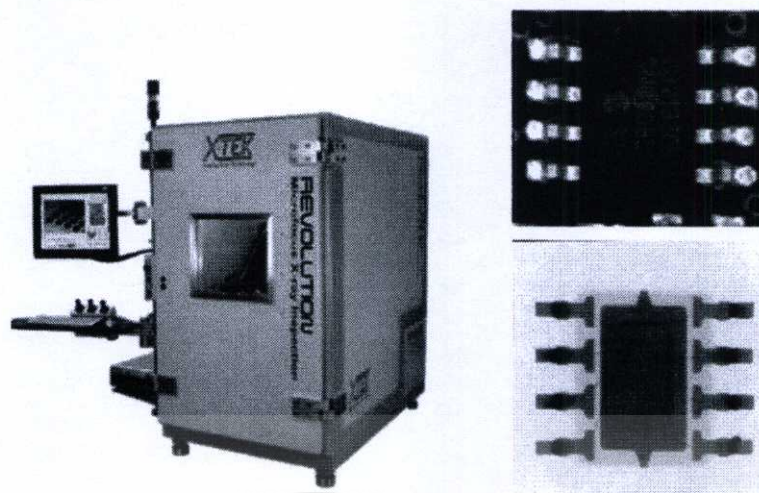
9. เลนส์ใกล้ตา (Eyepiece Lens หรือ Ocular Lens) เลนส์นี้จะสวมอยู่กับลำกล้อง มีตัวเลขแสดงกำลังขยายอยู่ด้านบน เช่น 5X, 10X หรือ 15X เป็นต้น กล้องที่ใช้ในปฏิบัติการจุลชีววิทยาทั่วไปนั้น มีกำลังขยายของเลนส์ตาที่ 10X รุ่นที่มีเลนส์ใกล้ตาเลนส์เดียว เรียก Monocular Microscope ชนิดที่มีเลนส์ใกล้ตาสองเลนส์ เรียก Binocular Microscope

10. ปุ่มปรับภาพหยาบ (Coarse Adjustment Knob) ใช้เลื่อนตำแหน่งของแท่นวางวัตถุขึ้นลง เมื่ออยู่ในระยะโฟกัส ก็จะมองเห็นภาพได้ ปุ่มนี้มีขนาดใหญ่จะอยู่ที่ด้านข้างของตัวกล้อง

11. ปุ่มปรับภาพละเอียด (Fine Adjustment Knob) เป็นปุ่มขนาดเล็กอยู่ถัดจากปุ่มปรับภาพหยาบออกมาทางด้านนอกที่ตำแหน่งเดียวกัน หรือกล้องบางชนิดอาจจะอยู่ใกล้ ๆ กัน เมื่อปรับด้วยปุ่มปรับภาพหยาบจนมองเห็นภาพแล้วจึงหมุนปุ่มปรับภาพละเอียดจะทำให้ได้ภาพคมชัดยิ่งขึ้น

2.4.2 เครื่องเอ็กซ์เรย์และหลักการกำเนิดรังสีเอ็กซ์

เครื่องเอ็กซ์เรย์เป็นเครื่องมือสร้างรังสีเอ็กซ์จากพลังงานไฟฟ้า โดยเร่งอิเล็กตรอนจากไส้หลอดเอ็กซ์เรย์ที่ถูกเผาให้ร้อนแล้วให้ อิเล็กตรอน เหล่านั้นไปชนเป้าโลหะที่มีเลขอะตอมสูงๆ เช่น ทังสเตน ทำให้เกิดการเปลี่ยนชั้นพลังงานของโลหะที่ใช้ทำเป้า และคายพลังงานออกมาในภาพรังสีเอ็กซ์โดยค่าที่ใช้ ควบคุมพลังงานของรังสีเอ็กซ์คือ ค่าแรงดันสูง(High voltage) ที่ป้อนให้หลอดเอ็กซ์เรย์และปริมาณของรังสีเอ็กซ์ ที่เกิดขึ้นจะกำหนดโดยค่ากระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอดและเวลาปล่อยรังสี (Time) ซึ่งลักษณะของเครื่องเอ็กซ์เรย์และไอซีที่นำไปเอ็กซ์เรย์ แสดงดังภาพที่ 2.13

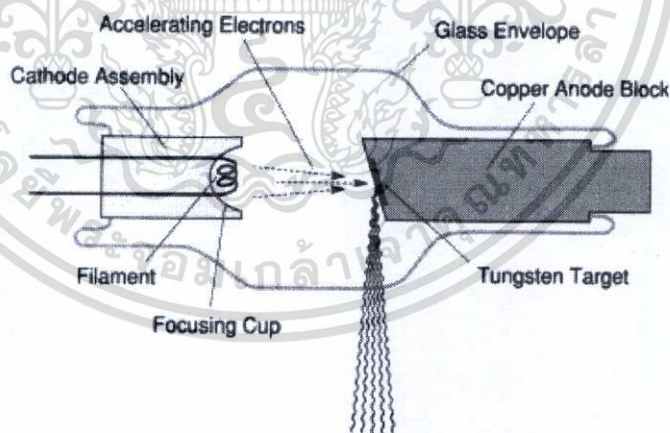


ภาพที่ 2.13 เครื่องเอ็กซเรย์และไอซีที่นำไปเอ็กซเรย์

ที่มา : www.xtekxray.com

2.4.2.1 ลักษณะโครงสร้างของหลอดเอ็กซเรย์

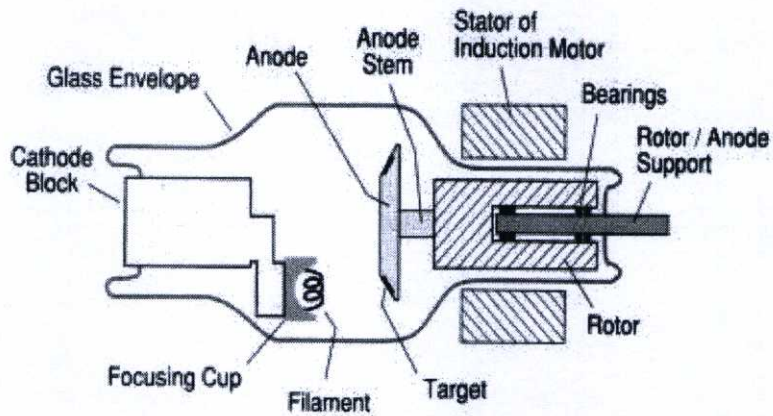
ส่วนประกอบของหลอดเอ็กซเรย์ทั้ง Stationary Anode และ Rotating Anode แสดงดังภาพที่ 2.14 และภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.14 แสดงโครงสร้างหลอดเอกซเรย์ชนิด Stationary Anode

ที่มา : <http://www.med.cmu.ac.th/dept/radiology/324321%5>

Cx_ray_vet321_55[1].pdf



ภาพที่ 2.15 แสดงโครงสร้างหลอดเอกซเรย์ชนิด Rotating Anode

ที่มา : <http://www.med.cmu.ac.th/dept/radiology/324321%5>

Cx_ray_vet321_55[1].pdf

2.4.2.1.1 แอนโนด (Anode)

แอนโนด ทำหน้าที่เป็นขั้วบวกของหลอดเอกซเรย์และบริเวณปลายขั้วยังออกแบบให้เป็นบริเวณที่เป็นเป้าสำหรับให้อิเล็กตรอนวิ่งชนเพื่อทำให้เกิดรังสีเอกซ์ บริเวณที่เป็นเป้าจะทำด้วยโลหะทังสเตน ดังภาพที่ 2.16



ภาพ ก. แบบ Stationary Anode

ภาพ ข. แบบ Rotating Anode

ภาพที่ 2.16 ลักษณะของหลอดเอกซเรย์แบบ Stationary Anode (ก) และ Rotating Anode(ข)

ที่มา : http://www.med.cmu.ac.th/x_ray

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.1.2 แคโทดและฟิลาเมนต์

แคโทด ทำหน้าที่เป็นขั้วลบของหลอดอิเล็กทรอนิกส์ บริเวณปลายขั้วแคโทดมี Focusing Cup (ทำหน้าที่ให้รวบรวมอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นเป็นลำอิเล็กตรอนที่มีทิศทางตรงกับเป้า Anode) ภายในมีไส้หลอดอิเล็กทรอนิกส์ (Filament) ไส้หลอดจะได้รับกระแสไฟฟ้า ทำให้ไส้หลอดอิเล็กทรอนิกส์ร้อนและมีอิเล็กตรอนมารอรอบๆ ไส้หลอด เรียกว่า Electron Cloud และเมื่อทำให้ความต่างศักย์ระหว่างขั้วหลอดอิเล็กทรอนิกส์แอโนดกับแคโทดสูงมากเพียงพอ กลุ่มอิเล็กตรอนจะถูกเร่งจากขั้วแคโทด วิ่งไปชนเป้า (Target) ซึ่งอยู่ที่บริเวณแอโนด ก่อให้เกิดรังสีเอกซ์ออกมา

2.4.2.1.3 Filament

เป็นส่วนที่มีหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอน อยู่บริเวณด้านแคโทด มีลักษณะเป็นขดลวดสปริงทำด้วยโลหะทั้งสแตน โดยทั่วไปแล้วจะมี 2 ขนาดคือ Large Filament ใช้สำหรับการตั้งค่ากระแสผ่านหลอดอิเล็กทรอนิกส์ ประมาณ 200-500 mA และจะให้ Focal Spot Size ที่มีขนาดใหญ่ ส่วนไส้หลอดอีกอันคือ Small Filament จะทำให้เกิดขนาดของ Focal Spot Size ที่เล็กกว่า ใช้สำหรับการตั้งค่ากระแสผ่านหลอดอิเล็กทรอนิกส์ประมาณ 50-150 mA เท่านั้น ซึ่งทำให้ภาพถ่ายรังสีที่ได้มี Resolution ที่สูงกว่าการใช้ไส้หลอดขนาดที่โตกว่าเพราะมี Penumbra หรือ ความเงามัว ที่น้อยกว่า

2.4.2.2 การระบายความร้อนในหลอดอิเล็กทรอนิกส์

หลอดอิเล็กทรอนิกส์ขณะทำงานจะให้ความร้อนออกมามากถึง 99 % ของพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้หลอดอิเล็กทรอนิกส์ มีเพียง 1 % หรือน้อยกว่าที่เปลี่ยนเป็นพลังงานรังสี โดยทั่วไปแล้วหลอดอิเล็กทรอนิกส์จะมีน้ำมันภายในหลอดเป็นตัวระบายความร้อนเพื่อไม่ให้หลอดอิเล็กทรอนิกส์เสียหาย

2.4.2.3 Generator

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเครื่องให้กลายเป็น High Voltage เพื่อป้อนให้แก่หลอดอิเล็กทรอนิกส์ โดยทั่วไปแล้วจะมี 3 ระบบคือ

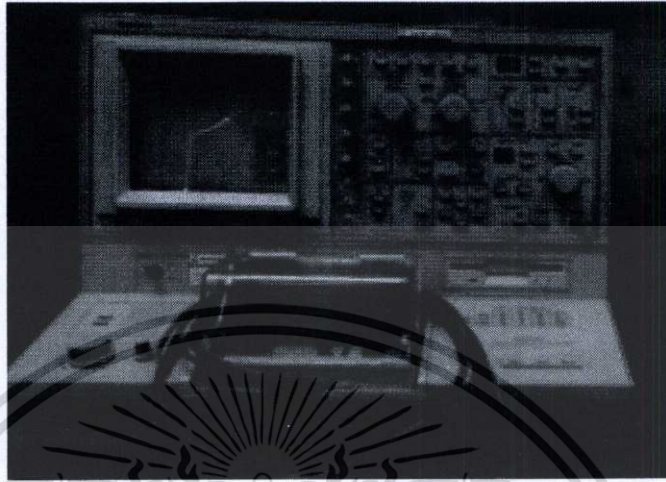
- 1.) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 เฟส (Single Phase Generator) เป็นเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ไฟฟ้าเฟสเดียว แบบใช้ในบ้านทั่วไป มีแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์
- 2.) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส (Three Phase Generator) เป็นเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดใหญ่กว่าแบบแรก ใช้ไฟฟ้าแบบสามเฟส มีแรงดันประมาณ 380 โวลต์
- 3.) เครื่องกำเนิดความถี่สูง (High Frequency Generator) เป็นแบบที่นิยมมากในปัจจุบัน เพราะสามารถให้ประสิทธิภาพสูงกว่า เมื่อเทียบกับ 2 แบบแรก ในด้านปริมาณและคุณภาพรังสีเอกซ์ที่ออกมาต่อพลังงานที่ให้เข้าไป และมีขนาดเครื่องเล็กลง

2.4.3 ไอวี่เคิฟ

เครื่องเคิฟเทรสเซอร์ มีประสิทธิภาพและมีลักษณะเฉพาะสำหรับการตรวจสอบภาพของแรงดันไฟฟ้าต่อเนื่องกับการตอบสนองของกระแสไฟฟ้า สำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่หลากหลาย

การวิเคราะห์ข้อผิดพลาดพบว่าเครื่องเคิฟเทรสเซอร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้บ่อยที่สุดในการวิเคราะห์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

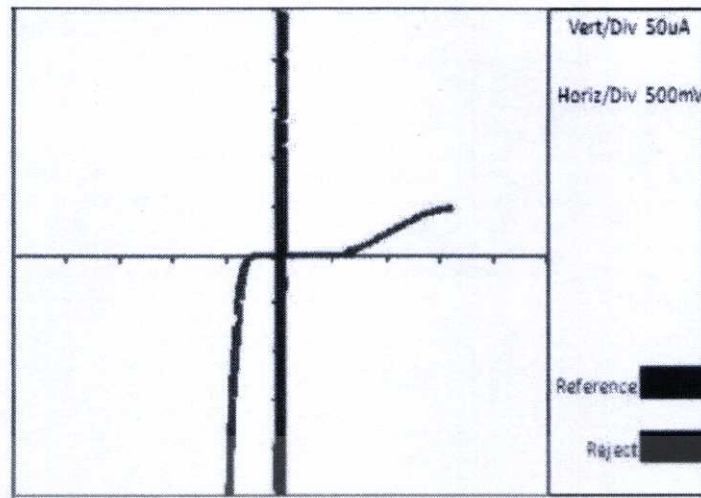
อุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ โดยต้องมีความเข้าใจอย่างลึกซึ้งเกี่ยวกับเครื่องมือและข้อมูลที่ได้จากไอวีเคิฟ เพื่อเพิ่มประโยชน์สูงสุดในการวิเคราะห์ ภาพเครื่องเคิฟเทรสเซอร์ แสดงดังภาพที่ 2.17



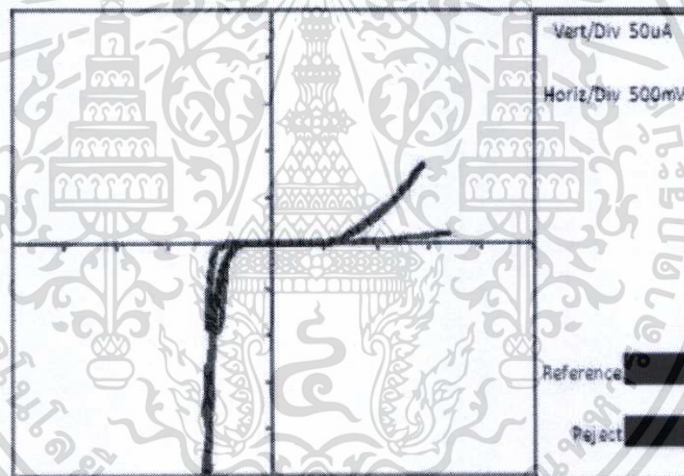
ภาพที่ 2.17 เครื่องเคิฟเทรสเซอร์

การวัดหาคะแสรั่วไหลของไอซีที่พบว่าผิดปกติในการใช้งานในแง่ของกระแสไฟฟ้า ซึ่งเราพบว่ามีความผิดปกติที่ขาใดของอุปกรณ์ เมื่อเปรียบเทียบผลการวัดกับไอซีที่สามารถใช้งานได้ปกติด้วยเครื่องเคิฟเทรสเซอร์ โดยวิธีการวัดขาที่ผิดปกติเทียบกับขากราวด์ ซึ่งผลกราฟไอวี ที่ได้จากการวัดมีหลากหลายภาพแบบ เช่น กราฟ Open คือกระแสไฟฟ้าไม่ไหลผ่านขาอุปกรณ์ของไอซีที่ผิดปกติ จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงในแกน V กราฟ Leakage คือ ไอซีที่ผิดปกติจะเกิดแรงดันที่จุดทำงานต่ำกว่า ไอซีที่ปกติ กราฟ Abnormal คือ ไอซีที่ผิดปกติจะเกิดแรงดันที่จุดทำงานสูงกว่าไอซีที่ปกติ กราฟ Short คือ กระแสไหลผ่านที่ขาอุปกรณ์โดยไร้ความต้านทาน กราฟจะมีลักษณะเส้นตรงตั้งฉากกับแกน V กราฟ Normal คือ กราฟที่ไอซีทั้งสองมีจุดทำงานแรงดันจุดเดียวกัน เมื่อได้ผลจากการวัดกระแสด้วยเครื่องเคิฟเทรสเซอร์แล้ว จะนำไปสู่กระบวนการหาตำแหน่งข้อผิดพลาดบนหน้าใด ด้วยเครื่องโออาร์-โอเบิร์ช ซึ่งขีดจำกัดของเครื่องโออาร์-โอเบิร์ช จะสามารถดำเนินการได้เพียง 2 กรณีจากการวัดไอวีเคิฟคือ กรณีที่ผลการวัดเป็น Leakage หรือ Short เท่านั้น เนื่องจากกระแสของไอซีที่ไม่ปกติจะมีค่าสูงกว่า แสดงดังภาพที่ 2.18 และภาพที่ 2.19 จะเห็นได้ว่ากรณีที่เครื่องเคิฟเทรสเซอร์ ไม่สามารถวัดความผิดปกติของกระแสไฟฟ้าได้ ก็จะไม่สามารถนำไปสู่กระบวนการโออาร์-โอเบิร์ช ได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.18 กราฟกระแสลัดวงจรของไอซีที่ไม่ปกติ

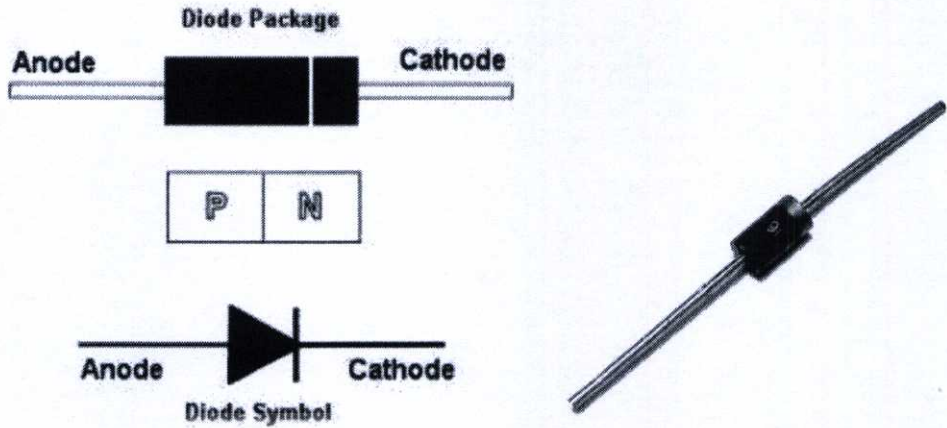


ภาพที่ 2.19 กราฟกระแสรั่วไหลของไอซีที่ปกติ

2.4.3.1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของ Semiconductor (Diode)

2.4.3.1.1 ไดโอด (Diode)

ไดโอด เป็นอุปกรณ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ p - n สามารถควบคุมให้กระแสไฟฟ้าจากภายนอกไหลผ่านตัวมันได้ทิศทางเดียว ไดโอดประกอบด้วยขั้ว 2 ขั้ว คือ แอโนด (Anode ; A) ซึ่งต่อกับสารกึ่งตัวนำชนิด p และ แคโทด (Cathode ; K) ซึ่งต่อกับสารกึ่งตัวนำชนิด n ดังภาพ ภาพที่ 2.20

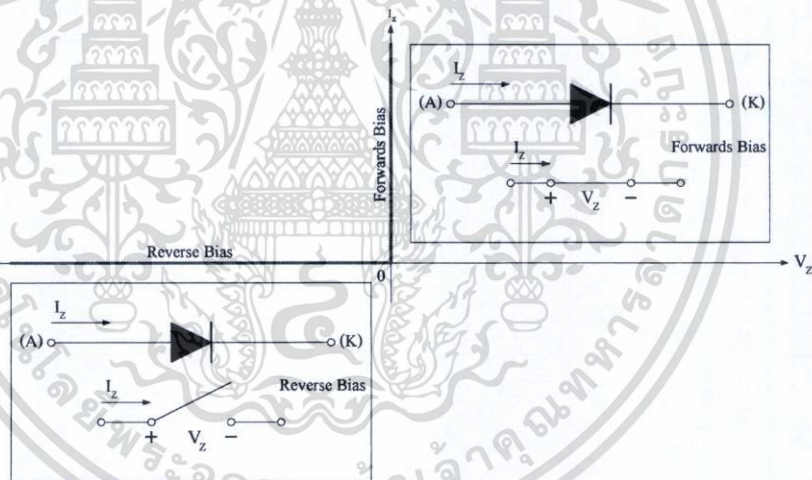


ภาพที่ 2.20 ไดโอดประกอบด้วยขั้ว 2 ขั้ว

ไดโอดในทางอุดมคติ (Ideal Diode)

ไดโอดในอุดมคติมีลักษณะเหมือนสวิตช์ที่สามารถนำกระแสไหลผ่านได้ในทิศทางเดียว ดัง

ภาพที่ 2.21



ภาพที่ 2.21 ไดโอดในทางอุดมคติ (Ideal Diode)

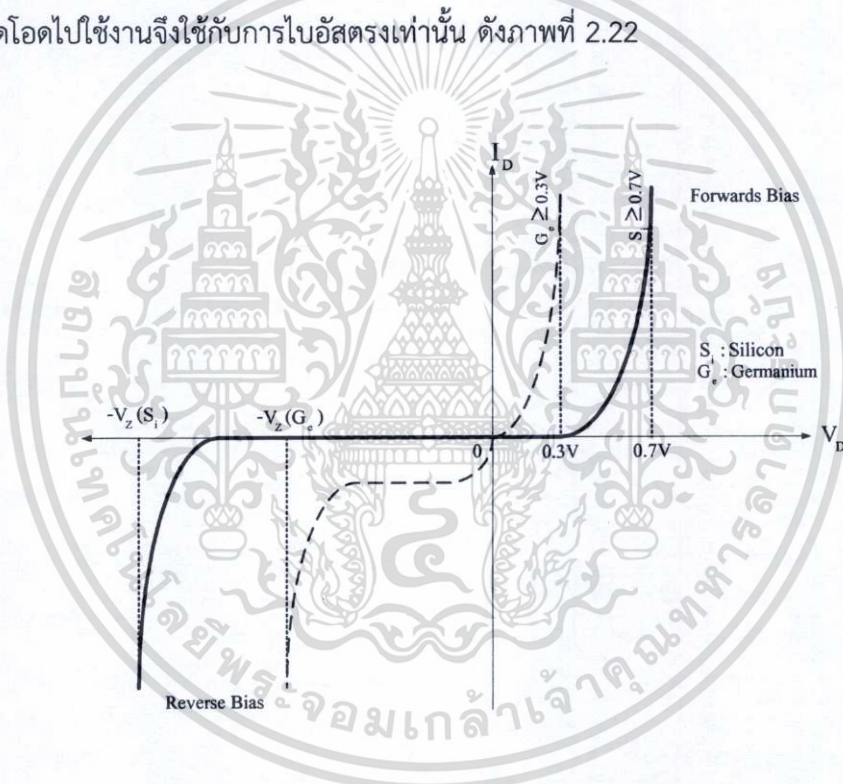
จากภาพถ้าต่อขั้วแบตเตอรี่ให้เป็นแบบไบอัสตรงไดโอดจะเปรียบเป็นเสมือนกับสวิตช์ที่ปิด (Close Switch) หรือไดโอดลัดวงจร (Short Circuit) I_d ไหลผ่านไดโอดได้ แต่ถ้าต่อขั้วแบตเตอรี่แบบไบอัสกลับ ไดโอดจะเปรียบเป็นเสมือนสวิตช์เปิด (Open Switch) หรือเปิดวงจร (Open Circuit) ทำให้ I_d เท่ากับศูนย์

ไดโอดในทางปฏิบัติ (Ideal Diode)

ไดโอดในทางปฏิบัติมีการแพร่กระจายของพาหะส่วนน้อยที่บริเวณรอยต่ออยู่จำนวนหนึ่ง ดังนั้น ถ้าต่อไบอัสตรงให้กับไดโอดในทางปฏิบัติก็จะเกิด แรงดันเสมือน ($V_{Ge} \geq 0.3V$; $V_{Si} \geq 0.7V$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การเขียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เผยแพร่ให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งต้านแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเพื่อการไบอัสตรง ขนาดของแรงดันเสมือนจึงเป็นตัวบอกจุดทำงาน ดังนั้นจึงเรียก แรงดันเสมือน อีกอย่างหนึ่งว่า แรงดันในการเปิด (Turn - On Voltage ; V_t) กรณีไบอัสกลับ Depletion Region จะขยายกว้างขึ้น แต่ก็ยังมีพาหะข้างน้อยแพร่กระจายที่รอยต่ออยู่จำนวนหนึ่ง แต่ก็ยังมีกระแสรั่วไหลอยู่จำนวนหนึ่ง เรียกว่า กระแสรั่วไหล (Leakage Current) เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าขึ้นเรื่อยๆ กระแสรั่วไหลจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่ไดโอดนำกระแสเพิ่มขึ้นมาก ระดับกระแสที่จุดนี้ เรียกว่า กระแสอิ่มตัวย้อนกลับ (Reverse Saturation Current ; I_s) แรงดันไฟฟ้าที่จุดนี้เรียกว่าแรงดันพังทลาย (Breakdown Voltage) และถ้าแรงดันไบอัสกลับสูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่ไดโอดทนได้เรียกว่า แรงดันพังทลายซีเนอร์ (Zener Breakdown Voltage ; V_z) ถ้าแรงดันไบอัสกลับสูงกว่า V_z จะเกิดความร้อนอย่างมากที่รอยต่อของไดโอด ส่งผลให้ไดโอดเสียหายหรือพังได้ แรงดันไฟฟ้าที่จุดนี้เรียกว่า แรงดันพังทลายอวาแลนซ์ (Avalanche Breakdown Voltage) ดังนั้นการนำไดโอดไปใช้งานจึงใช้กับการไบอัสตรงเท่านั้น ดังภาพที่ 2.22



ภาพที่ 2.22 กราฟคุณสมบัติของไดโอด

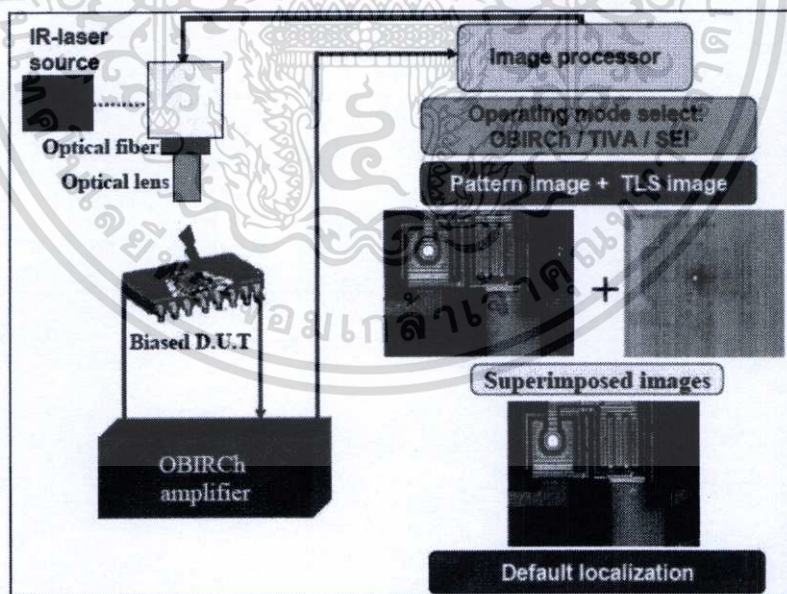
2.4.4 ไออาร์-โอเบิร์ช (Infra-Red-Optical Beam Induced Resistance Change :IR-OBIRCH)

ในการวิเคราะห์งาน Semiconductor ส่วนใหญ่ใช้วิธีไออาร์-โอเบิร์ช สำหรับการหาตำแหน่งข้อบกพร่องบนหน้าโดหลังจากการ De-cap (การเปิดหน้าโด) และไม่สามารถบ่งบอกถึงสาเหตุของข้อบกพร่องได้ เครื่องไออาร์-โอเบิร์ช แสดงดังภาพที่ 2.23 ซึ่งตำแหน่งข้อบกพร่องของไอซีหาได้จากเส้นทางกระแสรั่วไหลและจุดที่ค่าความต้านทานผิดปกติในตัวไอซีขณะทำการไออาร์-โอเบิร์ช ดังภาพที่ 2.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.23 เครื่องไออาร์-โอเปอร์ซ



ภาพที่ 2.24 ตำแหน่งขั้วบกร่องของไอซีจากเส้นทางกระแสรั่วไหลขณะไออาร์-โอเปอร์ซ

ที่มา : freescale semiconductor: 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

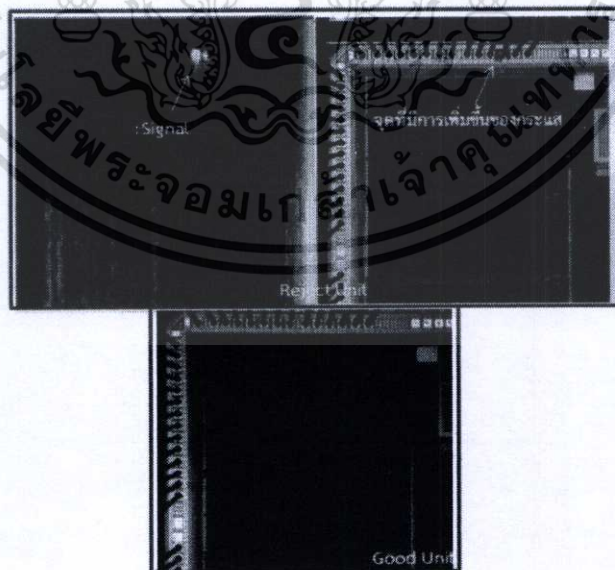
2.4.4.1 กระบวนการระบุตำแหน่งด้วยเครื่องไออาร์-โอเบิร์ช

ไออาร์-โอเบิร์ช เป็นเทคนิคที่มีความสำคัญมากในการวิเคราะห์หาชนิดความผิดพลาดของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ เพราะสามารถระบุตำแหน่งของความผิดพลาดบนหน้าไดเพื่อนำไปสู่กระบวนการหาสาเหตุที่แท้จริงที่ทำให้งานเกิดความผิดปกติได้ ซึ่งทำได้โดยการจ่ายแรงดันจากเครื่องไออาร์-โอเบิร์ช ให้กับงานที่มีความผิดปกติเทียบกราวด์ ดังภาพที่ 2.25 โดยเทียบผลที่ได้ระหว่างไอซีที่ปกติและไม่ปกติ ดังภาพที่ 2.26

หลักการของไออาร์-โอเบิร์ช จะใช้การจ่ายแรงดันและสแกนด้วยแสงเลเซอร์อินฟราเรด หาตำแหน่งที่เกิดความร้อนที่มีการเปลี่ยนแปลงของกระแสเพิ่มขึ้นบนหน้าไดมากที่สุดและคาดว่าตำแหน่งนั้นน่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ไอซีเกิดความบกพร่อง



ภาพที่ 2.25 การ Set Up เครื่องไออาร์-โอเบิร์ช



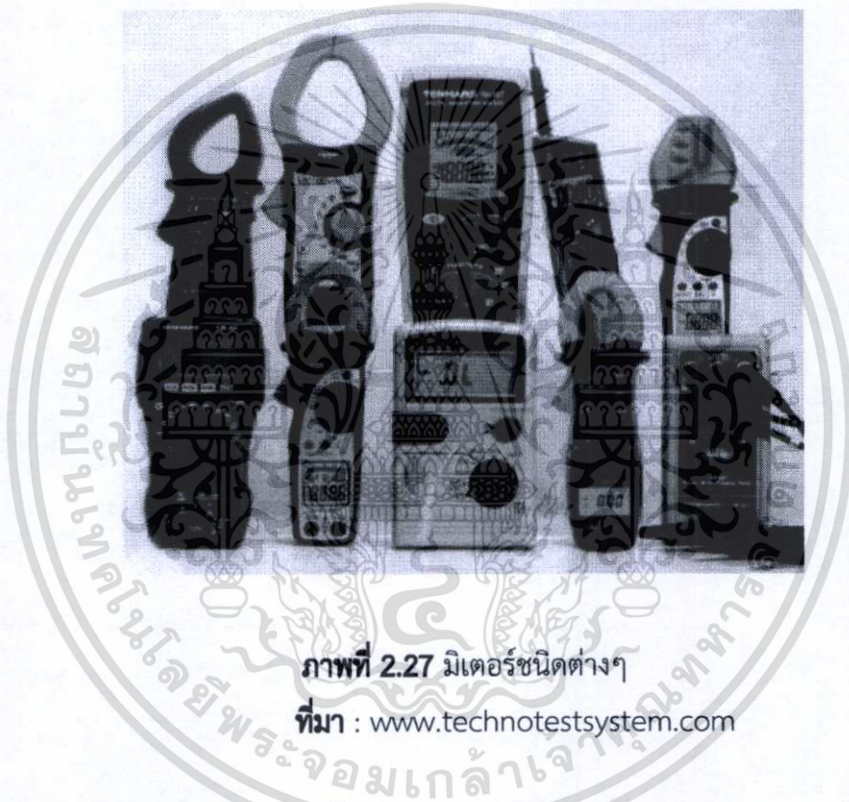
ภาพที่ 2.26 เปรียบเทียบความผิดปกติของผลจากไออาร์-โอเบิร์ช

ระหว่างไอซีที่ปกติและไอซีที่ไม่ปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 มัลติมิเตอร์

ใช้สำหรับวัดแรงดันไฟฟ้าหรือแรงเคลื่อนไฟฟ้า วัดกระแสไฟฟ้าและวัดค่าความต้านทาน เป็นต้น ดังภาพที่ 2.27 แต่เดิมเครื่องมือวัดนี้แยกชุดออกจากกัน เช่น สำหรับไฟ AC หรือไฟสลับก็เรียกว่า เอ ซี โวลต์มิเตอร์ (AC Volt Meter) หรือใช้วัดค่าความต้านทานก็เรียกว่า โห้มมิเตอร์ (Ohm Meter) เป็นต้น ซึ่งเป็นการยุ่งยากที่จะต้องพกเครื่องมือประเภทนี้ไปหลายๆ อย่าง เพื่อเป็นการประหยัดและให้เกิดความคล่องตัวในการใช้งาน จึงได้มีการพัฒนานำเอาเครื่องมือแต่ละชิ้นมารวมอยู่ในตัวเดียว เพื่อความสะดวกสบาย จึงเรียกเครื่องมือนี้ว่า มัลติมิเตอร์ (Multimeter) หมายถึงเอา มิเตอร์หลายๆ ชนิดมารวมอยู่ในตัวเดียวกัน



ภาพที่ 2.27 มิเตอร์ชนิดต่างๆ

ที่มา : www.technotestsystem.com

มัลติมิเตอร์ ประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

1. โห้มมิเตอร์ เครื่องวัดค่าความต้านทาน
2. โวลต์มิเตอร์ เครื่องวัดค่าแรงเคลื่อนหรือแรงดันไฟฟ้า
3. มิเลียม มิเตอร์ เครื่องวัดค่ากระแสไฟตรง

ทั้งหมดนี้รวมเรียกว่ามัลติมิเตอร์ หรือ (V.O.M. Meter)

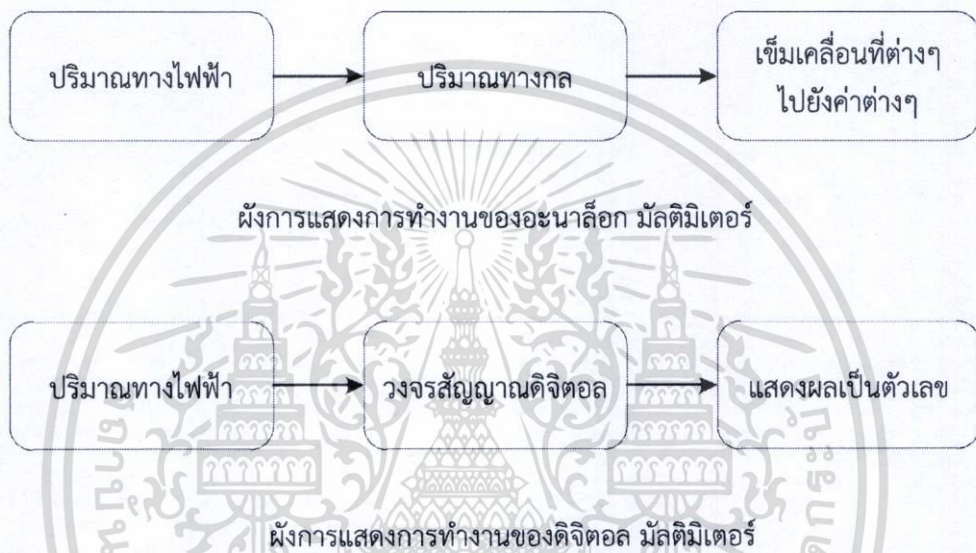
2.4.5.1 หลักการทำงานของมัลติมิเตอร์ (Multimeter)

หลักการทำงานของมัลติมิเตอร์ถูกพัฒนามาจาก กัลวาโนมิเตอร์ (Galvanometer) มีหลักการทำงานคือ เมื่อป้อนกระแสไฟเข้าไปจะทำให้ขดลวดเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งการเกิดอำนาจแม่เหล็กนี้จะส่งผลไปยังเข็มที่ยึดติดอยู่เกิดการเคลื่อนที่ ในปัจจุบันมีการพัฒนาจนกลายเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

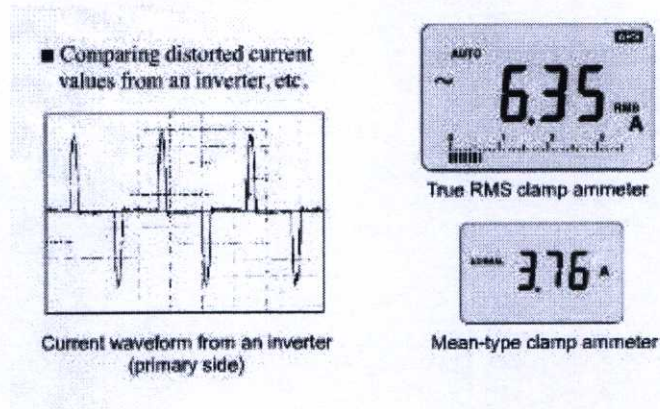
มัลติมิเตอร์ในภาพแบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นมัลติมิเตอร์แบบเข็ม (Analog Multimeter) และมัลติมิเตอร์แบบตัวเลข (Digital Multimeter) เป็นต้น

ความแตกต่างของการทำงานมัลติมิเตอร์แบบเข็มและดิจิตอลมัลติมิเตอร์นั้นคือ เมื่อมีปริมาณไฟฟ้าที่ต้องการวัดไหลเข้าสู่วงจร ถ้าเป็นมัลติมิเตอร์แบบเข็มจะเปลี่ยนปริมาณไฟฟ้าที่วัดเป็นปริมาณทางกลและขับไปยังเข็มที่ยึดติดไว้ทำให้เข็มนั้นเคลื่อนที่ไปยังค่าที่วัดได้ ส่วนดิจิตอลมัลติมิเตอร์จะเปลี่ยนปริมาณทางไฟฟ้านั้นส่งผ่านไปยังวงจรสัญญาณดิจิตอลและส่งต่อไปยังหน้าจอเพื่อแสดงผลเป็นตัวเลข แสดงดังภาพที่ 2.28



ภาพที่ 2.28 ผังแสดงการทำงานของอะนาล็อกและดิจิตอล มัลติมิเตอร์

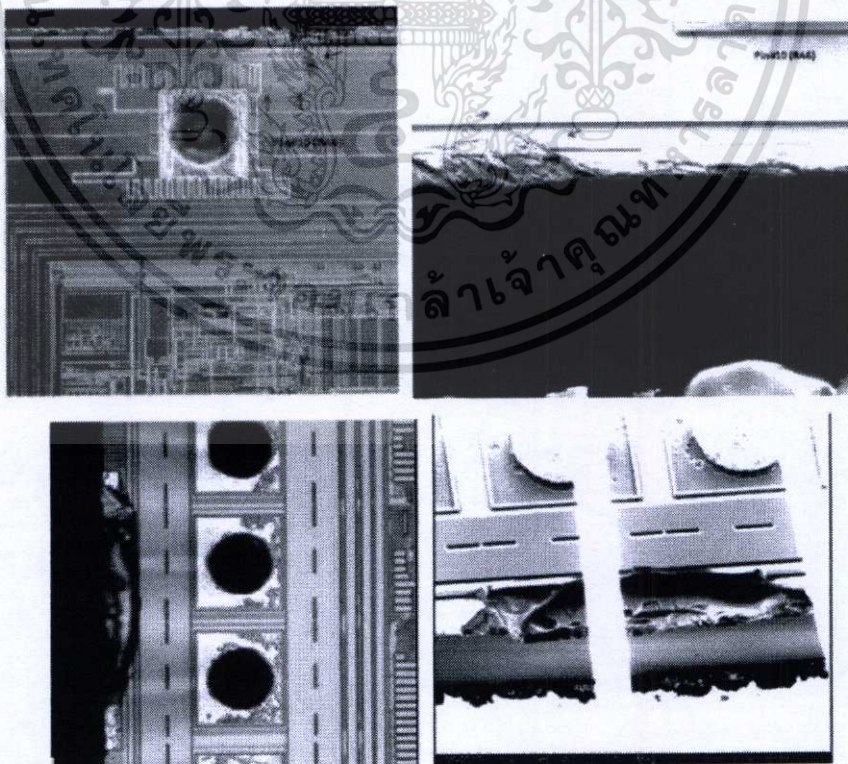
มัลติมิเตอร์สามารถวัดได้ทั้งไฟกระแสตรง (DC) และไฟกระแสสลับ (AC) ในบางครั้งที่วัดสัญญาณ AC ซึ่งสัญญาณเป็น Sine Wave นั้นอาจมีความถี่อื่นรวมอยู่ด้วย ซึ่งเรียกความถี่นั้นว่า Harmonic หากนำมัลติมิเตอร์แบบที่ไม่สามารถวัดค่าความถี่รวมนี้ได้ (มัลติมิเตอร์แบบ MEAN) ไปวัดค่าอาจทำให้ค่าที่ได้ไม่แม่นยำนัก ดังนั้นควรใช้มัลติมิเตอร์แบบ TRUE RMS ดีกว่า เพราะมัลติมิเตอร์แบบ TRUE RMS สามารถวัดค่าสัญญาณที่มีฮาร์โมนิรวมอยู่ได้ ทำให้ค่าที่ออกมา นั้นมีความแม่นยำกว่ามัลติมิเตอร์แบบ MEAN แสดงดังภาพที่ 2.29 ซึ่งมัลติมิเตอร์ประเภทนี้เหมาะสำหรับวัดอุปกรณ์ประเภท Inverter Control เพราะอุปกรณ์ประเภทนี้จะมี Thyristor, Inverter และอุปกรณ์ประหยัพลังงานต่างๆ ส่งผลให้เกิด Harmonic ปะปนในสัญญาณ



ภาพที่ 2.29 ค่าที่วัดได้จากมัลติมิเตอร์แบบ True RMS และ MEAN
ที่มา : www.google.com

2.5 รูปแบบของสาเหตุการเสียหาย

2.5.1 Chipped Crack Die หรือ Cracked Die คือไอซีที่ใดมีรอยบิ่นแตกร้าวหรือได้แตกร้าวเนื่องมาจากหลายสาเหตุ เช่น เกิดจากการตัดแผ่น Wafer เครื่องกลต่างๆ ในกระบวนการการผลิตโดนหน้าได หรือมีแรงกระแทกจากวัตถุอื่นๆ ลงบนตัวไอซีอย่างแรง ทำให้หน้าไดเสียหายได้ โดยภาพแบบ Chipped Crack Die หรือ Cracked Die แสดงดังภาพที่ 2.30



ภาพที่ 2.30 Chipped Crack Die

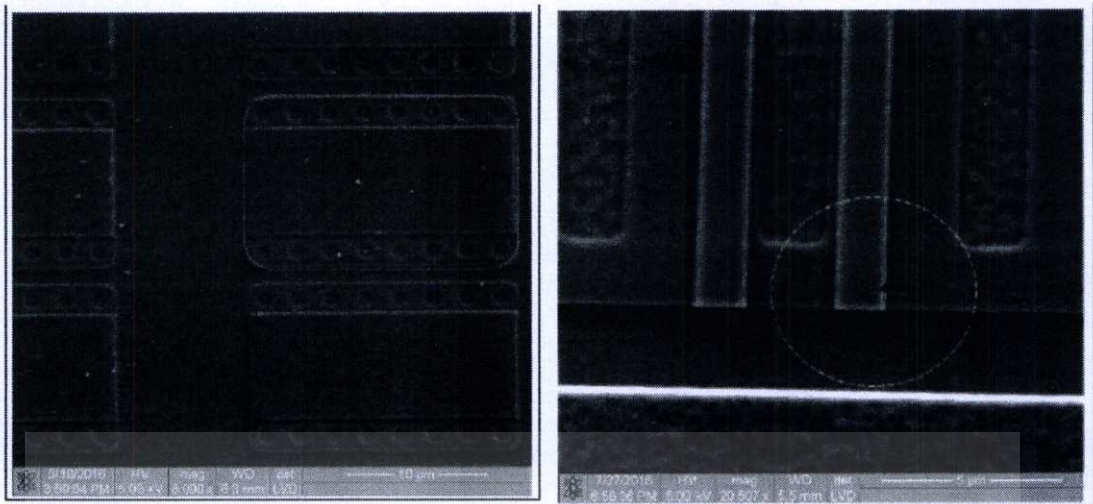
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 Electrical Over Stress หรือ EOS คือความเสียหายเนื่องจากไอซีได้รับศักดาหรือกระแสมากกว่าที่จะสามารถทนได้และอุปกรณ์ได้รับศักดาหรือกระแสนั้นไหลผ่านอยู่เป็นเวลานาน โดยทั่วไปแล้วสามารถเห็นร่องรอยของความเสียหายอันเนื่องมาจาก EOS ได้ได้กล้องจุลทรรศน์อัตราขยายต่ำ ลักษณะที่เห็นหลังจากเกิดความเสียหายจาก EOS คือ ผิวน้ำของ Die มีรอยไหม้ (Burnt) หรือเมื่อ Decapsule แล้วก็ยังคงเห็น Compound เหลือติดอยู่ที่ด้านหน้าของ Die โดยไม่ยอมหลุดร่อนออกง่ายๆ แสดงดังภาพที่ 2.31



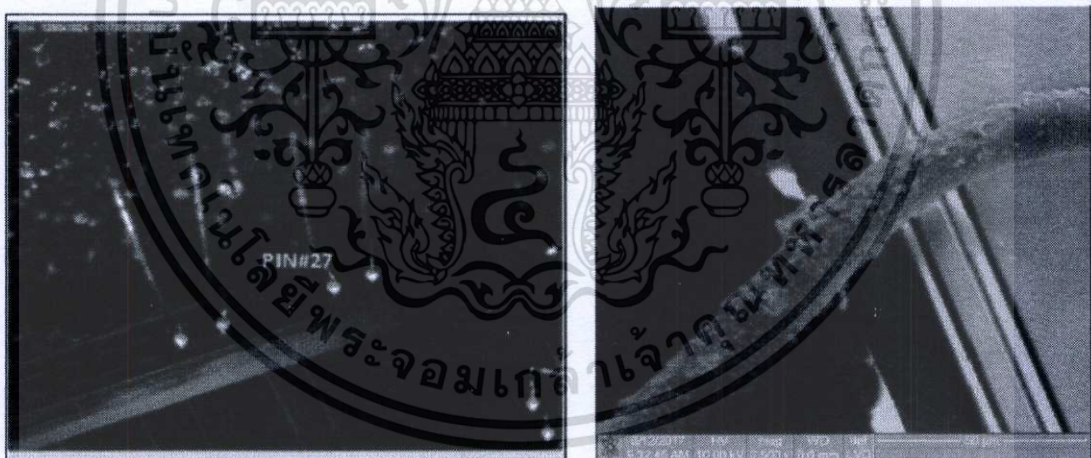
ภาพที่ 2.31 EOS บนหน้าได (Die)

2.5.3 Electrical Static Discharge หรือ ESD เกิดเนื่องจากการถ่ายเทประจุไฟฟ้าอย่างรวดเร็ว (ซึ่งอาจมีการกระโดดของกระแสไฟ เรียกว่า Spark เกิดขึ้นด้วย) ระหว่างวัตถุที่มีศักย์ไฟฟ้าต่างกัน (คือมีประจุต่างกัน) โดยทั่วไป ESD มีสองประเภทคือ HBM (Human Body Model) และ CDM (Charge Device Model) ไอซีเสียหายจาก ESD เมื่อวัสดุที่เป็นฉนวน (โดยทั่วไปคือออกไซด์) ไม่สามารถทนต่อความต่างศักย์ ทำให้ตัวมันเกิดความเสียหายและหมดสภาพ เกิดการ Breakdown ของฉนวนซึ่งทั่วไปสร้างมาจากออกไซด์ หากกรุนแรงสามารถทำความเสียหายให้กับ Metal Line ได้ด้วย โดย ESD แสดงดังภาพที่ 2.32



ภาพที่ 2.32 ESD บนหน้าได ถ่ายด้วยเครื่อง SEM

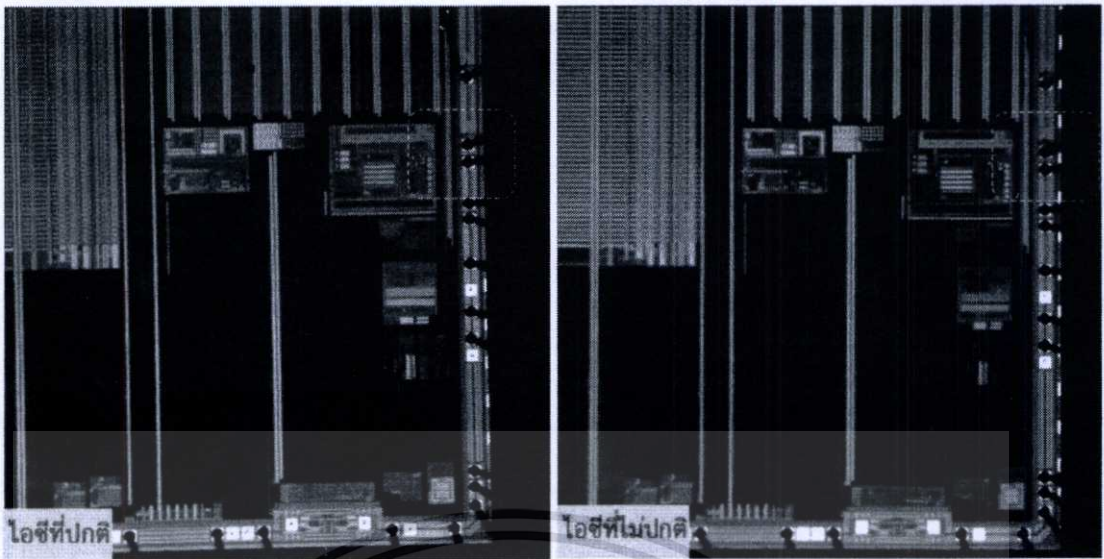
2.5.4 Wire Touch Die คือ ลักษณะที่ Wire หรือ เส้นลวดในการ Wire Bond ของไอซี มีการโค้งงอหรือผิดภาพจากลูปเส้นลวดปกติจนแตะขอบไดทำให้เกิดกระแสรั่วไหล มีลักษณะดังภาพที่ 2.33



ภาพที่ 2.33 Wire Touch Die

2.5.5 Die Relate (OBIRCH Abnormal On Die) คือ หน้าไดผิดปกติจากการกระบวนกรทดสอบไออาร์-โอเบิร์ช เป็นกระบวนการทดสอบไออาร์-โอเบิร์ชเพื่อหาตำแหน่งข้อบกพร่องของไอซี จากเส้นทางกระแสรั่วไหลและจุดที่ค่าความต้านทานผิดปกติบนหน้าได เมื่อมีความแตกต่างจากตำแหน่งที่กระแสรั่วไหลระหว่างไอซีที่ปกติกับไอซีที่ไม่ปกติ จะแสดงดังภาพที่ 2.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.34 Die Relate (OBIRCH Abnormal On Die)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

James Beall และ David Wilson (1991 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่อง Curve Tracer Application and Hints For Failure Analysis หรือการประยุกต์ใช้เคิฟเทรสเซอร์ สำหรับการวิเคราะห์หาข้อบกพร่องของไอซี ซึ่ง James Beall และ David Wilson ได้เห็นถึงความสำคัญของเครื่องเคิฟเทรสเซอร์ ว่ามีประสิทธิภาพและความสามารถที่มีลักษณะเฉพาะในการตรวจสอบการทดสอบแรงดันไฟฟ้ากับผลตอบสนองกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ผู้วิจัยด้านการวิเคราะห์หาข้อบกพร่องไอซีหลายคนพบว่าเครื่องเคิฟเทรสเซอร์ เป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งที่ถูกใช้บ่อยที่สุดในขั้นตอนการวิเคราะห์หาข้อบกพร่องของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Device) ผู้วิจัยจึงได้วิจัยโดยอธิบายถึงการทำงานของเคิฟเทรสเซอร์และการวิเคราะห์กราฟไอวี เคิฟเพื่อให้ความรู้ความเข้าใจอย่างมากขึ้นในการใช้เครื่องมือและข้อมูลจาก ไอวี เคิฟ สามารถวิเคราะห์หาสาเหตุได้ถูกต้อง

Chunlei Wu และ Berges Corinne (2010 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่อง Leakage Current Study and Relevant Fault Localization by IR-OBIRCH หรือ การศึกษากระแสรั่วไหลและการระบุตำแหน่งข้อบกพร่องโดยอินฟราเรด-โอบีอาร์ช ซึ่ง Chunlei Wu และ Berges ได้ศึกษาถึงกระบวนการวิเคราะห์หาข้อบกพร่องของไอซี โดยเห็นว่าการเกิดกระแสไฟฟ้ารั่วไหลภายในวงจรถือเป็นสาเหตุหลักทำให้ไอซีเกิดความเสียหาย ถึงแม้ว่ากระแสไฟฟ้ารั่วไหลภายในวงจรมีวงจรถือหลากหลายและแตกต่างกัน ก็สามารถที่จะวิเคราะห์หมวดหมู่ข้อบกพร่องของไอซี (Failure Mode) ได้ ในบางครั้งเป็นเรื่องยากที่หาความบกพร่องของไอซีได้โดยตรงจากเทคนิคอินฟราเรด-โอบีอาร์ช กับโหมดกระแสไฟฟ้ารั่วไหล หากกระแสไฟฟ้าที่รั่วไหลมีค่าน้อยมากๆ ก็ไม่สามารถตรวจสอบได้ ในส่วนของค่าความต้านทานการรั่วไหลของกระแสจะลดลงตามการรั่วไหลของกระแสหลัก ซึ่งทางที่ดีและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นต้นการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลอดภัยในการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของกระแสและตำแหน่งที่ผิดปกติคือการทำไออาร์-โอเบิร์ช เขาจึงได้ทำการทดสอบและพบว่าจากการทดสอบทั้ง 2 วิธีการนั้น ก็พิสูจน์ได้ว่าทฤษฎีนี้ประสบความสำเร็จ

Noorsyuhada Hat และ คณะ (2013 : บทความย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่อง Development of Failure Analysis Technique for Temperature Dependent Failures หรือการพัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์หาข้อบกพร่องของไอซีที่เกิดขึ้นจากอุณหภูมิ Noorsyuhada Hat และคณะผู้วิจัยได้เห็นถึงความต้องการและเจริญเติบโตที่มากขึ้นของผลิตภัณฑ์เซมิคอนดักเตอร์ (Semiconductor Product) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสาขาอุตสาหกรรมยานยนต์ ที่มีความต้องการไอซีที่สามารถทนทานต่อการใช้งานในย่านอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นได้ รายละเอียดที่ผู้บริโภคร้องขอที่ผู้วิจัยได้ศึกษาคือไอซีต้องมีความแข็งแรงน่าเชื่อถือและมีประสิทธิภาพต่อการใช้กับอุณหภูมิ ผู้ผลิตจึงจำเป็นต้องเลือกปัจจัยบางอย่างเพื่อนำมาทดลองก่อนจะนำไอซีไปใช้งานจริงหรือส่งขายต่อไป ในทางตรงข้ามกับการเตรียมความพร้อมหลังจากขายไอซี เช่น การวิเคราะห์หาข้อผิดพลาดของไอซีก็มีความสำคัญมากที่ต้องพิจารณา

ความผิดพลาดและข้อบกพร่องของไอซีเกิดจากอุณหภูมิทำให้เกิดความเสียหายและน่าสนใจในด้านการวิเคราะห์หาข้อบกพร่อง เขาจึงจำลอง (Simulate) ปัจจัยและเงื่อนไขที่ทำให้ไอซีเกิดความเสียหายที่อุณหภูมิร้อนและเย็น ใช้การประยุกต์ในขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบหาสาเหตุของข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น

บทความนี้ของ Noorsyuhada Hat และคณะมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพของไอซีที่เกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากอุณหภูมิ

Parin Dechmune และคณะ (2017: บทความย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่อง Leakage Current Measurement With The Bench Test In Watchdog Timer Power Down Mode For Microcontroller Device บทความวิจัยนี้กล่าวถึงการเบนซ์เทสสำหรับการวิเคราะห์ไอซี เพื่อระบุตำแหน่งข้อบกพร่องวงจรที่อยู่บนหน้าไดของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ การเบนซ์เทสในโหมด ipd_wdt เป็นประโยชน์อย่างมากเมื่อเคิฟ เทรสเซอร์ไม่สามารถตรวจจับกระแสไฟฟ้ารั่วไหลได้ในลักษณะกราฟ I-V Curve ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยกล่าวถึงการเบนซ์เทสในโหมด Watchdog Timer Power Down (Ipd_wdt) กับการปิดฟังก์ชันความถี่และฟังก์ชันการเขียนโปรแกรมควบคุม Watchdog Timer โดยใช้โปรแกรมภาษา C ซึ่งการเขียนโปรแกรมอ้างอิงจาก Datasheet แล้วตั้งค่ากำหนดการวัดกระแสรั่วไหล หลังจากนั้นนำไปสู่กระบวนการ OBIRCH หรือ Ion Emission เพื่อหาจุดบกพร่องบนวงจรในหน้าไดเป็นแนวทางการระบุประเภทของข้อบกพร่องนั้นต่อไป

ยรรยง ศรีสวัสดิ์ (2558 : บทความย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่องการศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปัญหาฟิล์มลอกของซิลิคอนเวเฟอร์ในการเคลือบผิวฟิล์มบางสำหรับอุปกรณ์เซ็นเซอร์อุณหภูมิ เพื่อศึกษาผลกระทบของ อุณหภูมิชิ้นงาน ความดันสุญญากาศ และ อัตราการระเหยสาร ที่ส่งผลต่อการลอกของฟิล์มบางในกระบวนการเคลือบแผ่นซิลิคอนเวเฟอร์สำหรับอุปกรณ์เซ็นเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิของโรงงานเคลือบผิวฟิล์มบางแห่งหนึ่ง โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคตอเรียลแบบเต็มภาพชนิด 23 แฟคตอเรียล เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปัญหาฟิล์มลอกของซิลิคอนเวเฟอร์ในการเคลือบผิวฟิล์มบางสำหรับอุปกรณ์เซ็นเซอร์อุณหภูมิ การทดลองครั้งนี้ใช้ตัวอย่างการทดลองโดยการสุ่มครั้งละ 2 ชิ้นรวมทั้งสิ้น 32 ชิ้น และมีการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง การทดสอบการยึดเกาะของฟิล์มบางใช้วิธีการกรีดผิวฟิล์มบางเป็นตารางด้วยหัวเพชรและ ใช้เทปกาวใสปิดทับบริเวณที่ถูกกรีดแล้วดึงขึ้นเพื่อประเมินอัตราการลอกของฟิล์มบาง การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จภาพมินิเทป 14 ผลการทดลองพบว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเกิดฟิล์มลอกที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) ได้แก่ อุณหภูมิของชิ้นงาน อันตรกิริยาระหว่าง อุณหภูมิชิ้นงานกับความดันสุญญากาศ และอันตรกิริยาสามปัจจัยหลักได้แก่ อุณหภูมิชิ้นงาน ความดันสุญญากาศ และ อัตราการระเหยสาร

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องรวมถึงแนวคิดและทฤษฎีต่างๆ ทางด้านการวิเคราะห์ไอซี รวมถึงอุปกรณ์และขั้นตอนที่ใช้ในการวิเคราะห์หาข้อผิดพลาดของไอซี แสดงให้เห็นว่าขั้นตอนที่มีความสำคัญมากในการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของตัวไอซี คือขั้นตอนการเคิฟเทรสเซอร์ เพราะสามารถเปรียบเทียบหาไอซีที่มีคุณภาพดีและไอซีที่เกิดความเสียหายออกจากกันได้ หากการเคิฟเทรสเซอร์ไม่สามารถระบุหรือวัดกระแสรั่วไหลของไอซีได้ ก็ไม่สามารถวิเคราะห์ไอซีในขั้นตอนต่อไปได้ ผู้วิจัยจึงได้ตัดสินใจเลือกการวัดกระแสรั่วไหลของไอซีด้วยวิธีการเบนซ์เทส เพื่อเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ไอซีกรณีเครื่องเคิฟเทรสเซอร์ไม่สามารถวัดกระแสรั่วไหลได้และนำผลการวัดด้วยวิธีนี้ไปสู่ขั้นตอนไออาร์-โอเบิร์ช เพื่อวิเคราะห์หารูปแบบของสาเหตุการเสียหายต่อไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยวิธีเบนซ์เทสนี้ เป็นการวิจัยเพื่อพัฒนาระบบการวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ในกรณีที่เครื่องเคิฟเทรสเซอร์ไม่สามารถวัดได้ ดังมีรายละเอียดตามหัวข้อต่อไปนี้

- 3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย
- 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
- 3.3 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
- 3.4 การวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยวิธีเบนซ์เทส
- 3.5 การทดลองกับกลุ่มตัวอย่างและเก็บข้อมูล
- 3.6 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีดังนี้

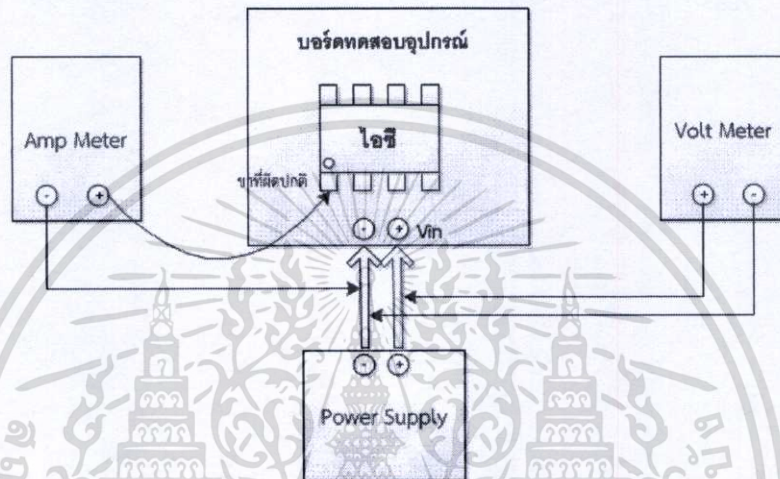
3.1.1 ประชากรที่ใช้ในการวิจัย คือ ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล PIC12, PIC16, PIC18, PIC24, PIC32 และ DSPIC33

3.1.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC12, PIC16, PIC18, PIC24, PIC32 และ DSPIC33 ใช้ในการวัดกระแสรั่วไหล และมีการวัดเปรียบเทียบผลการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทสระหว่างไอซีที่ปกติ (Good Unit) กับไอซีที่ไม่ปกติ (Reject Unit) จำนวน 40 ตัวอย่างจากประชากรทั้งหมด ตามหลักการของการวิจัยเชิงทดลองซึ่งต้องมีประชากรกลุ่มตัวอย่างอย่างน้อย 20 ตัวอย่าง (นงลักษณ์ วิรัชชัย. 2543:38)

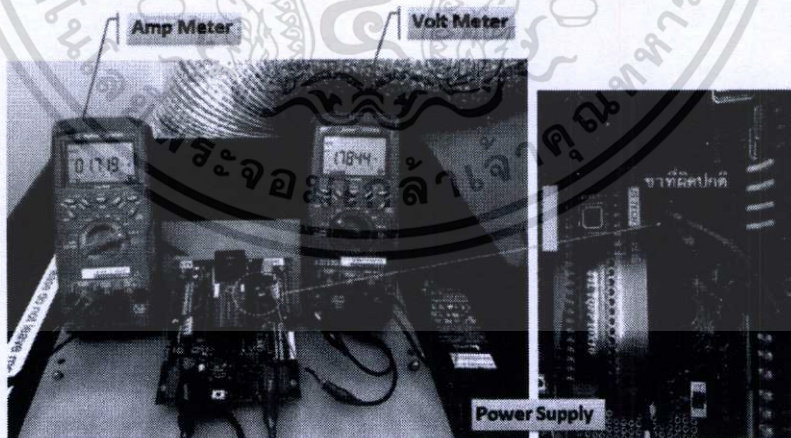
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 ระบบการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทส

เป็นระบบที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเพื่อวัดหากระแสรั่วไหลโดยประยุกต์มาจากงานวิจัยของ Parin และสมาชิก ซึ่งเป็นวิธีการเบนซ์เทสในโหมด IPD_wdt และ Noorsyuhada เพื่อหาความแตกต่างของอุณหภูมิในไอซี ดังภาพที่ 3.1



ภาพ ก. องค์ประกอบของการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทส



ภาพ ข. การเชื่อมต่ออุปกรณ์การเบนซ์เทส

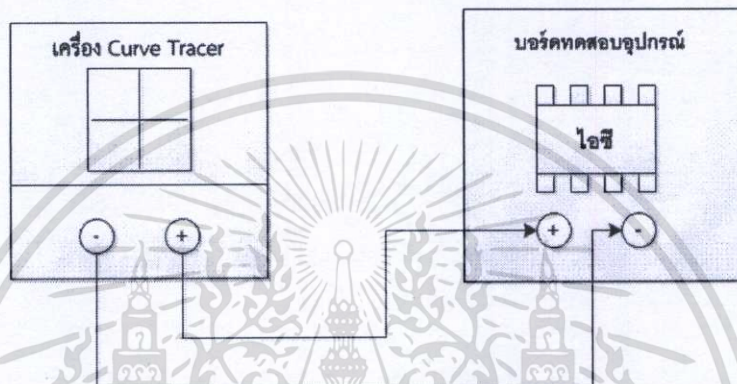
ภาพที่ 3.1 ระบบการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทส ประกอบด้วย ภาพ ก. องค์ประกอบของการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทส และ ภาพ ข. การเชื่อมต่ออุปกรณ์การเบนซ์เทส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

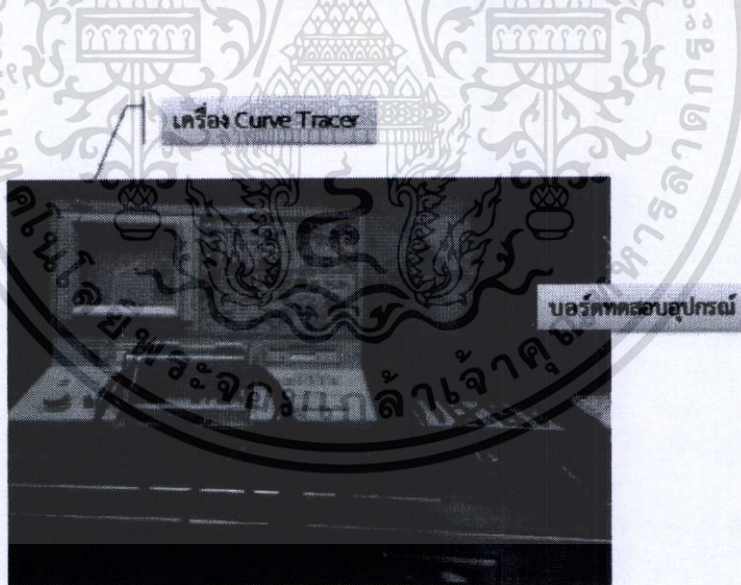
จากภาพที่ 3.1 เป็นระบบการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทส ซึ่งใช้แอมมิเตอร์ในการวัดกระแสรั่วไหลที่ขาคิดปกติของไอซีบนบอร์ดทดสอบอุปกรณ์ โดยมีเพาเวอร์ซัพพลาย (Power Supply) เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับบอร์ดทดสอบอุปกรณ์

3.2.2 ระบบการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีโอวีเคิฟ

เป็นการวัดหากระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้เครื่องเคิฟเทรเซอร์ ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษาและอ้างอิงจากงานวิจัยของ James Beall และ David Wilson ซึ่งมีองค์ประกอบดังภาพที่ 3.2



ภาพ ก. องค์ประกอบของการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีโอวีเคิฟ



ภาพ ข. การเชื่อมต่ออุปกรณ์การโอวีเคิฟ

ภาพที่ 3.2 ระบบการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีโอวีเคิฟ ประกอบด้วย

ภาพ ก. องค์ประกอบของการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีโอวีเคิฟ

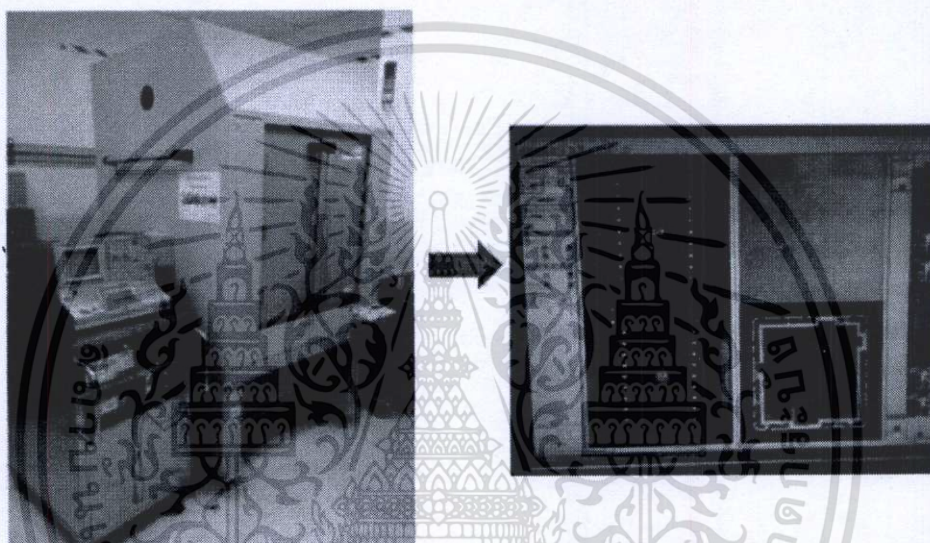
และ ภาพ ข. การเชื่อมต่ออุปกรณ์การโอวีเคิฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 3.2 เป็นระบบการวัดไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยวิธีไอวีเค็พจากเครื่องเค็พเทรสเซอร์โดยเครื่องเค็พเทรสเซอร์จ่ายแรงดันให้บอร์ดทดสอบอุปกรณ์ และประมวลผลออกมาเป็นกราฟคุณสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้า

3.2.3 กระบวนการระบุตำแหน่งด้วยเครื่องไออาร์-โอเบิร์ช

ไออาร์-โอเบิร์ชเป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญมากในการวิเคราะห์หาชนิดความผิดพลาดของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ เพราะสามารถระบุตำแหน่งของความผิดพลาดบนหน้าไดเพื่อนำไปสู่กระบวนการหาสาเหตุที่แท้จริงที่ทำให้งานเกิดความผิดปกติได้ดังภาพที่ 3.3

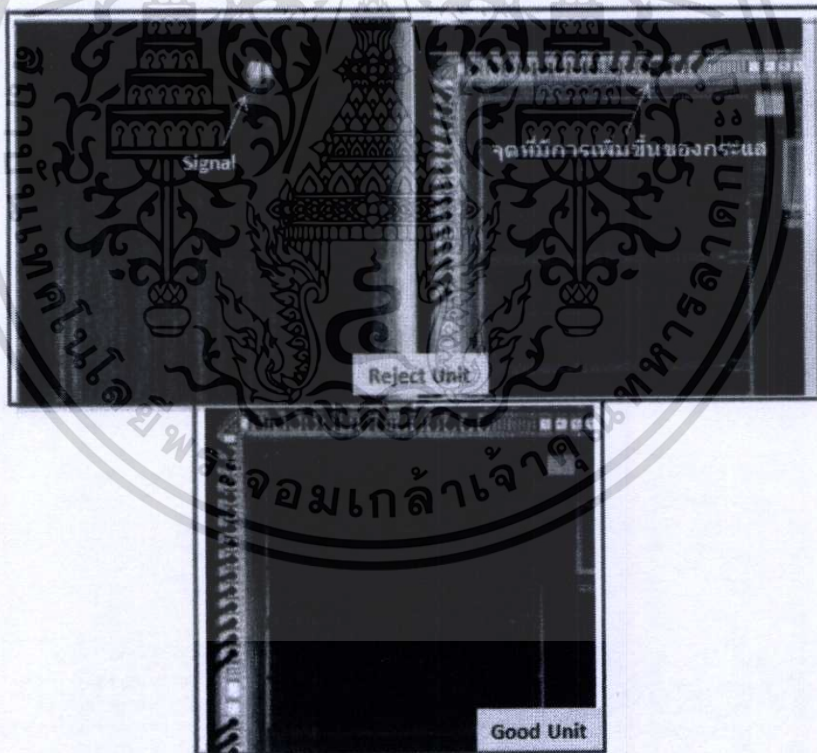


ภาพที่ 3.3 การไออาร์-โอเบิร์ช

วิธีการติดตั้งและใช้งาน ทำได้โดยการจ่ายแรงดันจากเครื่องไออาร์-โอเบิร์ช ให้กับบอร์ดทดสอบอุปกรณ์ดังภาพที่ 3.4 และเทียบผลที่ได้รับระหว่างไอซีที่ปกติและไอซีที่ไม่ปกติ ดังภาพที่ 3.5 ซึ่งหลักการของไออาร์-โอเบิร์ช ใช้การจ่ายแรงดันและสแกนด้วยแสงเลเซอร์อินฟราเรด เพื่อหาตำแหน่งข้อบกพร่องของไอซีจากเส้นทางกระแสรั่วไหลและจุดที่ค่าความต้านทานผิดปกติในตัวไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ขณะทำการไออาร์-โอเบิร์ช



ภาพที่ 3.4 การติดตั้งและใช้เทคนิคโออาร์-โอเบิร์ช



ภาพที่ 3.5 การเปรียบเทียบความผิดปกติของผลจากโออาร์-โอเบิร์ช
ระหว่างไอซีที่ปกติและไอซีที่ไม่ปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 แบบประเมินคุณภาพการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทส

แบบประเมินคุณภาพการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทส เป็นแบบประเมินมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ โดยมีเกณฑ์การจัดระดับคะแนนดังนี้

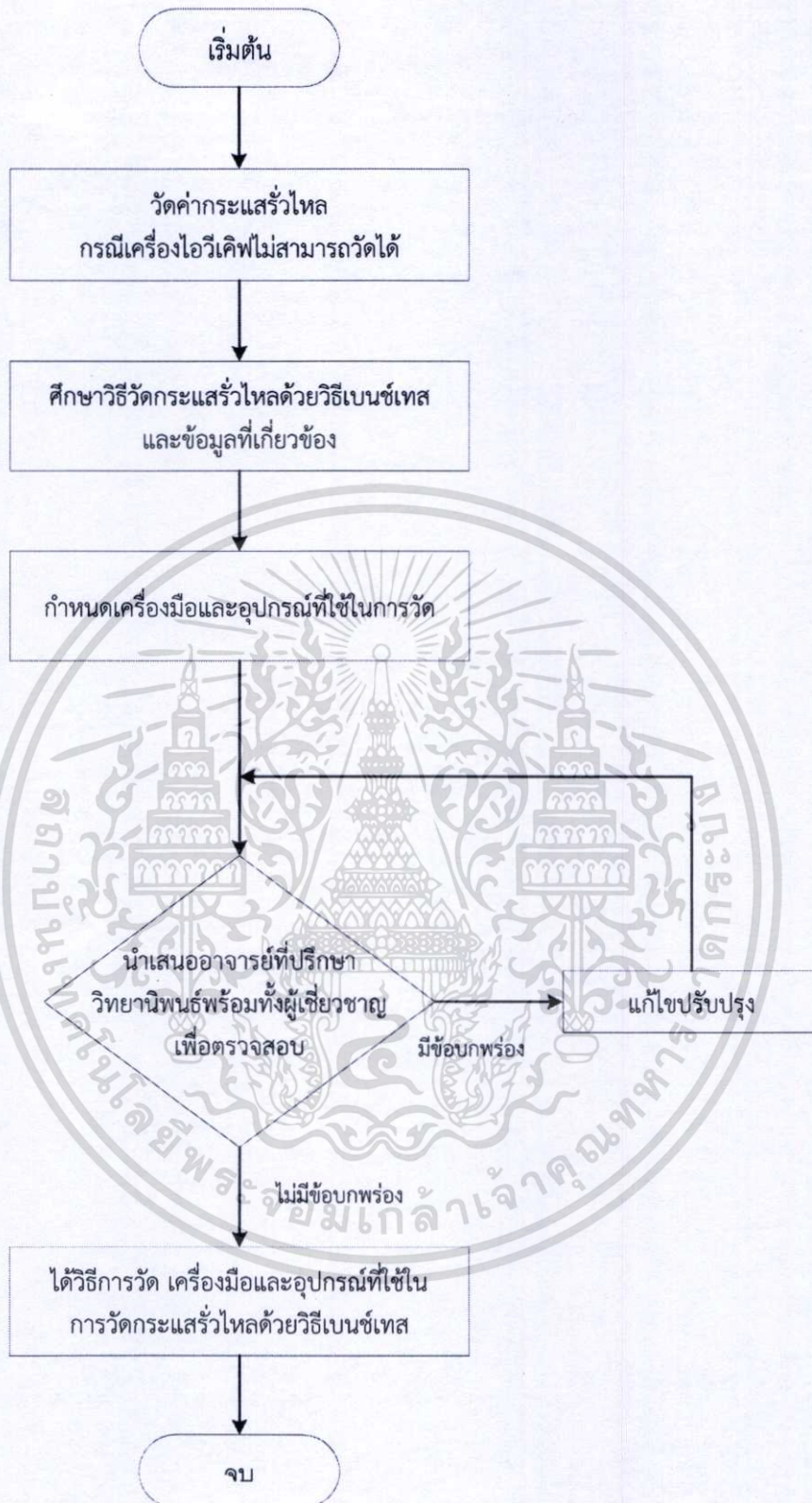
- 5 หมายถึง ผลการประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ ดีมาก
- 4 หมายถึง ผลการประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ ดี
- 3 หมายถึง ผลการประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ ปานกลาง
- 2 หมายถึง ผลการประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ พอใช้
- 1 หมายถึง ผลการประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ ต้องปรับปรุง

หลังจากประเมินแล้วจะนำมาหาค่าเฉลี่ย และการตีความหมายของคุณภาพได้ดังนี้

- ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.51 – 5.00 คุณภาพการวัดกระแสรั่วไหลอยู่ในระดับ ดีมาก
- ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.51 – 4.50 คุณภาพการวัดกระแสรั่วไหลอยู่ในระดับ ดี
- ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.51 – 3.50 คุณภาพการวัดกระแสรั่วไหลอยู่ในระดับ ปานกลาง
- ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.51 – 2.50 คุณภาพการวัดกระแสรั่วไหลอยู่ในระดับ พอใช้
- ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.00 – 1.50 คุณภาพการวัดกระแสรั่วไหลอยู่ในระดับ ต้องปรับปรุง

3.3 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ขั้นตอนในการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาการวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยวิธีเบนซ์เทส ดังแสดงในภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวัดกระแสรั่วไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาและวิเคราะห์หาวิธีการสร้างเครื่องมือในการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทส สามารถสรุปขั้นตอนได้ดังนี้

การกำหนดขาต่างๆ บนบอร์ดทดสอบอุปกรณ์ เป็นการกำหนดตำแหน่งขาที่ผิดปกติ (ซึ่งถูกระบุจากกระบวนการทดสอบ ATE : Auto Metric Test Equipment) มี 2 กรณีคือ

กรณีที่ 1 ขาที่ผิดปกติเป็นขา คู่ (เช่น ขา 2, 4, 6,...) และถูกทดสอบแรงดันที่ VDD หรือขาที่ผิดปกติเป็นขา คี่ (เช่น ขา 1, 3, 5,...) และถูกทดสอบแรงดันที่ 0 Volt จะกำหนดขาและแรงดันได้ดังนี้

- ขาคู่ที่เป็น อินพุต/เอาต์พุต ทั้งหมด ให้ได้รับไฟบวก (VDD)
- ขาคี่ที่เป็น อินพุต/เอาต์พุต ทั้งหมด ให้ได้รับไฟลบ (GND)

ตารางที่ 3.1 กรณีที่ 1

PIN/Leakage PIN (ขาที่เกิดกระแสรั่วไหล)	Even Pin (ขาคู่)	Odd Pin (ขาคี่)
I/O PIN	VDD	GND

กรณีที่ 2 ขาที่ผิดปกติเป็นขา คู่ (เช่น ขา 2, 4, 6,...) และถูกทดสอบแรงดันที่ 0 Volt หรือขาที่ผิดปกติเป็นขา คี่ (เช่น ขา 1, 3, 5,...) และถูกทดสอบแรงดันที่ VDD จะกำหนดขาและแรงดันได้ดังนี้

- ขาคู่ที่เป็น อินพุต/เอาต์พุต ทั้งหมด ให้ได้รับแรงดันลบ (GND)
- ขาคี่ที่เป็น อินพุต/เอาต์พุต ทั้งหมด ให้ได้รับแรงดันบวก (VDD)

ตารางที่ 3.2 กรณีที่ 2

PIN/Leakage PIN (ขาที่เกิดกระแสรั่วไหล)	Even Pin (ขาคู่)	Odd Pin (ขาคี่)
I/O PIN	GND	VDD

ส่วนการติดตั้งขา VDD ขา VSS ขา MCLR และ ขา OSC จะกำหนดขาและแรงดันได้ ดังนี้

- ขา VDD ให้ได้รับแรงดันบวก (VDD)
- ขา VSS และ ขา MCLR ให้ได้รับแรงดันลบ (GND)
- ขา OSC ให้ปล่อยว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

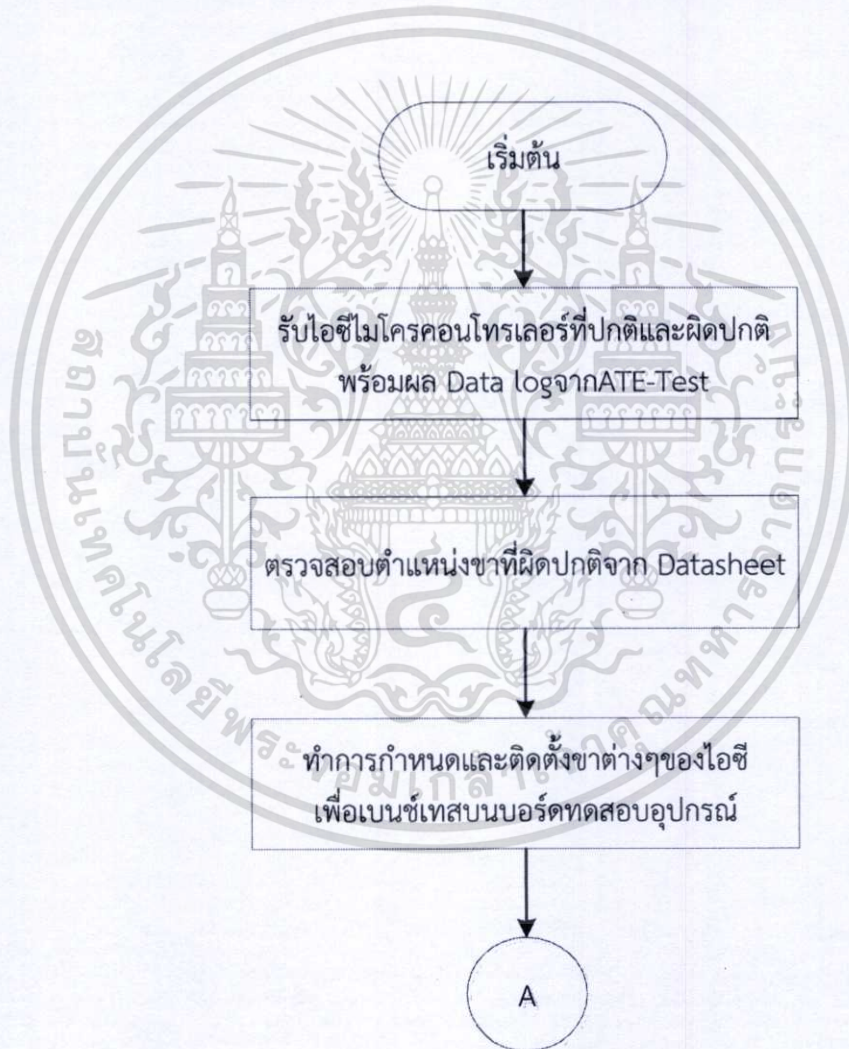
ตารางที่ 3.3 การติดตั้งขา VDD, VSS, MCLR และขา OSC

ขา VDD	ขา VSS, MCLR	ขา OSC
VDD	GND	Floating

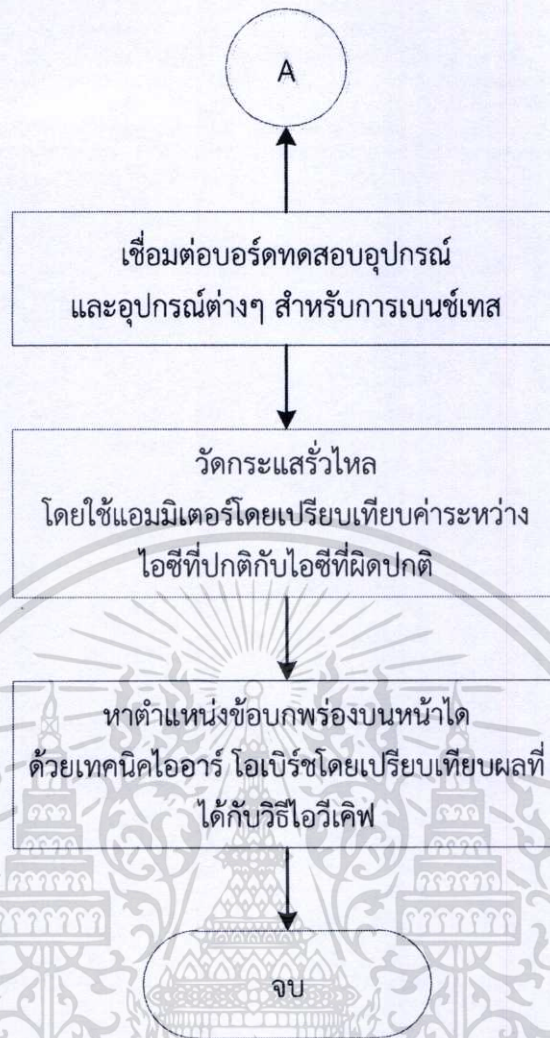
3.4 การวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยวิธีเบนซ์เทส

ขั้นตอนการวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยวิธีเบนซ์เทสดังแสดงในภาพที่

3.7

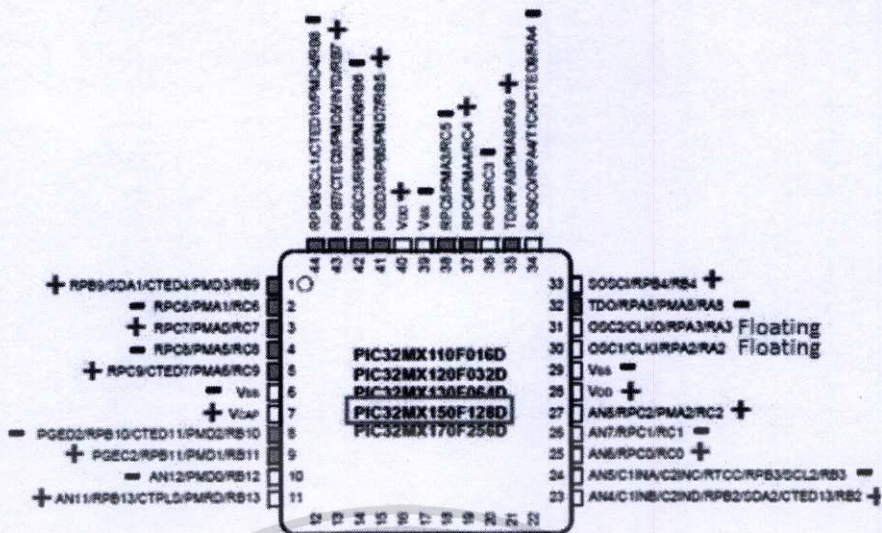


ภาพที่ 3.7 ขั้นตอนการพัฒนาการวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์

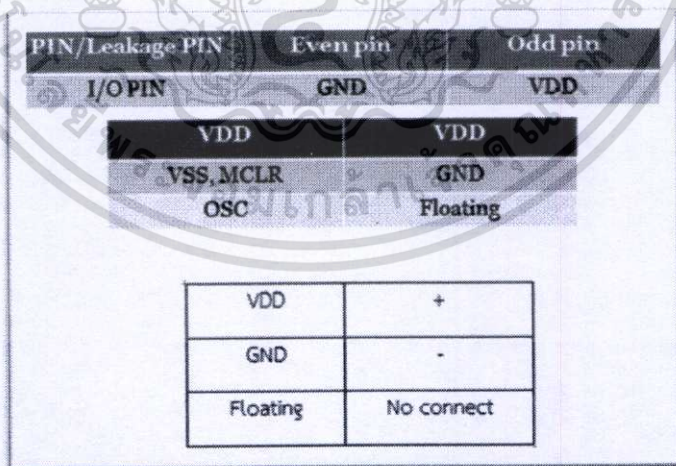


ภาพที่ 3.7 (ต่อ) ขั้นตอนการพัฒนาการวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์

การทดสอบการทำงานของการทำงานของการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทส ที่พัฒนาขึ้น โดยทดลองใช้อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC32MX150F128D สำหรับกรณีนี้จะเกิดกระแสรั่วไหลที่ขา RA0_1.8Volt (ซึ่งถูกระบุจากกระบวนการทดสอบ ATE) สามารถตรวจสอบข้อผิดพลาดต่างๆ ได้จาก Datasheet ซึ่ง ขา RA0 คือ ขา 19 ซึ่งเป็นเลขคู่ ดังนั้น จึงกำหนดให้ขาที่เป็น อินพุต/เอาต์พุต ทั้งหมด และกำหนดให้ ขา VDD ได้รับแรงดันบวก ส่วนขาที่เป็นอินพุต/เอาต์พุต ทั้งหมด และกำหนดให้ ขา VSS และ ขา MCLR ได้รับแรงดันลบ ดังภาพที่ 3.8 และเมื่อกำหนดขาต่างๆ บนบอร์ดทดสอบอุปกรณ์แล้วจะได้ดังภาพที่ 3.9



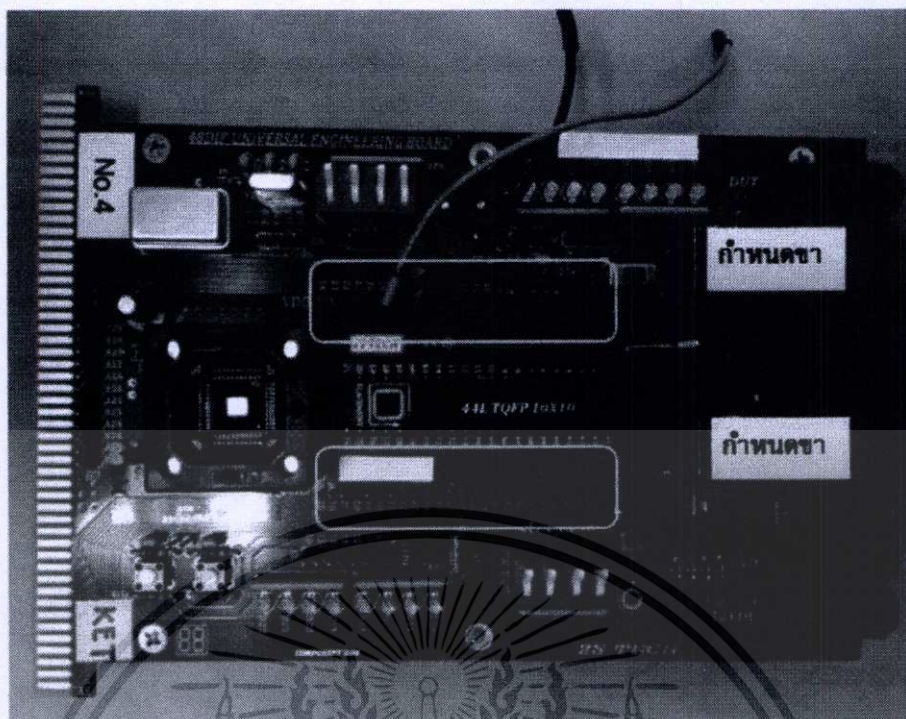
ภาพ ก. การกำหนดขาต่างๆ อ้างอิงจากPIC32MX150F128D



ภาพ ข. รูปแบบการกำหนดขาต่างๆ

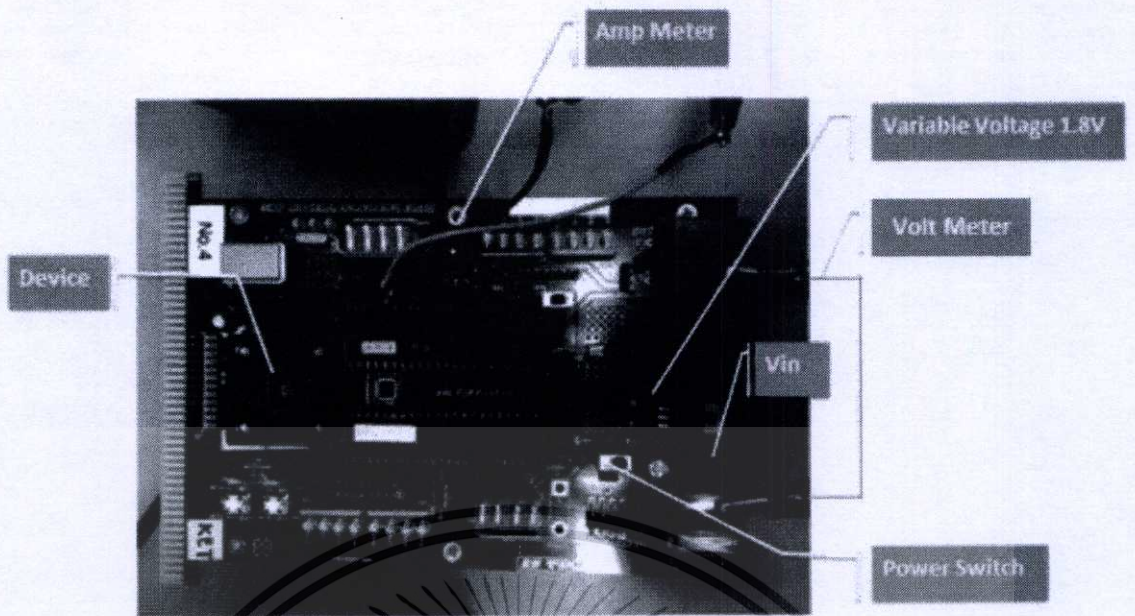
ภาพที่ 3.8 รูปแบบการกำหนดขาต่างๆ จาก Datasheet อ้างอิงจากPIC32MX150F128D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.9 การกำหนดค่าต่างๆ บนบอร์ดทดสอบอุปกรณ์

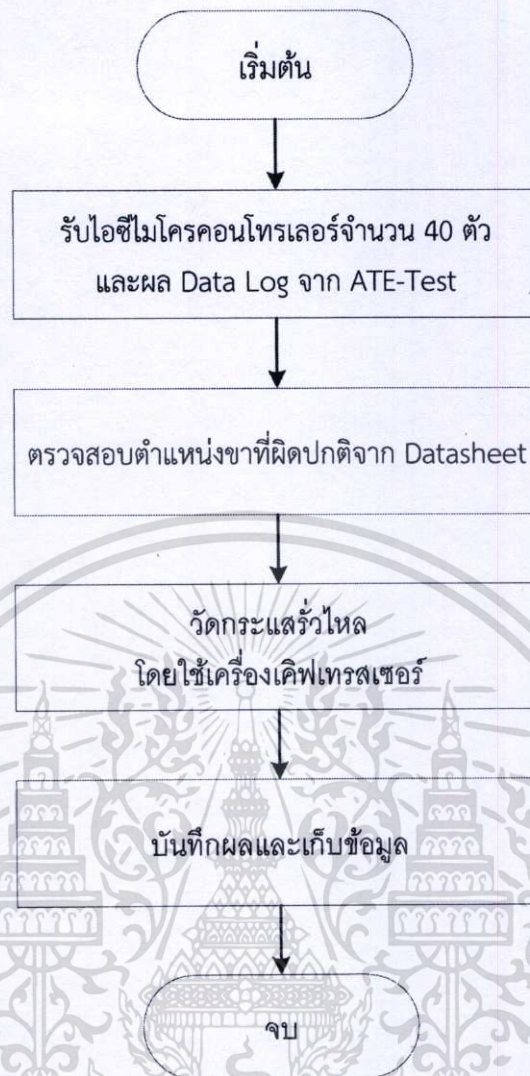
เมื่อกำหนดค่าต่างๆ บนบอร์ดทดสอบอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว ทำการเชื่อมต่อบอร์ดทดสอบอุปกรณ์และอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อวัดกระแสรั่วไหลจากขาไอซีที่มีความผิดปกติ โดยนำไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่อบอร์ดทดสอบอุปกรณ์ที่ถูกกำหนดค่าต่างๆ ไว้แล้ว จ่ายแรงดัน (Vin) จากแหล่งจ่ายไฟ (Power Supply) ให้กับบอร์ดทดสอบอุปกรณ์ และเปิดสวิตซ์ทำงาน (Power Switch) หลังจากนั้นปรับค่าแรงดันจากตัวต้านทานปรับค่าได้และอ่านค่าจากโวลต์มิเตอร์ได้แรงดันประมาณ 1.8 โวลต์ นำแอมมิเตอร์วัดกระแสรั่วไหลที่ ขา19 (RA0) ดังภาพที่ 3.10 แล้วเปรียบเทียบผลที่ได้จากไอซีที่ปกติ



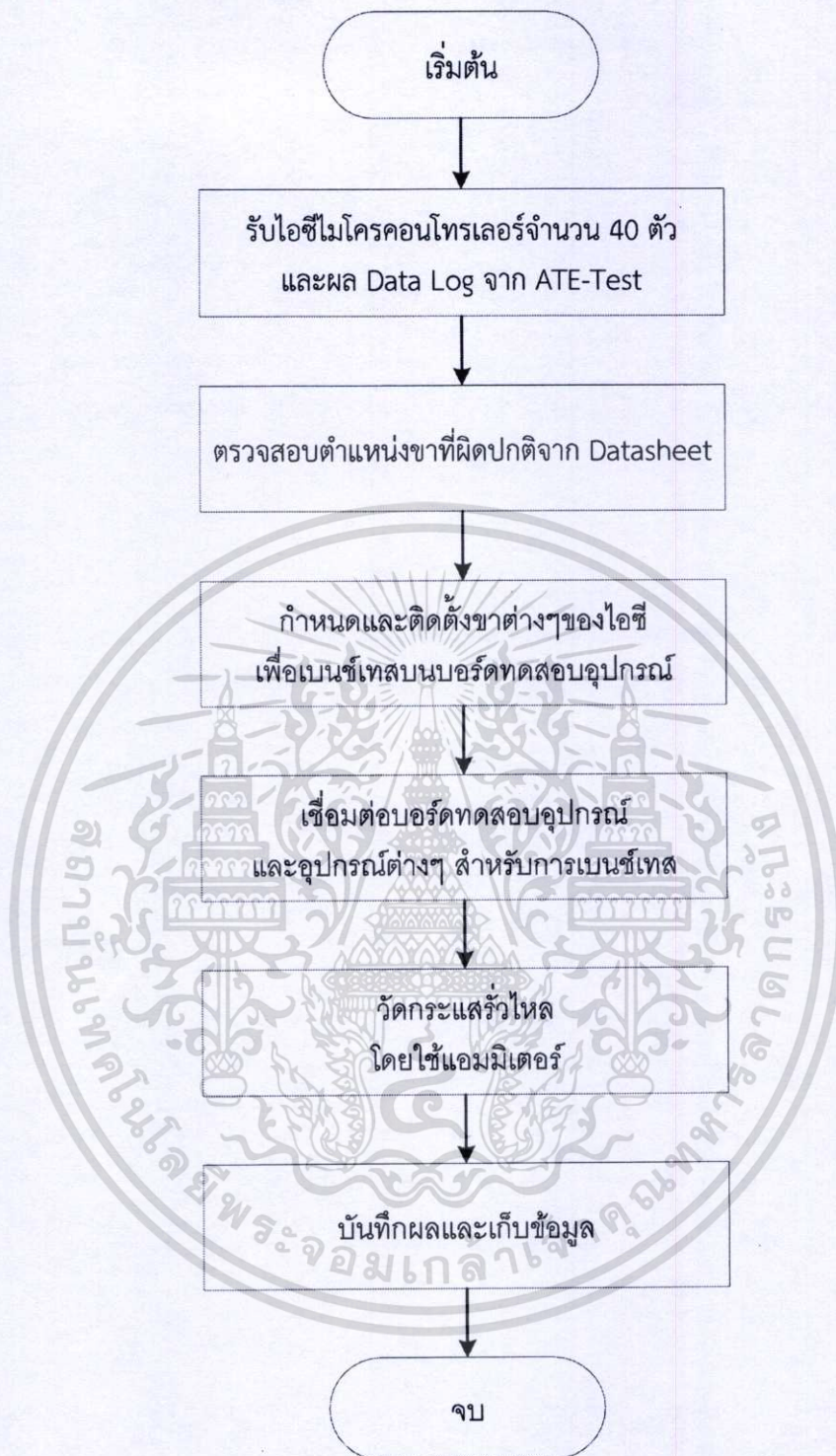
ภาพที่ 3.10 การติดตั้งการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทส

3.5 การทดลองกับกลุ่มตัวอย่างและเก็บข้อมูล

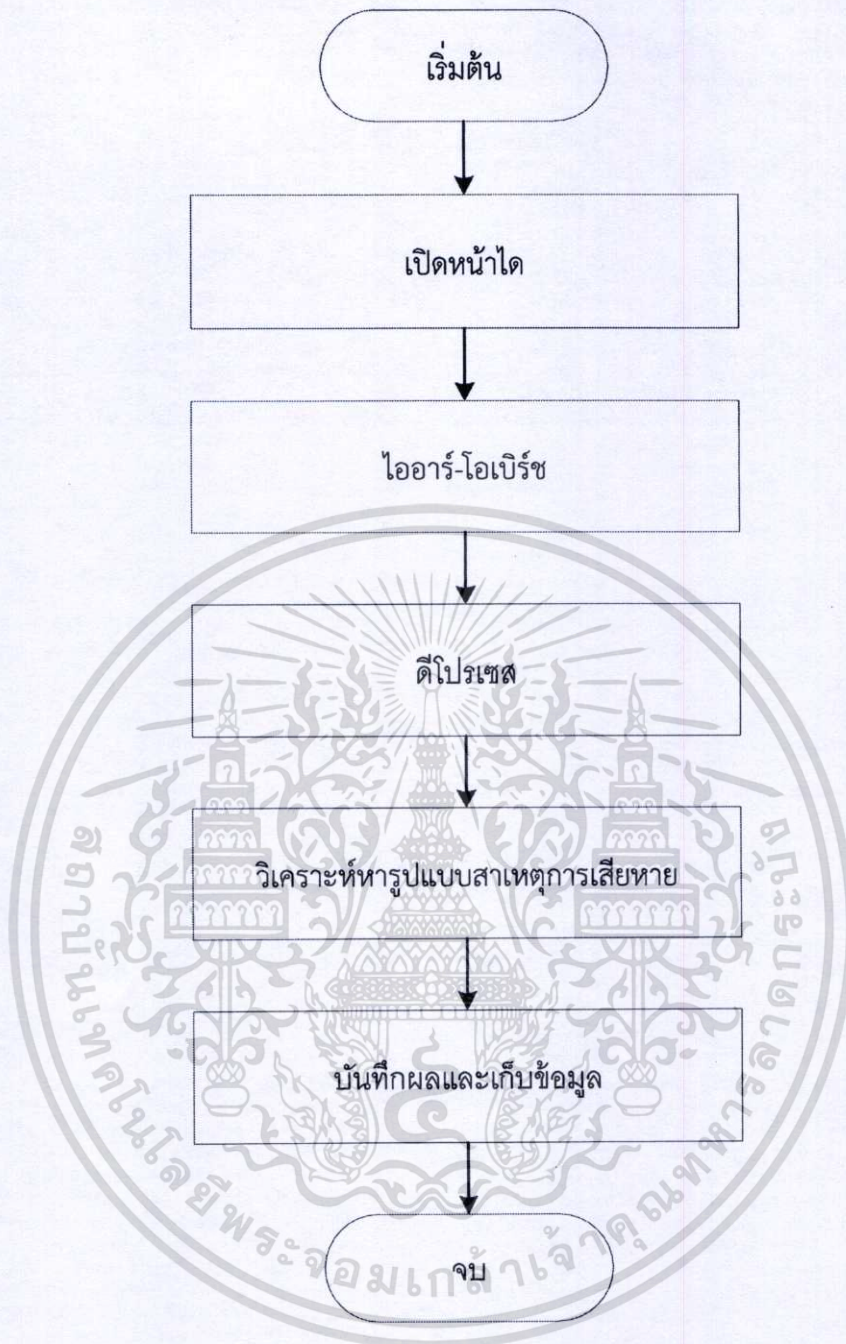
หลังจากการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทสแล้ว ผู้วิจัยได้ให้ผู้ทรงคุณวุฒิซึ่งเชี่ยวชาญด้านการวัดกระแสรั่วไหลของไอซี จำนวน 3 ท่าน ประเมินคุณภาพของวิธีการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทส หลังจากนั้นได้นำไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างจำนวน 40 ตัวที่ได้จากวิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง และนำไอซีแต่ละตัวมาทดลองวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทสและวัดกระแสรั่วไหลโดยวิธีโอวีเคิฟพร้อมบันทึกผลการวัด เพื่อนำผลของกระแสรั่วไหลไปวิเคราะห์หารูปแบบสาเหตุการเสียหายต่อไป ดังภาพที่ 3.11 ภาพที่ 3.12 และภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.11 ขั้นตอนการทดสอบกลุ่มตัวอย่างและเก็บข้อมูลการวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยวิธีการไอวีเคิฟ



ภาพที่ 3.12 ขั้นตอนการทดลองกลุ่มตัวอย่างพร้อมทั้งเก็บข้อมูลการวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยวิธีเบ็นซ์เทส



ภาพที่ 3.13 ขั้นตอนการทดลองกลุ่มตัวอย่างและการเก็บข้อมูลการวัดกระแส
รั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อวิเคราะห์หารูปแบบสาเหตุ
การเสียหาย

3.6 สถิติที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลในงานวิจัย ผู้วิจัยได้ใช้สูตรและสมการประกอบในงานวิจัยดังนี้

3.6.1 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์เครื่องมือ

3.6.1.1 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (รวิวรรณ ชินะตระกูล. 2538 : 163) โดยมีสมการดังนี้

$$\bar{X} = \left(\frac{\sum X}{N} \right)$$

เมื่อ

\bar{X} หมายถึง ค่าเฉลี่ยผลการประเมิน

$\sum X$ หมายถึง ผลรวมของผลการประเมินทั้งหมด

N หมายถึง จำนวนของผู้เชี่ยวชาญ

3.6.1.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (รวิวรรณ ชินะตระกูล. 2538 : 163) โดยมีสมการ

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

เมื่อ

$S.D.$ หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N หมายถึง ผลรวมของผลการประเมินทั้งหมด

X หมายถึง ผลการประเมินของแต่ละคน

\bar{X} หมายถึง ค่าเฉลี่ยเลขของผลการประเมินทั้งหมด

$\sum X$ หมายถึง ผลรวมของผลการประเมิน

ดังนี้

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยนี้ เป็นการวิจัยเพื่อวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทสที่มีคุณภาพ ผลลัพธ์การวัดค่ากระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทสระหว่างไอซีที่ปกติ (Good Unit) กับไอซีที่ไม่ปกติ (Reject Unit) และการหารูปแบบของสาเหตุการเสียหาย โดยผลการวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยมีดังนี้

4.1 ผลการหาคุณภาพของการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทส

4.2 ผลการวัดค่ากระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทสระหว่างไอซีที่ปกติกับไอซีที่ไม่ปกติ

4.3 ผลการวิเคราะห์รูปแบบของสาเหตุการเสียหายที่เกิดจากกระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทส

4.1 ผลการหาคุณภาพของการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทส

การประเมินคุณภาพการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทส โดยผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน ได้ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและระดับความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทส

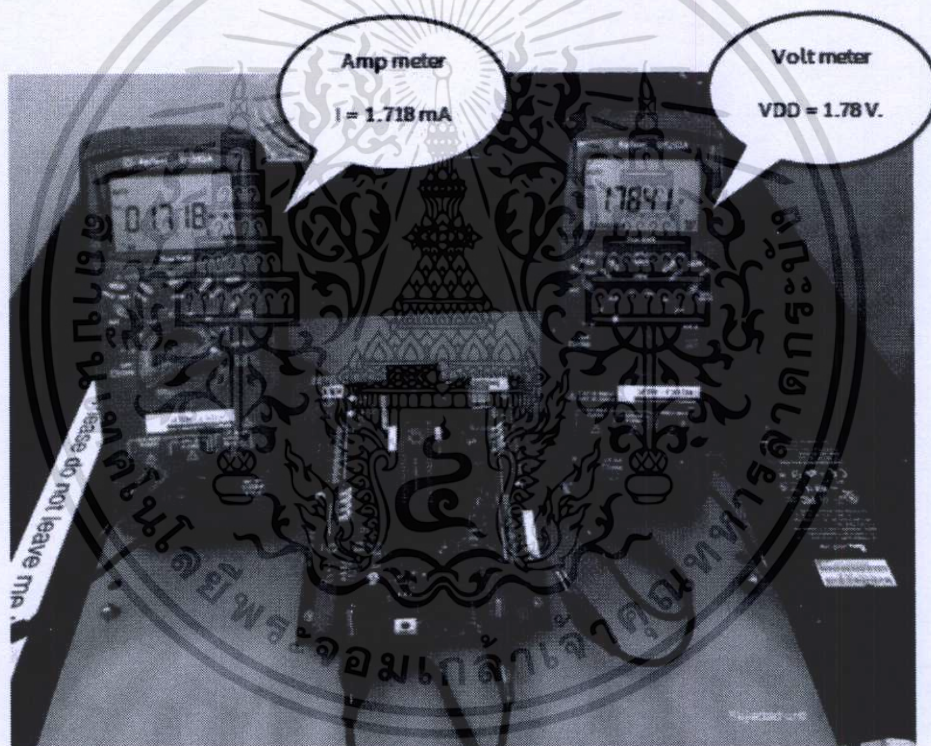
รายการประเมิน	N=3		ระดับคุณภาพ
	\bar{X}	S.D	
1. ความสามารถในการวัดค่ากระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทส	4.00	0.00	ดี
2. ผลจากการเบนซ์เทสมีการนำไปใช้งานได้จริง	4.00	1.00	ดี
3. ความปลอดภัยขณะทำการเบนซ์เทส	4.67	0.58	ดีมาก
4. ความเหมาะสมในการใช้อุปกรณ์	4.00	1.00	ดี
5. ความสะดวกในการติดตั้งและกำหนดค่าในการเบนซ์เทส	3.00	1.73	ปานกลาง
ค่าเฉลี่ยรวม	3.93	0.86	ดี

จากตารางที่ 4.1 ผลการประเมินคุณภาพของการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทสในภาพรวมจัดอยู่ในระดับดี โดยมีค่าเฉลี่ยรวม (\bar{X}) เท่ากับ 3.93 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D) เท่ากับ 0.86 เมื่อพิจารณาแต่ละรายการประเมิน พบว่ารายการที่ 3 ความปลอดภัยขณะทำการเบนซ์เทส มีค่าสูงสุดอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X} = 4.67, S.D = 0.58$) รองลงมาพบว่ามี 3 รายการ จัดอยู่ในระดับดี ได้แก่ รายการที่ 1 ความสามารถในการวัดค่ากระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทส เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

($\bar{X} = 4.00, S.D = 0.00$), รายการที่ 2 ผลจากการเบนซ์เทสมีการนำไปใช้งานได้จริง ($\bar{X} = 4.00, S.D = 1.00$) และ รายการที่ 4 ความเหมาะสมในการใช้อุปกรณ์ ($\bar{X} = 4.00, S.D = 1.00$) และ สุดท้ายคือรายการที่ 5 ความสะดวกในการติดตั้งและกำหนดค่าในการเบนซ์เทส มีคุณภาพในระดับปานกลาง ($\bar{X} = 3.00, S.D = 1.73$)

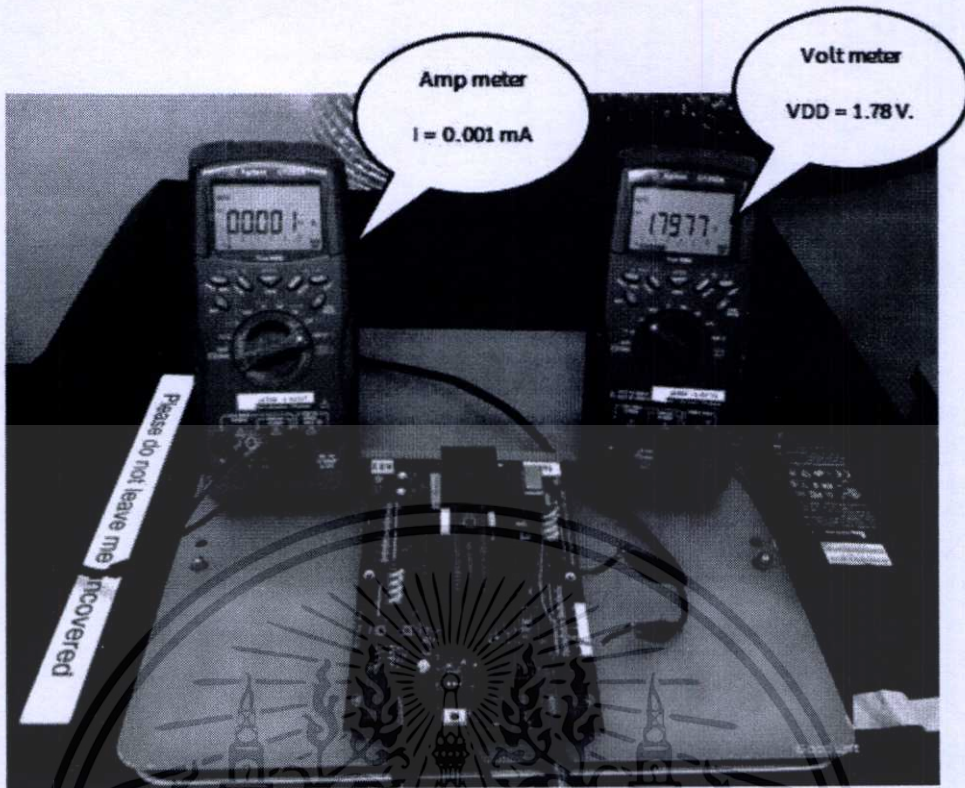
4.2 ผลการวัดค่ากระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทสระหว่างไอซีที่ปกติกับไอซีที่ไม่ปกติ

4.2.1 ผลการวัดกระแสจากแอมมิเตอร์ด้วยวิธีการเบนซ์เทสระหว่างไอซีที่ปกติและไอซีที่ไม่ปกติ ด้วยการทดลองใช้อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC32MX150F128D



ภาพที่ 4.1 ผลการวัดกระแสของไอซีที่ไม่ปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



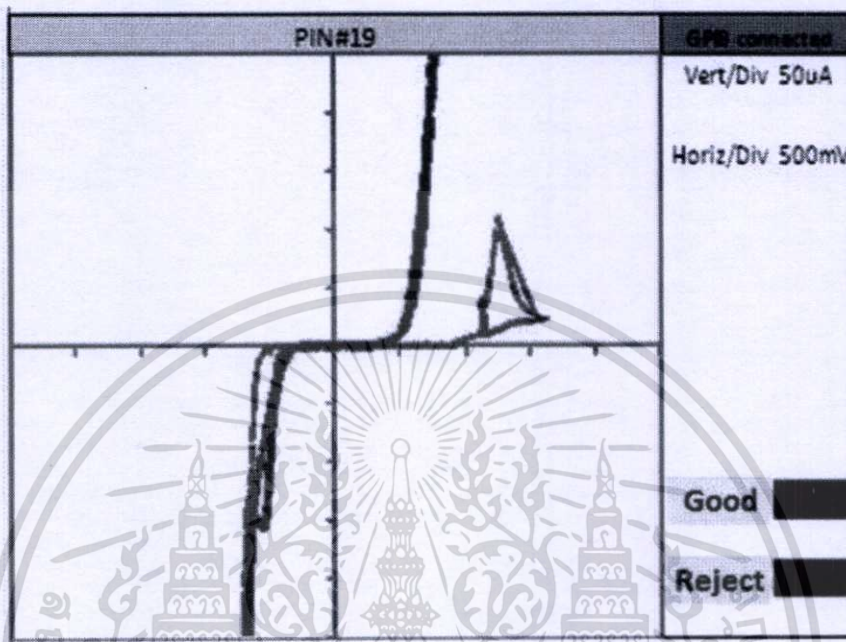
ภาพที่ 4.2 ผลการวัดกระแสของไอซีที่ปกติ

หลังจากการวัดกระแสจากแอมมิเตอร์ด้วยวิธีการเบนซ์เทสแล้ว ผู้วิจัยได้ทดสอบเพื่อยืนยันความถูกต้องของระบบโดยเปรียบเทียบระหว่างไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ไม่ปกติกับไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ปกติ ดังภาพที่ 4.1-4.2 พบว่าค่ากระแสของไอซีที่ไม่ปกติมีกระแสรั่วไหลสูงกว่าไอซีที่ปกติ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการเปรียบเทียบค่ากระแสรั่วไหลของไอซี Good Unit กับ Reject Unit โดยวิธีการเบนซ์เทส

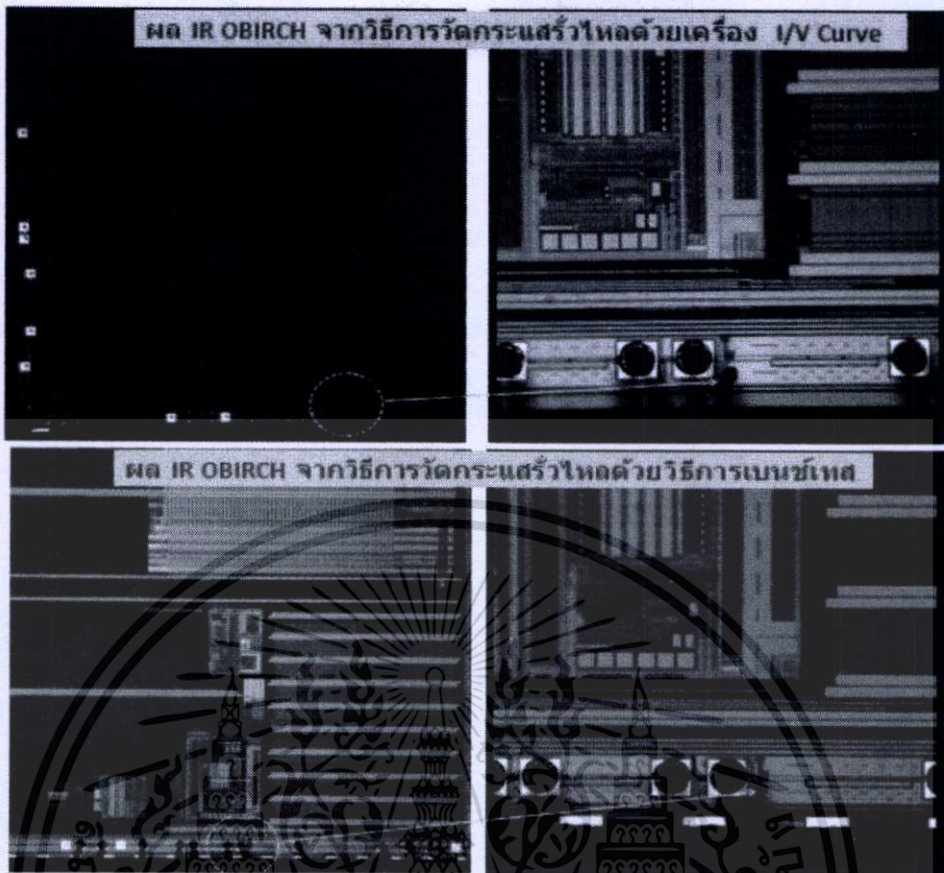
Bench Test	
Good Unit	Reject Unit
0.001 mA	1.718 mA

การทดสอบการทำงานโดยทดลองวัดกระแสรั่วไหลเพื่อเปรียบเทียบระหว่างไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ผิดปกติกับไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ปกติ โดยใช้วิธีโอวีเคิฟ ได้ผลดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 ผลการวัดกระแสของไอวีเคิฟ

นำไอซีที่พบว่ามีกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทสและวิธีโอวีเคิฟ ไปหาดำแหน่งข้อผิดพลาดบนหน้าได้ด้วยเทคนิคการอาร์-โอเบิร์ช เพื่อเปรียบเทียบตำแหน่งได้ผลดังภาพที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าวิธีการเบนซ์เทสในโหมดกระแสรั่วไหลที่พัฒนาขึ้น สามารถระบุตำแหน่งความผิดพลาดบนหน้าได้ตรงจุดเดียวกับวิธีโอวีเคิฟ ซึ่งยืนยันได้ว่าวิธีการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทสที่พัฒนาสามารถนำมาทดแทนวิธีการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีโอวีเคิฟได้ และยังสามารถใช้วิธีนี้ในกรณีที่วิธีวัดกระแสของไอวีเคิฟไม่สามารถวัดหาค่ากระแสรั่วไหลได้



ภาพที่ 4.4 การเปรียบเทียบผลไออาร์-โอเบิร์ชด้วยวิธีไอวีเคิร์ฟและวิธีเบนซ์เทส

4.2.2 ผลการวัดกระแสจากแอมมิเตอร์ด้วยวิธีการเบนซ์เทสระหว่างไอซีที่ปกติและไอซีที่ไม่ปกติ กับกลุ่มตัวอย่าง 40 ตัว แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการเปรียบเทียบค่ากระแสรั่วไหลของไอซีโดยวิธีการเบนซ์เทส

ลำดับ ที่	เบอร์ไอซี	ไอซีที่ปกติ	ไอซีที่ไม่ปกติ	ผลต่างระหว่างไอซีที่ปกติ
		(μA)	(μA)	และไอซีที่ไม่ปกติ (μA)
1	PIC12F510-E/P	0.01	0.08	0.07
2	PIC12F510-E/P	0.01	0.08	0.07
3	PIC12F510-E/P	0.01	0.04	0.03
4	PIC12F510-E/P	0.01	11.81	11.80
5	PIC12F510-E/P	0.01	1.16	1.15
6	PIC12F510-E/P	0.01	1.20	1.19
7	PIC16F1704-I/SL	0.01	0.55	0.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ลำดับ ที่	เบอร์ไอซี	ไอซีที่ปกติ	ไอซีที่ไม่ปกติ	ผลต่างระหว่างไอซีที่ปกติ
		(μA)	(μA)	และไอซีที่ไม่ปกติ (μA)
8	PIC16F722A-I/SS	0.04	0.07	0.03
9	PIC16F677-I/P	0.01	176.80	176.79
10	PIC16F677-I/P	0.01	0.01	0.00
11	PIC16C621A-04I/P	0.01	1.55	1.54
12	PIC16LF1847T-E/SSV01	0.01	0.99	0.98
13	PIC16CR620AT-04I/SO020	0.01	0.11	0.10
14	PIC16CR620AT-04I/SO020	0.01	0.15	0.14
15	PIC18F24K20-E/ML	0.01	345.82	345.81
16	PIC18F25K20T-I/SS	0.01	5.07	5.06
17	PIC18F26K80-I/SO	0.01	3.44	3.43
18	PIC18F25K20T-E/SS039	0.01	1.58	1.57
19	PIC18F67K22-I/PT	0.01	17.37	17.36
20	PIC18F67J11-I/PT	0.01	0.22	0.21
21	PIC18LF46K22T-I/PTC01	0.01	0.35	0.34
22	PIC18F258-I/SP	0.01	11.79	11.78
23	PIC24FJ64GB108-I/PT	0.01	102.31	102.30
24	PIC24F08KL402T-I/SS	0.01	112.92	112.91
25	PIC24FJ64GB002T-I/ML	0.07	10.35	10.28
26	PIC24FJ256DA210-I/PT	0.01	1.82	1.81
27	PIC24FJ32GA002T-I/SS	0.04	7.35	7.31
28	PIC24FJ256GA108T-I/PT	0.01	0.15	0.14
29	PIC24FJ256GB108-I/PT	0.01	0.02	0.01
30	PIC32MX795F512L-80I/PT	2.00	4.65	2.65
31	PIC32MX795F512L-80I/PT	0.05	0.47	0.42
32	PIC32MX795F512L-80I/PT	0.01	4.65	4.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ลำดับ ที่	เบอร์ไอซี	ไอซีที่ปกติ	ไอซีที่ไม่ปกติ	ผลต่างระหว่างไอซีที่ปกติ
		(μ A)	(μ A)	และไอซีที่ไม่ปกติ (μ A)
33	PIC32MX575F256L-80I/PT	0.01	21.25	21.24
34	PIC32MX795F512L-80I/PT	0.05	36.99	36.94
35	DSPIC33FJ64GS608- I/PTC03	0.01	2.26	2.25
36	DSPIC33FJ128GP310A- I/PF	0.24	32.53	32.29
37	DSPIC33FJ64GS606T- I/PTD22	0.01	1.20	1.19
38	DSPIC33EP256MC206T- I/PTA3	1.38	1.67	0.29
39	DSPIC33FJ64MC204-I/PT	0.01	0.02	0.01
40	DSPIC33FJ256MC710A- E/PT	0.01	0.06	0.05

จากตารางที่ 4.3 แสดงผลการวัดกระแสจากแอมมิเตอร์ด้วยวิธีการเบนซ์เทสระหว่างไอซีที่ปกติและไอซีที่ไม่ปกติ กับกลุ่มตัวอย่าง 40 ตัว พบว่าไอซีที่ไม่ปกติมีค่ากระแสรั่วไหลสูงกว่าไอซีที่ปกติจำนวน 39 ตัว และมี 1 ตัว ที่วัดค่ากระแสรั่วไหลได้ค่าเท่ากัน

4.3 ผลการวิเคราะห์รูปแบบของสาเหตุการเสียหายที่เกิดจากกระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทส

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์รูปแบบของสาเหตุการเสียหายที่เกิดจากกระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทสกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 40 ตัว

ลำดับที่	เบอร์ไอซี	รูปแบบของสาเหตุการเสียหาย
1	PIC12F510-E/P	Electrical Static Discharge
2	PIC12F510-E/P	No defect found
3	PIC12F510-E/P	No defect found
4	PIC12F510-E/P	No defect found

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

ลำดับที่	เบอร์ไอซี	รูปแบบของสาเหตุการเสียหาย
5	PIC12F510-E/P	Chipped cracked die
6	PIC12F510-E/P	No defect found
7	PIC16F1704-I/SL	Chipped cracked die
8	PIC16F722A-I/SS	Chipped cracked die
9	PIC16F677-I/P	Electrical Over stress
10	PIC16F677-I/P	No defect found
11	PIC16C621A-04I/P	Electrical Static Discharge
12	PIC16LF1847T-E/SSV01	Electrical Over stress
13	PIC16CR620AT-04I/SO020	No defect found
14	PIC16CR620AT-04I/SO020	No defect found
15	PIC18F24K20-E/ML	Electrical Static Discharge
16	PIC18F25K20T-I/SS	DIE RELATE
17	PIC18F26K80-I/SO	DIE RELATE
18	PIC18F25K20T-E/SS039	No defect found
19	PIC18F67K22-I/PT	No defect found
20	PIC18F67J11-I/PT	No defect found
21	PIC18LF46K22T-I/PTC01	Chipped cracked die
22	PIC18F258-I/SP	Wire touch die
23	PIC24FJ64GB108-I/PT	DIE RELATE
24	PIC24F08KL402T-I/SS	Electrical Static Discharge
25	PIC24FJ64GB002T-I/ML	Electrical Static Discharge
26	PIC24FJ256DA210-I/PT	Wire touch die
27	PIC24FJ32GA002T-I/SS	DIE RELATE
28	PIC24FJ256GA108T-I/PT	Chipped die
29	PIC24FJ256GB108-I/PT	Chipped die
30	PIC32MX795F512L-80I/PT	Electrical Static Discharge
31	PIC32MX795F512L-80I/PT	Electrical Static Discharge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

ลำดับที่	เบอร์ไอซี	รูปแบบของสาเหตุการเสียหาย
32	PIC32MX795F512L-80I/PT	Electrical Static Discharge
33	PIC32MX575F256L-80I/PT	Chipped cracked die
34	PIC32MX795F512L-80I/PT	No defect found
35	DSPIC33FJ64GS608-I/PTC03	Chipped cracked die
36	DSPIC33FJ128GP310A-I/PF	DIE RELATE
37	DSPIC33FJ64GS606T-I/PTD22	Chipped cracked die
38	DSPIC33EP256MC206T-I/PTA3	Chipped cracked die
39	DSPIC33FJ64MC204-I/PT	No defect found
40	DSPIC33FJ256MC710A-E/PT	Chipped cracked die

จากตารางที่ 4.4 สามารถสรุปรูปแบบของสาเหตุความเสียหายได้ทั้งหมด 6 รูปแบบ ซึ่งแต่ละรูปแบบอยู่ในช่วงกระแสที่แตกต่างกัน ผลแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงรูปแบบสาเหตุการเสียหายและช่วงกระแสที่เกิดขึ้น

รูปแบบของสาเหตุการเสียหาย	จำนวนไอซี	ช่วงกระแส (uA)
(1) No Defect Found	12	0.01-36.99
(2) Chipped Crack Die and Cracked Die	11	0.06-21.25
(3) Electrical Static Discharge	8	0.47-345.82
(4) Die Relate(OBIRCH Abnormal on Die)	5	3.44-102.31
(5) Electrical Over Stress	2	0.99-176.80
(6) Wire Touch Die	2	1.82-11.79

จากตารางที่ 4.5 แสดงผลสรุปรูปแบบสาเหตุการเสียหายและช่วงกระแสที่เกิดขึ้น โดยสรุปได้ว่ากลุ่มตัวอย่างทั้ง 40 ตัว สามารถวิเคราะห์หารูปแบบสาเหตุได้ 6 รูปแบบ คือ (1) No Defect Found พบว่าเกิดในช่วงกระแส 0.01 - 36.99 uA จำนวน 12 ตัว, (2) Chipped Crack Die และ Cracked Die พบว่าเกิดในช่วงกระแส 0.06 - 21.25 uA จำนวน 11 ตัว, (3) Electrical Static Discharge พบว่าเกิดในช่วงกระแส 0.47 - 345.82 uA จำนวน 8 ตัว, (4) Die Relate (OBIRCH

Abnormal on Die) พบว่าเกิดในช่วงกระแส 3.44 - 102.31 uA จำนวน 5 ตัว, (5) Electrical Over Stress พบว่าเกิดในช่วงกระแส 0.99 - 176.80 uA จำนวน 2 ตัว และรูปแบบสุดท้ายคือ (6) Wire Touch Die พบว่าเกิดในช่วงกระแส 1.82 - 11.79 uA จำนวน 2 ตัว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

อภิปรายผลการวิจัย สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เรื่อง การวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยวิธีเบนซ์เทส ได้สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 วัตถุประสงค์การวิจัย

5.1.1.1 เพื่อวัดหากระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทสที่มีคุณภาพ

5.1.1.2 เพื่อเปรียบเทียบผลการวัดค่ากระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทสระหว่างไอซีที่ปกติ (Good Unit) กับไอซีที่ไม่ปกติ (Reject Unit)

5.1.1.3 เพื่อวิเคราะห์รูปแบบของสาเหตุการเสียหายที่เกิดจากกระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทส

5.1.2 สมมติฐานของการวิจัย

5.1.2.1 คุณภาพของการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทสจัดอยู่ในระดับดีขึ้นไป

5.1.2.2 ผลลัพธ์ของการวัดค่ากระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทสของไอซีที่ไม่ปกติ (Reject Unit) สูงกว่าไอซีที่ปกติ (Good Unit)

5.1.2.3 รูปแบบของสาเหตุการเสียหายที่เกิดจากกระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทสมากกว่าหรือเท่ากับ 5 รูปแบบ

5.1.3 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

5.1.3.1 ประชากรในการวิจัยครั้งนี้ คือ ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล PIC12, PIC16, PIC18, PIC24 PIC32 และ DSPIC33 ที่ผ่านการทดสอบและมีข้อบกพร่องแล้วจากฝ่ายการผลิตของบริษัทผลิตไอซีในประเทศไทย

5.1.3.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ผ่านการทดสอบและมีข้อบกพร่องแล้วจากฝ่ายการผลิตของบริษัทผลิตไอซีในประเทศไทย ผู้วิจัยเลือกตัวอย่างไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ จำนวน 6 ตระกูล โดยวิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงจำนวน 40 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

5.1.4.1 ระบบการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทส เป็นระบบการวัดกระแสรั่วไหล ซึ่งใช้การติดตั้งกำหนดค่าต่างๆของไอซีและใช้ไมโครแอมมิเตอร์ในการวัดกระแสรั่วไหลที่ขาคิดปกติของไอซีบนบอร์ดทดสอบอุปกรณ์ โดยมีเพาเวอร์ซัพพลายเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับบอร์ดทดสอบอุปกรณ์

5.1.4.2 ระบบการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีโอวีเคิฟ เป็นระบบการวัดไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์จากเครื่องเคิฟเทรสเตอร์ด้วยเครื่องเคิฟเทรสเตอร์จ่ายแรงดันให้บอร์ดทดสอบอุปกรณ์ และประมวลผลออกมาเป็นกราฟคุณสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้า

5.1.4.3 กระบวนการระบุตำแหน่งด้วยเครื่องไออาร์-โอเบิร์ช เป็นการใช้ง่ายแรงดันและสแกนด้วยแสงเลเซอร์อินฟราเรด หาดำแหน่งข้อบกพร่องของไอซีจากเส้นทางกระแสรั่วไหล และจุดที่ค่าความต้านทานผิดปกติในตัวไอซี

5.1.4.4 แบบประเมินคุณภาพการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทสจำนวน 5 รายการ โดยมีระดับความพึงพอใจเป็นมาตราส่วน 5 ระดับ

5.1.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล เป็นขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทสที่มีคุณภาพ โดยผลการวัดค่ากระแสรั่วไหลของไอซีที่ไม่ปกติ (Reject Unit) สูงกว่าไอซีที่ปกติ (Good Unit) และหารูปแบบของสาเหตุการเสียหาย มีรายละเอียดดังนี้

5.1.5.1 นำเสนออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้เชี่ยวชาญเพื่อตรวจสอบเครื่องมือก่อนนำไปใช้

5.1.5.2 นำเครื่องมือมาทดสอบกับกลุ่มตัวอย่าง 40 ตัว โดยการติดตั้งค่าต่างๆ และวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทส

5.1.5.3 ดีแคปเพื่อเปิดดูหน้าได และทำไออาร์ โอเบิร์ชเพื่อหาดำแหน่งของข้อบกพร่อง หลังจากนั้นทำการดีโปรเซสหรือการวิเคราะห์เชิงลึกเพื่อวิเคราะห์หารูปแบบของสาเหตุการเสียหาย

5.1.5.4 บันทึกผลและเก็บข้อมูล

5.1.6 การวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยนำข้อมูลจากการประเมินคุณภาพของผู้เชี่ยวชาญมาวิเคราะห์เพื่อหาคุณภาพ นำวิธีการเบนซ์เทสมาวัดหาค่ากระแสรั่วไหลและรูปแบบที่เกิดจากการเสียหายมาใช้กับกลุ่มตัวอย่าง 40 ตัว ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.1.6.1 วิเคราะห์หาคุณภาพการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทส โดยใช้ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

5.1.6.2 ผลลัพธ์ของการวัดค่ากระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทสระหว่างไอซีที่ปกติ (Good Unit) กับไอซีที่ไม่ปกติ (Reject Unit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.6.3 วิเคราะห์หารูปแบบของสาเหตุการเสียหายที่เกิดจากกระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทส

5.1.7 สรุปผลการวิจัย จากการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังกล่าวสรุปผลการวิจัยได้ดัง

5.1.7.1 คุณภาพการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทสในภาพรวมอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 3.93, S.D = 0.86$)

5.1.7.2 ผลลัพธ์ของการวัดกระแสจากแอมมิเตอร์ด้วยวิธีการเบนซ์เทสระหว่างไอซีที่ปกติและไอซีที่ไม่ปกติ กับกลุ่มตัวอย่าง 40 ตัว พบว่าไอซีที่ไม่ปกติมีค่ากระแสรั่วไหลสูงกว่าไอซีที่ปกติจำนวน 39 ตัว

5.1.7.3 ผลสรุปรูปแบบสาเหตุการเสียหาย สามารถวิเคราะห์หารูปแบบสาเหตุได้ 6 รูปแบบ คือ

- (1) No Defect Found
- (2) Chipped Crack Die and Cracked Die
- (3) Electrical Static Discharge
- (4) Die Relate (OBIRCH Abnormal on Die)
- (5) Electrical Over Stress
- (6) Wire Touch Die

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

5.2.1 ผลการวัดกระแสจากแอมมิเตอร์ด้วยวิธีการเบนซ์เทสโดยเปรียบเทียบระหว่างไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ไม่ปกติกับไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ปกติ พบว่าค่ากระแสของไอซีที่ไม่ปกติมีกระแสรั่วไหลสูงกว่าไอซีที่ปกติ และวิธีการเบนซ์เทสสามารถระบุตำแหน่งความผิดพลาดบนหน้าไดด้วยเทคนิค IR-OBIRCH ได้ตรงจุดเดียวกันกับวิธี I-V Curve ซึ่งสามารถที่จะนำผลมาทดแทนกันได้ ในกรณีที่ I-V Curve ไม่สามารถวัดหาค่ากระแสได้

5.2.2 ผลการประเมินคุณภาพการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทส อยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 3.93, S.D. = 0.86$) เนื่องจากความสามารถในการวัดหาค่ากระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทสสามารถที่จะนำไปใช้งานได้จริง มีความเหมาะสมและความปลอดภัยในการใช้อุปกรณ์ในการเบนซ์เทส โดยข้อที่ควรปรับปรุงคือในเรื่องของความสะดวกในการติดตั้งและกำหนดค่าในการเบนซ์เทส ซึ่งได้ผลการประเมินต่ำที่สุด (3.00) เนื่องจากบอร์ดทดสอบอุปกรณ์เป็นบอร์ดที่ออกแบบเพื่อใช้กับวิธี I-V Curve เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับวิธีเบนซ์เทสจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์อื่นเพื่อช่วยในการวัดกระแสอีกด้วย จึงอาจทำให้ไม่สะดวกในการติดตั้งก่อนการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 ผลการวิเคราะห์หารูปแบบสาเหตุการเสียหายและช่วงกระแสที่เกิดขึ้น จากกลุ่มตัวอย่างทั้ง 40 ตัว สามารถวิเคราะห์หารูปแบบสาเหตุได้ 6 รูปแบบ คือ (1) No Defect Found พบว่าเกิดในช่วงกระแส 0.01 - 36.99 uA, (2) Chipped Crack Die และ Cracked Die พบว่าเกิดในช่วงกระแส 0.06 - 21.25 uA, (3) Electrical Static Discharge พบว่าเกิดในช่วงกระแส 0.47 - 345.82 uA, (4) Die Relate (OBIRCH Abnormal on Die) พบว่าเกิดในช่วงกระแส 3.44 - 102.31 uA, (5) Electrical Over Stress พบว่าเกิดในช่วงกระแส 0.99 - 176.80 uA และรูปแบบสุดท้ายคือ (6) Wire Touch Die พบว่าเกิดในช่วงกระแส 1.82 - 11.79 uA ซึ่งสามารถสรุปได้ว่ารูปแบบสาเหตุการเสียหายและช่วงกระแสที่เกิดขึ้นไม่มีนัยสำคัญ และไม่สามารถแยกรูปแบบสาเหตุการเสียหายจากช่วงกระแสที่เกิดขึ้นได้ เพราะบางครั้งกระแสที่มากขึ้นหรือน้อยลงขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของความเสียหาย ซึ่งสอดคล้องกับผลงานการวิจัยของ Parin และสมาชิก ที่ได้นำเสนอวิธีการเบนซ์เทสในโหมด IPD wdt

5.2.4 รูปแบบสาเหตุการเสียหาย No Defect Found ซึ่งหมายถึง ไม่สามารถระบุรูปแบบได้นั้นมีปัจจัยหลายอย่าง เช่น ขั้นตอนการวิเคราะห์เชิงลึกที่ได้ใช้สารเคมี อาจใช้สารเคมีมากเกินไป หรือชนิดกักความร้อน อาจทำลาย Defect ได้ หรือการขีด Die โดยมีมือ อาจทำให้ Defect ที่อยู่ระหว่างชั้น Metal หายไปได้

ผลการวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยวิธีการเบนซ์เทสมีคุณภาพอยู่ในระดับดีและเมื่อเปรียบเทียบกับ การวัดด้วยวิธีโอวีเคิฟ แสดงให้เห็นว่าสามารถวัดค่ากระแสรั่วไหลของไอซีที่ไม่ปกติได้สูงกว่าไอซีที่ปกติโดยที่โอวีเคิฟไม่สามารถวัดได้ ส่งผลให้วิธีการวัดกระแสรั่วไหลที่พัฒนาขึ้นใหม่สามารถนำไปสู่กระบวนการวิเคราะห์หารูปแบบสาเหตุการเสียหายได้ โดยวิเคราะห์ได้ 6 รูปแบบ และนำผลการวิเคราะห์นี้ไปใช้ในการปรับปรุงแก้ไขขั้นตอนการผลิตไอซีที่ผิดพลาดต่อไปได้

5.3 ข้อเสนอแนะการวิจัย

จากผลการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทสผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

5.3.1 ข้อเสนอแนะการนำวิจัยไปใช้

การวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทสในการวิจัยครั้งนี้ ได้ใช้ไอซีประเภทไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งการเบนซ์เทสนี้สามารถศึกษาวิจัยกับไอซีประเภทอื่นๆ ได้

5.3.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป

หากต้องการที่จะวัดกระแสด้วยวิธีเบนซ์เทสให้ง่ายขึ้น ควรทำบอร์ดสำหรับใส่ไอซีเพื่อการเบนซ์เทสโดยเฉพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- นงลักษณ์ วิรัชชัย. 2543. **การวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนการสอน**. ที่ระลึกวันเกษียณอายุราชการ. ภาควิชาวิจัยการศึกษา คณะครุศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- รวีวรรณ ชินะตระกูล. 2538. **วิธีวิจัยการศึกษา**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : เพ็ญฟ้า พรินติ้ง.
- ยรรยง ศรีสวัสดิ์. 2558. **การศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปัญหาฟิล์มลอกของซิลิคอนเวเฟอร์ในการเคลือบผิวฟิล์มบางสำหรับอุปกรณ์เซ็นเซอร์อุณหภูมิ**. วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- “การทดสอบ Opens / Shorts Test IC”**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://sanong2003.tripod.com/icm1-05.htm>. (วันที่ค้นข้อมูล: 3 เมษายน 2560).
- “กล้องจุลทรรศน์”**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://nbschoolscitool.tripod.com/microscope.htm#top>. (วันที่ค้นข้อมูล: 20 พฤษภาคม 2560).
- “หลอดเอกซเรย์”**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: [http://www.med.cmu.ac.th/dept/radiology/324321%5Cx_ray_vet321_55\[1\].pdf](http://www.med.cmu.ac.th/dept/radiology/324321%5Cx_ray_vet321_55[1].pdf). (วันที่ค้นข้อมูล: 3 มิถุนายน 2560).
- Chunlei Wu และ Berges Corinne. (2010). **Leakage Current Study and Relevant Fault Localization by IR-OBIRCH**. ELECTRONICS LETTERS.
- Diwei Fan และ คณะ. (2013). **“Failure Analysis of Complicated Case by Functional OBIRCH Method”**. Proceedings of IEEE 2013 International Symposium on the Physical and Failure Analysis of Integrated Circuit.
- FreeScale Semiconductor. (2010). **THERMAL LASER STIMULATION**. เอกสารประกอบการอบรมการใช้ THERMAL LASER (อัดสำเนา)
- Freescale Semiconductor. (2010). **IR-OBIRCH**. [Online]. Available : www.nxp.com/api/quality/pdf.pl?file=thermal_laser_stimulation.bat.
- James Beall and David Wilson. (1991). Supplement Two **“CURVE TRACER APPLICATIONS AND HINTS FOR FAILURE ANALYSIS”**. Microelectronic Failure Analysis Desk Reference.
- Microchip. **“ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC32MX150F128D”**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC32MX150F128D>. (วันที่ค้นข้อมูล: 26 มีนาคม 2560).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Noorsyuhada Hat, Andrew abate and Khairul Aiman Yusof. (2013). **“Development of Failure Analysis Technique for Temperature Dependent Failures”**. Proceedings of IEEE 2013 International Symposium on the physical and Failure analysis of Integrated circuit.

Parin Dechmune and Others. (2017). **“Leakage Current Measurement with The Bench Test in Watchdog Timer Power Down Mode for Microcontroller Device”**. International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON).

Technology Test System Co., Ltd. **“มิเตอร์”**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: www.technotest-system.com. (วันที่ค้นข้อมูล: 16 มิถุนายน 2560).

Xtek. **“XtekXray”**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: www.xtekxray.com. (วันที่ค้นข้อมูล: 1 มิถุนายน 2560).





ภาคผนวก

- ภาคผนวก ก หนังสือขออนุญาตเก็บข้อมูลจากงานบัณฑิตศึกษาคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังถึงหัวหน้างาน จำนวน 1 ท่าน
- ภาคผนวก ข แบบประเมินคุณภาพการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทส
- ภาคผนวก ค ผลการประเมินคุณภาพการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทส จากผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน

ภาคผนวก ก

หนังสือขออนุญาตเก็บข้อมูลจากงานบัณฑิตศึกษาคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและ
เทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังถึงหัวหน้างานจำนวน
1 ท่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ที่ ศธ ๐๕๖๔.๐๔/ 3805

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง
เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ ๑๐๕๖๐

พฤษภาคม ๒๕๖๐

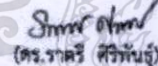
เรื่อง ขอบความอนุเคราะห์ให้นักศึกษาทดลองใช้เครื่องมือและเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิจัย

เรียน คุณกวีฑาพล ศิริอนุการวัฒนา (ผู้จัดการฝ่าย Failure analysis) Failure Analysis Manager
บริษัทไมโครชิพเทคโนโลยี (ไทยแลนด์) จำกัดสิ่งที่ส่งมาด้วย ๑. ประกาศผลการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ จำนวน ๑ ฉบับ
๒. คำขอ

ด้วย นางสาวจิราภา มุ่งเจริญ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาการวัดกระแสรั่วไหลของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยวิธีเบนซ์เตส" โดยมี รศ.ดร.กิติพงศ์ มะโน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และได้รับอนุมัติหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์แล้ว เมื่อวันที่ ๑๓ กรกฎาคม ๒๕๖๐ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี จึงขอความอนุเคราะห์จากท่านให้ นางสาวจิราภา มุ่งเจริญ ทดลองใช้เครื่องมือและเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้ตัวไอซีในการทดสอบ ภายในหน่วยงานของท่านได้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุญาตและขอขอบคุณในความอนุเคราะห์ของท่านมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ


(ดร.ราตรี ศิริพันธุ์)

รองคณบดี กำกับดูแลงานด้านวิชาการและบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติกรแทนคณบดี

ส่วนสนับสนุนวิชาการ

โทร. ๐๒-๓๒๙-๘๐๐๐ ต่อ ๓๖๘๒

โทรสาร. ๐๒-๓๒๙-๘๔๓๖

ติดต่อนักศึกษา โทร.๐๘๕-๙๐๔-๙๖๘๐



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบประเมินคุณภาพ การวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทส

คำชี้แจง

แบบประเมินคุณภาพการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทส ซึ่งผู้วิจัยทำขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อขอรับความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทส อีกทั้งเป็นการประเมินให้คะแนนคุณภาพรายการต่างๆ ตามความเหมาะสม

นางสาว จิราภา มุ่งเจริญ

ผู้วิจัย

ข้อแนะนำในการตอบแบบประเมิน

1. อ่านคำแนะนำในการตอบแบบประเมินอย่างละเอียด
2. ให้ท่านทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องระดับคุณภาพเพียงข้อเดียว ที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน โดยกำหนดเกณฑ์การเลือกไว้ 5 ระดับ ดังนี้

ระดับที่ 5	หมายถึง	คุณภาพอยู่ในระดับ ดีมาก
ระดับที่ 4	หมายถึง	คุณภาพอยู่ในระดับ ดี
ระดับที่ 3	หมายถึง	คุณภาพอยู่ในระดับ ปานกลาง
ระดับที่ 2	หมายถึง	คุณภาพอยู่ในระดับ พอใช้
ระดับที่ 1	หมายถึง	คุณภาพอยู่ในระดับ ควรปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบประเมินคุณภาพการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทส

ข้อที่	รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ				
		5	4	3	2	1
1	ความสามารถในการวัดหาค่ากระแสรั่วไหลด้วยวิธีเบนซ์เทส					
2	ผลจากการเบนซ์เทสมีการนำไปใช้ทำงานได้จริง					
3	ความปลอดภัยขณะทำการเบนซ์เทส					
4	ความเหมาะสมในการใช้อุปกรณ์					
5	ความสะดวกในการติดตั้งและกำหนดค่าในการเบนซ์เทส					

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ

(.....)

ผู้ทรงคุณวุฒิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ผลการประเมินคุณภาพการวัดกระแสรั่วไหลด้วยวิธีการเบนซ์เทส
จากผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน**

ข้อ ที่	รายการประเมิน	ระดับความมีคุณภาพ (ร้อยละ)		
		ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับความมี คุณภาพ
1	ความสามารถในการวัดหาค่ากระแสรั่วไหล ด้วยวิธีเบนซ์เทส	4.00	0.00	ดี
2	ผลจากการเบนซ์เทสมีการนำไปใช้งานได้จริง	4.00	1.00	ดี
3	ความปลอดภัยขณะทำการเบนซ์เทส	4.67	0.58	ดีมาก
4	ความเหมาะสมในการใช้อุปกรณ์	4.00	1.00	ดี
5	ความสะดวกในการติดตั้งและกำหนดค่า ในการเบนซ์เทส	3.00	1.73	ปานกลาง
	รวม	3.93	0.86	ดี

โดยหลังจากประเมินแล้วจะนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยสามารถตีความหมายของคุณภาพได้ดังนี้

ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.51 – 5.00 คุณภาพอยู่ในระดับ ดีมาก

ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.51 – 4.50 คุณภาพอยู่ในระดับ ดี

ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.51 – 3.50 คุณภาพอยู่ในระดับ ปานกลาง

ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.51 – 2.50 คุณภาพอยู่ในระดับ พอใช้

ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.00 – 1.50 คุณภาพอยู่ในระดับ ต้องปรับปรุง

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวจิราภา มุ่งเจริญ
วัน/เดือน/ปีเกิด	16 มิถุนายน 2534
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลพุทธโสธร จังหวัดฉะเชิงเทรา
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	เลขที่ 55/3 หมู่ 5 ตำบลคลองเขื่อน อำเภอคลองเขื่อน จังหวัดฉะเชิงเทรา 24000
ประวัติการศึกษา	<p>ปี พ.ศ. 2546 สำเร็จการศึกษาในระดับประถมศึกษาชั้นปีที่ 6 จากโรงเรียนโสภณประชาเทวารุทธารักษ์ อำเภอคลองเขื่อน จังหวัดฉะเชิงเทรา</p> <p>ปี พ.ศ. 2549 สำเร็จการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 3 จากโรงเรียนดัดดรุณี อำเภอเมืองฉะเชิงเทรา จังหวัดฉะเชิงเทรา</p> <p>ปี พ.ศ. 2552 สำเร็จการศึกษาในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) แผนก วิชาอิเล็กทรอนิกส์ จากวิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา อำเภอเมืองฉะเชิงเทรา จังหวัดฉะเชิงเทรา</p> <p>ปี พ.ศ. 2556 สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรีครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ค.อ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร</p> <p>ปี พ.ศ. 2560 สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาโท ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต (ค.อ.ม.) สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร</p>
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2557 ปัจจุบัน วิศวกร บริษัท Microchip Technology Thailand จำกัด. 14 หมู่ 1 ตำบลวังตะเคียน อำเภอเมืองฉะเชิงเทรา จังหวัดฉะเชิงเทรา 24000