



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การแปลงการทดสอบตัวงานจาก MTC ไป SPEA
Test platform conversion (MCT to SPEA)

นายวัชรพล หล่อสุทธิธรรม

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559



T148501

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การแปลงการทดสอบตัวงานจาก MTC ไป SPEA
Test platform conversion (MCT to SPEA)

นายวัชรพล หล่อสุทธีธรรม

สาขา.....
เลขทะเบียน 148501
วันเดือนปี 30 ต.ค. 2560

b. 128511114
i.

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการ	การแปลงแพลตฟอร์มที่ใช้ทดสอบจาก MCT ไป SPEA
นักศึกษา	นายวัชรพล หล่อสุทธิธรรม
คณะ	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ	อ.เฉลิมพันธ์ หวังวิวัฒนา
สถานประกอบการ	บริษัท เอ็นเอ็กซ์พี แมนูแฟกเจอร์ริง (ไทยแลนด์) จำกัด

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้ กล่าวถึงการทำงานในบริษัท NXP Manufacturing Thailand Ltd. ที่ผู้จัดทำได้ไปทำงานเกี่ยวกับการย้ายผลิตภัณฑ์ที่ทดสอบอยู่บนเครื่อง MCT-2000 ให้สามารถทดสอบได้บนเครื่อง SPEA-L ที่เป็น ATE (Automated Test Equipment) เครื่องใหม่ ให้ค่าที่วัดได้ ใกล้เคียงกับค่าเดินบนเครื่อง MCT หรือ ค่าที่วัดได้จากการทดสอบบน Bench และทำ Tools ที่ช่วยทำเอกสารที่ใช้อ้างอิงในการ Release Test Program ที่เขียนขึ้น เพื่อช่วยลดเวลาในการทำงานเกี่ยวกับเอกสาร

Cooperative Title:	Test platform conversion (MCT to SPEA)
Student intern name:	Mr.Watcharapol Lorsuthitham
Faculty	Engineering
Department	Electronics
Adviser name	Mr.Chaloemphun Wangwiwattana
Company	NXP Manufacturing (Thailand) Ltd.

Abstract

This report is about working in NXP Manufacturing (Thailand) Ltd. It concerns to convert testing on product from MCT to newer SPEA-L. The objective is obtain the new measure value being similar to the old MCT's, or the bench testing. And create tool to help creating document used in reference in releasing report of test program to reduce time used in documenting.

กิตติกรรมประกาศ

การฝึกงานอุตสาหกรรมภาคฤดูร้อนรวมถึงการทำโครงการต่างๆ สามารถผ่านไปได้ด้วยดี ต้องขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา รวมถึง ผู้จัดการ, พี่เลี้ยง และพี่ในแผนก ที่ช่วยดูแลให้ คำปรึกษาเรื่องต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นในด้านการทำงาน, ประสบการณ์ หรือการปฏิบัติตัวต่างๆ เพื่อ ความปลอดภัยในโรงงาน รวมถึง พี่ๆที่ไม่ได้อยู่ในแผนก แต่ก็ให้ความร่วมมือในการทำงาน ทำให้ โครงการนี้ ผ่านไปได้ด้วยดี

วัชรพล หล่อสุทธิธรรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อ.....	I
Abstract.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ประวัติของบริษัท.....	1
1.2 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	3
1.3 วัตถุประสงค์.....	3
1.4 ขอบเขตของโครงการ.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 ระยะเวลาในการทำโครงการ.....	4
บทที่ 2 รายละเอียดการฝึกงานโครงการสหกิจศึกษา.....	5
2.1 หน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย.....	5
2.1.1 หน้าที่หลัก.....	5
2.1.2 หน้าที่อื่นๆ.....	5
2.1.3 ชิ้นงาน หรือโครงการที่ทำ.....	6
2.2 Component และ ทฤษฎีต่างๆ.....	6
2.2.1 Diode.....	6
2.2.2 มอสเฟต.....	8
2.2.3 Resistor.....	9
2.3 Test Concept.....	10
2.3.1 Open/Short.....	10
2.3.2 Input Leakage Test (IIL/IIH).....	11
2.3.3 Ron and VPAS.....	12
2.3.4 Functional Test.....	13
2.4 Programming.....	14

2.4.1 Test program coding	14
2.4.2 VBA tools coding	14
2.4.2.1 การสร้าง User Interface	14
2.4.2.2 การสร้าง Module สำหรับการเขียน Code	17
2.4.2.3 Function หรือคำสั่งที่ใช้งานบ่อย.....	18
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการ	21
3.1 ขั้นตอนการทำโครงการ	21
3.1.1 ศึกษา Product	21
3.1.2 ศึกษา Hardware & Software	21
3.1.3 สร้าง ETS	23
3.1.4 Load board design/selection	23
3.1.5 Test program coding	24
3.1.6 Test program debugging	24
3.1.7 Fine-Tuning	25
3.1.8 R&R	25
3.1.9 Trial Run	26
3.1.10 Documentation	26
3.2 หัวข้ออื่นๆ	27
3.2.1 สร้างโปรแกรมสำหรับสร้าง ETS	27
3.2.2 ทำการตรวจสอบและค้นหาสิ่งผิดปกติในงาน complain จากลูกค้า.....	29
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	30
บทที่ 5 สรุปผลโครงการสหกิจศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	32
เอกสารอ้างอิง	33
ภาคผนวก	34

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาในการทำโครงการ4



สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 เครื่อง ATE (Automated Test Equipment) ยี่ห้อ SPEA.....	6
รูปที่ 2.2 แสดง IV Curve ของ ไดโอด.....	7
รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของ nMOS.....	8
รูปที่ 2.4 แสดงการทำงานของ nMOS	8
รูปที่ 2.5 แสดงสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของตัวต้านทาน	9
รูปที่ 2.6 แสดงวิธีการทดสอบ Open/Short.....	10
รูปที่ 2.7 แสดงวิธีการวัดค่า IIL และ IHH.....	11
รูปที่ 2.8 แสดงการวัด Ron.....	12
รูปที่ 2.9 แสดงการวัด VPAS.....	12
รูปที่ 2.10 แสดง Parameter ต่างๆ ของ Functional Test.....	13
รูปที่ 2.11 แสดงวิธีการเปิดหน้าต่างสำหรับการเขียน VBA.....	14
รูปที่ 2.12 แสดงวิธีการสร้าง User Form.....	15
รูปที่ 2.13 หน้าต่างสำหรับการสร้าง User Interface	15
รูปที่ 2.14 เครื่องมือสำหรับการวาด User Interface.....	16
รูปที่ 2.15 รูปร่างหน้าต่างของ User Interface ที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว.....	16
รูปที่ 2.16 แสดงวิธีการสร้าง Module สำหรับการเขียน Code	17
รูปที่ 2.17 พื้นที่สำหรับการเขียน Code.....	17
รูปที่ 2.18 แสดง Code ของฟังก์ชัน FilePicker.....	18
รูปที่ 2.19 แสดง Code ของฟังก์ชัน GetFolder.....	18
รูปที่ 3.1 Package TSSOP-20	21
รูปที่ 3.2 Tester SPEA-L.....	22
รูปที่ 3.3 VRAD.....	23
รูปที่ 3.3 Load board GB-28.....	24
รูปที่ 3.5 ภาพ User Interface ของ โปรแกรมนี้.....	27
รูปที่ 3.6 หัวตารางที่สร้างขึ้นมา พร้อมกับการจัดขนาดเซลล์.....	28
รูปที่ 3.7 ไฟล์ ETS ที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว.....	28
รูปที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ R&R	30
รูปที่ 4.2 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่าง SPEA, MCT และ Bench.....	30

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่าง MCT-2000 และ SPEA-L31

รูปที่ 4.4 แสดง ETS file ที่สร้างจาก Tool ตัวนี้31



บทที่ 1

1.1 ประวัติของบริษัท

เอ็นเอ็กซ์พี แมนูแฟกเจอร์ (ไทยแลนด์) มีจุดเริ่มต้นมาจาก ชิเกเนติกส์ คอร์ปอเรชัน (ชั้นนำระดับโลก) จำกัด ซึ่งได้เข้ามาและได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (บี.โอ.ไอ) ให้เข้ามาลงทุนในประเทศไทยเมื่อวันที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2516 และได้เริ่มก่อตั้งเป็น บริษัท ชิเกเนติกส์ ไทยแลนด์ จำกัด ขึ้นเมื่อเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2517 โดยมีสำนักงานอยู่ที่อาคารเกษมกิจ ถนนสีลม ต่อมาในเดือนสิงหาคม จึงได้ย้ายไปอยู่โรงงานชั่วคราวที่ สะพานใหม่ ดอนเมือง ซึ่งในระยะแรกได้เช่าตึกแถว (เป็นโรงงาน) จำนวน 10 คูหา โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะใช้ เป็นเพียงสถานที่ฝึกอบรมพนักงานเท่านั้น และมีโครงการจะสร้างโรงงานถาวรบนเนื้อที่ 40 ไร่ บนถนนแจ้งวัฒนะ บริเวณใกล้สี่แยกหลักสี่ เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ

แต่ในระยะนั้น โครงการดังกล่าวจำเป็นต้องระงับไว้เป็นการชั่วคราว อันเนื่องมาจากสถานการณ์ทางการเมืองในประเทศเรานั้น บริษัทฯ จึงได้ทำการขยายโรงงานชั่วคราวขึ้นอีก โดยเพิ่มขึ้นเป็น 37 คูหา และมีพนักงานในขณะนั้นประมาณ 1,900 คน รวมระยะเวลาที่ทำงานอยู่ในโรงงานชั่วคราวนี้ได้ประมาณ 5 ปีเศษ ประมาณเดือนธันวาคม พ.ศ. 2522 บริษัทฯ จึงได้เริ่มย้ายหน่วยงานเข้ามายัง โรงงานสร้างใหม่ เลขที่ 303 หมู่ 3 ถนนแจ้งวัฒนะ เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร อันเป็นที่ตั้งของบริษัทฯ ในปัจจุบัน โดยได้ทำการย้ายทุกหน่วยงานแล้วเสร็จประมาณเดือนมีนาคม พ.ศ. 2523 (ใช้เวลาประมาณ 4 เดือน)

ต่อมาในปี 2536 บริษัท ชิเกเนติกส์ ไทยแลนด์ จำกัด ได้เปลี่ยนชื่อมาเป็น บริษัท ฟิลิปส์ เซมิคอนดักเตอร์ (ไทยแลนด์) จำกัด ซึ่งถือเป็นโรงงานประกอบและทดสอบแผงวงจรรวมภายใต้หน่วยผลิตภัณฑ์เซมิคอนดักเตอร์ ของบริษัทฟิลิปส์ แต่ด้วยเหตุผลทางด้านธุรกิจ บริษัทฟิลิปส์ จึงได้แยกหน่วยผลิตภัณฑ์เซมิคอนดักเตอร์ พร้อมทั้งได้ก่อตั้งเป็นบริษัทใหม่โดยใช้ชื่อว่า เอ็นเอ็กซ์พี เซมิคอนดักเตอร์ (NXP Semiconductor) และได้มีการแยกระบบบัญชีออกมาจากบริษัทฟิลิปส์ ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2549 โดยสำนักงานใหญ่ยังคงอยู่ที่เมืองไอนด์โฮเฟิน ประเทศเนเธอร์แลนด์ ดังนั้นบริษัท ฟิลิปส์ เซมิคอนดักเตอร์ (ไทยแลนด์) จำกัด จึงเปลี่ยนชื่อมาเป็น บริษัท เอ็นเอ็กซ์พี แมนูแฟกเจอร์ (ไทยแลนด์) จำกัด

ปัจจุบัน บริษัทฯ ของเรามีพนักงานทั้งสิ้นมากกว่า 3,000 คน (ข้อมูล ณ เดือนพฤษภาคม 2552) และยังคงให้ความสำคัญกับการพัฒนาในทุกๆด้าน ไม่ว่าจะเป็น ผลิตภัณฑ์ คน สังคม และสิ่งแวดล้อม ซึ่งจากการร่วมแรงร่วมใจของพนักงานทุกคนนี้เอง ได้ทำให้บริษัทฯ ของเราผลิตผลงานที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับออกสู่ตลาดโลกอย่างต่อเนื่องกันมาเป็นระยะเวลานานกว่า 30 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาแล้ว โดยมีบุคคลสำคัญที่มีส่วนผลักดันให้บริษัทฯ เจริญก้าวหน้า ซึ่งดำรงตำแหน่งเป็นกรรมการ
ผู้จัดการของบริษัทฯ ได้แก่

1. นายเจมส์ อี สโตคส์
2. นายทอมมี่ เจ เฟรมตัน
3. นายโดนัลด์ จีน เพจ
4. นายลู บาร์เบอร์รี่
5. นายบรูซ สตรอมสแต็ค
6. นายแฮร์รี่ บี กูลค์
7. นายจอห์น เอฟ โอทเลย์
8. นายโดนัลด์ คีธ แฟลกลเลอร์
9. นายพอล คิสคอลล
10. นายวิลเลียม เดอ วรีส์
11. นายแท ช็อค ลี
12. นายคัต แชมป์สัน
13. นายเอช ซี ลู
14. นายทีโอ ฮัลเคอร์
15. นายไมเคิล มิลฟอร์ด คูบ ซึ่งดำรงตำแหน่งในปัจจุบัน

ปัจจุบัน บริษัท เอ็นเอ็กซ์ที แมนูแฟกเจอร์ส (ไทยแลนด์) จำกัด ผลิตไอซี เพื่อจำหน่ายให้แก่
ลูกค้าสำคัญๆ ที่มีชื่อเสียงระดับโลก ดังนั้นจึงได้รับความเชื่อถือและการยอมรับในสินค้าที่มีคุณภาพ
มาตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา อันนำมาซึ่งความภาคภูมิใจให้แก่ฝ่ายบริหารและพนักงานทุกคน

1.2 ความเป็นมาและความสำคัญ

การทดสอบตัวงานในโรงงานอุตสาหกรรม จะมีเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ เรียกว่า Tester ซึ่ง Tester ก็มีหลายยี่ห้อ และแต่ละยี่ห้อ ก็จะมีการเขียน โปรแกรมที่แตกต่างกัน ซึ่งเครื่อง MCT ที่ใช้อยู่ในสถานประกอบการ เป็นเครื่องที่มีการใช้งานมานานกว่า 25 ปี ดังนั้น การซ่อมแซม แลดูแลรักษา จึงทำได้ยากขึ้น อีกทั้งยังมีความสามารถในการทำงานที่ด้อยประสิทธิภาพ เนื่องจาก เป็นเทคโนโลยีที่เก่าแล้ว ดังนั้น การแปลง โปรแกรมที่ใช้ทดสอบตัวงานที่อยู่บน MCT ไปทดสอบ บนเครื่อง Tester ใหม่ จึงมีความสำคัญในการลดต้นทุนการทดสอบตัวงานของสถานประกอบการ อีกทั้ง ยังช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบตัวงานอีกด้วย

1.3 วัตถุประสงค์

- 1.3.1 ฝึกการทำงานร่วมกับบริษัท เพื่อให้ได้รับรู้ถึงสภาพบรรยากาศในการทำงานจริง
- 1.3.2 นำความรู้ที่ได้เรียน ไปใช้ในการทำงานจริง
- 1.3.3 ฝึกการเข้าร่วมสังคมที่มีคนหลายช่วงอายุ

1.4 ขอบเขตของโครงการ

1.4.1 สามารถแปลง โปรแกรมที่ใช้ทดสอบตัวงานบนเครื่อง MCT ให้สามารถ ทำงานบน เครื่อง SPEA ได้ ค่าที่วัดได้ จะต้องมีความใกล้เคียงกับค่าเดิมมากที่สุด โดยผ่านกระบวนการวิเคราะห์ R&R (Repeatability and Reproducibility)

1.4.2 เขียน โปรแกรมที่ช่วยสร้างเอกสารที่ใช้อ้างอิงในการ Release Test Program ที่เขียน ขึ้นใหม่ เพื่อช่วยลดระยะเวลาที่ เอ็นจิเนียร์ จะใช้ในการทำงานเอกสารชิ้นนี้ ทำให้สามารถนำเวลาที่ มี ไปทำงานอย่างอื่นที่มีความสำคัญมากกว่า

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้รับรู้ถึงวิธีการทำงานในบริษัท
- 1.5.2 ได้ความรู้ที่ในห้องเรียน ไม่มีสอน
- 1.5.3 ได้ทราบว่าตนเองว่าเหมาะสมกับการทำงานในลักษณะนี้หรือไม่
- 1.5.4 ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการทดสอบชิ้นงาน PCA9544APW ให้กับสถานประกอบการ

1.6 ระยะเวลาในการทำโครงการ

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาในการทำโครงการ

งานที่ปฏิบัติ	มิถุนายน				กรกฎาคม				สิงหาคม				กันยายน				ตุลาคม				พฤศจิกายน			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
สัปดาห์																								
ศึกษา Product	■	■							■	■	■	■												
ศึกษา Hardware & Software	■	■	■						■	■	■	■												
สร้าง ETS		■	■	■					■	■	■	■												
เลือก Load board			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
Test program coding			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
Test program debugging			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
R&R			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
Trial run			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
Documentation			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
Margin time			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												

■ วันทำงาน
 ■ วันหยุด

บทที่ 2

รายละเอียดการฝึกงานโครงการสหกิจศึกษา

2.1 หน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย

2.1.1 หน้าที่หลัก

เขียนโปรแกรมสำหรับการ ทดสอบผลิตภัณฑ์ PCA9544A ที่ปัจจุบัน ทำการ ทดสอบอยู่บนเครื่อง MCT-2000 ให้สามารถทำการ Test ได้ ที่เครื่อง SPEA-L ซึ่งเป็นเครื่อง Tester ใหม่ โดยให้ค่าที่วัดได้ ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จากเครื่อง MCT-2000 หรือค่าจาก Bench Test ให้มากที่สุด เนื่องจาก เครื่อง MCT เป็นเครื่องรุ่นเก่า ซึ่งปัจจุบัน หาอะไหล่ยาก อีกทั้งยังยากต่อการทำงาน เนื่องจากเครื่อง MCT นั้น ใช้ภาษา Pascal ซึ่งไม่เป็นที่คุ้นเคย และใช้งานยากกับผู้ที่ไม่เคยทำงานด้านนี้มาก่อน แต่ SPEA ใช้ภาษา C++ และใช้ Window OS ทำให้ง่ายต่อการใช้งาน และยังสามารถหาอะไหล่ได้หลากหลาย, มีประสิทธิภาพมากกว่าและสามารถทดสอบตัวงานได้ถึง 4 ตัวในเวลาเดียวกัน ซึ่ง MCT ทำได้แค่ครั้งละ 1 ตัว

ดังนั้นแล้ว การย้ายตัวงานจาก MCT มานบน SPEA แล้วทั้งเครื่อง MCT จึงเป็นการช่วยเพิ่ม Work capacity และ ลดเวลาในการทดสอบตัวงานได้

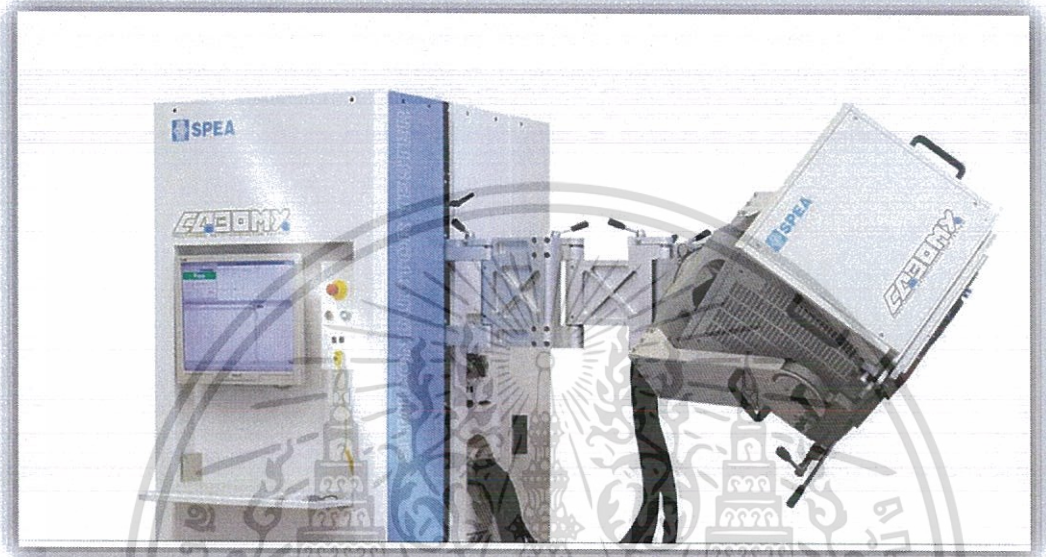
2.1.2 หน้าที่อื่นๆ

สร้าง Tool ที่ใช้สร้าง ETS (Electric Testing Specification) ที่จำเป็นต้องมีในการ Release Test Program ที่เขียนใหม่ โดยเอกสารชิ้นนี้ จะบอกรายละเอียดของการทดสอบในแต่ละ Parameter ของตัวงาน ว่าต่อไฟเท่าไร ที่ไหน และวัดค่าอะไร ดังนั้น ยิงตัวงานที่เขียน โปรแกรมใหม่ มีการทดสอบมากเท่าไร การทำเอกสารชิ้นนี้ ก็จะต้องใช้เวลามากขึ้น นอกจากนั้น การทำงานกับข้อมูลจำนวนมากๆ ก็อาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดของเอกสาร ได้ ซึ่ง Tool ตัวนี้ จะช่วยสร้าง ETS จาก Test Program ที่มีอยู่แล้วของเครื่อง Tester MCT ช่วยลดเวลาที่ใช้ในการสร้าง ETS และลดโอกาสที่เอกสารจะผิดได้

ทำการตรวจสอบชิ้นงานที่เสีย ที่ถูกส่งกลับมาจากลูกค้า (complain) เพื่อตรวจหาจุดที่เสีย โดยการทำให้ Bench test ในห้องแลป ตรวจหาจุดที่เสีย และแจ้งเอ็นจิเนียร์ที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการแก้ไข Test program ให้ทำการแก้ไขให้สามารถตรวจจับตัวงานที่เสียในลักษณะนี้ได้

2.1.3 ชิ้นงาน หรือโครงการที่ทำ

เขียนโปรแกรมควบคุม SPEA-L ให้วัดค่าต่างๆจาก PCA9544A ให้ถูกต้อง, สร้าง Tool สำหรับการสร้าง ETS (Electrical Test Specification) ที่ใช้ในการประกอบการ Release Test Program ที่เสร็จแล้ว และ Tool อื่นๆ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำงาน



รูปที่ 2.1 เครื่อง ATE (Automated Test Equipment) ยี่ห้อ SPEA

ผลิตภัณฑ์ที่จะทำการเขียน Code ขึ้นมาใหม่ มีชื่อว่า PCA9544A เป็น IC I2C ที่มี 4 channel โดยแต่ละ channel ก็จะมี interrupt เป็นของตัวเอง และมี interrupt output 1 pin

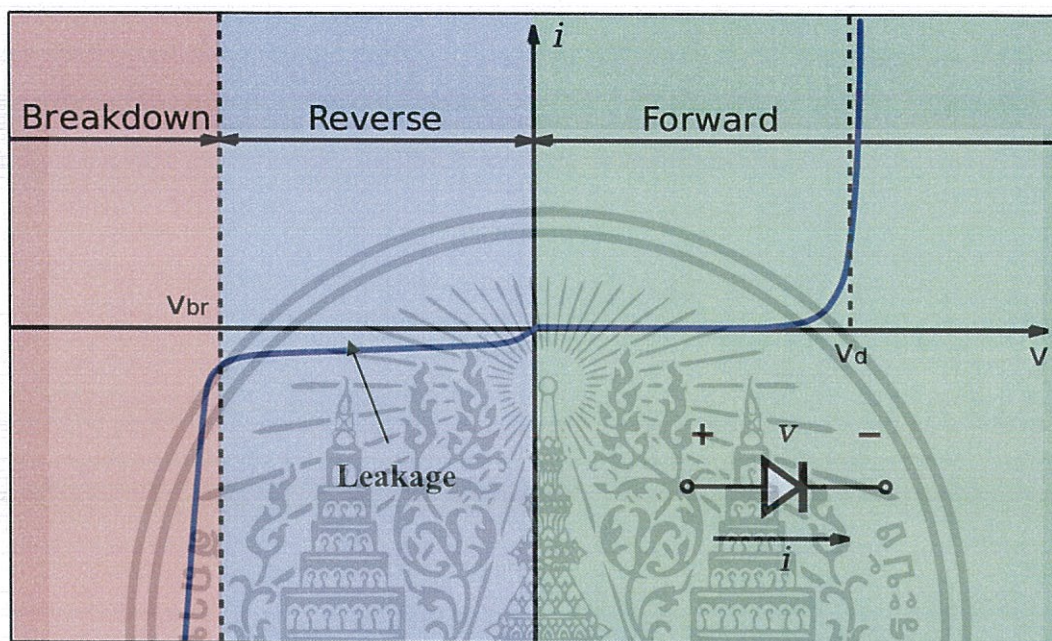
2.2 Component และ ทฤษฎีต่างๆ

2.2.1 Diode

ไดโอด (Diode) เป็นชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดจากสารกึ่งตัวนำ (Semi-conductor) ชนิด P (Positive) และ ชนิด N (Negative) ต่อกัน ทำหน้าที่ในการจำกัดทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า โดยปกติ ไดโอด จะยังไม่นำไฟฟ้า แต่จะนำไฟฟ้า เมื่อมีการไบอัสให้ไดโอด

การ Forward bias เป็นการป้อนแรงดันไฟฟ้า เข้าที่ขั้ว P ของไดโอด เมื่อค่าแรงดัน มีค่ามากกว่า 0.7V (ในกรณีที่สารกึ่งตัวนำที่ใช้ เป็นซิลิกอน) ไดโอดจะเริ่มนำกระแส โดยกระแสไฟฟ้า จะไหลจากขั้ว P ไปขั้ว N

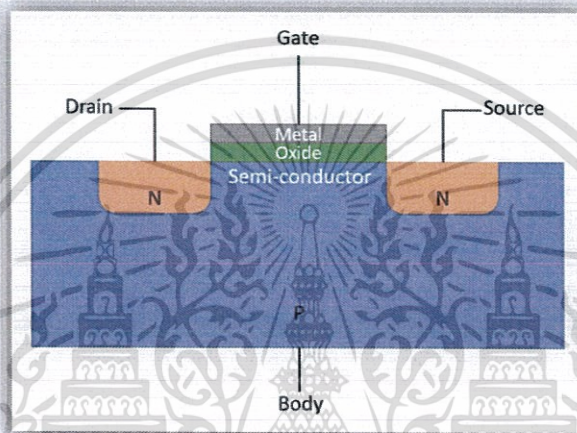
แต่ถ้าป้อนแรงดันไฟฟ้าสลับขั้วกัน จะเป็นการ Reverse bias ไดโอดจะไม่นำกระแส แต่จะมีกระแสไฟฟ้ารั่วไหล (Leakage) ในทิศทางจากขั้ว N ไปขั้ว P ซึ่งมีปริมาณน้อยมาก แต่ถ้าแรงดันป้อนกลับ มีค่ามากกว่าระดับหนึ่ง จะเกิดการ Break down ของไดโอด ทำให้ไดโอดพัง และนำกระแสทั้งสองขั้ว



รูปที่ 2.2 แสดง IV Curve ของ ไดโอด

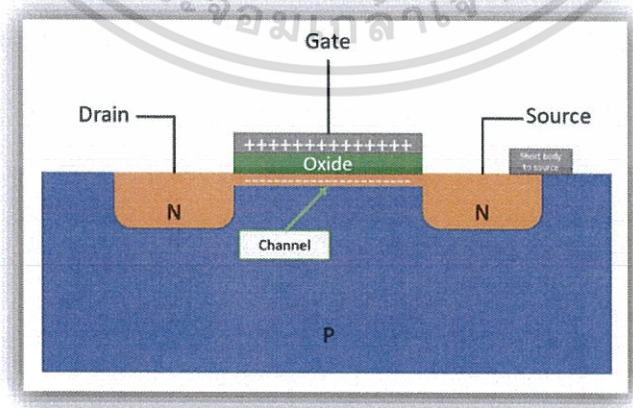
2.2.2 มอสเฟต

มอสเฟต (MOSFET : Metal Oxide Semi-conductor Field Effect Transistor) เป็นทรานซิสเตอร์ชนิดหนึ่ง ที่ใช้อิทธิพลสนามไฟฟ้าในการควบคุมสัญญาณไฟฟ้า โดยใช้ไอออกไซด์ของโลหะในการทำส่วน Gate นิยมใช้ในวงจรริจิตอล โดยนำไปสร้างลอจิกเกตต่างๆ เพราะมีขนาดเล็กส่วนมาก ผู้ผลิตมักจะ Short Body เข้ากับ Source เพื่อป้องกันไม่ให้เกิด Bipolar Junction Transistor (BJT) เนื่องจาก MOSFET มีลักษณะ โครงสร้าง PNP หรือ NPN ซึ่งจะทำให้เกิด BJT ได้ ถ้าหากแรงดันไฟฟ้าที่ Body มีค่าสูง (ในกรณี nMOS) สำหรับ nMOS จะมีโครงสร้างดังรูป



รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของ nMOS

สำหรับหลักการการทำงานของมอสเฟต ในกรณีของ nMOS จะทำงานเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าสูง ที่ Gate ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าในทิศทาง ทำให้อิเล็กตรอนอิสระ ที่อยู่ในเนื้อสาร Semi-conductor ถูกดึงมาได้ชั้นของ Oxide เกิดเป็นช่องทางการไหลของกระแสไฟฟ้า เรียก ช่องทางนั้นว่า Channel ซึ่งแรงดันไฟฟ้า ที่ Gate จะต้องมีความมากกว่า Voltage Threshold ของ MOSFET ซึ่งมีค่าประมาณ 0.7V



รูปที่ 2.4 แสดงการทำงานของ nMOS

2.2.3 Resistor

ตัวต้านทาน (Resistor) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติในการต้านการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้า นั่นคือ ถ้าอุปกรณ์นั้นมีความต้านทานมาก กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านได้จะน้อยลง และถ้ามีความต้านทานน้อย กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านได้ จะมากขึ้น เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดพาสซีฟสองขั้ว ที่สร้างแรงดันไฟฟ้าคร่อมขั้วทั้งสอง โดยมีสัดส่วนมากน้อยตามปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน อัตราส่วนระหว่างแรงดัน และปริมาณกระแสไฟฟ้า ก็คือ ค่าความต้านทานทางไฟฟ้า สามารถเขียนเป็นสมการตามกฎของโอห์ม ดังนี้

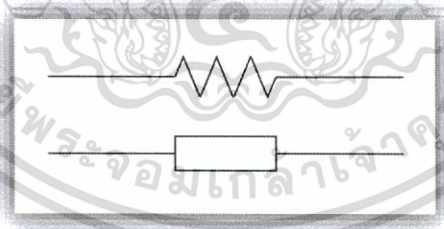
$$R = \frac{V}{I}$$

โดยที่ R คือ ความต้านทาน (ohm : Ω)

V คือ แรงดันไฟฟ้า (volt: V)

I คือ กระแสไฟฟ้า (ampere: A)

เนื่องจากอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์แต่ละตัวถูกออกแบบมาให้ใช้แรงดันและกระแสที่แตกต่างกัน ดังนั้นตัวต้านทานจึงเป็นอุปกรณ์ที่มีบทบาทและใช้กันมากในงานด้านไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ เช่น วิทยุ, โทรทัศน์, คอมพิวเตอร์, เครื่องขยายเสียง ตลอดจนเครื่องมือเครื่องใช้ทางด้านไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ ฯลฯ เป็นต้น

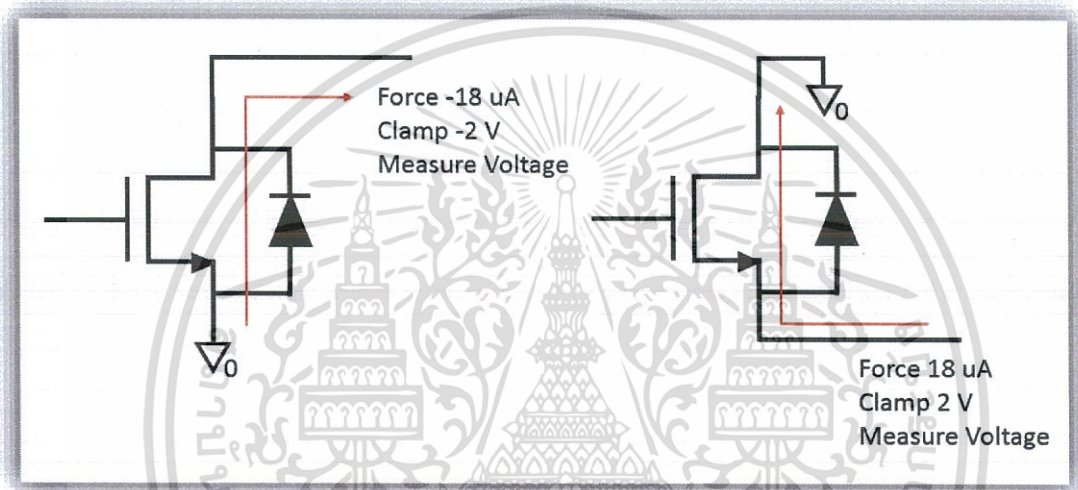


รูปที่ 2.5 แสดงสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของตัวต้านทาน

2.3 Test Concept

2.3.1 Open/Short

การทดสอบนี้ เป็นการทดสอบ Protection Diode ที่อยู่ที่ขาตัวงาน โดยการ Force กระแสจำนวนเล็กน้อย กำหนดค่า Clamp แล้ววัด Voltage ที่ได้ ว่ามีค่าใกล้เคียงกับ Voltage ของ Diode หรือไม่ ถ้าค่าที่ได้ ใกล้เคียง 0 แสดงว่า Protection Diode ที่ขานั้น Short แต่ถ้าค่าที่วัดได้ มีค่าใกล้เคียงกับ Clamp ที่ตั้งไว้ แสดงว่า Protection Diode ตัวนั้น Open ไปแล้ว (ขาด)

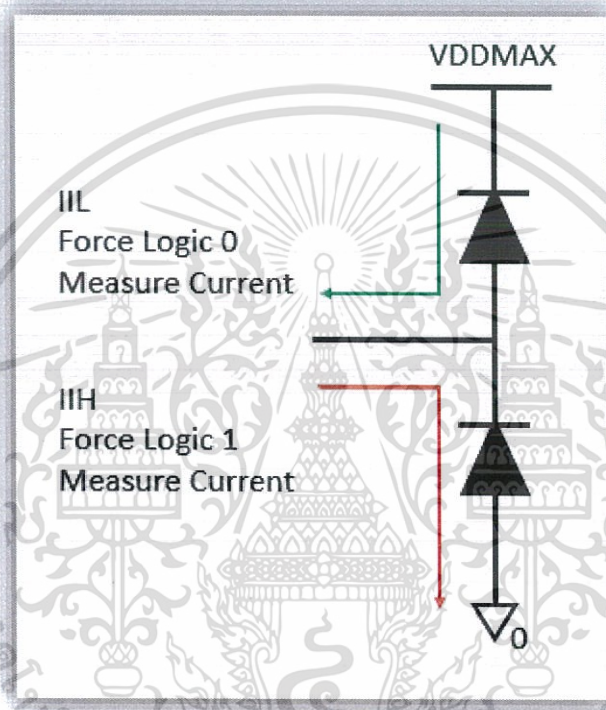


รูปที่ 2.6 แสดงวิธีการทดสอบ Open/Short

2.3.2 Input Leakage Test (IIL/IIH)

การทดสอบนี้ เป็นการทดสอบว่า มีการรั่วไหลของกระแสเพียงใด โดยการต่อ VDDMAX สำหรับการวัด IIL ให้ Force Logic 1 ใน pin อื่นๆ ที่ไม่ใช่ pin ที่ต้องการวัด แล้วจึงค่อย Force Logic 0 บน pin ที่ต้องการวัดค่า

สำหรับ IIH ก็ทำแบบเดียวกันกับ IIL แต่สลับการ Force Logic 0 > 1 และ จาก 1>0 ก็จะได้ค่า IIH ของตัวงาน

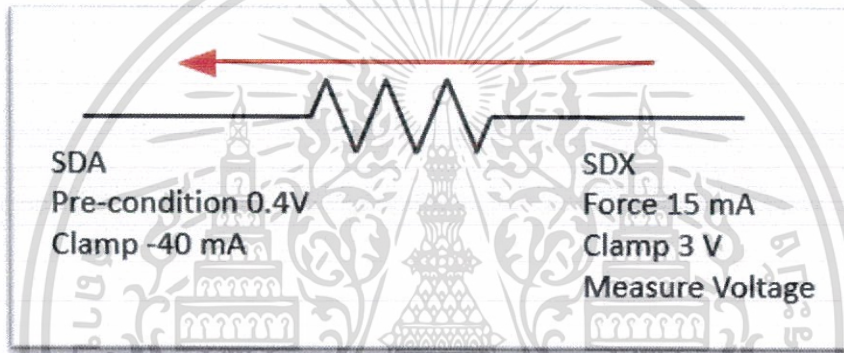


รูปที่ 2.7 แสดงวิธีการวัดค่า IIL และ IIH

2.3.3 Ron and VPAS

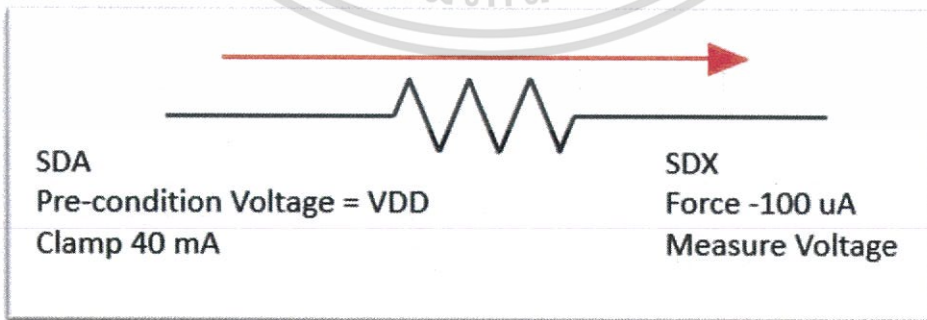
ก่อนที่จะวัดค่า Ron และ VPAS จะต้องทำการ Enable Channel ของตัวงานก่อน ซึ่งในการจะ Enable Channel นั้น จะต้องป้อน Pattern ที่ใช้ในการควบคุมตัวงานเข้าไป หลังจากที่ได้ Enable แล้ว จะต้องทำการ Set Pre-condition โดยตั้งค่า Voltage ที่ pin SDA ไว้ที่ 0.4 V หลังจากนั้น ทำการ Force กระแส ที่ pin SDX แล้วทำการวัด Voltage ค่าของ Ron ที่ได้ จะมีค่า

$$R_{on} = \frac{V_{measure} - 0.4}{I_{force}}$$



รูปที่ 2.8 แสดงการวัด Ron

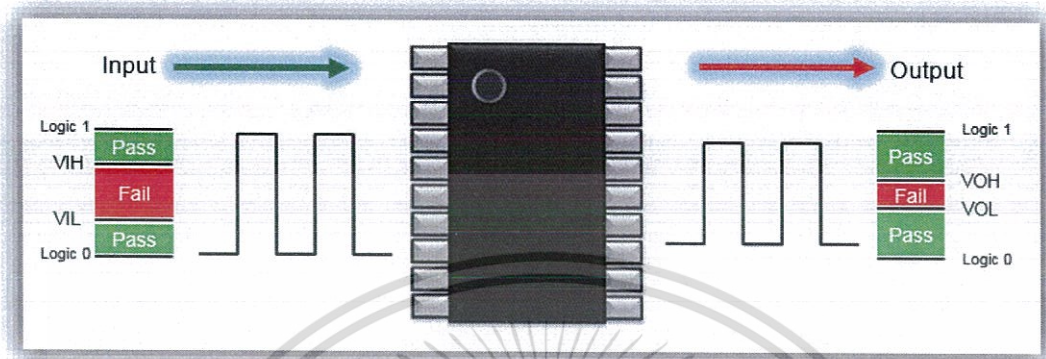
ส่วน VPAS จะเป็นการวัดความสามารถในการส่งผ่าน Voltage ของตัวงาน โดยหลังจาก Enable Channel ให้ทำการ Set Pre-condition โดยการตั้งค่า Voltage ที่ SDA ให้เท่ากับ VDD แล้วจึงทำการ Force กระแส(เล็กน้อย)ที่ pin SDX แล้ววัดค่า VPAS



รูปที่ 2.9 แสดงการวัด VPAS

2.3.4 Functional Test

สำหรับ Functional Test เป็นการทดสอบการทำงานของตัวงาน ว่าสามารถทำงานได้ตาม Data Sheet หรือไม่ โดยจะทดสอบ Parameter ต่างๆ คือ VIL, VOL, VIH, VOH



รูปที่ 2.10 แสดง Parameter ต่างๆ ของ Functional Test

ในการทดสอบ จะทำการ Set ระดับแรงดันของ Logic 0 และ Logic 1 ให้มีค่าตาม VIL, VOL แล้วดูการตอบสนองของตัวงาน โดยสังเกตจาก Acknowledge Signal จากตัวงานที่จะ Generate ออกมาทุกๆ 8 bits ถ้าหาก มีสัญญาณ Acknowledge แสดงว่าตัวงานรับรู้ถึง Logic ที่ป้อนเข้ามาและอ่านได้อย่างถูกต้อง

2.4 Programming

2.4.1 Test program coding

ในการเขียนโปรแกรมในโครงงานนี้ จะใช้ภาษา C++ ในการเขียน เนื่องจากเครื่อง Tester ที่ใช้ ใช้ภาษา C++ การควบคุม การเขียน โปรแกรมให้วัดค่าจากตัวงาน จะมีขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

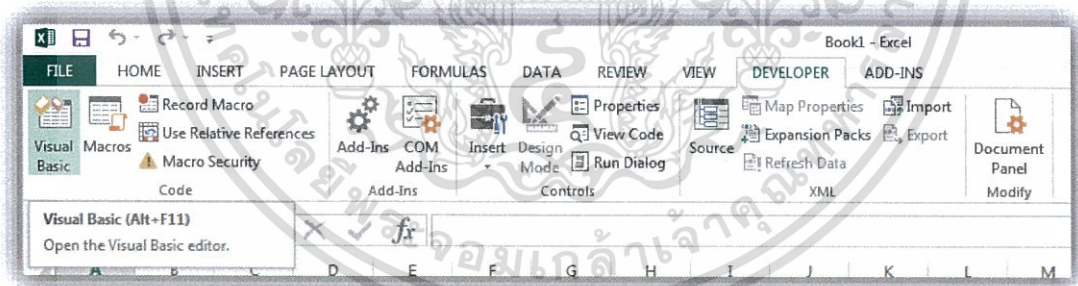
1. Source set: เป็นการตั้งค่าระดับแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่จะไหลเข้าหรือออกจากตัวงาน
2. Pre-condition (ถ้ามี): เป็นการตั้งระดับแรงดันหรือกระแสไฟฟ้าที่ขาของตัวงานที่จำเป็นต้องมีการตั้งค่าก่อนการวัด
3. Forced and measure: เริ่มการปล่อยแรงดันหรือกระแสไฟฟ้าเข้าหรือออกจากตัวงาน แล้วทำการวัดค่าที่ต้องการ
4. Disconnect: เป็นการตัดการเชื่อมต่อระหว่าง Tester และตัวงานที่ทำทดสอบ

2.4.2 VBA tools coding

VBA (Visual Basic for Application) ที่อยู่ใน โปรแกรม Microsoft Excel สามารถนำมาสร้างเครื่องมือที่ช่วยในการจัดการกับเอกสารต่างๆที่ซับซ้อนได้ โดยมีวิธีการใช้งานพื้นฐานดังนี้

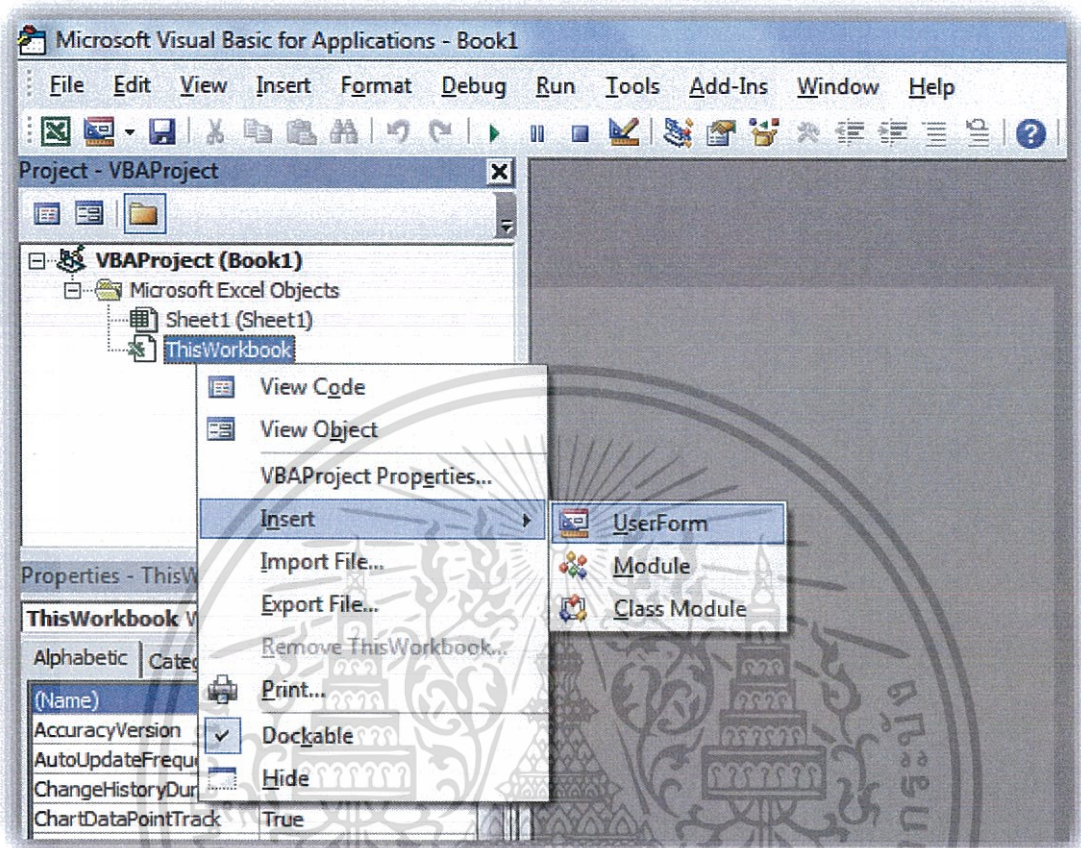
2.4.2.1 การสร้าง User Interface

- 1.เปิดหน้าต่างสำหรับการเขียน VBA ขึ้นมา



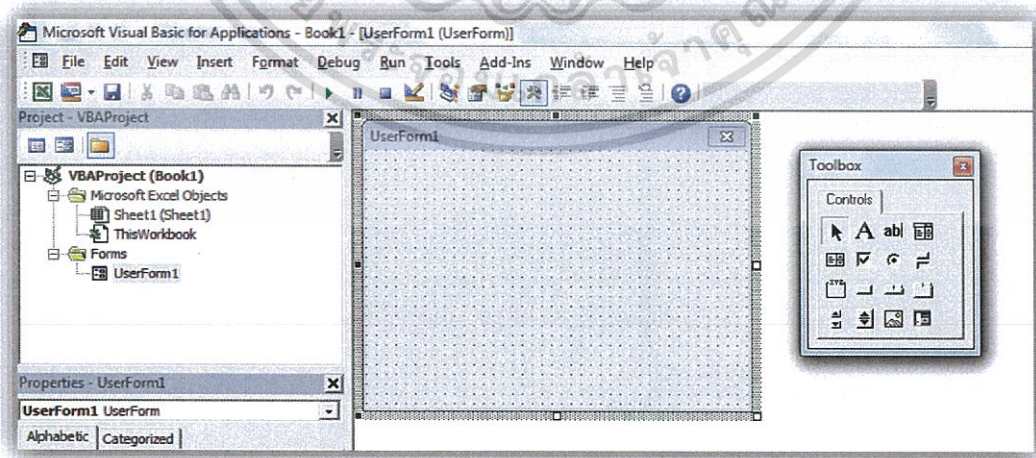
รูปที่ 2.11 แสดงวิธีการเปิดหน้าต่างสำหรับการเขียน VBA

2. ทำการสร้าง User Form โดยการ Click ขวาที่ ThisWorkbook > Insert>UserForm

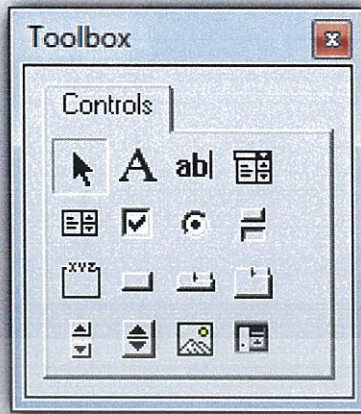


รูปที่ 2.12 แสดงวิธีการสร้าง User Form

จะได้หน้าต่างสำหรับการสร้าง User Interface ขึ้นมา

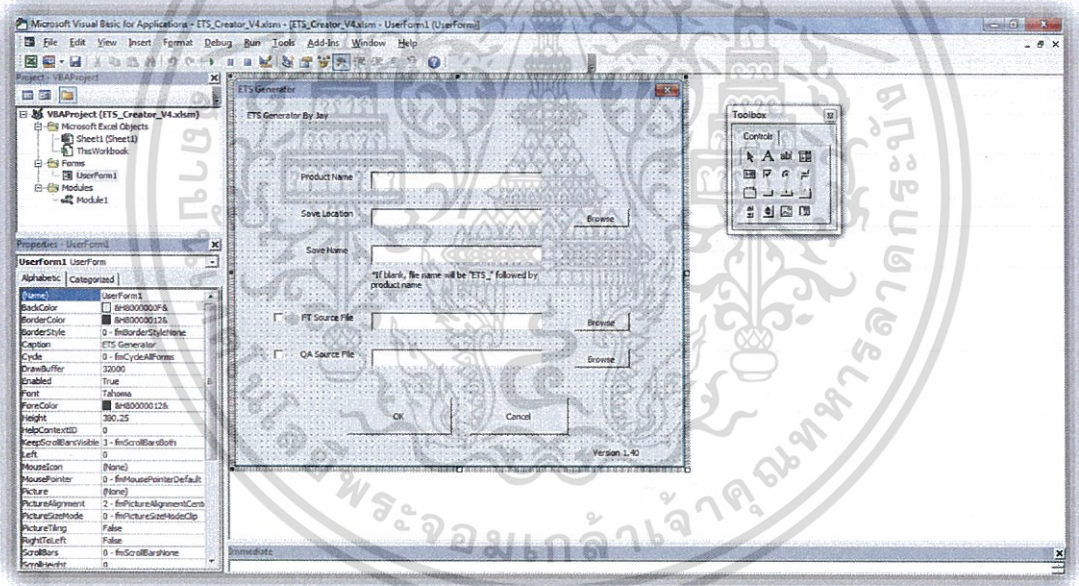


รูปที่ 2.13 หน้าต่างสำหรับการสร้าง User Interface



รูปที่ 2.14 เครื่องมือสำหรับการวาด User Interface

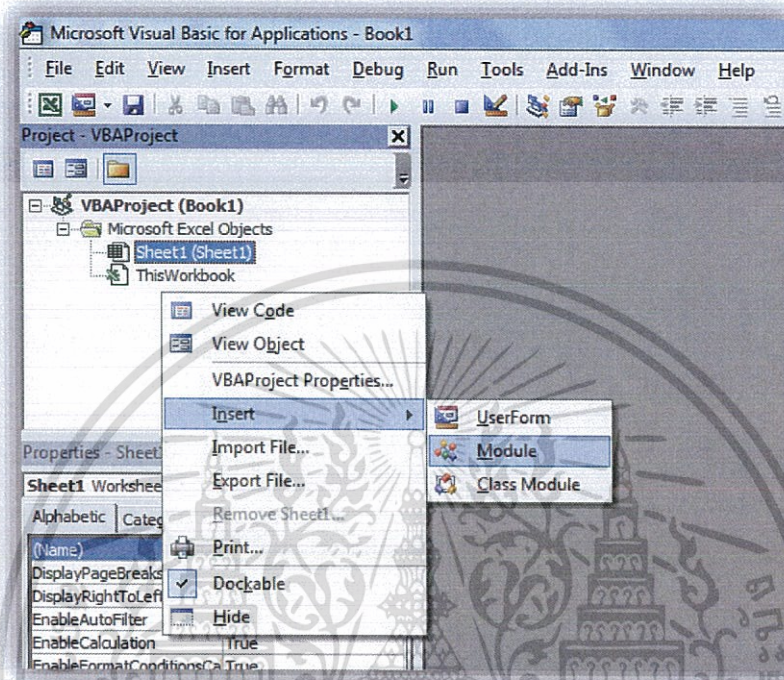
3. ทำการวาด User Interface ตามที่ต้องการ



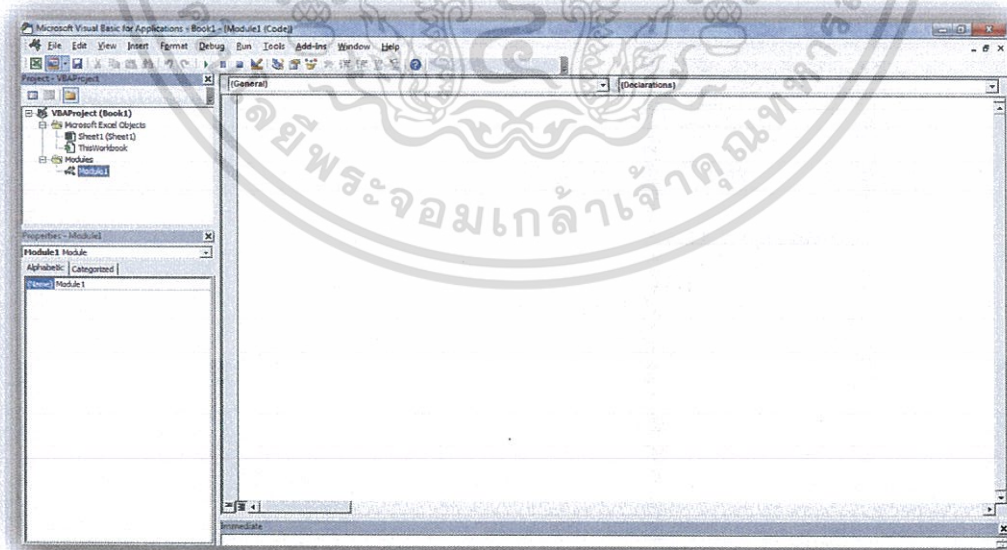
รูปที่ 2.15 รูปร่างหน้าต่างของ User Interface ที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว

2.4.2.2 การสร้าง Module สำหรับการเขียน Code

1. เปิดหน้าต่างสำหรับการเขียน VBA ขึ้นมา
2. สร้าง Module โดยการ Click ขวาที่ ThisWorkbook > Insert > Module



รูปที่ 2.16 แสดงวิธีการสร้าง Module สำหรับการเขียน Code



รูปที่ 2.17 พื้นที่สำหรับการเขียน Code

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.3 Function หรือคำสั่งที่ใช้งานบ่อย

1. File Picker – ใช้สำหรับการเลือกไฟล์เพื่อนำมาใช้ใน Tools

```
Function FilePicker(Optional FilePath As String, Optional FileType As String) As String
    With Application.FileDialog(msoFileDialogOpen)
        If FilePath <> "" Then
            If FileType <> "" Then
                .InitialFileName = FilePath & FileType
            Else
                .InitialFileName = FilePath
            End If
        Else
            .InitialFileName = "C:\*.*"
        End If
        .Show
        If .SelectedItems.count = 0 Then
            FilePicker = ""
        Else
            FilePicker = .SelectedItems(1)
        End If
    End With
End Function
```

รูปที่ 2.18 แสดง Code ของฟังก์ชัน FilePicker

2. Get Folder – ใช้สำหรับการเลือก Location ที่จะ Save File ที่สร้างขึ้น

```
Function GetFolder(strPath As String) As String
    Dim fldr As FileDialog
    Dim sItem As String
    Set fldr = Application.FileDialog(msoFileDialogFolderPicker)
    With fldr
        .Title = "Select a Folder"
        .AllowMultiSelect = False
        .InitialFileName = strPath
        If .Show <> -1 Then GoTo NextCode
        sItem = .SelectedItems(1)
    End With
    NextCode:
    GetFolder = sItem
    Set fldr = Nothing
End Function
```

รูปที่ 2.19 แสดง Code ของฟังก์ชัน GetFolder

3. Instr (Start location, String1, String2) – ใช้ในการตรวจหา Keyword ที่ระบุ

- Start location – ตำแหน่งในสตริงที่จะเริ่มค้นหา
- String1 – สตริงที่จะทำการค้นหา
- String2 – สตริงที่ต้องการค้นหา

โดยค่าที่ออกมา จะเป็นตำแหน่งแรกของ String2 ที่ค้นหาเจอ

ตัวอย่าง

```
Dim temp As String
temp = "AEIOU"
result = Instr (1, temp, "E")
```

จากตัวอย่าง จะเป็นการค้นหาคำว่า E ในตัวแปรสตริง temp ซึ่งค่า result จะเท่ากับ 2 เนื่องจาก E อยู่ตำแหน่งที่ 2

4. Open File For Input or Output As #1 – เป็นการเปิดไฟล์ .txt เพื่อใช้เป็น Input หรือ Output

- File – ไฟล์ที่จะทำการเปิด
- Input or Output – เป็น Input หรือ Output
- #1 – หมายเลขเรียกไฟล์

ตัวอย่าง

```
Dim Location As String
Location = "C:\Users\MyCom\Documents\Text.txt"
Open Location For Input As #1
```

จากตัวอย่าง จะเป็นการเปิดไฟล์ที่อยู่ C:\Users\MyCom\Documents\Text.txt ขึ้นมาเพื่อเป็น Input โดยจะเรียกไฟล์นั้นว่า 1

5. Line Input – เป็นการอ่าน Data ที่อยู่ใน Text file ที่เปิดขึ้นมาทีละบรรทัด
ตัวอย่าง

```
Dim Location, temp As String
Location = "C:\Users\MyCom\Documents\Text.txt"
Open Location For Input As #2
Line Input #2, temp
```

จากตัวอย่าง เมื่อเปิด Text.txt ขึ้นมาแล้วจะทำการนำค่าจากไฟล์ที่เปิดเข้ามา 1 บรรทัดมา
เก็บไว้ในตัวแปร temp



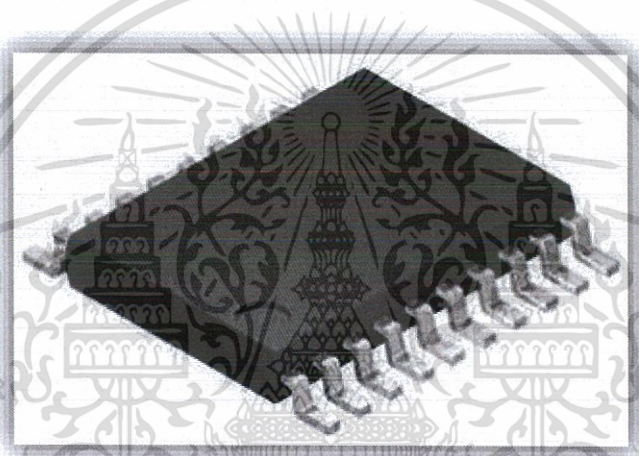
บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

3.1 ขั้นตอนการทำโครงการ

3.1.1 ศึกษา Product

สำหรับผลิตภัณฑ์ที่จะทำการแปลง Test Program ในโครงการนี้ นั่นคือ PCA9544APW ที่อยู่ใน Package TSSOP-20 มีจำนวน pin ทั้งหมด 20 pin สำหรับรายละเอียดของผลิตภัณฑ์ สามารถดูได้ที่ภาคผนวก



รูปที่ 3.1 Package TSSOP-20

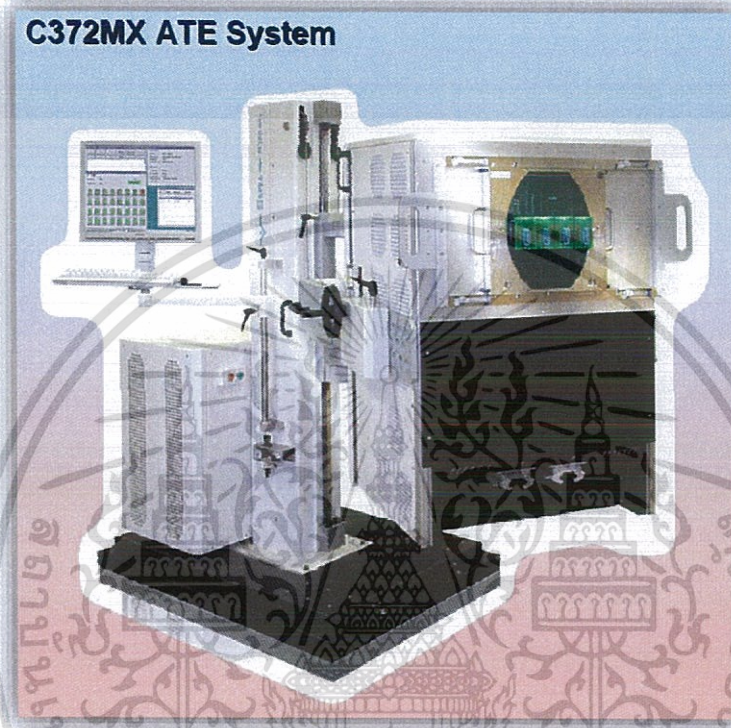
เนื่องจากผลิตภัณฑ์แต่ละตัวจะมี คุณสมบัติที่ต่างกัน จึงต้องมีการศึกษารายละเอียดของผลิตภัณฑ์ตัวนั้นๆจาก Datasheet เพื่อให้ทราบว่า จะต้องวัดอะไรที่ไหน อย่างไร

3.1.2 ศึกษา Hardware & Software

ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการทำเกี่ยวกับการทดสอบไอซี จะมีเครื่องที่ใช้ในการทดสอบ ไอซีเหล่านั้น เรียกว่า Tester หรือ ATE (Automated Test Equipment) ซึ่ง Tester ก็มีหลายยี่ห้อ แต่ละรุ่นก็มีฟังก์ชันการใช้งานที่แตกต่างกัน และการเขียนโปรแกรมที่จะควบคุม Tester เหล่านี้ ก็แตกต่างกันด้วย เพราะบางยี่ห้อ ก็ใช้ภาษา C++ เป็นพื้นฐาน ในขณะที่อีกยี่ห้อหนึ่ง ก็อาจจะใช้ภาษา Pascal เป็นพื้นฐาน จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาโครงสร้าง, แพลตฟอร์ม, โปรแกรมที่ใช้ควบคุม Tester เพื่อที่จะเขียนโปรแกรมควบคุม Tester เหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ Tester ที่มีส่วนในโครงการชิ้นนี้ ได้แก่ เครื่อง MCT-2000 และ SPEA-L ซึ่งเครื่อง MCT-2000 เป็นเครื่องเก่าที่มีอายุการใช้งานมากกว่า 25 ปี โดยที่ SPEA-L เป็นเครื่องใหม่ ที่มีความหลากหลายกว่า สามารถเปลี่ยนบอร์ดที่ใช้ทดสอบตัวงานได้ ในกรณีที่ตัวงานต้องการการทดสอบแบบอื่นๆ

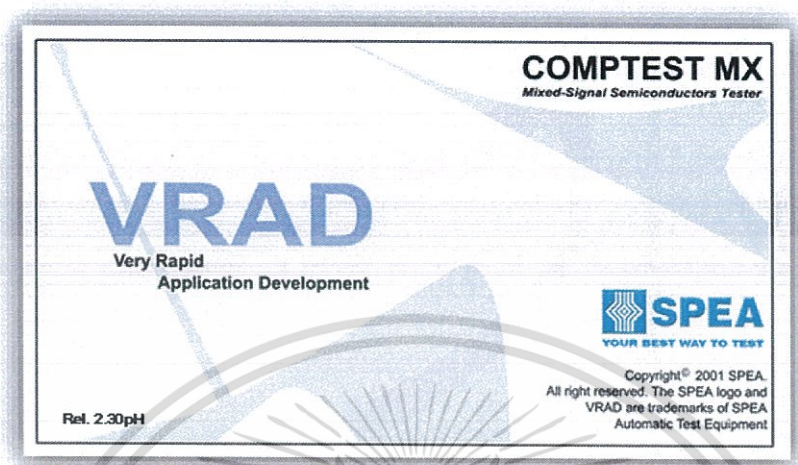


รูปที่ 3.2 Tester SPEA-L

ในการที่จะทำการทดสอบตัวงาน จำเป็นที่จะต้องมีการเชื่อมต่อระหว่าง ตัวงาน และ Tester ซึ่งก็คือ Load board และ Socket

สำหรับการออกแบบ Load board จะต้องระบุความต้องการที่จะใช้ฟังก์ชันต่างๆของการทดสอบซะก่อน เนื่องจากภายใน SPEA-L จะมีการติดตั้งบอร์ดที่ใช้ทดสอบตัวงานอยู่หลายชนิด ซึ่งจะมีหน้าที่แตกต่างกันไป สำหรับ PCA9544APW จะใช้แค่ การวัด Digital แบบธรรมดา ดังนั้น Load board ที่จะใช้ จะต้องมีการเชื่อมต่อไปที่บอร์ดเหล่านั้น โดยตรง และ Socket จะต้องสามารถเสียบลงบน Load board ได้อย่างพอดี และจะต้องสามารถใส่ตัวงานที่จะทดสอบลงไปได้อย่างพอดีเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดตัวแปรอื่นที่ส่งผลต่อการเขียน Test Program

สำหรับ Software ที่ใช้ในโครงการนี้ จะใช้ VRAD (Very Rapid Application Development) ซึ่งเป็น Software ที่มากับเครื่อง SPEA ใช้ในการพัฒนา test program



รูปที่ 3.3 VRAD

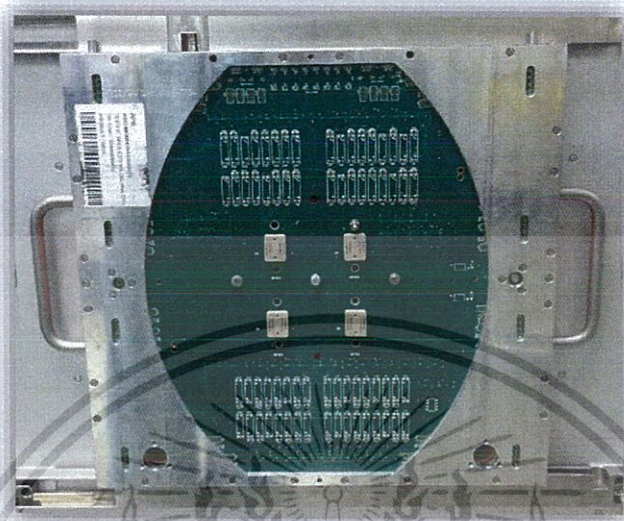
3.1.3 สร้าง ETS

ETS (Electrical Testing Specification) เป็นเอกสารที่ใช้ในการอ้างอิงของ Test Program ที่ จะทำการ Release ซึ่งการที่สร้างก่อนเริ่มเขียน Test Program ก็สามารถที่จะนำ ETS มาใช้เป็น เอกสารอ้างอิงในการเขียน Test Program ได้ เนื่องจากการอ่านจาก Test Program ของ MCT แล้ว นำมาเขียนเป็นของ SPEA นั้น อาจจะทำให้เกิดการสับสนขึ้น การสร้าง ETS จึงเป็นการป้องกัน ความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ สำหรับ Test Program ต่างๆ เป็นความลับของบริษัท จึงไม่ สามารถเปิดเผยได้ ซึ่งในโครงการนี้ ได้ใช้โปรแกรมที่สร้างขึ้นในหัวข้อที่ 3.2.1 มาใช้ในการสร้าง เอกสารชิ้นนี้

3.1.4 Load board design/selection

Load board เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมตัวงานเข้ากับเครื่อง Tester ซึ่งส่วนใหญ่ Load board แต่ละใบ ก็สร้างมาเพื่องานแต่ละตัวโดยเฉพาะ แต่จะมี Load board บางใบ ที่สร้างมาเป็น Universal จึงสามารถนำ Load board ใบนั้นมาใช้ร่วมกับงานตัวอื่นได้ ซึ่งในโครงการนี้ ก็ใช้ Load

board GB-28 ที่เป็นของผลิตภัณฑ์อื่น มาใช้ เนื่องจากสามารถเข้ากันได้กับตัวงานใน โรงงาน และ ยังสามารถประหยัดเวลา และค่าใช้จ่าย ที่ต้องใช้ในการสร้าง Load board ไปใหม่อีกด้วย



รูปที่ 3.3 Load board GB-28

3.1.5 Test program coding

การเขียน Test Program จะเป็นการเขียนโปรแกรมควบคุมเครื่อง Tester ให้ทำการวัดค่าต่างๆ ตามที่ต้องการ โดยการป้อนแรงดันหรือกระแสไฟฟ้า เข้าที่ขาของตัวงาน แล้ววัดค่าที่ต้องการค่าที่ได้ จะถูกนำมาเทียบกับค่าลิมิตที่กำหนดไว้ ถ้าหากค่าที่วัดได้ อยู่ในลิมิต การทดสอบตัวแปรนั้นก็ จะผ่าน แต่ถ้าอยู่นอกลิมิต หรือไม่เป็นไปตามที่กำหนดไว้ ตัวงานที่ถูกทดสอบ ก็จะถูกคัดทิ้ง หรือทดสอบใหม่

ในการทดสอบทางดิจิทัล ก็จะทำการตรวจจับการตอบสนองจากตัวงาน ว่าเป็นไปตาม Pattern ที่กำหนดไว้หรือไม่ เช่น สถานะของ Logic ที่ขาหนึ่งของตัวงาน จะต้องเป็น 0 แต่ค่าที่อ่านได้กลับเป็น 1 ตัวงานชิ้นนั้น ก็จะถูกคัดทิ้ง

3.1.6 Test program debugging

การ debug program คือการแก้ไขในส่วนของโปรแกรมที่ทำให้โปรแกรมไม่ผ่าน หรือ ค่าที่วัดได้ ไม่ถูกต้อง Test program นั้น ก็จะถูกแก้ไขในส่วนนี้

3.1.7 Fine-Tuning

หลังจากการทำ R&R ค่าที่วัดได้ อาจจะคลาดเคลื่อนเล็กน้อย ดังนั้น ในขั้นตอนนี้ เป็นการ tune test program ให้วัดค่าได้ใกล้เคียงกับ Reference มากขึ้น

3.1.8 R&R

R&R (Repeatability and Reproducibility) เป็นกระบวนการหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบ Test program ใหม่ หรือ มีการเปลี่ยนแปลงในรายละเอียดของการ test คือ มีการเปลี่ยน Test program, Load board หรือ Tester

ซึ่งในการทำ R&R จะต้องนำตัวงานมาอย่างน้อย 45 ตัว พร้อมทั้งเขียนหมายเลขกำกับ และ ทำการวัดเทียบกันระหว่าง 2 Tester (Reproducibility) เป็นจำนวนอย่างน้อย 2 รอบ (Repeatability) เพื่อเป็นการเปรียบเทียบกันระหว่างค่าที่ยอมรับได้ (จาก MCT) กับค่าจากเครื่องใหม่ที่วัดได้ (จาก SPEA)

$$\text{repeatability} = \frac{5.15 * \sigma_{\text{repeatability}}}{USL - LSL} * 100\%$$
$$\text{reproducibility} = \frac{5.15 * \sigma_{\text{reproducibility}}}{USL - LSL} * 100\%$$

โดยที่ R&R สามารถคำนวณได้จากสูตรด้านล่างนี้

$$R\&R = \sqrt{\sigma_{\text{reproduce}}^2 + \sigma_{\text{repeat}}^2} * \frac{5.15}{USL - LSL} * 100\%$$

ถ้าหาก R&R ต่ำกว่า 10% แสดงว่า Test program ที่เขียนนั้นดีเยี่ยม, ค่าระหว่าง 10% - 30% จะต้องระบุสาเหตุที่ทำให้ค่า R&R มีค่าเท่านั้น แต่ถ้ามากกว่า 30% จะต้องทำ Fine-tuning หรือ ระบุสาเหตุที่ทำให้ค่า R&R สูง

3.1.9 Trial Run

Trial run เป็นการจำลองการรัน Production จริง โดยการนำตัวงาน จำนวน 500*4 (จำนวน site) ขึ้น มารันในสภาพแวดล้อมจริง บน tester จริงและ handler จริง เพื่อทดสอบว่า Test program ที่เขียนนั้น สามารถใช้งานได้จริง โดยค่าที่วัดได้โดยรวม จะต้องมียield ที่สูง (ค่า Yield คือตัวบ่งบอกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทดสอบ คิดเป็นกี่ % ของจำนวนทั้งหมด) ถ้าค่า Yield ที่ได้ ต่ำเกินไป จะต้องกลับไปทำ File-tuning ใหม่ เพื่อให้ได้ Yield ที่ดีกว่าเดิม ซึ่งค่า

3.1.10 Documentation

ในการ Release Test program จำเป็นต้องมีเอกสารที่ใช้อ้างอิง เช่น ETS, Check list ซึ่งจะจัดทำในขั้นตอนสุดท้าย โดย Check list คือรายการที่ต้องทำการตรวจสอบว่าในการทำงานนั้น ได้มีการทำในส่วนที่ระบุไว้ใน Check list หรือไม่ รวมถึง Test program, เอกสารการ Qualification ต่างๆ ก็จะถูกแนบอยู่ใน Check list นี้

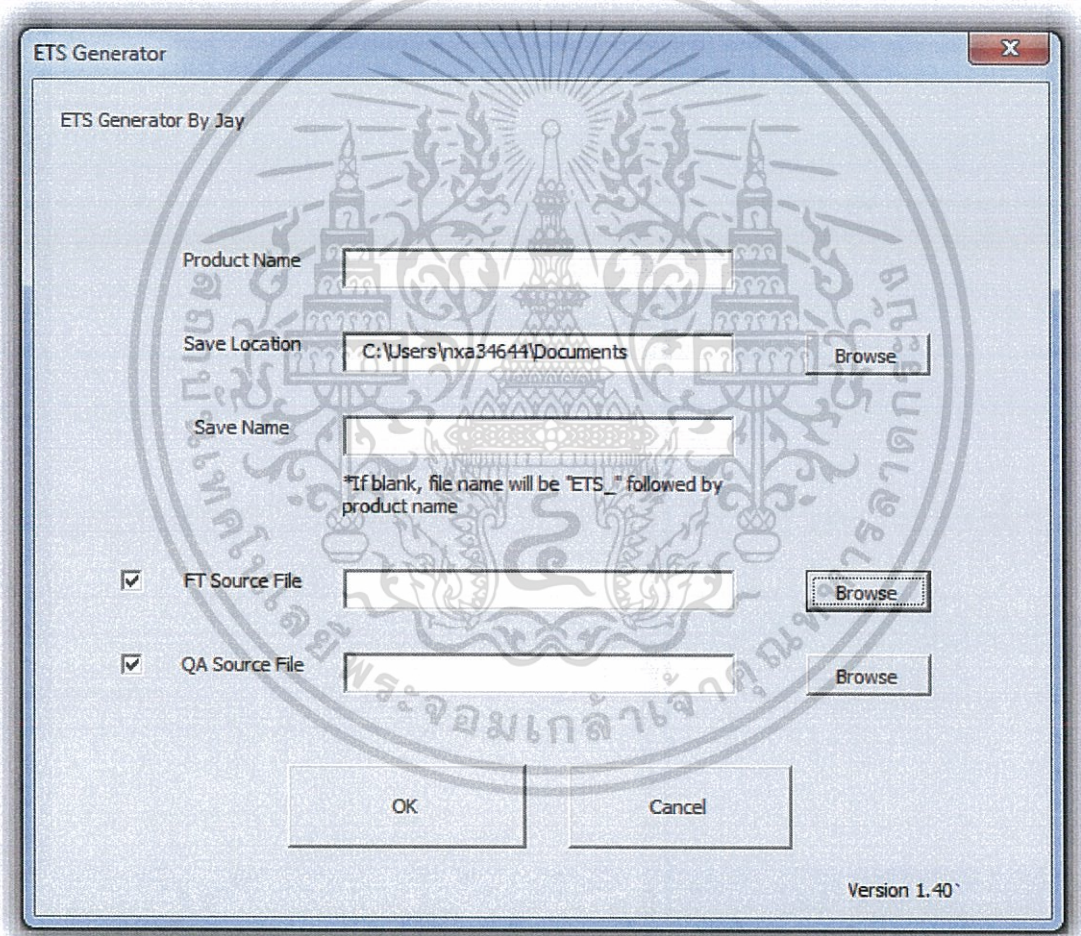


3.2 หัวข้ออื่นๆ

3.2.1 สร้างโปรแกรมสำหรับสร้าง ETS

เนื่องจากการสร้างไฟล์ ETS จำเป็นต้องใช้เวลาในการสร้างตามขนาดของ Source file ดังนั้น ในการที่จะลดเวลาที่ใช้ในการทำ ETS จึงได้จัดทำ Tool ขึ้นมา ซึ่งจะทำการสร้าง ETS จาก Source file ของ Test program ของเครื่อง tester MCT-2000

เมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมา ผู้ใช้จะต้องใส่รายละเอียดต่างๆ อาทิเช่น ชื่อของไฟล์ที่จะสร้าง, ชื่อของผลิตภัณฑ์, Directory ของ Source file เมื่อใส่ครบแล้ว กดปุ่ม OK โปรแกรมก็จะทำการสร้าง ไฟล์ ETS ขึ้นมาเป็นไฟล์ Excel (.xlsx)



รูปที่ 3.5 ภาพ User Interface ของโปรแกรมนี้

สำหรับหลักการการทำงานของ โปรแกรมนี้ เมื่อกดปุ่ม OK โปรแกรมจะทำการสร้างหัวตาราง และกำหนดขนาดของแต่ละเซลล์ ตาม Code ที่เขียนไว้

Test/Untest	TN	Test Name	MeasType	VDD	Clamp	Force			Measure	Limits		VIL	VIH	Pin
						Pin	V	I		LowLimit	HighLimit			

รูปที่ 3.6 หัวตารางที่สร้างขึ้นมา พร้อมกับการจัดขนาดเซลล์

หลังจากนั้น โปรแกรม จะทำงานอ่าน Source file ที่ผู้ใช้ อ้างอิงถึง แล้วจับค่าที่เป็น Keyword นำค่าที่อยู่ด้านหลังของ Keyword นั้น มาใส่ในตารางจนกว่าจะจบไฟล์ หลังจากนั้น ก็จะทำการวาดตารางที่เหลือทั้งหมด

Test/Untest	TN	Test Name	MeasType	VDD	Clamp	Force			Measure	Limits		VIL	VIH	Pin
						Pin	V	I		LowLimit	HighLimit			
Test	100	CONT VCC	VOLTAGE	0.000 V	2.000 V									
Test	200	VIK	VOLTAGE	0.000 V	2.000 V	1 3 2 4 6 8 7 5 9 11 12 14 13 15 16 18 19		-4.000 MA	v	-1.500 V	-100.0 MV	800.0 MV	2.000 V	NOT SELECTE
Test	220	VOK	VOLTAGE	0.000 V	2.000 V	17		-18.000 MA	v	-1.500 V	-100.0 MV	800.0 MV	2.000 V	NOT SELECTE
Test	250	HI FCN	FUNCTION	3.600 V		DISCONNECTED				0.000 V		3.600 V	1 2 3 4 7 11 14	
Test	252	HI FCN	FUNCTION	3.600 V		DISCONNECTED				0.000 V		3.600 V	1 2 3 4 7 11 14	
Test	254	VILSX A	FUNCTION	5.500 V		DISCONNECTED				0.000 V		5.500 V	4 7 11 14	
Test	256	VIH SX I	FUNCTION	2.300 V		DISCONNECTED				0.000 V		2.300 V	1 2 3	
Test	300	IIHCS	CURRENT	5.500 V	12.00 UA	18 19		5.500 V	i	-750.0 NA	750.0 NA	0.000 V	5.500 V	NOT SELECTE
Test	305	IIHAIS	CURRENT	5.500 V	12.00 UA	1 2 3 4 7 11 14		5.500 V	i	-750.0 NA	750.0 NA	0.000 V	5.500 V	NOT SELECTE
Test	325	IIHPS	CURRENT	5.500 V	12.00 UA	5 6 8 9 12 13 15 16		5.500 V	i	-750.0 NA	750.0 NA	0.000 V	5.500 V	NOT SELECTE
Test	355	IIAIS	CURRENT	5.500 V	12.00 UA	1 2 3 4 7 11 14		0.000 V	i	-750.0 NA	750.0 NA	0.000 V	5.500 V	NOT SELECTE
Test	370	II LCS	CURRENT	5.500 V	12.00 UA	18 19		0.000 V	i	-750.0 NA	750.0 NA	0.000 V	5.500 V	NOT SELECTE
Untest	998	LO FCN	FUNCTION	0.000 V		DISCONNECTED				0.000 V		3.600 V	1 2 3 4 7 11 14	
Test	375	LO FCN	FUNCTION	3.600 V		DISCONNECTED				0.000 V		3.600 V	1 2 3 4 7 11 14	
Test	376	HI FCN	FUNCTION	3.600 V		DISCONNECTED				0.000 V		3.600 V	1 2 3 4 7 11 14	
Untest	580	RXN_SET	CURRENT	3.600 V	50.00 MA	18 19		400.0 MV	i	-50.00 MA	50.00 MA	0.000 V	3.600 V	NOT SELECTE
Test	400	RXN_3.6	VOLTAGE	3.600 V	3.000 V	5 6		15.00 MA	v	491.0 MV	818.0 MV	0.000 V	3.600 V	18 19
Test	402	RXN_3.0	VOLTAGE	3.000 V	3.000 V	5 6		15.00 MA	v	491.0 MV	818.0 MV	0.000 V	3.000 V	18 19
Test	404	RXN_2.3	VOLTAGE	2.300 V	3.000 V	5 6		10.00 MA	v	494.0 MV	926.0 MV	0.000 V	2.300 V	18 19
Test	406	RXN_2.7	VOLTAGE	2.700 V	3.000 V	5 6		10.00 MA	v	494.0 MV	926.0 MV	0.000 V	2.700 V	18 19
Test	408	RXN_4.5	VOLTAGE	4.500 V	3.000 V	5 6		15.00 MA	v	492.0 MV	728.0 MV	0.000 V	4.500 V	18 19

รูปที่ 3.7 ไฟล์ ETS ที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว

3.2.2 ทำการตรวจสอบและค้นหาสิ่งผิดปกติในงาน complain จากลูกค้า

เมื่อมีการส่งงานให้ลูกค้าไปแล้ว และมีการนำไปใช้งานแล้วพบปัญหา ก็จะมีการส่งตัวงานที่มีปัญหากลับมาที่โรงงานเพื่อตรวจสอบหาสาเหตุ และทำการแก้ไข Test Program ให้สามารถตรวจจับปัญหาเหล่านั้นได้ ก่อนที่จะส่งงานถึงลูกค้า

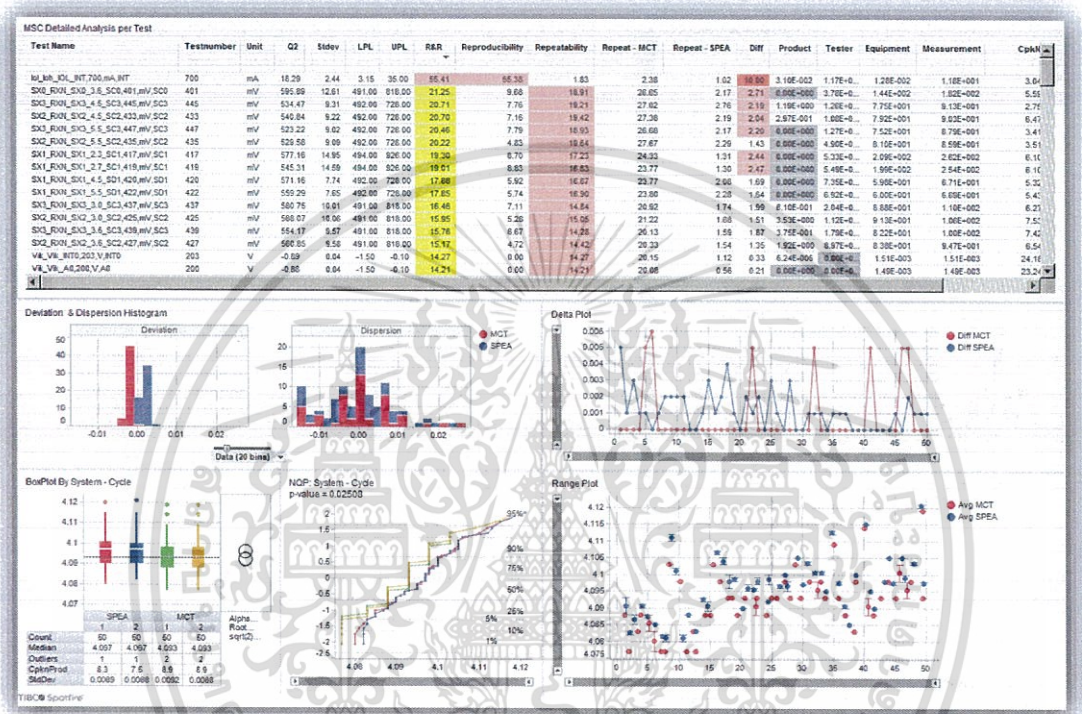
โดยขั้นตอนในการตรวจสอบนั้น ก็จะขึ้นอยู่กับอาการที่ลูกค้าได้พบเจอ ซึ่งในที่นี้ เป็น IC PCA9955B เป็นตัวงานที่ใช้ในการ Drive LED ซึ่งมีปัญหาที่ บาง pin ไม่ทำงาน หลังจากพบวิธีการตรวจหาปัญหาเหล่านั้นแล้ว จะส่งต่อไปยังเอ็นจิเนียร์ที่รับผิดชอบแก้ไข Test program ที่ใช้งานอยู่ ให้สามารถตรวจหาตัวงานที่มีปัญหาข้างต้นได้



บทที่ 4

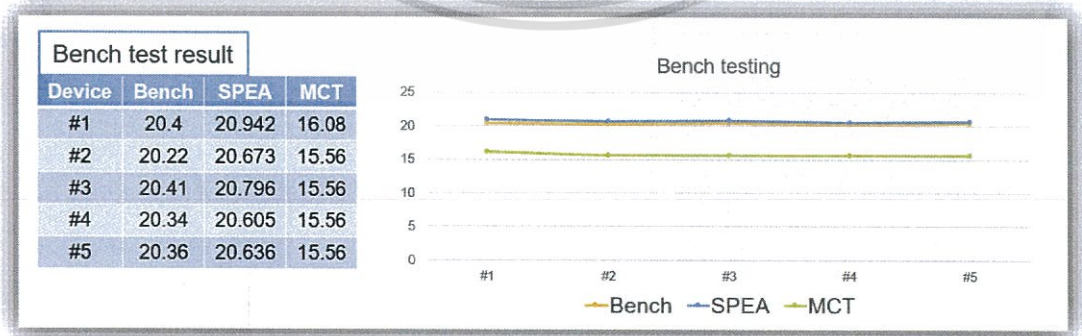
ผลการดำเนินงาน

4.1 ค่าการวิเคราะห์ทางสถิติผ่านเกณฑ์ทั้งหมด สามารถใช้งาน Test Program นี้ได้ทันที -R&R ของการทดสอบทั้งหมด น้อยกว่า 30%



รูปที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ R&R

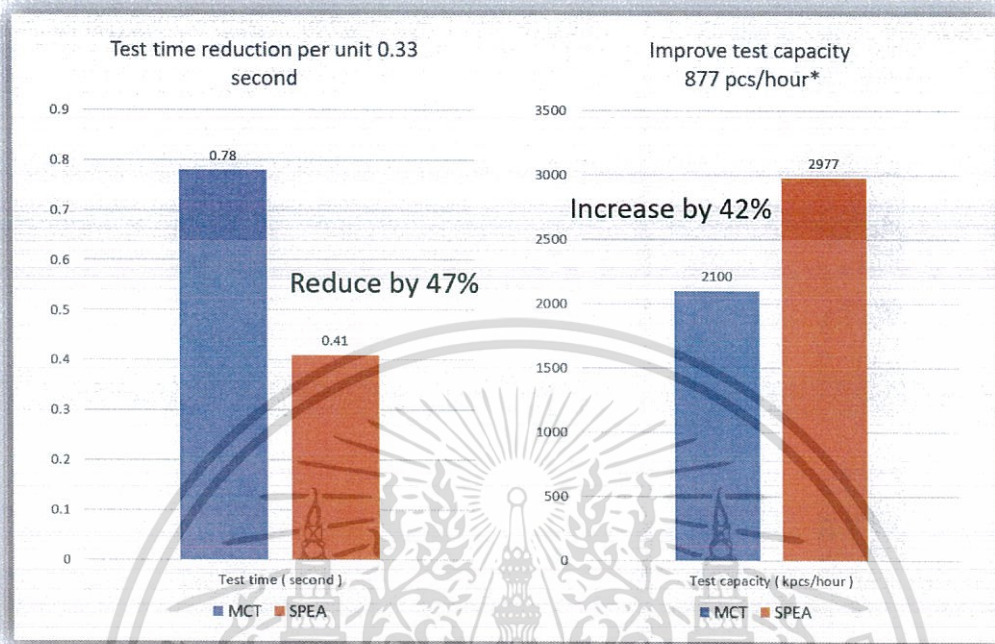
สำหรับ Test number 700 ที่มีค่า R&R มากกว่า 30% ซึ่งเกิดจาก Reproducibility หลังจากการทำ Bench testing แล้วพบว่า ค่าจาก SPEA-L มีความถูกต้องมากกว่า MCT-2000 จึงสามารถยอมรับได้



รูปที่ 4.2 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่าง SPEA, MCT และ Bench

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.2 Test program ที่เขียนขึ้น สามารถลดค่าใช้จ่ายในการทดสอบตัวงานชิ้นนี้ได้ถึง 10420 USD ต่อปี (โดยประมาณการณ้จากความต้องการของตลาดในสัปดาห์ ที่ 44 ของปี 2016)



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่าง MCT-2000 และ SPEA-L

- 4.3 Tool สำหรับสร้าง ETS file สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง และได้ถูกนำไปใช้จริงแล้วโดย เอ็นจิเนียร์ที่อยู่ในแผนก รวมถึงมีการติดต่อจากเอ็นจิเนียร์แผนกอื่น เพื่อขอให้ Tool ตัวนี้

Test/Untest	TN	Test Name	MeasType	VDD	Clamp	Force	V	I	Measure	LowLimit	HighLimit	VIL	VIH	Pin		
Test	100	CONT VCC	VOLTAGE	0.000 V	2.000 V	PIN-20				-4.000 MA	v	-1.500 V	-100.0 MV	800.0 MV	2.000 V	NOT SELECTE
Test	200	VIK	VOLTAGE	0.000 V	2.000 V	1 3 2 4 6 8 7 5 9 11 12 14 13 15 16 18 19				-18.000 MA	v	-1.500 V	-100.0 MV	800.0 MV	2.000 V	NOT SELECTE
Test	220	VOK	VOLTAGE	0.000 V	2.000 V	17				-18.000 MA	v	-1.500 V	-100.0 MV	800.0 MV	2.000 V	NOT SELECTE
Test	250	HI FCN	FUNCTION	3.600 V		DISCONNECTED						0.000 V	3.600 V	1 2 3 4 7 11 14		
Test	252	HI FCN	FUNCTION	3.600 V		DISCONNECTED						0.000 V	3.600 V	1 2 3 4 7 11 14		
Test	254	VILSX A	FUNCTION	5.500 V		DISCONNECTED						0.000 V	5.500 V	4 7 11 14		
Test	256	VIH SX1	FUNCTION	2.300 V		DISCONNECTED						0.000 V	2.300 V	1 2 3		
Test	300	IHC5	CURRENT	5.500 V	12.00 UA	18 19	5.500 V		i	-750.0 NA	750.0 NA	0.000 V	5.500 V	NOT SELECTE		
Test	305	IHAIS	CURRENT	5.500 V	12.00 UA	1 2 3 4 7 11 14	5.500 V		i	-750.0 NA	750.0 NA	0.000 V	5.500 V	NOT SELECTE		
Test	325	IHP5	CURRENT	5.500 V	12.00 UA	5 6 8 9 12 13 15 16	5.500 V		i	-750.0 NA	750.0 NA	0.000 V	5.500 V	NOT SELECTE		
Test	355	IILAIS	CURRENT	5.500 V	12.00 UA	1 2 3 4 7 11 14	0.000 V		i	-750.0 NA	750.0 NA	0.000 V	5.500 V	NOT SELECTE		
Test	370	IILCS	CURRENT	5.500 V	12.00 UA	18 19	0.000 V		i	-750.0 NA	750.0 NA	0.000 V	5.500 V	NOT SELECTE		
Untest	998	LO FCN	FUNCTION	0.000 V		DISCONNECTED						0.000 V	3.600 V	1 2 3 4 7 11 14		
Test	375	LO FCN	FUNCTION	3.600 V		DISCONNECTED						0.000 V	3.600 V	1 2 3 4 7 11 14		
Test	376	HI FCN	FUNCTION	3.600 V		DISCONNECTED						0.000 V	3.600 V	1 2 3 4 7 11 14		
Untest	580	RXN_SET	CURRENT	3.600 V	50.00 MA	18 19	400.0 MV		i	-50.00 MA	50.00 MA	0.000 V	3.600 V	NOT SELECTE		
Test	400	RXN_3.6	VOLTAGE	3.600 V	3.000 V	5 6	15.00 MA		v	491.0 MV	818.0 MV	0.000 V	3.600 V	18 19		
Test	402	RXN_3.0	VOLTAGE	3.000 V	3.000 V	5 6	15.00 MA		v	491.0 MV	818.0 MV	0.000 V	3.000 V	18 19		
Test	404	RXN_2.3	VOLTAGE	2.300 V	3.000 V	5 6	10.00 MA		v	494.0 MV	926.0 MV	0.000 V	2.300 V	18 19		
Test	406	RXN_2.7	VOLTAGE	2.700 V	3.000 V	5 6	10.00 MA		v	494.0 MV	926.0 MV	0.000 V	2.700 V	18 19		
Test	408	RXN_4.5	VOLTAGE	4.500 V	3.000 V	5 6	15.00 MA		v	492.0 MV	728.0 MV	0.000 V	4.500 V	18 19		

รูปที่ 4.4 แสดง ETS file ที่สร้างจาก Tool ตัวนี้

บทที่ 5

สรุปผลโครงการสหกิจศึกษา และข้อเสนอแนะ

จากการฝึกงานที่ เอ็นเอ็กซ์พี เมนูแพคเกจจิ้ง ข้าพเจ้าได้มีโอกาสในการเรียนรู้ และทักษะ ประสบการณ์จากการปฏิบัติการในบริษัท โดยได้เรียนรู้ในสิ่งต่างๆ ได้แก่

- 5.1 ทำโครงการที่ได้รับมอบหมายได้สำเร็จลุล่วง โดยผ่านขั้นตอนกระบวนการการ release ของสถานประกอบการ โดยมีค่า R&R อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด
- 5.2 การเขียนโปรแกรม เพื่อควบคุมให้เครื่อง Tester สามารถวัดค่าที่ได้ออกมาได้อย่างถูกต้อง โดยใช้ภาษา C++ เป็นหลัก
- 5.3 การใช้ VBA ที่อยู่ในโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อใช้ในการสร้าง Tool ที่ช่วยในการทำงานเพื่อลดเวลาที่ต้องใช้ในการทำงาน Project น้อยลง
- 5.4 การที่ได้มีโอกาสใช้เครื่องมือต่างๆที่เป็นเครื่องมือทางวิศวกรรม
- 5.5 การร่วมงานกับผู้อื่น การที่เราสามารถทำงานที่ได้รับมอบหมายได้สำเร็จ พบเพื่อนใหม่ๆ
- 5.6 การปรับตัวให้เข้ากับองค์กร ไม่ว่าจะเป็นระเบียบข้อบังคับต่างๆ, การปฏิบัติตนเมื่ออยู่ในสายการผลิต ฯลฯ
- 5.7 รับรู้ถึงชีวิตในการทำงานในโรงงาน
- 5.8 ได้ติดต่อสื่อสารกับ BL (Business Line) ในต่างประเทศผ่าน E-Mail และ Video conference
- 5.9 ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการทดสอบผลิตภัณฑ์ PCA9544APW ลงถึง 10420 USD ต่อปี (โดยประมาณการณ้จากความต้องการของตลาดในสัปดาห์ที่ 44 ของปี 2016)
- 5.10 ข้อเสนอแนะ

จากการที่ได้ทำงานที่สถานประกอบการทำให้ได้ทราบว่า บางสิ่งบางอย่างที่ในสถาบันไม่ได้สอน สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำงานได้ เช่น การเขียน โปรแกรม VBA ใน Microsoft Excel เพื่อใช้สร้าง Tools ที่ช่วยในการลดเวลาการทำงานลงได้ ซึ่งภายในสถาบัน ไม่มีการสอนทำสิ่งนี้ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. <http://www.spea.com/default.aspx>
2. <http://kpp.ac.th/elearning/elearning3/book-02.html>
3. <https://th.wikipedia.org/wiki/ตัวต้านทาน>
4. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diode-IV-Curve.svg>
5. <https://th.wikipedia.org/wiki/มอสเฟต>
6. <http://electronics.stackexchange.com/questions/72582/mosfet-why-the-drain-and-source-are-different>
7. <https://cmmakerclub.com/en/2014/11/show-tell/ultimate-diy-mini-quad-copter-part-1-hardware-chiangmai-maker-club/>

ภาคผนวก





PCA9544A

4-channel I²C-bus multiplexer with interrupt logic

Rev. 5 — 23 April 2014

Product data sheet

1. General description

The PCA9544A is a 1-of-4 bidirectional translating multiplexer, controlled via the I²C-bus. The SCL/SDA upstream pair fans out to four SCx/SDx downstream pairs, or channels. Only one SCx/SDx channel is selected at a time, determined by the contents of the programmable control register. Four interrupt inputs, $\overline{\text{INT0}}$ to $\overline{\text{INT3}}$, one for each of the SCx/SDx downstream pairs, are provided. One interrupt output, $\overline{\text{INT}}$, which acts as an AND of the four interrupt inputs, is provided.

A power-on reset function puts the registers in their default state and initializes the I²C-bus state machine with no channels selected.

The pass gates of the multiplexer are constructed such that the V_{DD} pin can be used to limit the maximum high voltage which is passed by the PCA9544A. This allows the use of different bus voltages on each SCx/SDx pair, so that 1.8 V, 2.5 V or 3.3 V parts can communicate with 5 V parts without any additional protection. External pull-up resistors pull the bus up to the desired voltage level for each channel. All I/O pins are 5 V tolerant.

2. Features and benefits

- 1-of-4 bidirectional translating multiplexer
- I²C-bus interface logic; compatible with SMBus
- 4 active LOW interrupt inputs
- Active LOW interrupt output
- 3 address pins allowing up to 8 devices on the I²C-bus
- Channel selection via I²C-bus
- Power-up with all multiplexer channels deselected
- Low R_{on} switches
- Allows voltage level translation between 1.8 V, 2.5 V, 3.3 V and 5 V buses
- No glitch on power-up
- Supports hot insertion
- Low standby current
- Operating power supply voltage range of 2.3 V to 5.5 V
- 5 V tolerant Inputs
- 0 Hz to 400 kHz clock frequency
- ESD protection exceeds 2000 V HBM per JESD22-A114 and 1000 V CDM per JESD22-C101
- Latch-up testing is done to JEDEC Standard JESD78 which exceeds 100 mA
- Three packages offered: SO20, TSSOP20 and HVQFN20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้เพื่อใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Ordering information

Table 1. Ordering information

Type number	Topside marking	Package		
		Name	Description	Version
PCA9544ABS	9544A	HVQFN20	plastic thermal enhanced very thin quad flat package; no leads; 20 terminals; body 5 × 5 × 0.85 mm	SOT662-1
PCA9544AD	PCA9544AD	SO20	plastic small outline package; 20 leads; body width 7.5 mm	SOT163-1
PCA9544APW	PA9544A	TSSOP20	plastic thin shrink small outline package; 20 leads; body width 4.4 mm	SOT360-1

3.1 Ordering options

Table 2. Ordering options

Type number	Orderable part number	Package	Packing method	Minimum order quantity	Temperature range
PCA9544ABS	PCA9544ABS,118	HVQFN20	Reel 13" Q1/T1 *Standard mark SMD	6000	T _{amb} = -40 °C to +85 °C
PCA9544AD	PCA9544AD,112	SO20	Standard marking * IC's tube - DSC bulk pack	1520	T _{amb} = -40 °C to +85 °C
	PCA9544AD,118	SO20	Reel 13" Q1/T1 *Standard mark SMD	2000	T _{amb} = -40 °C to +85 °C
PCA9544APW	PCA9544APW,112	TSSOP20	Standard marking * IC's tube - DSC bulk pack	1875	T _{amb} = -40 °C to +85 °C
	PCA9544APW,118	TSSOP20	Reel 13" Q1/T1 *Standard mark SMD	2500	T _{amb} = -40 °C to +85 °C

4. Block diagram

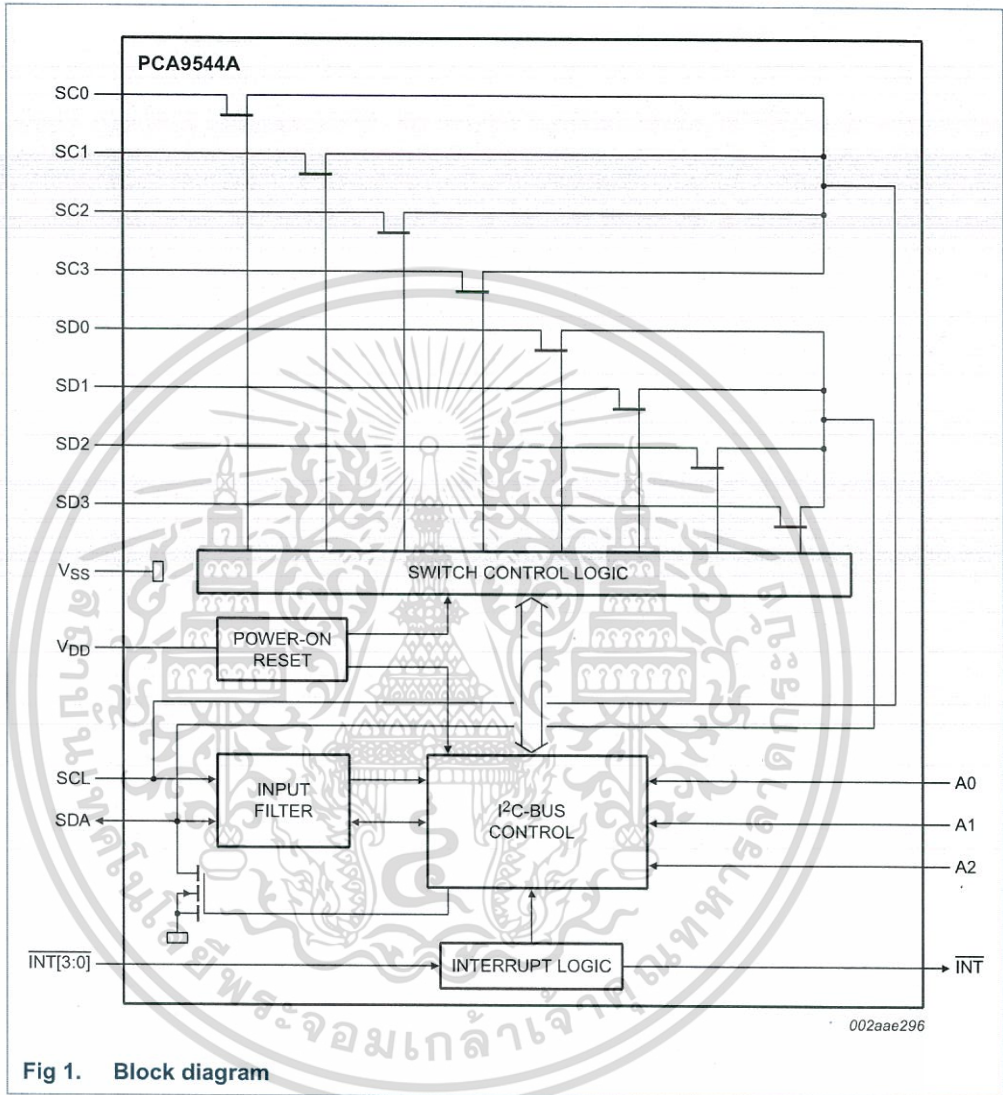


Fig 1. Block diagram

5. Pinning information

5.1 Pinning

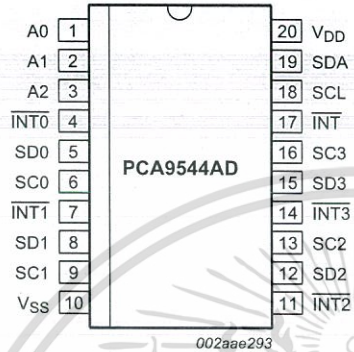


Fig 2. Pin configuration for SO20

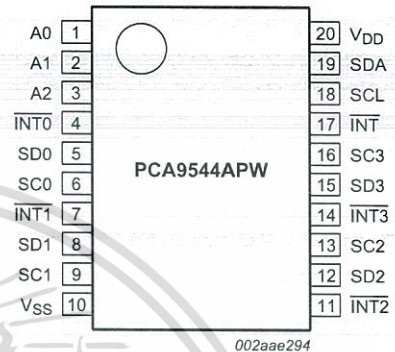


Fig 3. Pin configuration for TSSOP20

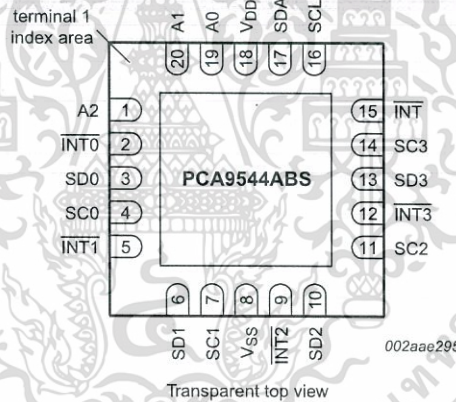


Fig 4. Pin configuration for HVQFN20

5.2 Pin description

Table 3. Pin description

Symbol	Pin		Description
	SO20, TSSOP20	HVQFN20	
A0	1	19	address input 0
A1	2	20	address input 1
A2	3	1	address input 2
INT0	4	2	active LOW interrupt input 0
SD0	5	3	serial data 0
SC0	6	4	serial clock 0
INT1	7	5	active LOW interrupt input 1
SD1	8	6	serial data 1
SC1	9	7	serial clock 1
V _{SS}	10	8 ^[1]	supply ground
INT2	11	9	active LOW interrupt input 2
SD2	12	10	serial data 2
SC2	13	11	serial clock 2
INT3	14	12	active LOW interrupt input 3
SD3	15	13	serial data 3
SC3	16	14	serial clock 3
INT	17	15	active LOW interrupt output
SCL	18	16	serial clock line
SDA	19	17	serial data line
V _{DD}	20	18	supply voltage

- [1] HVQFN20 package supply ground is connected to both V_{SS} pin and exposed center pad. V_{SS} pin must be connected to supply ground for proper device operation. For enhanced thermal, electrical, and board level performance, the exposed pad must be soldered to the board using a corresponding thermal pad on the board and for proper heat conduction through the board, thermal vias must be incorporated in the PCB in the thermal pad region.

6. Functional description

Refer to [Figure 1 “Block diagram”](#).

6.1 Device addressing

Following a START condition the bus master must output the address of the slave it is accessing. The address of the PCA9544A is shown in [Figure 5](#). To conserve power, no internal pull-up resistors are incorporated on the hardware selectable address pins and they must be pulled HIGH or LOW.

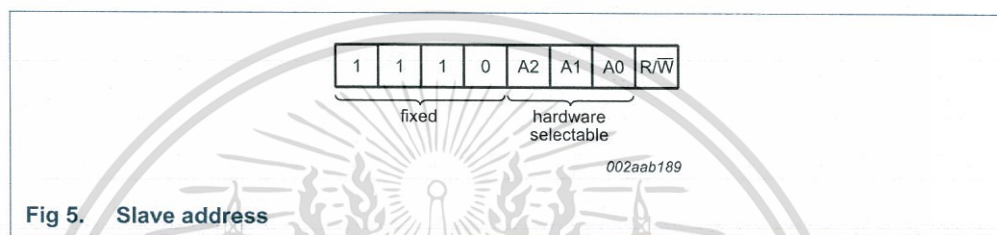


Fig 5. Slave address

The last bit of the slave address defines the operation to be performed. When set to logic 1 a read is selected, while a logic 0 selects a write operation.

6.2 Control register

Following the successful acknowledgement of the slave address, the bus master sends a byte to the PCA9544A which is stored in the Control register. If the PCA9544A receives multiple bytes, it saves the last byte received. This register can be written and read via the I²C-bus.

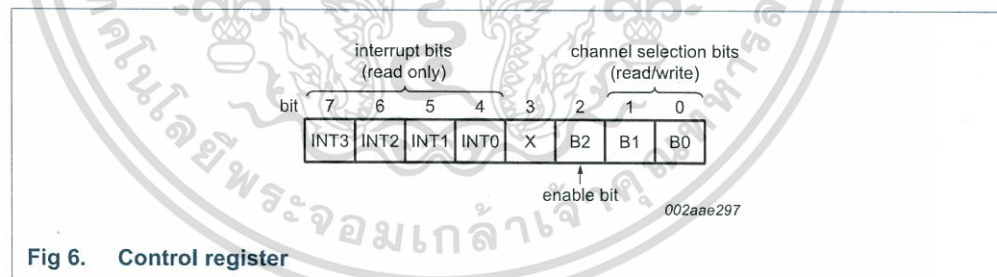


Fig 6. Control register

6.2.1 Control register definition

A SCx/SDx downstream pair, or channel, is selected by the contents of the control register. This register is written after the PCA9544A has been addressed. The 3 LSBs of the control byte are used to determine which channel is to be selected. When a channel is selected, it will become active after a STOP condition has been placed on the I²C-bus. This ensures that all SCx/SDx lines are in a HIGH state when the channel is made active, so that no false conditions are generated at the time of connection.

Table 4. Control register: Write — channel selection; Read — channel status

INT3	INT2	INT1	INT0	D3	B2	B1	B0	Command
X	X	X	X	X	0	X	X	no channel selected
X	X	X	X	X	1	0	0	channel 0 enabled
X	X	X	X	X	1	0	1	channel 1 enabled
X	X	X	X	X	1	1	0	channel 2 enabled
X	X	X	X	X	1	1	1	channel 3 enabled
0	0	0	0	0	0	0	0	no channel selected; power-up default state

6.3 Interrupt handling

The PCA9544A provides 4 interrupt inputs, one for each channel and one open-drain interrupt output. When an interrupt is generated by any device, it is detected by the PCA9544A and the interrupt output is driven LOW. The channel need not be active for detection of the interrupt. A bit is also set in the control byte. Bits 7:4 of the control byte correspond to channel 3 to channel 0 of the PCA9544A, respectively. Therefore, if an interrupt is generated by any device connected to channel 2, the state of the interrupt inputs is loaded into the control register when a read is accomplished. Likewise, an interrupt on any device connected to channel 0 would cause bit 4 of the control register to be set on the read. The master can then address the PCA9544A and read the contents of the control byte to determine which channel contains the device generating the interrupt. The master can then reconfigure the PCA9544A to select this channel, and locate the device generating the interrupt and clear it. The interrupt clears when the device originating the interrupt clears.

It should be noted that more than one device can be providing an interrupt on a channel, so it is up to the master to ensure that all devices on a channel are interrogated for an interrupt.

If the interrupt function is not required, the interrupt inputs may be used as general-purpose inputs.

If unused, interrupt inputs must be connected to V_{DD} through a pull-up resistor.

Table 5. Control register read — interrupt

INT3	INT2	INT1	INT0	D3	B2	B1	B0	Command
X	X	X	0	X	X	X	X	no interrupt on channel 0
			1					interrupt on channel 0
X	X	0	X	X	X	X	X	no interrupt on channel 1
		1						interrupt on channel 1
X	0	X	X	X	X	X	X	no interrupt on channel 2
	1							interrupt on channel 2
0	X	X	X	X	X	X	X	no interrupt on channel 3
1								interrupt on channel 3

Remark: Several interrupts can be active at the same time. For example: INT3 = 0, INT2 = 1, INT1 = 1, INT0 = 0, means that there is no interrupt on channel 0 and channel 3, and there is an interrupt on channel 1 and on channel 2.

6.4 Power-on reset

When power is applied to V_{DD}, an internal Power-On Reset (POR) holds the PCA9544A in a reset condition until V_{DD} has reached V_{POR}. At this point, the reset condition is released and the PCA9544A registers and I²C-bus state machine are initialized to their default states (all zeroes), causing all the channels to be deselected. Thereafter, V_{DD} must be lowered below 0.2 V for at least 5 μs in order to reset the device.

6.5 Voltage translation

The pass gate transistors of the PCA9544A are constructed such that the V_{DD} voltage can be used to limit the maximum voltage that is passed from one I²C-bus to another.

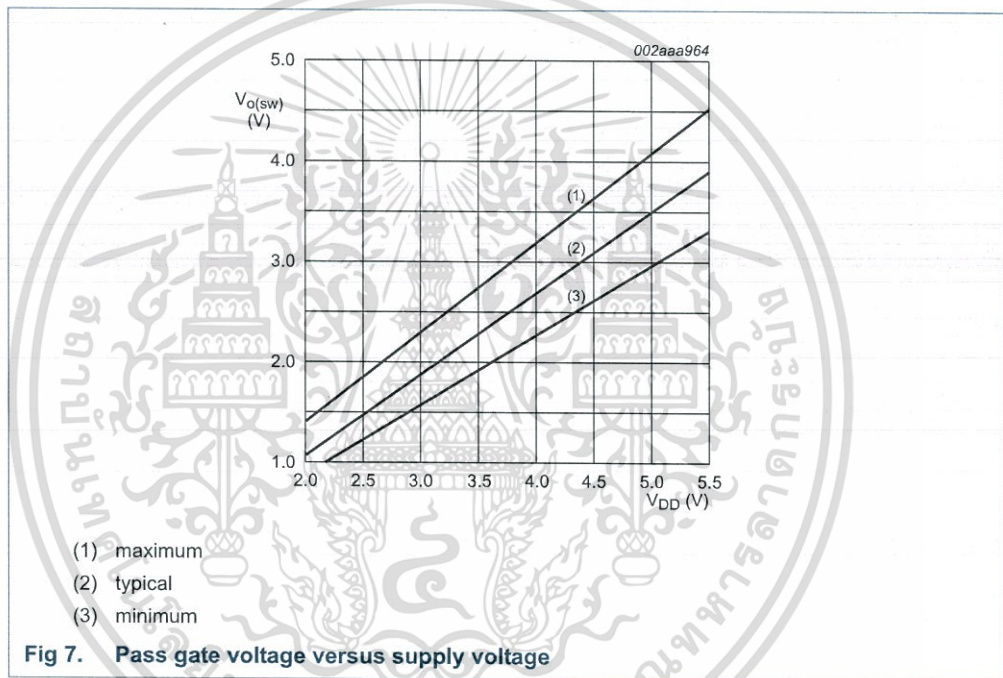


Fig 7. Pass gate voltage versus supply voltage

Figure 7 shows the voltage characteristics of the pass gate transistors (note that the graph was generated using the data specified in Section 12 “Dynamic characteristics” of this data sheet). In order for the PCA9544A to act as a voltage translator, the V_{o(sw)} voltage should be equal to, or lower than the lowest bus voltage. For example, if the main bus was running at 5 V, and the downstream buses were 3.3 V and 2.7 V, then V_{o(sw)} should be equal to or below 2.7 V to effectively clamp the downstream bus voltages. Looking at Figure 7, we see that V_{o(sw)(max)} is at 2.7 V when the PCA9544A supply voltage is 3.5 V or lower so the PCA9544A supply voltage could be set to 3.3 V. Pull-up resistors can then be used to bring the bus voltages to their appropriate levels (see Figure 14).

More Information can be found in Application Note AN262, PCA954X family of I²C/SMBus multiplexers and switches.

7. Characteristics of the I²C-bus

The I²C-bus is for 2-way, 2-line communication between different ICs or modules. The two lines are a serial data line (SDA) and a serial clock line (SCL). Both lines must be connected to a positive supply via a pull-up resistor when connected to the output stages of a device. Data transfer may be initiated only when the bus is not busy.

7.1 Bit transfer

One data bit is transferred during each clock pulse. The data on the SDA line must remain stable during the HIGH period of the clock pulse as changes in the data line at this time will be interpreted as control signals (see Figure 8).

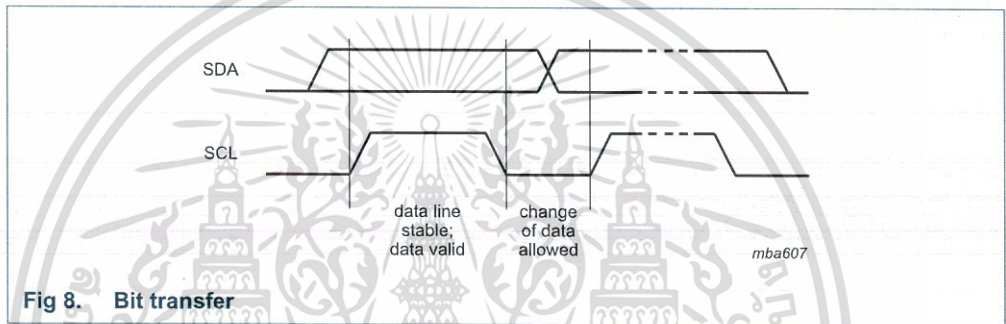


Fig 8. Bit transfer

7.2 START and STOP conditions

Both data and clock lines remain HIGH when the bus is not busy. A HIGH-to-LOW transition of the data line while the clock is HIGH is defined as the START condition (S). A LOW-to-HIGH transition of the data line while the clock is HIGH is defined as the STOP condition (P) (see Figure 9).

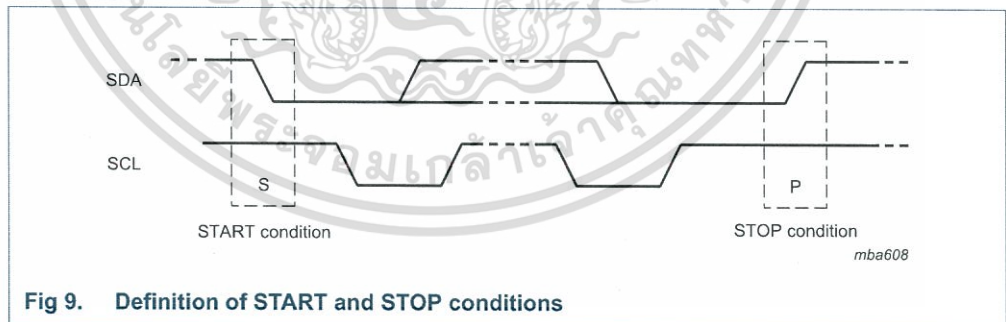


Fig 9. Definition of START and STOP conditions

7.3 System configuration

A device generating a message is a 'transmitter', a device receiving is the 'receiver'. The device that controls the message is the 'master' and the devices which are controlled by the master are the 'slaves' (see Figure 10).

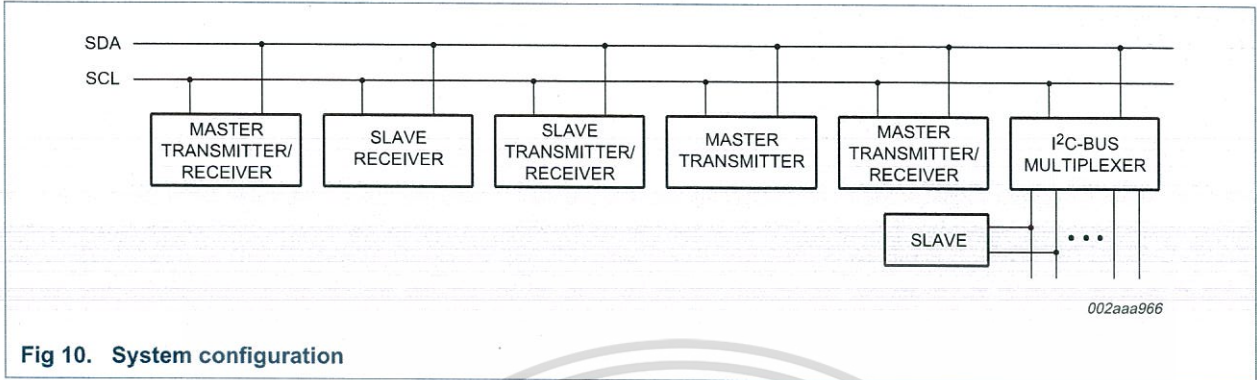


Fig 10. System configuration

7.4 Acknowledge

The number of data bytes transferred between the START and the STOP conditions from transmitter to receiver is not limited. Each byte of 8 bits is followed by one acknowledge bit. The acknowledge bit is a HIGH level put on the bus by the transmitter, whereas the master generates an extra acknowledge related clock pulse.

A slave receiver which is addressed must generate an acknowledge after the reception of each byte. Also, a master must generate an acknowledge after the reception of each byte that has been clocked out of the slave transmitter. The device that acknowledges has to pull down the SDA line during the acknowledge clock pulse so that the SDA line is stable LOW during the HIGH period of the acknowledge related clock pulse; set-up and hold times must be taken into account.

A master receiver must signal an end of data to the transmitter by not generating an acknowledge on the last byte that has been clocked out of the slave. In this event, the transmitter must leave the data line HIGH to enable the master to generate a STOP condition.

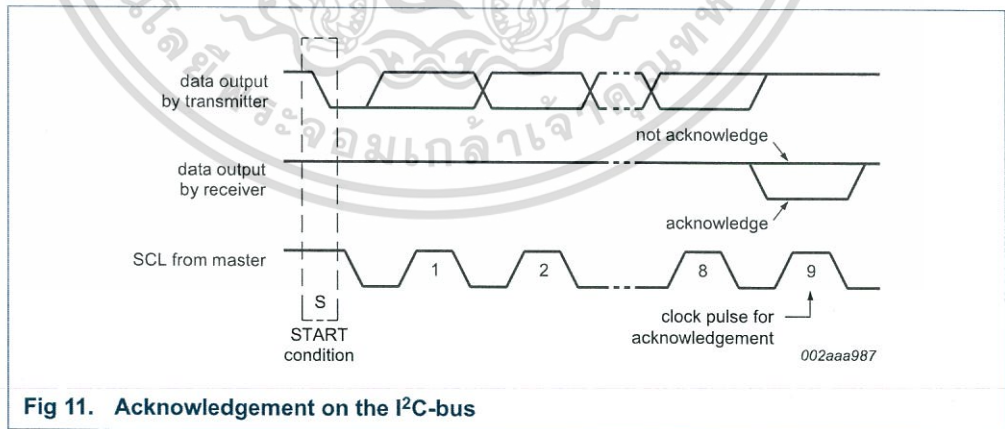
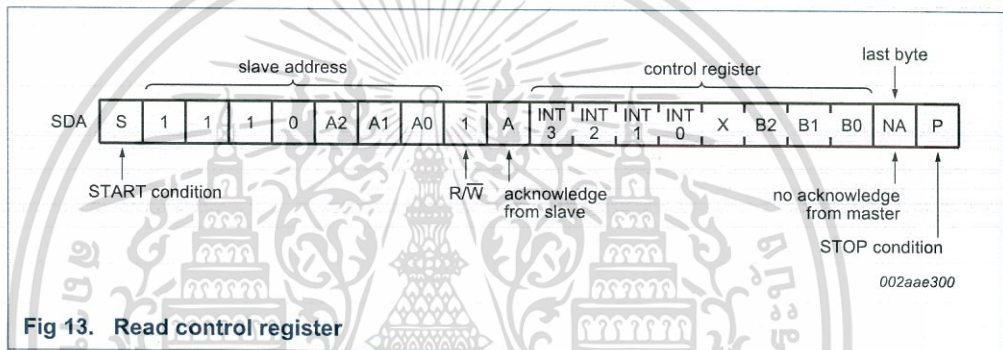
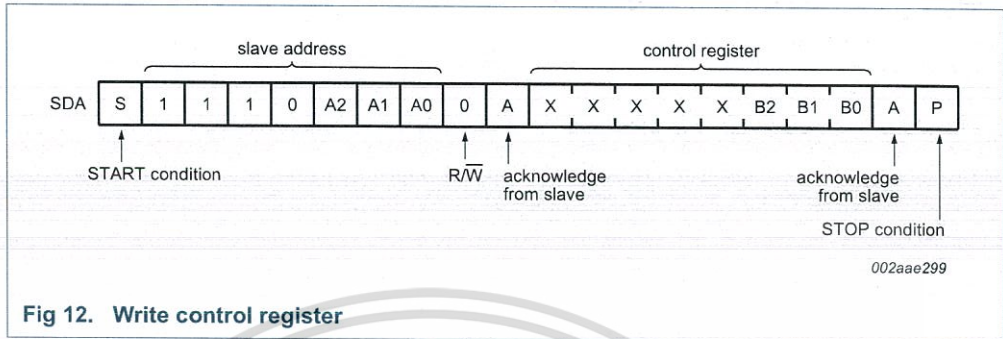
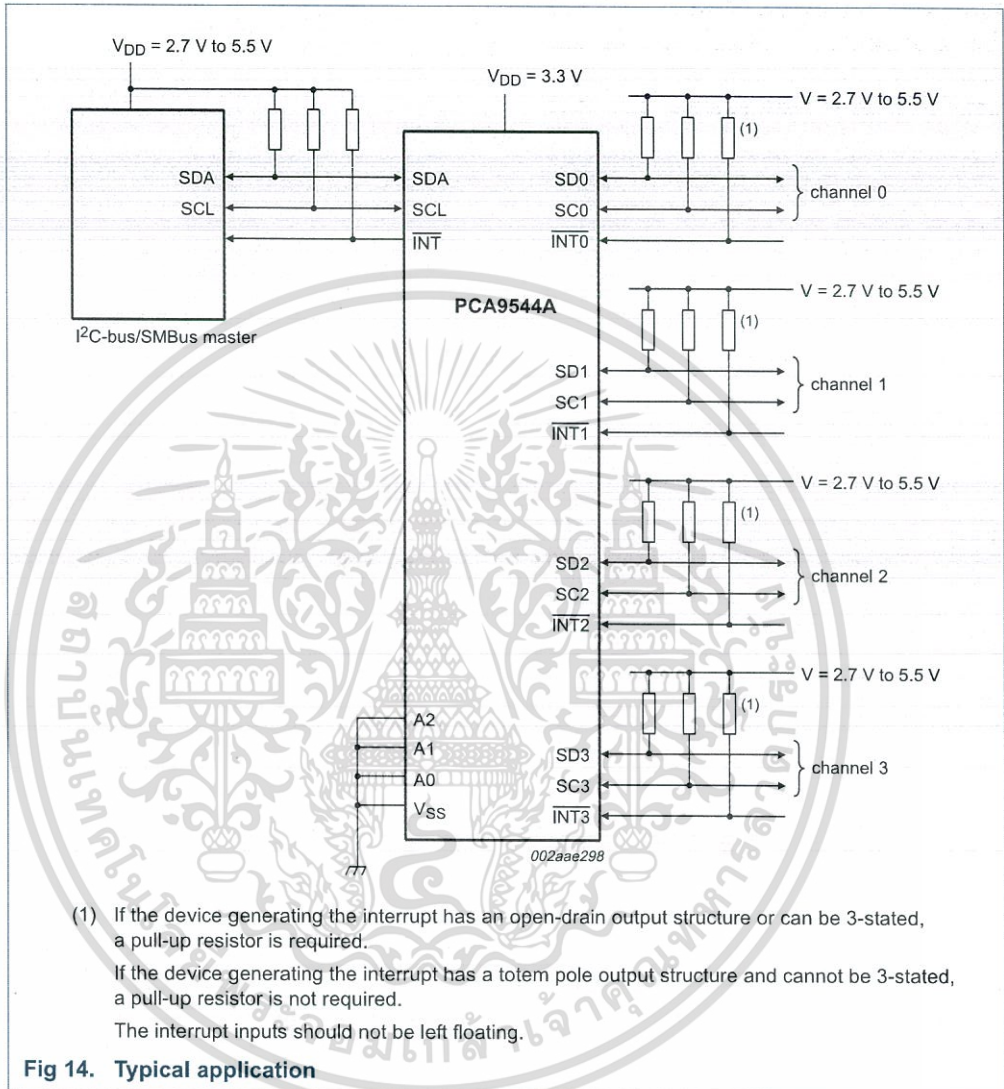


Fig 11. Acknowledgement on the I²C-bus

7.5 Bus transactions



8. Application design-in information



9. Limiting values

Table 6. Limiting values

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134).
Voltages are referenced to ground ($V_{SS} = 0\text{ V}$).^[1]

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Max	Unit
V_{DD}	supply voltage		-0.5	+7.0	V
V_I	input voltage		-0.5	+7.0	V
I_I	input current		-	±20	mA
I_O	output current		-	±25	mA
I_{DD}	supply current		-	±100	mA
I_{SS}	ground supply current		-	±100	mA
P_{tot}	total power dissipation		-	400	mW
$T_{J(max)}$	maximum junction temperature	[1]	-	125	°C
T_{stg}	storage temperature		-60	+150	°C
T_{amb}	ambient temperature	operating	-40	+85	°C

[1] The performance capability of a high-performance integrated circuit in conjunction with its thermal environment can create junction temperatures which are detrimental to reliability. The maximum junction temperature of this integrated circuit should not exceed 125 °C.

10. Thermal characteristics

Table 7. Thermal characteristics

Symbol	Parameter	Conditions	Typ	Unit
$R_{th(j-a)}$	thermal resistance from junction to ambient	HVQFN20 package	32	°C/W
		SO20 package	90	°C/W
		TSSOP20 package	146	°C/W

11. Static characteristics

Table 8. Static characteristics at $V_{DD} = 2.3 \text{ V to } 3.6 \text{ V}$
 $V_{SS} = 0 \text{ V}$; $T_{amb} = -40 \text{ }^{\circ}\text{C to } +85 \text{ }^{\circ}\text{C}$; unless otherwise specified. See Table 9 for $V_{DD} = 4.5 \text{ V to } 5.5 \text{ V}$.^[1]

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Supply						
V_{DD}	supply voltage		2.3	-	3.6	V
I_{DD}	supply current	operating mode; $V_{DD} = 3.6 \text{ V}$; no load; $V_I = V_{DD}$ or V_{SS} ; $f_{SCL} = 100 \text{ kHz}$	-	10	30	μA
I_{stb}	standby current	standby mode; $V_{DD} = 3.6 \text{ V}$; no load; $V_I = V_{DD}$ or V_{SS} ; $f_{SCL} = 0 \text{ kHz}$	-	0.1	1	μA
V_{POR}	power-on reset voltage	no load; $V_I = V_{DD}$ or V_{SS}	[2]	1.5	2.1	V
Input SCL; input/output SDA						
V_{IL}	LOW-level input voltage		-0.5	-	+0.3 V_{DD}	V
V_{IH}	HIGH-level input voltage		0.7 V_{DD}	-	6	V
I_{OL}	LOW-level output current	$V_{OL} = 0.4 \text{ V}$	3	7	-	mA
		$V_{OL} = 0.6 \text{ V}$	6	10	-	mA
I_L	leakage current	$V_I = V_{DD}$ or V_{SS}	-1	-	+1	μA
C_i	input capacitance	$V_I = V_{SS}$	-	10	13	pF
Select inputs A0 to A2, INT0 to INT3						
V_{IL}	LOW-level input voltage		-0.5	-	+0.3 V_{DD}	V
V_{IH}	HIGH-level input voltage		0.7 V_{DD}	-	6	V
I_{LI}	input leakage current	$V_I = V_{DD}$ or V_{SS}	-1	-	+1	μA
C_i	input capacitance	$V_I = V_{SS}$	-	1.6	3	pF
Pass gate						
R_{on}	ON-state resistance	$V_{DD} = 3.0 \text{ V to } 3.6 \text{ V}$; $V_O = 0.4 \text{ V}$; $I_O = 15 \text{ mA}$	5	11	30	Ω
		$V_{DD} = 2.3 \text{ V to } 2.7 \text{ V}$; $V_O = 0.4 \text{ V}$; $I_O = 10 \text{ mA}$	7	16	55	Ω
$V_{o(sw)}$	switch output voltage	$V_{i(sw)} = V_{DD} = 3.3 \text{ V}$; $I_{o(sw)} = -100 \mu\text{A}$	-	1.9	-	V
		$V_{i(sw)} = V_{DD} = 3.0 \text{ V to } 3.6 \text{ V}$; $I_{o(sw)} = -100 \mu\text{A}$	1.6	-	2.8	V
		$V_{i(sw)} = V_{DD} = 2.5 \text{ V}$; $I_{o(sw)} = -100 \mu\text{A}$	-	1.5	-	V
		$V_{i(sw)} = V_{DD} = 2.3 \text{ V to } 2.7 \text{ V}$; $I_{o(sw)} = -100 \mu\text{A}$	1.1	-	2.0	V
I_L	leakage current	$V_I = V_{DD}$ or V_{SS}	-1	-	+1	μA
C_{io}	input/output capacitance	$V_I = V_{SS}$	-	3	5	pF
INT output						
I_{OL}	LOW-level output current	$V_{OL} = 0.4 \text{ V}$	3	7	-	mA
I_{OH}	HIGH-level output current		-	-	+10	μA

[1] For operation between published voltage ranges, refer to worst case parameter in both ranges.

[2] In order to reset part, V_{DD} must be lowered to 0.2 V for at least 5 μs .

4-channel I²C-bus multiplexer with interrupt logic

Table 9. Static characteristics at V_{DD} = 4.5 V to 5.5 V

V_{SS} = 0 V; T_{amb} = -40 °C to +85 °C; unless otherwise specified. See Table 8 for V_{DD} = 2.3 V to 3.6 V.[1]

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Supply						
V _{DD}	supply voltage		4.5	-	5.5	V
I _{DD}	supply current	operating mode; V _{DD} = 5.5 V; no load; V _I = V _{DD} or V _{SS} ; f _{SCL} = 100 kHz	-	25	100	μA
I _{stb}	standby current	standby mode; V _{DD} = 5.5 V; no load; V _I = V _{DD} or V _{SS} ; f _{SCL} = 0 kHz	-	0.3	1	μA
V _{POR}	power-on reset voltage	no load; V _I = V _{DD} or V _{SS} [2]	-	1.7	2.1	V
Input SCL; input/output SDA						
V _{IL}	LOW-level input voltage		-0.5	-	+0.3V _{DD}	V
V _{IH}	HIGH-level input voltage		0.7V _{DD}	-	6	V
I _{OL}	LOW-level output current	V _{OL} = 0.4 V	3	-	-	mA
		V _{OL} = 0.6 V	6	-	-	mA
I _L	leakage current	V _I = V _{DD} or V _{SS}	-1	-	+1	μA
C _i	input capacitance	V _I = V _{SS}	-	12	13	pF
Select inputs A0 to A2, INT0 to INT3						
V _{IL}	LOW-level input voltage		-0.5	-	+0.3V _{DD}	V
V _{IH}	HIGH-level input voltage		0.7V _{DD}	-	6	V
I _{LI}	input leakage current	pin at V _{DD} or V _{SS}	-1	-	+1	μA
C _i	input capacitance	V _I = V _{SS}	-	2	5	pF
Pass gate						
R _{on}	ON-state resistance	V _{DD} = 4.5 V to 5.5 V; V _O = 0.4 V; I _O = 15 mA	4	9	24	Ω
V _{o(sw)}	switch output voltage	V _{i(sw)} = V _{DD} = 5.0 V; I _{o(sw)} = -100 μA	-	3.6	-	V
		V _{i(sw)} = V _{DD} = 4.5 V to 5.5 V; I _{o(sw)} = -100 μA	2.6	-	4.5	V
I _L	leakage current	V _I = V _{DD} or V _{SS}	-1	-	+1	μA
C _{io}	input/output capacitance	V _I = V _{SS}	-	3	5	pF
INT output						
I _{OL}	LOW-level output current	V _{OL} = 0.4 V	3	-	-	mA
I _{OH}	HIGH-level output current		-	-	+10	μA

[1] For operation between published voltage ranges, refer to worst case parameter in both ranges.

[2] In order to reset part, V_{DD} must be lowered to 0.2 V for at least 5 μs.

12. Dynamic characteristics

Table 10. Dynamic characteristics

Symbol	Parameter	Conditions	Standard-mode I ² C-bus		Fast-mode I ² C-bus		Unit	
			Min	Max	Min	Max		
t _{PD}	propagation delay	from SDA to SDx, or SCL to SCx	-	0.3 ^[1]	-	0.3 ^[1]	ns	
f _{SCL}	SCL clock frequency		0	100	0	400	kHz	
t _{BUF}	bus free time between a STOP and START condition		4.7	-	1.3	-	μs	
t _{HD;STA}	hold time (repeated) START condition	^[2]	4.0	-	0.6	-	μs	
t _{LOW}	LOW period of the SCL clock		4.7	-	1.3	-	μs	
t _{HIGH}	HIGH period of the SCL clock		4.0	-	0.6	-	μs	
t _{SU;STA}	set-up time for a repeated START condition		4.7	-	0.6	-	μs	
t _{SU;STO}	set-up time for STOP condition		4.0	-	0.6	-	μs	
t _{HD;DAT}	data hold time		0 ^[3]	3.45	0 ^[3]	0.9	μs	
t _{SU;DAT}	data set-up time		250	-	100	-	ns	
t _r	rise time of both SDA and SCL signals		-	1000	20 + 0.1C _b ^[4]	300	ns	
t _f	fall time of both SDA and SCL signals		-	300	20 + 0.1C _b ^[4]	300	ns	
C _b	capacitive load for each bus line		-	400	-	400	pF	
t _{SP}	pulse width of spikes that must be suppressed by the input filter		-	50	-	50	ns	
t _{VD;DAT}	data valid time	HIGH-to-LOW	^[5]	-	1	-	1	μs
		LOW-to-HIGH	^[5]	-	0.6	-	0.6	μs
t _{VD;ACK}	data valid acknowledge time		-	1	-	1	μs	
INT								
t _{v(INTn-INTN)}	valid time from INTn to INT signal	^[5]	-	4	-	4	μs	
t _{d(INTn-INTN)}	delay time from INTn to INT inactive	^[5]	-	2	-	2	μs	
t _{w(rej)L}	LOW-level rejection time	INTn inputs	^[5]	1	-	1	μs	
t _{w(rej)H}	HIGH-level rejection time	INTn inputs	^[5]	0.5	-	0.5	μs	

[1] Pass gate propagation delay is calculated from the 20 Ω typical R_{on} and the 15 pF load capacitance.

[2] After this period, the first clock pulse is generated.

[3] A device must internally provide a hold time of at least 300 ns for the SDA signal (referred to the V_{IH(min)} of the SCL signal) in order to bridge the undefined region of the falling edge of SCL.

[4] C_b = total capacitance of one bus line in pF.

[5] Measurements taken with 1 kΩ pull-up resistor and 50 pF load.

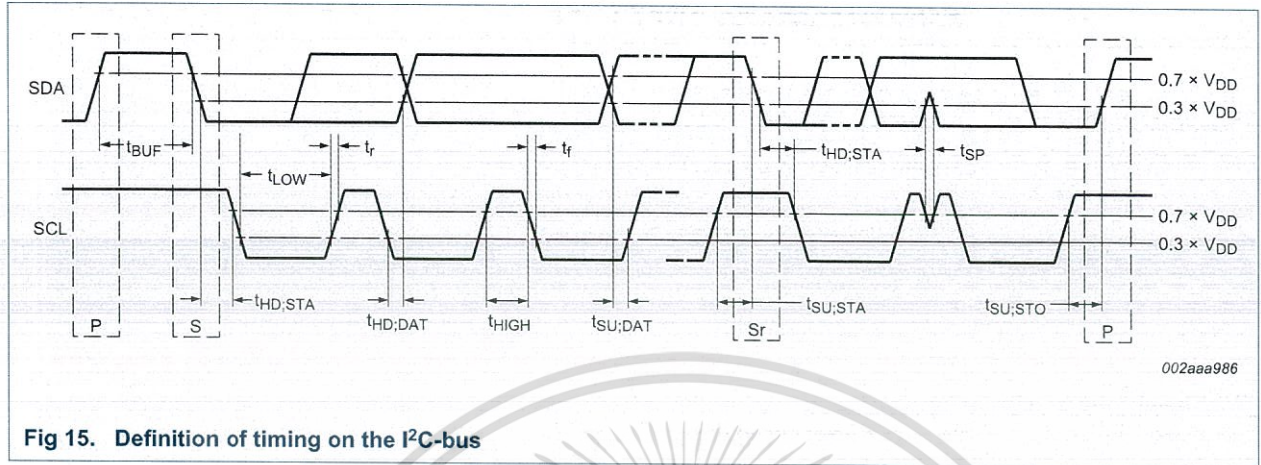


Fig 15. Definition of timing on the I²C-bus

