รายงานวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

การลดเวลาการทดสอบสำหรับชิ้นงานแพ็คแบบ CSP
Test Time Reduction for Chip Scale Packaging

นางสาวปิยาภรณ์ วิชัยคุณหาร

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การลดเวลาการทดสอบสำหรับชิ้นงานแบบ CSP

Test Time Reduction For Chip Scale Packaging

นางสาวปิยากร วิชัยสุนทร

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

หัวข้อโครงงาน	การลดเวลาการทดสอบสำหรับชิ้นงานแบบ CSP
นักศึกษา	นางสาวปิยากร วิชัยสุนทร รหัสประจำตัว 57010791
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ	อาจารย์ชินภัทร นันทจิวากรชัย ดร. เกรียงไกร สุขสุด

บทคัดย่อ

จากการเข้าโครงการสหกิจศึกษาที่บริษัท แม็กซิมอินทริเกรดเต็ด โปรดักส์ (ประเทศไทย) จำกัด ได้เรียนรู้การทำงานของวิศวกรฝ่ายทดสอบ (Test Development Engineer) ซึ่งมีหน้าที่ในการออกแบบระบบที่ใช้ในการทดสอบวงจรรวม เพื่อคัดแยกชิ้นงานที่บกพร่องและส่งตัวที่ดีให้กับลูกค้า โดยออกแบบทั้งส่วนของฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการทดสอบวงจรรวม และโปรแกรมสำหรับทดสอบทดสอบคุณสมบัติของวงจร รวมไปถึงการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อให้ระบบทดสอบมีความสมบูรณ์ที่สุด

Project Title	Test Time Reduction For Chip Scale Packaging
Student	Miss Piyakorn Vichaisoontorn Student ID 57010791
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Electronics Engineering
Year	2016
Project Advisor	Mr. Chinnapat Nantajiwakornchai Dr. Kriengkrai Sooksood

ABSTRACT

From join COOP training project, at Maxim Integrated Products Thailand, is to learn about working process of Test Development Engineer which an engineer who design a test system to determine whether products are good or not for deliver only good products to customer. Test engineers have to design either hardware, for use to test a device, or software, for design testing functions. Finally the responsibility for test integrity is included.

กิตติกรรมประกาศ

การทำโครงงานในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีมิได้ หากไม่ได้รับความช่วยเหลือและคำแนะนำที่ดีจากคุณทิวาภรณ์ เปลี่ยนศักดิ์ ที่ทำหน้าที่เป็นผู้นิเทศงาน และพนักงานท่านอื่นๆในแผนก TSDA และ TPE ในบริษัทแม็กซิมอินทริเกรทเต็ดโปรดักส์ (ประเทศไทย) จำกัด ซึ่งได้ให้คำแนะนำและความคิดเห็นต่างๆ อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานจนทำให้ทำงานที่ได้รับมอบหมายได้อย่างสมบูรณ์และขอขอบคุณ คุณวานี ก๊วยสมบูรณ์และคณะอาจารย์ในสถาบันฯ ที่ได้มอบโอกาสและให้ข้อแนะนำ จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณบิดามารดา และครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียนตลอดจนคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจเสมอมาจนสามารถสำเร็จโครงงานได้

ปิยากร วิชัยสุนทร

สารบัญ

บทคัดย่อ I

ABSTRACT II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2

1.3 สมมติฐานของการศึกษา 2

1.4 ขอบเขตของโครงงาน 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ 4

2.1 ทฤษฎีและหลักการ 4

2.1.1 วิศวกรทดสอบ (Test Development Engineer : TDE) 4

2.1.1.1 New Product Introduction (NPI) 4

2.1.2 เครื่องทดสอบ (Tester) 5

2.1.3 แผงวงจรทดสอบชิ้นงาน (Hardware board) 5

2.1.4 ชิ้นงาน หรือวงจรรวม(Integrated Circuit : IC) 6

2.1.5 เครื่องทดสอบ (Tester) 6

2.1.5.1 แหล่งจ่ายพลังงานอิสระ (Independent source) 8

2.1.5.2 เครื่องมือวัด (Multi meter) 8

2.1.6 วิธีการลดเวลาการทดสอบชิ้นงาน (Test time reduction technique) 8

2.1.6.1 ปรับค่า wait time ให้เหมาะสม 8

2.1.6.2 ปรับค่า Bandwidth ให้เหมาะสม 8

2.1.6.3 ปรับค่า Range ของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสม 8

2.1.6.4 ปรับค่า Sample Rate และ Sample Size ให้เหมาะสม 8

2.1.6.5 Test with parallel – site , parallel – test และ concurrent test 8

2.1.6.6 เปลี่ยนการค้นหาค่าจาก Linear Search เป็น Binary Search 9

2.1.6.7 การลดจำนวนครั้งในการ Binary Search และลดช่วงการค้นหา 9

2.1.6.8 เปลี่ยนวิธีป้อนข้อมูลจาก DSSC Patterns เป็น Flat Patterns 10

2.1.6.9 ใช้วิธี Read Nibble ในการอ่านข้อมูล 11

2.1.6.10 ใช้ POP (Pattern – Oriented - Programming) 11

2.1.6.11 เลือกใช้หน่วยความจำอย่างเหมาะสม 11

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ 122

3.1 วิธีที่ใช้ศึกษาค้นคว้าและการดำเนินโครงงาน 122

3.2 ลักษณะข้อมูล การเลือกข้อมูล และการทดลอง 122

3.3 เครื่องมือและวิธีการวิจัยทดลอง 133

3.3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยทดลอง 133

3.3.2 วิธีการทดลอง 133

3.4 ขั้นตอนออกแบบระบบทดสอบวงจรรวม 144

3.4.1 วัดค่า เปรียบเทียบและวิเคราะห์ (Test Time Analysis) 15

3.4.1.1 วัดค่าเวลาการทดสอบชิ้นงาน 15

3.4.1.2 เปรียบเทียบและวิเคราะห์เวลาการทดสอบชิ้นงาน 15

3.4.2 ทดสอบและแก้ไขระบบ (Debugging) 15

3.4.3 ทดสอบเสถียรภาพของระบบ (Test Solution Verification) 15

3.4.3.1 Gage R&R 16

3.4.3.2 Glitch Elimination 16

3.4.3.3 Dry Run และ Trial Run 17

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 18

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 19

5.1 สรุปผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการทดลอง 19

5.2 ข้อเสนอแนะ 19

เอกสารอ้างอิง 20

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองการลดเวลาการทดสอบชิ้นงาน.....18

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า
รูปที่ 2.1 หน้าที่ของวิศวกรทดสอบ....4
รูปที่ 2.2 วงจรรวม....6
รูปที่ 2.3 แบบจำลองโวลท์มิเตอร์....7
รูปที่ 2.4 แบบจำลองแอมป์มิเตอร์....7
รูปที่ 2.5 แสดงการค้นหาค่าแบบ Linear Search 9
รูปที่ 2.6 แสดงการค้นหาค่าแบบ Binary Search 9
รูปที่ 2.7 แสดงตัวอย่างคุณสมบัติทางไฟฟ้าของชิ้นงาน....10
รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างการป้อนข้อมูลแบบ DSSC Patterns 10
รูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างการป้อนข้อมูลแบบ Flat Patterns....10
รูปที่ 2.10 แสดงการแบ่งน้ำหนักไบนารีของแต่ละบิตของ Read Nibble 11
รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างการทำงานของ Read Nibble....11
รูปที่ 2.12 แสดงการทำงานของ POP....11
รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงแผนการทำงานในการลดเวลาการทดสอบชิ้นงาน....14
รูปที่ 3.2 แสดงความแตกต่างระหว่าง Repeatability และ Reproducibility....16
รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่าง Absolute Maximum Rating ของชิ้นงาน....16
รูปที่ 3.4 ตัวอย่างภาพก่อนและหลังการกำจัด Glitch....17

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

โลกในปัจจุบันมีเทคโนโลยีและนวัตกรรมเกิดขึ้นใหม่ในทุกๆวัน สิ่งประดิษฐ์ต่างๆก็ได้พัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว ระบบสมาร์ทโฟน การส่งข่าวสารข้อมูล อินเทอร์เน็ต รถยนต์ รวมถึงเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆมีการพัฒนาเพื่อความสะดวกสบาย และความปลอดภัยของผู้ใช้มากขึ้น ทั้งนี้เทคโนโลยีนึงที่ส่งผลต่อความก้าวหน้าของเทคโนโลยี คือ การผลิตวงจรรวม (Integrated Circuit : IC) ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของสิ่งประดิษฐ์ดังกล่าวข้างต้นทั้งสิ้น การออกแบบและผลิตวงจรรวมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการสร้างสรรค์สิ่งประดิษฐ์ใหม่ในปัจจุบันให้มีประสิทธิภาพและมีคุณสมบัติตามต้องการเพื่อนำไปใช้งาน แต่เนื่องจากว่าในกระบวนการผลิตวงจรรวมนั้นเป็นไปไม่ได้ที่จะสามารถผลิตวงจรรวมได้อย่างสมบูรณ์แบบทุกชิ้น ดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบระบบทดสอบเพื่อใช้ในการทดสอบและคัดแยกชิ้นงานที่บกพร่องเหล่านี้ออกไปก่อนจะถูกนำไปใช้งาน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษากระบวนการทำงานของวิศวกรทดสอบ

1.2.2 เพื่อศึกษาและทดลองออกแบบระบบสำหรับทดสอบวงจรรวม

1.2.3 เพื่อศึกษาขั้นตอนการทดสอบวงจรรวมและเทคนิคในการลดเวลาการทดสอบ

1.2.4 เพื่อฝึกทักษะในกระบวนการคิด วิเคราะห์ และแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบทดสอบ

1.2.5 เพื่อเป็นการนำความรู้ที่ได้ศึกษามาประยุกต์ใช้งานจริงในสายอาชีพ

1.2.6 เพื่อเป็นการเพิ่มความรู้ และประสบการณ์ในสายงานทางด้านวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

1.2.7 เพื่อนำความรู้ทางสถิติมาประยุกต์ใช้ในระบบการทดสอบงาน

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ระบบทดสอบวงจรรวม(Test system) เป็นระบบทดสอบที่ทำหน้าที่ในการทดสอบคุณสมบัติของวงจรรวมหรือชิ้นงานเพื่อคัดแยกคุณภาพของชิ้นงานก่อนนำออกไปใช้งาน ซึ่งในระบบทดสอบจะประกอบไปด้วย เครื่องทดสอบ(Tester) แผงวงจรทดสอบ(Hardware board) และวงจรรวมหรือชิ้นงานที่ทดสอบ (Device) ในการทดสอบชิ้นงานนั้นสามารถทำได้โดยการกำหนดอินพุทของวงจรรวม โดยการจ่ายไฟจากเครื่องทดสอบในเงื่อนไขต่างๆ แล้ววัดผลที่ได้ของวงจรรวมเพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ในข้อมูลวงจรรวม(Datasheet) เพื่อคัดแยกคุณภาพของชิ้นงาน ในส่วนของโปรแกรมทดสอบนั้นจะต้องเข้าใจถึงการทำงานของชิ้นงานที่จะทำการทดสอบเพื่อที่จะกำหนดอินพุทของวงจรรวมสำหรับใช้ในการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ โดยที่ระบบที่ทำการวัดต้องไม่ส่งผลทำให้ชิ้นงานเสียหาย เช่นการกำหนดลำดับขั้นของการจ่ายอินพุทแก่ชิ้นงาน การควบคุมขนาดของสัญญาณไม่ให้เกินความสามารถที่ชิ้นงานจะสามารถรับได้ สำหรับขั้นตอนการลดเวลาการทดสอบชิ้นงานทำได้โดยการศึกษาวิธีการ เทคนิค และขั้นตอนการตรวจสอบโปรแกรม ซึ่งถือเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย โดยไม่ส่งผลให้ประสิทธิภาพลดลงไป

1.4 ขอบเขตของโครงงาน

โครงงานนี้เป็นการศึกษาและออกแบบระบบทดสอบเพื่อลดเวลาการทดสอบสำหรับชิ้นงานประเภท CSP (Chip Scale Packaging) โดยเรียนรู้การใช้โปรแกรมสำหรับออกแบบและตรวจสอบวงจรที่เป็นฮาร์ดแวร์ของระบบทดสอบ และออกแบบซอร์ฟแวร์เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องทดสอบ และยังศึกษาเกี่ยวกับเทคนิคการลดเวลาการทำงานด้วย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เข้าใจกระบวนการทำงาน และระบบในการทำงานของวิศวกรทดสอบ

1.5.2 เข้าใจหลักการในการออกแบบระบบสำหรับใช้ทดสอบวงจรรวม

1.5.3 เข้าใจถึงผลกระทบที่เกิดจากระบบการวัด และสามารถแก้ไขปัญหาได้

1.5.4 เข้าใจถึงหลักการทำงานและการออกแบบขั้นพื้นฐานของวงจรรวม

1.5.5 สามารถออกแบบโปรแกรมสำหรับทดสอบวงจรรวมได้

1.5.6 สามารถที่จะนำความรู้และประสบการณ์ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้กับการทำงานในอนาคตได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีและหลักการ

2.1.1 วิศวกรทดสอบ (Test Development Engineer : TDE)

เป็นวิศวกรที่ทำหน้าที่ในการออกแบบระบบทดสอบเพื่อคัดแยกชิ้นงานที่บกพร่องออกจากระบบก่อนที่จะส่งไปถึงมือลูกค้าและรับผิดชอบไปถึง New Product Introduction(NPI)

รูปที่ 2.1 หน้าที่ของวิศวกรทดสอบ

2.1.1.1 New Product Introduction (NPI)

- Pre-launch : เป็นขั้นตอนวางแผนการทำงานตั้งแต่การกำหนดคุณสมบัติของตัวงานไปถึงฝ่ายโปรดักชั่น
- Launch to intro : เป็นขั้นตอนของการปฏิบัติงานจริง ประกอบไปด้วย
  - Review Test
  - Coding
  - Hardware Design
  - Correlation
  - Characterization
  - Buy off และ Release to production
- Post intro : เป็นขั้นตอนของการปรับปรุงโปรเจคให้ดีขึ้น เช่น Test Optimization , Yield Improvement ซึ่งการลดเวลาการทดสอบจะอยู่ในส่วนของ Test Optimization

- Test Optimization

มีวัตถุประสงค์เพื่อการประหยัดค่าใช้จ่าย โดยไม่ลดคุณภาพลงไป การลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นคือ Capital avoidance เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายจากการลดการใช้งานเครื่องทดสอบ

สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเพิ่มไซต์ในการทดสอบ และ การลดเวลาการทดสอบชิ้นงาน เป็นต้น

2.1.2 เครื่องทดสอบ (Tester)

เครื่องทดสอบคืออุปกรณ์ที่ประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายพลังงาน(Power Supply) ที่มีคุณสมบัติในการจ่ายแรงดันและกระแสไฟฟ้าได้ทั้งสองทิศทาง และเครื่องมือวัดที่สามารถวัดแรงดันหรือกระแสไฟฟ้าได้ โดยเครื่องทดสอบสามารถจ่ายพลังงานและวัดค่าแรงดันหรือกระแสไฟฟ้าได้พร้อมกัน ซึ่งสามารถควบคุมได้ผ่านการโปรแกรมคอมพิวเตอร์

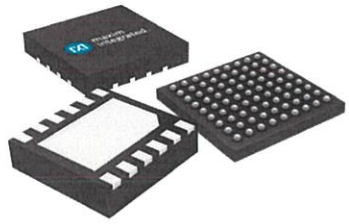
หลักการที่สำคัญของเครื่องทดสอบคือความแม่นยำและความเที่ยงตรงของแหล่งจ่ายพลังงาน และความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัด เครื่องทดสอบที่ดีจะต้องมีความแม่นยำและความเที่ยงตรงสูง และสามารถจ่ายแรงดันหรือกระแสไฟฟ้าตามที่ต้องการโดยไม่ขึ้นกับปัจจัยภายนอก ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้หลักการของการป้อนกลับเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับค่าที่กำหนด เพื่อให้แหล่งจ่ายพลังงานสามารถจ่ายแรงดันหรือกระแสไฟฟ้าได้ตรงกับที่กำหนด และการใช้หลักการวัดแบบสี่สายส่ง(Four-terminal sensing) เพื่อลดผลกระทบจากความต้านทานภายในของเครื่องมือวัด

2.1.3 แผงวงจรทดสอบชิ้นงาน (Hardware board)

เนื่องจากในการทำงานของชิ้นงานที่ทดสอบนั้นจำเป็นที่จะต้องมีการนำอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ มาประกอบเพื่อทำให้ชิ้นงานสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องจึงต้องมีการออกแบบแผงวงจรเพื่อใช้ในการทดสอบชิ้น เช่นการต่อตัวเก็บประจุ และตัวต้านทานเสมือนการนำชิ้นงานนั้นไปใช้งานจริงเพื่อใช้ทดสอบความถูกต้องของการทำงาน การต่อวงจรตามแรงดันหรือบัฟเฟอร์(Buffer) เพื่อป้องกันผลกระทบจากการต่อชิ้นงานเข้ากับเครื่องทดสอบ การป้องกันตัวชิ้นงานจากกรณีที่เกิดไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันโดยการต่อตัวเก็บประจุเข้าไว้ใกล้กับตัวงาน สาเหตุอีกประการคือจำนวนของแหล่งจ่ายไฟฟ้าและเครื่องวัดมีอยู่อย่างจำกัด จึงจำเป็นต้องมีการออกแบบวงจรที่ทำหน้าที่ในการสับเปลี่ยนแหล่งจ่ายไฟฟ้าและเครื่องวัดให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้น

2.1.4 ชิ้นงาน หรือวงจรรวม(Integrated Circuit : IC)

คือวงจรรวมที่ถูกออกแบบมาให้มีคุณสมบัติตามต้องการ สามารถทำงานได้โดยการกำหนดสภาวะต่างๆ ในตัวงานให้ถูกต้องตามข้อมูลอุปกรณ์(Datasheet) โดยชิ้นงานทุกชิ้นจะต้องถูกทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ที่ปรากฏตามข้อมูลอุปกรณ์ก่อนที่จะถูกส่งออกไปใช้งาน โดยการทดสอบชิ้นงานนั้นจะเป็นการการันตีว่าชิ้นงานนั้นมีคุณสมบัติตามที่แสดงไว้ในข้อมูลอุปกรณ์ อีกทั้งยังเป็นการคัดกรองชิ้นงานที่ชำรุดหรือเสียหายออกจากชิ้นงานที่ดีก่อนการนำไปใช้งาน



รูปที่ 2.2 วงจรรวม

2.1.5 เครื่องทดสอบ (Tester)

2.1.5.1 แหล่งจ่ายพลังงานอิสระ (Independent source)

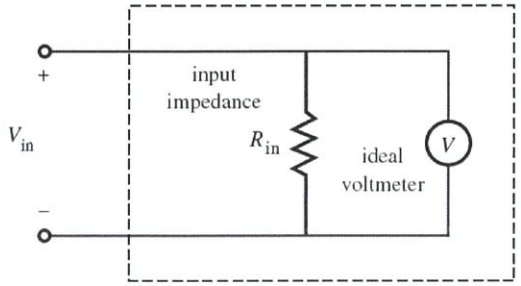
แหล่งจ่ายพลังงานอิสระเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จ่ายสัญญาณไฟฟ้าให้แก่วงจรไฟฟ้า โดยแหล่งจ่ายพลังงานในอุดมคตินั้นจะสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าได้ตามที่ระบุ โดยไม่แปรผันตามวงจรไฟฟ้าอื่นๆ ที่มาต่อร่วมกัน แหล่งจ่ายพลังงานอิสระสามารถจ่ายสัญญาณได้ทั้งรูปแบบไฟฟ้ากระแสตรง(DC) ไฟฟ้ากระแสสลับ(AC) รวมไปถึงการสร้างรูปแบบคลื่นแบบต่างๆ (Function generator)

2.1.5.2 เครื่องมือวัด (Multi meter)

เครื่องมือวัดคืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการวัดหาค่าตัวแปรต่างๆ เช่นแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ค่าความต้านทาน ค่าความจุไฟฟ้า

2.1.5.2.1 โวลท์มิเตอร์ (Voltmeter)

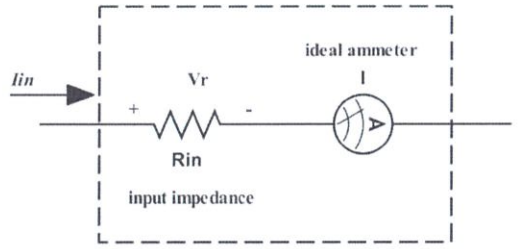
โวลท์มิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่ในการวัดแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมระหว่างอุปกรณ์ โดยจะทำการเปรียบเทียบแรงดันระหว่างสองจุดที่ทำการวัด รูปที่ 2.3 แสดงแบบจำลองของโวลท์มิเตอร์ ซึ่งโวลท์มิเตอร์ในอุดมคตินั้นควรจะมีความต้านทานภายใน(R_{in}) สูงมากหรือเป็นอนันต์



รูปที่ 2.3 แบบจำลองโวลท์มิเตอร์

2.1.5.2.2 แอมป์มิเตอร์ (Ammeter)

แอมป์มิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่ในการวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวอุปกรณ์ โดยการนำแอมป์มิเตอร์เข้าไปต่ออนุกรมกับอุปกรณ์ที่ต้องการวัด จากรูปที่ 2.4 แสดงแบบจำลองของแอมป์เตอร์ ซึ่งแอมป์มิเตอร์ในอุดมคตินั้นควรจะมีค่าความต้านทานภาย(R_{in}) ในที่ต่ำหรือเป็นศูนย์



รูปที่ 2.4 แบบจำลองแอมป์มิเตอร์

2.1.6 วิธีการลดเวลาการทดสอบชิ้นงาน (Test time reduction technique)

ในการออกแบบโปรแกรม เป็นการออกแบบเพื่อทดสอบคุณสมบัติของชิ้นงาน ทั้งการทดสอบหน้าสัมผัสของชิ้นงาน(Contact test) การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าเช่น กระแสไฟฟ้าที่ใช้ไปจากแหล่งจ่ายพลังงาน(Supply current) กระแสไฟฟ้ารั่วไหล(Leakage current) ค่าแรงดันเอาท์พุท (Voltage output) ซึ่งการตั้งค่าเครื่องมือต่างๆล้วนมีส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการทำงาน แต่จะมีวิธีอย่างไรบ้างในการลดเวลาการทำงาน สำหรับโครงงานนี้จึงจะขอเสนอตัวอย่างวิธีลดเวลาการทดสอบดังนี้

2.1.6.1 ปรับค่า wait time ให้เหมาะสม

โดยสามารถหาค่าที่เหมาะสมได้จากการพล็อตกราฟ (DC Plot) ว่าค่า settled ที่เวลาเท่าไร โดยค่าที่เหมาะสมสามารถลดเวลาการทดสอบได้

2.1.6.2 ปรับค่า Bandwidth ให้เหมาะสม

เป็นการเปลี่ยนค่าการตอบสนองของ device โดยที่ค่า Bandwidth สูงๆ ค่าแรงดันไฟฟ้าจะ settled เร็วกว่าค่า Bandwidth ต่ำๆจึงสามารถลดเวลาการทดสอบได้

2.1.6.3 ปรับค่า Range ของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสม

โดยถ้าใช้ Range ต่ำๆ จะส่งผลให้มีความแม่นยำมากขึ้น และส่งผลให้ใช้เวลาในการวัดมากขึ้น จึงส่งผลให้เวลาการทดสอบมากขึ้นด้วย การตั้งค่าที่เหมาะสมจึงสามารถลดเวลาการทดสอบได้

2.1.6.4 ปรับค่า Sample Rate และ Sample Size ให้เหมาะสม

โดยสำหรับค่าที่เหมาะสมสามารถดูได้จากพล็อตสัญญาณ เพื่อตั้งค่าการวัดที่ถูกต้องและประหยัดเวลาที่สุดได้

2.1.6.5 Test with parallel – site , parallel – test และ concurrent test

2.1.6.1 Parallel – Site

เป็นการเปลี่ยนการตั้งค่าจากการทดสอบแบบทีละไซต์ มาเป็นทดสอบพร้อมกับไซต์อื่น

2.1.6.2 Parallel – Test

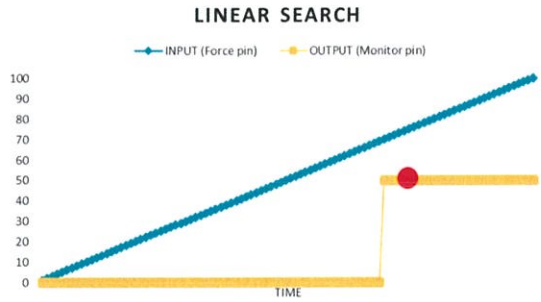
เป็นการทดสอบพร้อมกันระหว่างขาอื่น เช่น การทดสอบ Contact

2.1.6.3 Concurrent – Test

เป็นการทดสอบ 2 เทสพร้อมๆกันในเวลาเดียวกัน

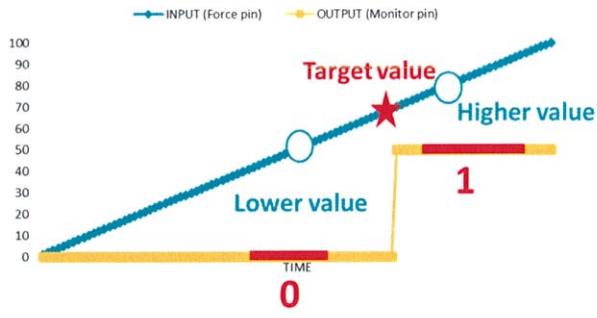
2.1.6.6 เปลี่ยนการค้นหาค่าจาก Linear Search เป็น Binary Search

โดย Linear Search เป็นการค้นหาข้อมูลที่มีลักษณะการทำงานอย่างมีลำดับขั้นตอน โดยค่อยๆหาค่าตั้งแต่ตัวแรกเรียงลำดับไปทีละตัวจนกว่าจะพบค่าที่ต้องการ จากรูปที่ 2.5 จะแสดงการทำงานการค้นหาค่าแบบ Linear Search ที่ค่อยๆเพิ่มค่าที่ฝั่งอินพุทตั้งแต่ 0 V ไปเรื่อยๆ จนฝั่งเอาท์พุท Active ตามจุดสีแดง การค้นหาจึงจะสิ้นสุดลง จะพบว่าวิธีนี้จะเสียเวลาในการค้นหาค่าเพราะต้องค่อยๆป้อนค่าตั้งแต่เริ่ม



รูปที่ 2.5 แสดงการค้นหาค่าแบบ Linear Search

แบบ Binary Search เป็นการค้นหาข้อมูลโดยเริ่มจากกำหนดข้อมูลที่ต้องการค้นหา แล้วแบ่งข้อมูลทีละครึ่ง เริ่มป้อนค่าที่ฝั่งน้อยก่อน ถ้าฝั่งเอาท์พุทยังไม่ active จึงป้อนที่ฝั่งมาก ถ้า active แล้วแสดงว่าได้ค่าที่ต้องการ ตามรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงการค้นหาค่าแบบ Binary Search

จากการแสดงการทำงานทั้งสองแบบจะเห็นว่าแบบ Binary Search จะมีการทำงานที่เร็วกว่าแบบแรก จึงสามารถลดเวลาการทดสอบได้

2.1.6.7 การลดจำนวนครั้งในการ Binary Search และลดช่วงการค้นหา

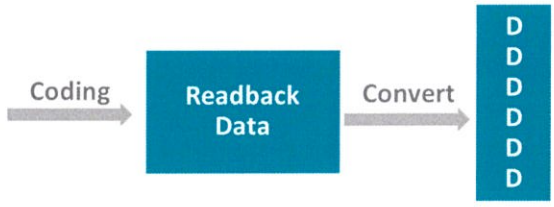
จากการค้นหาค่าแบบ Binary Search จำนวนครั้งในการแบ่งครึ่งและช่วงการค้นหายังมีผลต่อเวลาการทำงานด้วย ซึ่งสามารถหาจำนวนครั้งและช่วงการค้นหาที่เหมาะสม ได้จากตารางคุณสมบัติทางไฟฟ้า (Electrical Characteristics) โดยช่วงการค้นหาที่ลดลงไปจะต้องไม่ทำให้ความละเอียดในการค้นหาค่าลดลงด้วย

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Resolution				8		Bits
VBAT Measurement Voltage Range			2.5		4.8	V
VBAT Measurement Accuracy		T_A = 25°C	-25		+25	mV
		Across specified T_A range	-35		+35	mV
VBST Measurement Voltage Range			6		11	V
VBST Measurement Accuracy			-100		+100	mV

รูปที่ 2.7 แสดงตัวอย่างคุณสมบัติทางไฟฟ้าของชิ้นงาน

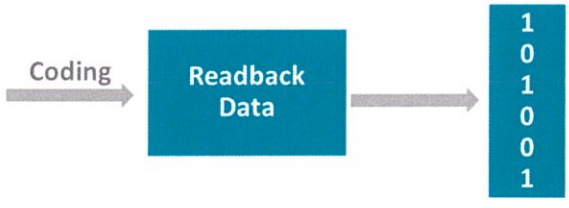
2.1.6.8 เปลี่ยนวิธีป้อนข้อมูลจาก DSSC Patterns เป็น Flat Patterns

ในเครื่องทดสอบจะมีเครื่องมือสำหรับสัญญาณดิจิตอลที่สามารถสร้างฟังก์ชั่นได้ โดยแบ่งเป็น DSSC Engine และ Flat Patterns ซึ่ง DSSC Engine สามารถเปลี่ยนค่าได้ตามที่ป้อนเข้าไป ซึ่งวิธีนี้จะเสียเวลาในขั้นตอนของการแปลงตัวแปรเป็นค่าที่ต้องการก่อนนำไปใช้งาน ตามรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างการป้อนข้อมูลแบบ DSSC Patterns

สำหรับแบบ Flat Patterns เป็นการป้อนข้อมูลแบบกำหนดค่าไว้แล้ว ทำให้ไม่ต้องเสียเวลาในการแปลงค่าตัวแปร จึงสามารถลดเวลาการทดสอบได้ ตามรูปที่ 2.9

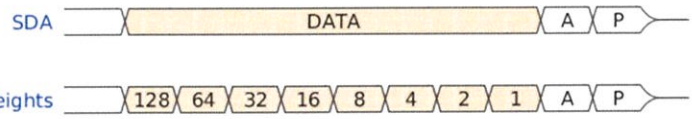


รูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างการป้อนข้อมูลแบบ Flat Patterns

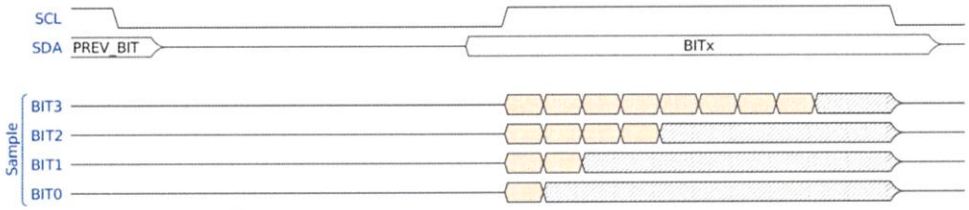
2.1.6.9 ใช้วิธี Read Nibble ในการอ่านข้อมูล

เป็นวิธีที่มีการทำงานที่รวดเร็วมาก โดยอันดับแรกคือให้น้ำหนักแต่ละบิตไม่เท่ากัน ดังรูปที่2.10 แล้วนับจำนวนครั้งที่เฟล

ยกตัวอย่างการทำงาน ตามรูปที่ 2.11 ถ้าเราคาดหวังว่าทุกบิตจะเป็น 0 (low) ทั้งหมด ถ้าบิตที่ 2 เป็น 0 จะนับจำนวนครั้งที่เฟลได้ 4 ครั้ง แต่ถ้าบิตที่2 เป็น 1 จำนวนครั้งที่เฟลจะเท่ากับ 0 ครั้ง



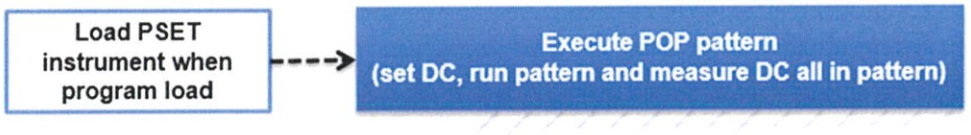
รูปที่ 2.10 แสดงการแบ่งน้ำหนักไบนารีของแต่ละบิตของ Read Nibble



รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างการทำงานของ Read Nibble

2.1.6.10 ใช้ POP (Pattern – Oriented - Programming)

เป็นวิธีการตั้งค่าที่รวดเร็วมาก เพราะมีการตั้งค่าในเครื่องมือไว้อยู่แล้ว



รูปที่ 2.12 แสดงการทำงานของ POP

2.1.6.11 เลือกใช้หน่วยความจำอย่างเหมาะสม

ในเครื่องมือจะมีหน่วยความจำอยู่ 2 แบบคือ แบบ LVM และแบบ SVM ซึ่งถ้าเลือกใช้อย่างเหมาะสมจะทำให้ไม่ต้องเสียเวลาในการโหลดและอันโหลด Pattern จึงสามารถลดเวลาการทำงานได้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการ

3.1 วิธีที่ใช้ศึกษาค้นคว้าและการดำเนินโครงงาน

การดำเนินโครงงานในครั้งนี้เริ่มจากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากโครงงานเดิมของวิศวกรที่ปรึกษา เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจในชุดคำสั่งต่างๆ รวมทั้งศึกษาค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมจากตำรา การอบรมของวิศวกรท่านอื่นและสื่อทางอินเตอร์เน็ต มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบโปรแกรมและลดเวลาการทดสอบข เพื่อนำไปทดสอบชิ้นงาน โดยนำโปรแกรมที่ออกแบบไปทดสอบการทำงานรวมทั้งแก้ปัญหาจนสามารถใช้คัดแยกคุณภาพของชิ้นงานได้ อีกทั้งยังสามารถลดเวลาการทดสอบได้ โดยตลอดระยะเวลาของการทำโครงงานนั้นได้มีการปรึกษาและรับคำแนะนำจากวิศวกรที่ปรึกษาและวิศวกรท่านอื่นๆ ในบริษัท แม็กซิม อินทริเกรดเต็ด โปรดักส์ (ประเทศไทย) จำกัด

3.2 ลักษณะข้อมูล การเลือกข้อมูล และการทดลอง

การวิจัยทดลองโครงงานในครั้งนี้เป็นการปรับปรุงโปรแกรมเพื่อลดเวลาการทดสอบการทำงานของวงจรรวมชื่อ MAX98927 และ MAX98723 ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบจะเป็นการเก็บเวลาการทดสอบชิ้นงานสำหรับทดสอบ 1 ไซต์และทดสอบทุกไซต์พร้อมกัน โดยข้อมูลที่วัดได้จะบอกเวลาการทดสอบสำหรับแต่ละเทสและยังบอกเวลาการทดสอบของเทสย่อยแต่ละเทสอีกด้วย

3.3 เครื่องมือและวิธีการวิจัยทดลอง

3.3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยทดลอง

สำหรับการทดสอบการทำงานของวงจรรวมนั้นจำเป็นต้องมีเครื่องมือดังนี้

3.3.1.1 เครื่องทดสอบชิ้นงาน(Tester)

3.3.1.2 วงจรทดสอบชิ้นงาน(Hardware board)

3.3.1.3 เครื่องจับยึดชิ้นงาน(Handler)

3.3.1.4 ชิ้นงาน(แผ่นเวเฟอร์ (Wafer)) หรือ MAX98927 และ MAX98723

3.3.1.5 ชุดโปรแกรมที่ถูกออกแบบสำหรับสั่งเครื่องทดสอบชิ้นงาน (Test program)

3.3.2 วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองในโครงงานนี้จะทำการนำโปรแกรมที่ได้แก้ไขแล้วมาทดลองใช้ทดสอบการทำงานของวงจรรวม โดยเริ่มจากการทดสอบแผงวงจรทดสอบที่ออกแบบ(Hardware checker) เพื่อตรวจสอบการทำงานของแผงวงจร จากนั้นจึงทำการทดสอบวงจรรวมในคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

3.3.2.1 ทดสอบหน้าสัมผัสของตัวงานก่อนทดสอบชิ้นงาน

3.3.2.2 ทดสอบการทำงานต่างๆ ของชิ้นงาน

3.3.2.3 ทดสอบหน้าสัมผัสของตัวงานหลังทดสอบชิ้นงาน

โดยการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมนั้นทำได้โดยการนำค่าที่ได้จากการวัดในการคุณสมบัติต่างๆ มาเปรียบเทียบกับค่าที่คาดการณ์ไว้ โดยค่าที่วัดได้ต้องอยู่ในขอบเขตที่กำหนด และควรมีความใกล้เคียงกับค่าที่คาดการณ์

และทำการทดสอบเวลาการทดสอบ สำหรับการทดสอบ 1 ไซต์และทดสอบทุกไซต์เพื่อนำมาตรวจและเปรียบเทียบอีกครั้ง ค่าที่วัดได้ควรเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่คาดการณ์ไว้

3.4 ขั้นตอนการลดเวลาการทดสอบชิ้นงาน

การศึกษาทำโครงงานในครั้งนี้เป็นการออกแบบระบบทดสอบสำหรับชิ้นงานชื่อ MAX98927 ซึ่งขั้นตอนของการออกแบบระบบสำหรับทดสอบชิ้นงานนั้นเริ่มมาจากนำโปรแกรมการทดสอบเดิมมาทดสอบกับชิ้นงาน และวัดเวลาการทดสอบของชิ้นงาน เพื่อนำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบหาจุดที่สามารถปรับเปลี่ยนหรือคาดว่าจะแก้ไขได้ จากนั้นจะเป็นขั้นตอนของการพัฒนา ปรับปรุง แก้ไขโปรแกรมการทดสอบชิ้นงานเพื่อลดเวลาการทดสอบ ขั้นตอนต่อมาจะเป็นขั้นตอนของการตรวจสอบโปรแกรมใหม่ที่ได้แก้ไขว่าสามารถนำไปใช้งานได้จริง สามารถลดเวลาการทดสอบชิ้นงานได้โดยไม่ลดประสิทธิภาพในการทดสอบชิ้นงานลงไป เมื่อเสร็จทุกขั้นตอนแล้วโปรแกรมใหม่สำหรับการทดสอบชิ้นงานจะถูกส่งต่อไปยังฝ่ายโปรดักชั่นต่อไป ดังแผนผังในรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงแผนการทำงานในการลดเวลาการทดสอบชิ้นงาน

3.4.1 วัดค่า เปรียบเทียบและวิเคราะห์ (Test Time Analysis)

3.4.1.1 วัดค่าเวลาการทดสอบชิ้นงาน

ขั้นตอนแรกของการลดเวลาการทดสอบชิ้นงาน คือการวัดเวลาการทดสอบชิ้นงาน โดยการวัดเวลาการทดสอบจะแบ่งเป็นการทดสอบชิ้นงานไซต์เดียวและการทดสอบแบบทุกไซต์พร้อมกัน และผลของเวลาการทดสอบที่วัดได้จะเรียกว่า Test time by instance และ Test time by test โดยแบบ Test time by instance จะเป็นเวลาการทดสอบแบบหัวข้อใหญ่และ Test time by test จะเป็นเวลาการทดสอบที่แยกย่อยลงไปแต่ละการทดสอบจาก Test time by instance อีกที เป็นการเวลาการทดสอบของแต่ละการทำงาน และแยกย่อยจากการทดสอบด้วย

3.4.1.2 เปรียบเทียบและวิเคราะห์เวลาการทดสอบชิ้นงาน

จากการวัดค่าเวลาการทดสอบชิ้นงานแล้ว จะนำข้อมูลดังกล่าวมาเปรียบเทียบ โดยจะเป็นการเปรียบเทียบกับโปรแกรมที่มีการทดสอบการทำงานใกล้เคียงกันว่าใช้เวลาการทดสอบในแต่ละเทสเป็นอย่างไร และเปรียบเทียบกับการทดสอบระหว่างทดสอบแบบไซต์เดียวกับทุกไซต์ว่ามีการเวลาการทดสอบไปในทิศทางเดียวกันหรือไม่ เพื่อวิเคราะห์หาจุดที่สามารถปรับปรุง แก้ไขว่าสามารถลดเวลาการทดสอบที่จุดไหนได้บ้าง นอกจากนี้ยังวิเคราะห์เพื่อคาดการณ์เวลาการทดสอบที่อาจลดลงไปได้ด้วย

โดยการค่าเวลาการทดสอบ ผลการเปรียบเทียบ และวิเคราะห์ที่กล่าวมาจะเก็บค่าไว้ใน Test time breakdown เพื่อให้ง่ายต่อการจดบันทึก วิเคราะห์และอัปเดตข้อมูลต่อไป

3.4.2 ทดสอบและแก้ไขระบบ (Debugging)

ขั้นตอนที่สองในการลดเวลาการทดสอบ จะเป็นขั้นตอนของการดำเนินการแก้ไขโปรแกรม โดยจะแก้ไขในจุดที่ได้วิเคราะห์ในขั้นตอนแรก ด้วยเทคนิคการลดเวลาการทดสอบที่ได้กล่าวไปในบทที่ 2

ในขณะที่ดำเนินการแก้ไขระบบนั้นจะต้องมีการทดสอบกับชิ้นงานจริงด้วย ว่าสามารถทดสอบงานได้จริงและเพื่อตรวจสอบว่าสามารถลดเวลาการทดสอบได้ตามที่คาดการณ์ไว้ด้วย โดยการอัปเดตการแก้ไขและเวลาที่ลดลงไปจะนำไปอัปเดตใน Test time breakdown ด้วย

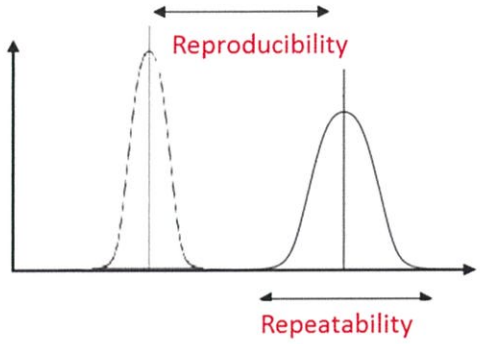
3.4.3 ทดสอบเสถียรภาพของระบบ (Test Solution Verification)

เป็นการตรวจสอบเสถียรภาพและหาจุดบกพร่องของระบบเมื่อถูกนำไปงานจริง เช่นการทดสอบชิ้นงานเดิมซ้ำหลายครั้งเพื่อตรวจสอบความแม่นยำและความเที่ยงตรงของข้อมูลรวมถึงตรวจสอบความเสียหายของชิ้นงานที่เกิดจากการทดสอบชิ้นงานเดิมซ้ำๆ การเปรียบเทียบข้อมูลของชิ้นงานระหว่างเครื่องทดสอบ การเปรียบเทียบชิ้นงานระหว่างแผงวงจรทดสอบเพื่อดูความแตกต่างของข้อมูลและเพื่อตรวจสอบความผิดปกติของระบบที่ออกแบบ

3.4.3.1 Gage R&R

เป็นการเก็บข้อมูลการทดสอบชิ้นงานและนำมาเปรียบเทียบ การเปรียบเทียบมีทั้งการเปรียบเทียบข้อมูลการทดสอบระหว่างเครื่องทดสอบ การเปรียบเทียบข้อมูลการทดสอบระหว่างแผงวงจรทดสอบ สำหรับการลดเวลาการทดสอบจะโปรแกรมเดิมและโปรแกรมที่ได้แก้ไขมาเปรียบเทียบกัน ทั้งนี้จะเป็นการทดสอบชิ้นงานแบบวนลูปซ้ำๆ เพื่อเก็บสถิติของผลการทดสอบว่าโปรแกรมที่ได้แก้ไข ไม่มีผลทำให้ผลการทดสอบมีค่าที่ผิดเพี้ยนจากโปรแกรมเก่าหรือลดประสิทธิภาพของการทดสอบลงไป

โดยการเก็บข้อมูลนี้เพื่อดูค่า Precision(Repeatability) และ Accuracy (Reproducibility) ของข้อมูล เกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาคือ ถ้า %R&R น้อยกว่า 10% จะอยู่ในเกณฑ์ที่ผ่าน และถ้า %R&R มากกว่า 30% จะอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องพิจารณาแล้วแต่กรณีว่าค่าที่วัดได้เป็นอย่างไร ในกรณีที่มากกว่า 30% และไม่มีเหตุผลว่าควรยอมรับค่าดังกล่าว ต้องมีการกลับไปแก้ไขโปรแกรมอีกครั้งเพื่อได้ค่าผลการทดสอบที่เหมาะสมก่อนไปถึงขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 3.2 แสดงความแตกต่างระหว่าง Repeatability และ Reproducibility

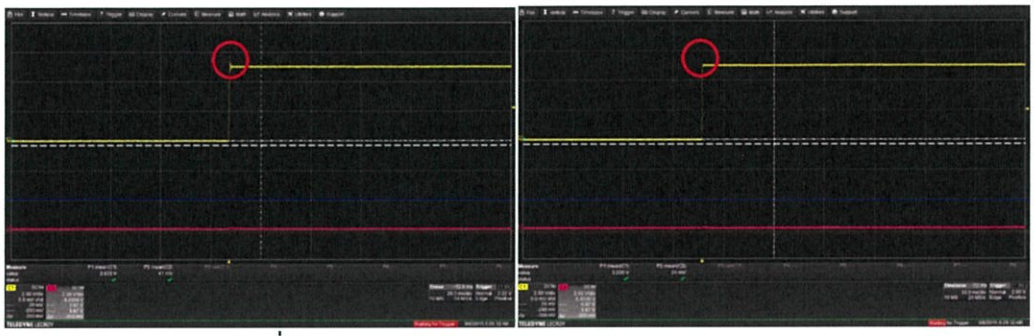
3.4.3.2 Glitch Elimination

เป็นขั้นตอนที่ทำเพื่อป้องกันชิ้นงานจากโปรแกรมที่ทดสอบ โดยแต่ละขาจะมีค่าขีดจำกัด (Absolute Maximum Ratings) ที่สามารถดูได้จากดาต้าชีทดังรูปที่ 3.3

Absolute Maximum Ratings

VBAT to PGND	-0.3V to +6V
VBST to PGND	-0.3V to +12V
PVDD to PGND	-0.3V to +12V
DVDD to GND	-0.3V to TBD
OUTP, OUTN to PGND	-0.3V to PVDD+0.3V
LX to PGND	-0.3V to PVDD+0.3V
VSNSP, VSNSN to PGND	-0.3V to +12V
All digital pins to GND	-0.3V to DVDD+0.3V
PGND to GND	-0.3V to +0.3V

รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่าง Absolute Maximum Rating ของชิ้นงาน



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างภาพก่อนและหลังการกำจัด Glitch

3.4.3.3 Dry Run และ Trial Run

ถือเป็นขั้นตอนสุดท้ายของขั้นตอนการลดเวลาการทดสอบ โดยที่ผ่านมาโปรแกรมที่ได้แก้ไขแล้วจะทดลองทดสอบกับชิ้นงานจำนวน 16 ไซต์เท่านั้น ในขั้นตอนนี้จึงเป็นการนำโปรแกรมที่ได้แก้ไขแล้วมาทดสอบกับชิ้นงานบนแผ่นเวเฟอร์ โดยขั้นตอนแรกคือ Dry Run จะเป็นการทดลองกับชิ้นงานบนแผ่นเวเฟอร์จำนวนนึง (ประมาณ 200 – 300 ชิ้น) เพื่อดูถึงการกระจายตัวของผลการทดสอบที่ได้ใช้โปรแกรมที่แก้ไขเทียบกับโปรแกรมเดิมที่ใช้ทดสอบ จะเป็นขั้นตอนที่ตรวจสอบว่าเทคนิคที่ได้ลดเวลาการทดสอบไปนั้นไม่ได้ส่งผลให้ลดอัตราส่วนของชิ้นงานที่ดีต่อชิ้นงานที่บกพร่อง(Yield) ลงไปด้วย

สำหรับขั้นตอนสุดท้ายคือ Trial Run จะเป็นขั้นตอนที่นำโปรแกรมที่ได้แก้ไขแล้วไปทดสอบกับชิ้นงานบนแผ่นเวเฟอร์ตามขั้นตอนที่ฝ่ายโปรดักชั่นทำ จะเป็นทดสอบกับชิ้นงานทั้งแผ่นเพื่อนำมาเปรียบเทียบและสรุปผลว่าอัตราส่วนของชิ้นงานที่ดีต่อชิ้นงานที่บกพร่อง(Yield) ที่ได้นั้นแตกต่างหรือมีผลเป็นอย่างไรและพร้อมส่งต่อไปยังฝ่ายถัดไปหรือไม่

โดยระบบการทดสอบที่ดีนั้นจะต้องสามารถตรวจจับชิ้นงานที่มีความบกพร่องได้ทุกตัวและต้องมีอัตราส่วนของชิ้นงานที่ดีต่อชิ้นงานที่บกพร่อง(Yield) สูง ซึ่งหมายความว่าถ้านำชิ้นงานที่ดีมาเข้าระบบทดสอบที่ออกแบบ ระบบจะต้องระบุได้ว่าชิ้นงานเหล่านั้นเป็นชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบทุกตัว

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

สำหรับการทดลองระบบที่ทำการออกแบบแก้ไขสามารถทำได้โดยการเชื่อมแผงวงจรทดสอบเข้ากับเครื่องทดสอบ จากนั้นนำตัวชิ้นงานมาเชื่อมต่อกับแผงวงจรทดสอบเพื่อทำการทดสอบ โดยการเปิดโปรแกรมที่ออกแบบเพื่อสั่งเครื่องทดสอบให้เริ่มทำการทดสอบต่างๆ จากนั้นจึงวัดเวลาการทดสอบชิ้นงาน จากตารางที่ 4.1 จะบอกเวลาการทดสอบที่ลดไปได้ต่อจำนวนตัว

สำหรับชิ้นงานแรก MAX98927 สามารถลดเวลาการทดสอบได้ 1.3 วินาทีและสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายจาก Capital Avoidance ไปได้ $94,000 ต่อ 1ควอเตอร์ และสำหรับชิ้นงานที่สอง MAX98723 สามารถลดเวลาการทดสอบได้ 3.36 วินาทีและสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายจาก Capital Avoidance ไปได้ $262,000 ต่อ 1ควอเตอร์ นอกจากนี้พบว่าอัตราส่วนของชิ้นงานที่ดีต่อชิ้นงานที่บกพร่อง (Yield) ที่สูงใกล้เคียงกับโปรแกรมเดิมอีกด้วย

Product	Test Time Reduce	Capital Avoidance
MAX98927	1.3 sec	$94,000
MAX98723	3.36 sec	$262,000

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองการลดเวลาการทดสอบชิ้นงาน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาโครงงานในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการทำงานของวิศวกรทดสอบ และเพื่อศึกษาการออกแบบระบบทดสอบสำหรับทดสอบวงจรรวม(IC) ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนของฮาร์ดแวร์และซอร์ฟแวร์ โดยเริ่มจากการศึกษาข้อมูล วิธีการทำงานของเครื่องทดสอบ การออกแบบโปรแกรมทดสอบ(Test program) เทคนิคในการลดเวลาการทดสอบ(Test time reduction technique) ตลอดไปจนถึงการแก้ไขโปรแกรมให้มีความสมบูรณ์

ในการออกแบบโปรแกรมทดสอบหรือซอร์ฟแวร์นั้นเป็นการออกแบบโปรแกรมเพื่อทดสอบคุณสมบัติของชิ้นงาน ทั้งการทดสอบหน้าสัมผัสของชิ้นงาน(Contact test) การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าเช่น กระแสไฟฟ้าที่ใช้ไปจากแหล่งจ่ายพลังงาน(Supply current) กระแสไฟฟ้ารั่วไหล(Leakage current) ค่าแรงดันเอาท์พุท(Voltage output) เป็นต้น โดยสำหรับโครงงานนี้สามารถลดเวลาการทดสอบชิ้นงานได้จริง อุปกรณ์ จากผลการทดลองพบว่าโปรแกรมที่ออกแบบสามารถตรวจจับหาชิ้นงานที่บกพร่องในการทดสอบต่างๆ ได้ แสดงว่าโปรแกรมที่ทำการออกแบบนั้นสามารถนำไปใช้ทดสอบชิ้นงานได้จริง และสามารถส่งต่อไปยังฝ่ายโปรดักชั่นได้ ซึ่งการลดเวลาการทดสอบชิ้นงานนี้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายให้กับบริษัทได้อีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบโปรแกรมการทดสอบเพื่อลดเวลาการทดสอบการทำงานนั้น นอกจากคำแนะนำจากวิศวกรที่ปรึกษาและวิศวกรท่านอื่นๆในบริษัท แม็กซิมอินทริเกรดเต็ด โปรดักส์ (ประเทศไทย) จำกัดแล้ว ยังมีการฝึกอบรมถึงเทคนิคในการลดเวลาการทดสอบ(Test time reduction technique) หนังสือและสื่อสำหรับค้นหาความรู้เพิ่มเติมมากมาย จึงทำให้โครงงานนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Maxim Integrated (2018). Maxim Integrated. ค้นหาเมื่อวันที่ 20 มกราคม 2561. จากเว็บไซต์ : https://www.maximintegrated.com/en.html
- Tungelectronic (2556). เครื่องมือวัดไฟฟ้า. ค้นหาเมื่อ 20 มกราคม 2561. จากเว็บไซต์ : https://tungelectronic.wordpress.com/tag
- PooSan (2556). การค้นหาข้อมูล (Searching). ค้นหาเมื่อ 20 มกราคม 2561. จากเว็บไซต์ : http://marborojung.blogspot.com/2013/02/searching.html