



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

ปรับปรุงฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการทดสอบวงจรรวมเปรียบเทียบแรงดัน
CM51 Test Hardware Design Concept and improvement

นายพัทธ์กรณ์ จิวสวัสดิ์ รหัสนักศึกษา 56010504

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559



T148506

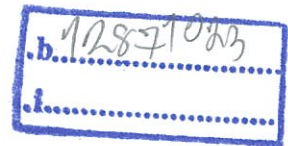
รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

ปรับปรุงฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการทดสอบวงจรรวมเปรียบเทียบแรงดัน
CM51 Test Hardware Design Concept and improvement

นายพัทธ์กรณ์ ฉั่วสวัสดิ์ รหัสนักศึกษา 56010504

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **148506**
วันเดือนปี **30 ต.ค. 2560**

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์



สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา	ปรับปรุงฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการทดสอบวงจรรวมเปรียบเทียบแรงดัน
ชื่อ-สกุล นักศึกษา	นายพัทธ์กรณ์ ฉั่วสวัสดิ์ รหัสประจำตัว 56010504
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
ภาควิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ นิเทศ	ผศ.ดร.กิตติพล ชิตสกุล อาจารย์เฉลิมพันธ์ หวังวิวัฒนา
ผู้นิเทศงาน	คุณณัฐศักดิ์ เกิดศรีเหล็ก
ชื่อสถานประกอบการ	บริษัท แม็กซิอินทิเกรตเต็ด โปรดัคส์ ประเทศไทย

บทคัดย่อ

การศึกษาโครงการในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการทดสอบ ออกแบบ และปรับปรุงวงจรทดสอบวงจรรวมเปรียบเทียบแรงดัน โดยใช้หลักการทดสอบพื้นฐานจากวงจรบนฮาร์ดแวร์ CM51 และใช้วงจรบน OX14 เป็นพื้นฐาน โดยวงจรที่ออกแบบจะต้องสามารถวัดค่า ฮิสเทอรีซิส (Hysteresis) ของตัวงานได้เท่ากับCM51 จะต้องมียุทธศาสตร์น้อยกว่า CM51 และสามารถเข้าใจได้ง่ายเมื่อต้องการแก้ไขวงจร ซึ่งพื้นฐานที่ใช้ประกอบไปด้วย พื้นฐานการทดสอบวงจรขยายเชิงดำเนินการ พื้นฐานการทดสอบวงจรเปรียบเทียบแรงดัน พื้นฐานวงจรมูลี่แอมพลิไฟเออร์(nulling amplifier) พื้นฐานการใช้อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ

คำสำคัญ : ปรับปรุงฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการทดสอบ, การทดสอบวงจรรวมเปรียบเทียบแรงดัน, ฮิสเทอรีซิส

Cooperative Title	CM51 test HardWare Design Concept and Improvement
Student intern name	Mr.Patkorn Chuasawasdi Student ID 56010504
Faculty	Engineering
Department	Electronics Engineering
Year	2016
Advisor Name	Asst.Prof.Kitipol Chitsakul Mr.Chaleompun Wangwiwattana
Mentor name	Mr.Nattasak Kertsrilek
Company	Maximintegrated Product (Thailand) Ltd.

ABSTRACT

The purpose of this project is study designing and improve test circuit for comparator ic. By using method on CM51 and base circuit on OX14. The new circuit has less components than CM51 , easy to debug when problems occur and can measure hysteresis of D.U.T. equal to using CM51. This project uses test method of op-amp ,comparator , nulling loop and fundamental electronics components.

Keyword : Improve Hardware, Comparator IC Test, Hysteresis

กิตติกรรมประกาศ

โครงการในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ต้องขอขอบคุณ คุณรัฐศักดิ์ เกิดศรีเหล็ก วิศวกรผู้ดูแล ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำการศึกษ ออกแบบ ทำการทดลอง ตลอดจนทำการทดสอบวงจรทดสอบที่ได้ออกแบบขึ้น อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานอีกด้วย ขอขอบคุณพี่แผนกวิศวกรและแผนกอื่นท่าที่ทำงานอยู่ใน บริษัท แม็กซิมอินทิเกรตเต็ดโปรดักส์ ประเทศไทย สำหรับคำแนะนำและความช่วยเหลือในทุกๆด้าน ทั้งในด้านการทำโครงการ และในด้านการปรับตัวให้เข้ากับสังคม นอกจากนี้ ขอขอบคุณเพื่อนๆที่ทำโครงการสหกิจศึกษาด้วยกันที่คอยเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือ ในการทำโครงการในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจเสมอมาตลอดการทำโครงการสหกิจศึกษา

พัทธ์กรณ์ ฉั่วสวัสดิ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	1
1.4 ขอบเขตของโครงการ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 หลักการทำงาน	3
2.2 ทฤษฎี	5
2.2.1 วงจรรวมหรือไอซี	5
2.2.2 กระบวนการทดสอบวงจรรวม	6
2.2.3 วงจรขยายเชิงดำเนินการหรือออปแอมป์	11
2.2.4 วงจรรวมเปรียบเทียบแรงดัน	13
2.2.5 แรงดันอินพุทออฟเซต	15
2.2.6 ฮีสเทอรีซิส	15
2.2.7 วิธีหาค่าแรงดันพุทออฟเซต	16
2.2.8 วิธีการหาค่าฮีสเทอรีซิส	18
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	21
3.1 วิธีที่ใช้ศึกษาค้นคว้าและการวิจัยการทดลอง	21
3.2 ลักษณะข้อมูล การเลือกข้อมูล และการทดลอง	21
3.3 เครื่องมือและวิธีการวิจัยการทดลอง	21
3.4 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างเครื่องมือ	22
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	27

4.1	เปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากวงจรที่ทำการออกแบบและวงจรCM51	27
4.2	เปรียบเทียบสัญญาณจากวงจรที่ออกแบบและวงจรCM51	29
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	33
5.1	สรุปผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการทดลอง	33
5.2	ข้อเสนอแนะ	33

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.1 ค่าที่วัดได้จากวงจรที่ออกแบบ	10
ตารางที่ 4.2 ค่าที่วัดได้จากวงจรCM51	31
ตารางที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของวงจรที่ออกแบบเปรียบเทียบกับวงจรCM51	32

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมวงจรทดสอบวงจรรวมเปรียบเทียบแรงดัน	3
รูปที่ 2.2 วงจรรวมหรือไอซี	5
รูปที่ 2.3 โครงสร้างภายในวงจรรวมหรือไอซี	5
รูปที่ 2.4 สัญญาณต่อเนื่อง	5
รูปที่ 2.5 สัญญาณดิจิทัล	6
รูปที่ 2.6 ระบบและอุปกรณ์ในการทดสอบวงจรรวม	6
รูปที่ 2.7 เครื่องทดสอบวงจรรวม TMT	7
รูปที่ 2.8 DUT Board ที่ใช้ทดสอบงานที่เป็นอนาล็อกสวิตช์ AG4X	7
รูปที่ 2.9 รูปแบบของระบบปฏิบัติการดอส	8
รูปที่ 2.10 ตัวอย่างแอปพลิเคชัน Borland C	8
รูปที่ 2.11 รูปแบบการทำงานของระบบปฏิบัติการดอส	9
รูปที่ 2.12 รูปแบบของระบบปฏิบัติการวินโดวส์เอ็นที	9
รูปที่ 2.13 โปรแกรม Visual ATE และ โปรแกรม Visual C++ 6.0	10
รูปที่ 2.14 รูปแบบการทำงานของระบบปฏิบัติการวินโดวส์เอ็นที	10
รูปที่ 2.15 เครื่องจับตัวงานและโหลดตัวงาน	11
รูปที่ 2.16 สัญลักษณ์วงจรขยายเชิงดำเนินการหรือออปแอมป์	12
รูปที่ 2.17 วงจรภายในออปแอมป์ BA4558	12
รูปที่ 2.18 วงจรขยายแรงดันแบบกลับเฟส	13
รูปที่ 2.19 วงจรขยายแรงดันแบบไม่กลับเฟส	13
รูปที่ 2.20 สัญลักษณ์วงจรเปรียบเทียบ	13
รูปที่ 2.21 วงจรภายในวงจรเปรียบเทียบ BA10393	14
รูปที่ 2.22 วงจรรวมเปรียบเทียบแรงดัน MAX9022	14
รูปที่ 2.23 สัญลักษณ์แรงดันอินพุตออฟเซ็ทของออปแอมป์และวงจรเปรียบเทียบ	15
รูปที่ 2.24 วงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบกลับเฟส	15
รูปที่ 2.25 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบกลับเฟสเมื่อมี Hysteresis และไม่มี Hysteresis	16
รูปที่ 2.26 การหาค่าแรงดันอินพุตออฟเซ็ท	17
รูปที่ 2.27 วงจร Nulling Amplifier	17
รูปที่ 2.28 วงจรทดลองหาค่าขอบการเปลี่ยนแปลง	18
รูปที่ 2.29 สัญลักษณ์โวลต์เตจฟอลโลวเวอร์หรือวงจรบัฟเฟอร์	19
รูปที่ 2.30 วงจรแบ่งแรงดัน	19
รูปที่ 2.31 วงจรอินทิเกรต	20

รูปที่ 2.32 รีเลย์ 5ขา 12โวลต์	20
รูปที่ 3.1 สคีมเมติกของวงจรที่ออกแบบ	23
รูปที่ 3.2 ลักษณะสัญญาณขณะทำการทดสอบหาค่าขอบบน	25
รูปที่ 3.3 ลักษณะสัญญาณขณะทดสอบหาค่าขอบล่าง	26
รูปที่ 4.1 รูปสัญญาณขณะทำการวัดขอบการเปลี่ยนแปลงบนของวงจรที่ออกแบบ	29
รูปที่ 4.2 รูปสัญญาณขณะทำการวัดขอบการเปลี่ยนแปลงบนของวงจรCM51	29
รูปที่ 4.3 รูปสัญญาณขณะทำการวัดขอบการเปลี่ยนแปลงบนของวงจรที่ออกแบบ แบบขยาย	30
รูปที่ 4.4 รูปสัญญาณขณะทำการวัดขอบการเปลี่ยนแปลงบนของวงจรCM51 แบบขยาย	30
รูปที่ 4.5 รูปสัญญาณขณะทำการวัดขอบการเปลี่ยนแปลงล่างของวงจรที่ออกแบบ	31
รูปที่ 4.6 รูปสัญญาณขณะทำการวัดขอบการเปลี่ยนแปลงล่างของวงจรCM51	31
รูปที่ 4.7 รูปสัญญาณขณะทำการวัดขอบการเปลี่ยนแปลงล่างของวงจรที่ทำการออกแบบ แบบขยาย	32
รูปที่ 4.8 รูปสัญญาณขณะทำการวัดขอบการเปลี่ยนแปลงล่างของวงจรCM51 แบบขยาย	32

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

บริษัท แม็กซิมอินทิเกรตเต็ด โปรดัคส์ เป็นบริษัทที่ทำการผลิตวงจรรวมประเภทต่างๆ โดยวงจรรวมทุกตัวที่ผ่านการ ออกแบบ และผลิตมาแล้วนั้นจะต้องผ่านการทดสอบการใช้งานจริงก่อนส่งถึงมือลูกค้า โดยบริษัทแม็กซิมอินทิเกรตเต็ดโปรดักส์ประเทศไทยนั้นรับผิดชอบในการทดสอบวงจรรวม ซึ่งในการทดสอบวงจรรวมนั้นจะต้องประกอบไปด้วย เครื่องทดสอบวงจรรวม , ฮาร์ดแวร์ , ตัวจับวงจรรวม ตัววงจรรวมและคอมพิวเตอร์ ที่เหมาะสมกันแต่เนื่องจาก เครื่องทดสอบวงจรรวม , ฮาร์ดแวร์ และตัวจับวงจรรวม ถูกใช้ทดสอบวงจรรวมหลายๆประเภท จึงเสี่ยงไม่ได้ที่จะเกิดปัญหาระหว่างการทดสอบ หนึ่งในปัญหาที่เกิดขึ้นมากที่สุดจะเกิดขึ้นในส่วนของฮาร์ดแวร์ และฮาร์ดแวร์CM51เองก็เป็นหนึ่งในฮาร์ดแวร์ที่มีปัญหาเกิดขึ้นบ่อยที่สุด โดยฮาร์ดแวร์CM51นั้นใช้ในการทดสอบวงจรรวมเปรียบเทียบแรงดันซึ่งปัญหามักเกิดขึ้นในส่วนที่ทำการวัดค่าฮิสเทอรีซิส(Hysteresis) เนื่องจากวงจรมอนิเตอร์ฮาร์ดแวร์CM51 นั้นมีความซับซ้อนจึงใช้เวลาในการเรียนรู้และแก้ไขมากกว่าฮาร์ดแวร์ตัวอื่นๆ ดังนั้นการออกแบบวงจรใหม่ในโครงการนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อลดการเกิดปัญหา และลดความซับซ้อนของวงจร เพื่อความรวดเร็วในการเรียนรู้และแก้ไข เพื่อให้การทดสอบงานเป็นไปอย่างต่อเนื่อง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

โครงการนี้จึงมีจุดมุ่งหมายคือการปรับปรุงวงจรCM51เพื่อลดการเกิดปัญหา และลดความซับซ้อนของวงจร เพื่อความรวดเร็วในการเรียนรู้และแก้ไขในเวลาที่ยังวงจรเกิดปัญหา เพื่อให้การทดสอบงานเป็นไปอย่างต่อเนื่อง

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การออกแบบวงจรทดสอบวงจรรวมเปรียบเทียบแรงดันในโครงการนี้ได้ใช้หลักการทดสอบวงจรมอนิเตอร์CM51 และใช้พื้นฐานวงจรมอนิเตอร์ OX14 โดยวงจรมอนิเตอร์ OX14 นั้นเป็นการออกแบบวงจรในลักษณะอนุลิ่งแอมพลิไฟเออร์ลูป(Nulling amplifier loop) โดยวงจรที่ออกแบบนี้จะประกอบด้วยส่วนของ ตัววงจรรวม(D.U.T.) นำเอาที่พู่ทของตัววงจรรวม(D.U.T.) ไปเข้าวงจรตามแรงดันหรืออ็อปเฟออร์ จากนั้นจึงนำสัญญาณ

เข้าไปสู่ส่วนของวงจรรีเซ็ตโดยที่อินพุทของวงจรรีเซ็ตได้ใส่ไดโอดไว้ตามที่กำหนดว่า ต้องการวัดค่าขอบการเปลี่ยนแปลงบนหรือขอบการเปลี่ยนแปลงล่างซึ่งค่าขอบบนและขอบล่างนี้จะใช้ในการคำนวณหาค่าฮิสเทอรีซิส(Hysteresis) ต่อไป จากนั้นจึงนำเอาท์พุทของวงจรรีเซ็ต ไปเข้าในส่วน ของวงจรมองแรงดันแล้วจึงนำสัญญาณกลับเข้า ตัววงจรรวม(D.U.T.) อีกครั้งวงจรถูกทำงานวนไปเรื่อยๆ เมื่อสัญญาณเอาท์พุทของD.U.T.มีการเปลี่ยนแปลงตามที่ต้องการ ไดโอดจะทำหน้าที่ตัดการเชื่อมต่อของ วงจร เพื่อไม่ให้มีสัญญาณเข้าที่อินพุทของวงจรรีเซ็ต ทำให้วงจรรีเซ็ตคงค่าเอาท์พุทไว้ จากนั้นทำ การวัดค่าที่เอาท์พุทของวงจรรีเซ็ตแล้วนำมาคำนวณด้วยอัตราการแบ่งแรงดันของวงจรมองแรงดัน จึง จะได้ค่าขอบการเปลี่ยนแปลงบนหรือขอบการเปลี่ยนแปลงล่าง

1.4 ขอบเขตของโครงการ

โครงการนี้เป็นการศึกษาวงจรถอบบนฮาร์ดแวร์ CM51 และ OX14 รวมถึงพื้นฐานและ หลักการทดสอบค่าฮิสเทอรีซิส(Hysteresis) ของวงจรรวมเปรียบเทียบแรงดันและหลักการทดสอบ วงจรขยายเชิงดำเนินการ เพื่อนำมาออกแบบวงจรถอบวงจรรวมเปรียบเทียบแรงดันที่มีความซับซ้อน น้อยกว่าวงจรมองฮาร์ดแวร์ CM51

เริ่มปฏิบัติงานตั้งแต่วันที่ 8 มิถุนายน 2559 ถึงวันที่ 25 พฤศจิกายน 2559

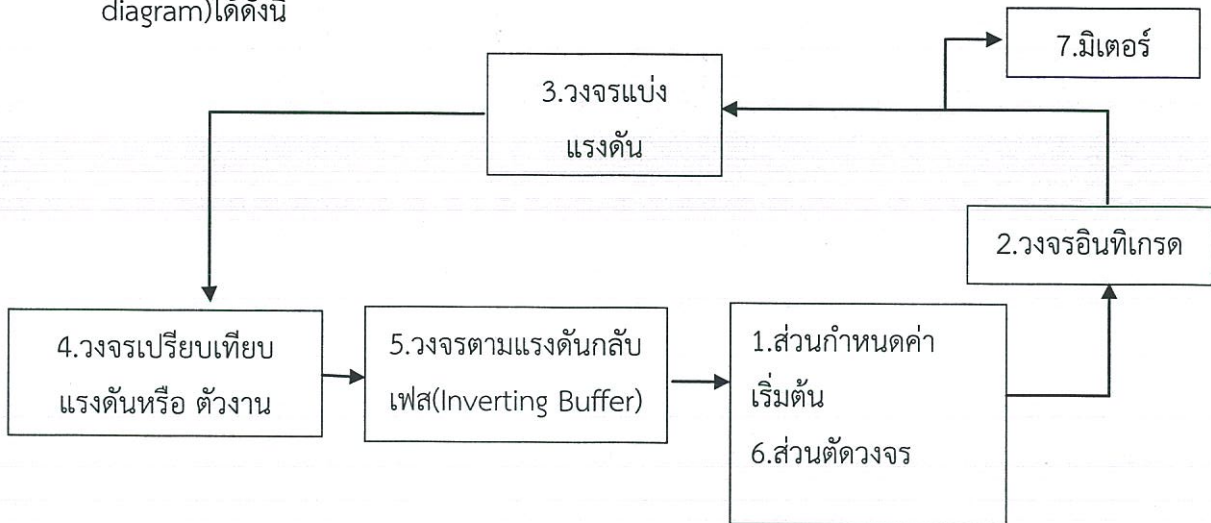
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เข้าใจพื้นฐาน หลักการในการทดสอบวงจรรวมเปรียบเทียบแรงดัน การวัดHysteresis และ วงจรขยายเชิงดำเนินการ

1.5.2 สามารถออกแบบวงจรถอบวงจรรวมเปรียบเทียบแรงดันที่มีความซับซ้อนน้อยกว่าวงจรมองฮาร์ดแวร์CM51

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

วงจรทดสอบเปรียบเทียบแรงดันในโครงงานนี้สามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรม(Block diagram)ได้ดังนี้



รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมวงจรทดสอบวงจรรวมเปรียบเทียบแรงดัน

2.1 หลักการทำงาน

วงจรทดสอบวงจรเปรียบเทียบแรงดันจะทำหน้าที่ในการวัดฮิสเทอรีซิส(Hysteresis) ซึ่งมีทั้งค่าขอบบนและค่าขอบล่าง โดยในการทดสอบจะต้องทำการติดตั้งระบบการทดสอบก่อน ประกอบไปด้วยเครื่องทดสอบ ฮาร์ดแวร์ที่มีวงจรสำหรับทดสอบตัวงาน ตัวจับวงจรรวม และตัววงจรรวม ที่จะทำการทดสอบ ซึ่งวงจรทดสอบวงจรรวมเปรียบเทียบแรงดัน มีบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 2.1 และมีหลักการทำงานดังนี้

1. ส่วนกำหนดค่าเริ่มต้น

ส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆของทุกๆอุปกรณ์ในวงจร โดยส่วนนี้จะทำการต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันซึ่งอยู่ในเครื่องทดสอบ ในการหาฮิสเทอรีซิส(Hysteresis) ด้านขอบขาขึ้นจะตั้งค่าการไว้ 5 โวลต์ และด้านขอบขาลงจะตั้งค่าแหล่งจ่ายแรงดันไว้ -5 โวลต์ เมื่อเริ่มต้นทดสอบโปรแกรมจะสั่งให้แหล่งจ่ายแรงดันจ่ายแรงดันและกระแสตามที่ตั้งไว้เพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์ต่างๆในวงจร หลังจากอุปกรณ์ต่างๆให้ค่าเอาต์พุตตามที่กำหนดแล้ว จึงทำการปลดส่วนกำหนดค่าเริ่มต้นออกเพื่อให้วงจรอินทิเกรตเริ่มทำงาน

2. วงจรอินทิเกรต

วงจรอินทิเกรตจะทำหน้าที่ในการสร้างวงจรแรมป์ ในการหาค่าขอบขาขึ้นวงจรอินทิเกรตจะถูกตั้งค่าเริ่มต้นไว้ที่ -15 โวลต์ และในการหาขอบขาลงจะถูกตั้งค่าเริ่มต้นไว้ที่ 15 โวลต์ หลังจากตั้งค่าและปลด

ส่วนกำหนดค่าเริ่มต้นแล้ววงจรอินทิเกรตจะเริ่มสร้างสัญญาณแรมป์ จาก-15โวลต์ไป15โวลต์สำหรับการหาขอบขาขึ้น หรือ 15โวลต์ไป-15โวลต์สำหรับการหาขอบขาลง

3. วงจรแบ่งแรงดัน

วงจรแบ่งแรงดันจะทำหน้าแบ่งแรงดันหรือปรับแรงดันให้ได้ค่าตามที่ต้องการ โดยในวงจรจะทำหน้าที่ปรับสัญญาณแรงดันจากวงจรอินทิเกรตให้มีขนาดเล็กลง แล้วนำไปเข้าวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

4. วงจรเปรียบเทียบแรงดันหรือตัววงจรรวม

วงจรเปรียบเทียบแรงดันจะทำหน้าที่ในการเปรียบเทียบแรงดันที่ขาอินพุทบวกและอินพุทลบ ซึ่งในตอนเริ่มต้นค่าเอาต์พุทของวงจรเปรียบเทียบแรงดันจะถูกตั้งไว้ ถ้าหาขอบขาขึ้นจะถูกตั้งไว้ที่ -2.5โวลต์ และขอบขาลงจะตั้งไว้ที่ 2.5โวลต์ โดยเมื่อสัญญาณแรมป์จากวงจรอินทิเกรตที่ถูกปรับระดับด้วยวงจรแบ่งแรงดัน ทำการแรมป์ไปเรื่อยๆจนถึงค่าขอบการเปลี่ยนแปลงจะทำให้เอาต์พุทของวงจรเปรียบเทียบแรงดันเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น

5. วงจรตามแรงดันกลับเฟส

วงจรตามแรงดันกลับเฟสจะทำให้วงจรทางด้านตัววงจรรวมและส่วนกำหนดค่าเริ่มต้นเสมือนว่าแยกออกจากกัน เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์เปรียบเทียบแรงดันหรือตัววงจรรวมเกิดความเสียหาย เมื่อมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นทางด้านส่วนกำหนดค่าเริ่มต้น โดยเอาต์พุทของวงจรตามแรงดันกลับเฟสจะมีค่าเท่ากับแรงดันที่เข้ามาที่ขาอินพุท

6. ส่วนตัดวงจร

ทำหน้าที่ตัดวงจรในกรณีที่เอาต์พุทของวงจรเปรียบเทียบแรงดันเกิดการเปลี่ยนแปลง เพื่อหยุดการแรมป์ของวงจรอินทิเกรตจากนั้นนำสัญญาณที่วงจรอินทิเกรตคงค่าไว้มาวัดค่าและคำนวณต่อไป โดยการใช้ไดโอดทำให้เป็น ฟอร์เวิร์ดไบอัส และรีเวิร์สไบอัส จะสามารถทำให้วงจรเสมือนโดนตัดออกจากกันได้ด้วยคุณสมบัติของไดโอด

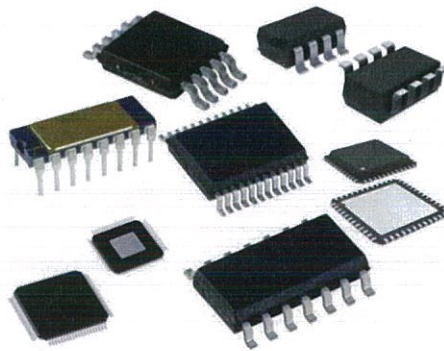
7. มิเตอร์

ทำหน้าที่วัดค่าแรงดันที่วงจรอินทิเกรตทำการคงค่าไว้หลังจากที่วงจรอินทิเกรตหยุดแรมป์โดยส่วนตัดวงจรแล้ว จากนั้นจึงนำค่าที่วัดได้มาคำนวณกับค่าอัตราขยายของวงจรแบ่งแรง จะได้ค่าที่เป็นขอบการเปลี่ยนแปลง ทั้งขาขึ้นและขาลงของวงจรเปรียบเทียบแรงดันหรือตัววงจรรวม

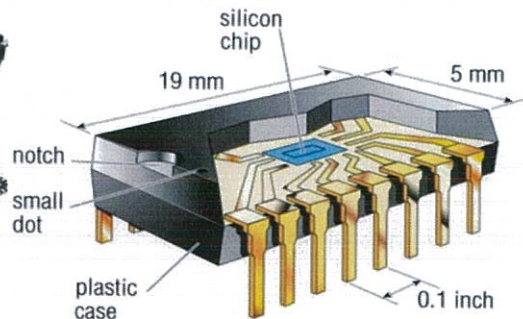
2.2 ทฤษฎี

2.2.1 วงจรรวมหรือไอซี(integrated circuit)

วงจรรวมหรือไอซี คือ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งรวบรวมอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ทรานซิสเตอร์ ไดโอด ตัวต้านทาน ลงบนชิพ(chip) เล็กๆของซิลิกอนซึ่งอุปกรณ์ทั้งหลายเหล่านี้จะต่อกันภายในด้วยลวดอลูมิเนียมหรือทองคำ โดยในไอซีอาจประกอบด้วยอุปกรณ์เพียงไม่กี่ชิ้นจนถึงหลายร้อยหลายพันชิ้น วงจรรวมโดยมากจะมีขาใช้งานตั้งแต่ 4ขา ถึง 40ขา หรือมากกว่า ตัวอย่างการใช้งานวงจรรวม เช่น วงจรขยายเสียง เครื่องรับวิทยุ เครื่องรับโทรทัศน์ คอมพิวเตอร์เครื่องมือวัดไฟฟ้า เครื่องคำนวณต่างๆ เป็นต้นซึ่งวงจรรวมหรือไอซี สามารถแบ่งแยกเป็นกลุ่มใหญ่ได้ 2 ชนิด คือ วงจรรวมอนาล็อกและวงจรรวมดิจิทัล



รูปที่ 2.2 วงจรรวมหรือไอซี



รูปที่ 2.3 โครงสร้างภายในวงจรรวมหรือไอซี

2.2.1.1 วงจรรวมอนาล็อกหรือไอซีอนาล็อก(analog ic)

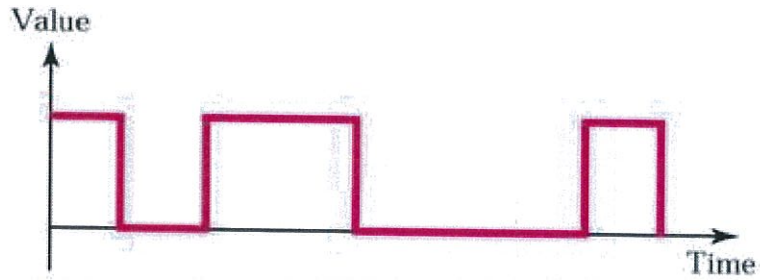
ไอซีอนาล็อกหรือบางที่เรียกว่า ไอซีเชิงเส้น(linear ic) เป็นไอซีที่ควบคุมแรงดันไฟฟ้าและทำหน้าที่ขยายสัญญาณ ซึ่งสัญญาณที่ได้จากไอซีอนาล็อกจะเป็นสัญญาณต่อเนื่อง ตัวอย่างไอซีอนาล็อก เช่น ออปแอมป์



รูปที่ 2.4 สัญญาณต่อเนื่อง

2.2.1.2 วงจรรวมดิจิทัลหรือไอซีดิจิทัล(digital ic)

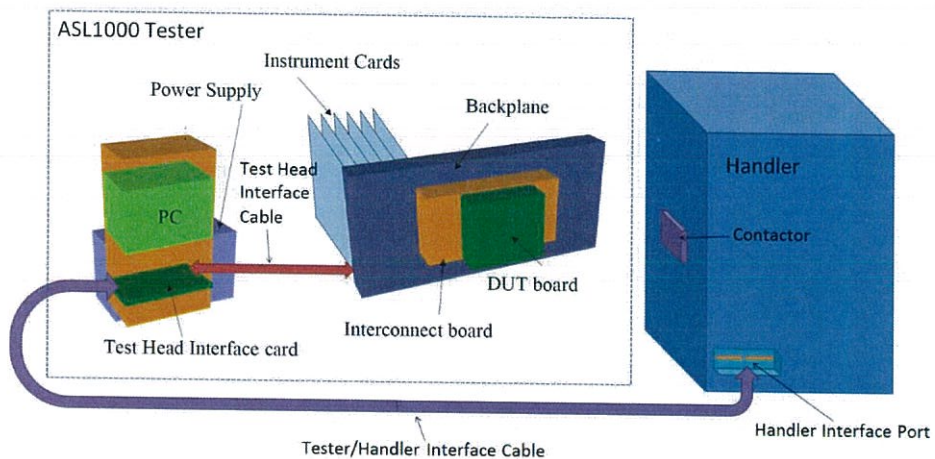
ไอซีดิจิทัลหรือ logic ic เป็นไอซีที่ตอบสนองหรือกำหนดระดับสัญญาณเพียงแค่ 2 ระดับ คือ ระดับลอจิกสูง และ ระดับลอจิกต่ำ ตัวอย่างไอซีดิจิทัล คือ ไมโครโพรเซสเซอร์ (microprocessor) หน่วยความจำ(memory)และอื่นๆ



รูปที่ 2.5 สัญญาณดิจิทัล

2.2.2 กระบวนการทดสอบวงจรรวม

ในการทดสอบวงจรรวมหรือไอซีเป็นหนึ่งในกระบวนการผลิตวงจรรวม การทดสอบวงจรรวมคือการคัดเลือกไอซีที่ไม่ได้คุณภาพออกก่อนที่จะนำไอซีไปใช้งาน เพื่อเป็นการรับประกันและสร้างความเชื่อมั่นให้กับบุคคลที่นำไอซีไปใช้งานหรือออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ให้เป็นไปตามคุณสมบัติใน Datasheet การทดสอบวงจรรวมอุปกรณ์สำคัญในทดสอบจะประกอบไปด้วย เครื่องทดสอบ(Tester), ฮาร์ดแวร์สำหรับทดสอบ(DUT Board)(Device Under Test Board) ,PC (Personal Computer) และ ตัวจับวงจรรวม (Handler)



รูปที่ 2.6 ระบบและอุปกรณ์ในการทดสอบวงจรรวม

2.2.2.1 เครื่องทดสอบวงจรรวม

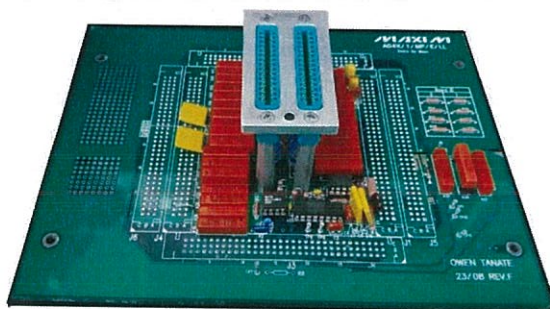
เครื่องทดสอบไอซีเป็นหนึ่งในอุปกรณ์สำคัญในทดสอบไอซีโดยมีหน้าที่จ่ายแรงให้ ไอซี และทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ต้องการจะวัด เครื่องทดสอบไอซีนั้นจะถูกควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรมที่ทำการโปรแกรมขึ้นพร้อมทั้งเครื่องทดสอบไอซีจะต้องเชื่อมต่อฮาร์ดแวร์ที่ใช้ทดสอบไอซี ตัวอย่างเครื่องทดสอบไอซี เช่น เครื่อง TMT



รูปที่ 2.7 เครื่องทดสอบวงจรรวม TMT

2.2.2.2 ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ทดสอบวงจรรวม หรือ DUT Board (Device under Test Board)

ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ทดสอบไอซี หรือ DUT Board ทำหน้าที่จำลองวงจรอิเล็กทรอนิกส์รวมไว้ในบอร์ดเพื่อทำการทดสอบฟังก์ชันการใช้ของวงจรรวมโดย DUT Board จะถูกเชื่อมต่อกับ Tester และ Tester ทำการจ่ายไฟให้กับ DUT Board และทำการวัดค่าแรงดัน หรือ กระแส จาก ไอซี แล้วนำค่าที่วัดได้มาประมวลผลผ่านโปรแกรม ตัวอย่าง DUT Board ที่ใช้ทดสอบงานที่เป็นอนาล็อกสวิตช์ AG4X



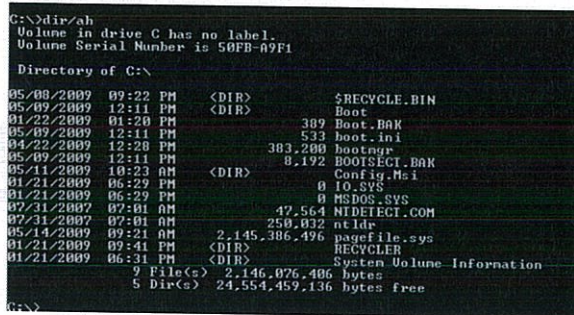
รูปที่ 2.8 DUT Board ที่ใช้ทดสอบงานที่เป็นอนาล็อกสวิตช์ AG4X

2.2.2.3 คอมพิวเตอร์และโปรแกรมที่ใช้ทดสอบงาน

คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบงานจะใช้ระบบปฏิบัติการอยู่ 2 ประเภท ระบบปฏิบัติการดอส (DOS :Disk Operating System) และ ระบบปฏิบัติการวินโดวส์เอ็นที (Windows NT)

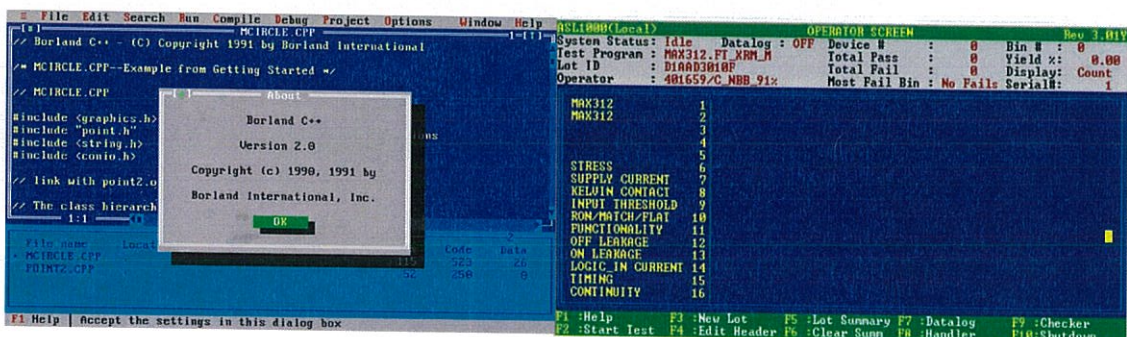
2.2.2.3.1 ระบบปฏิบัติการดอส (DOS:Disk Operating System)

Dos ย่อมาจาก Disk Operating System เป็นระบบปฏิบัติการรุ่นแรก ๆ ซึ่งการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์จะมีการทำงานบนระบบปฏิบัติการดอสเป็นหลัก โดยการทำงานส่วนใหญ่จะเป็นการทำงานโดยการใช้คำสั่งผ่านบรรทัดคำสั่ง (Command Line) ที่นิยมใช้กันคือ MS-Dos ซึ่งต่อมาระบบปฏิบัติการดอสจะถูกซ่อนอยู่ใน Windows



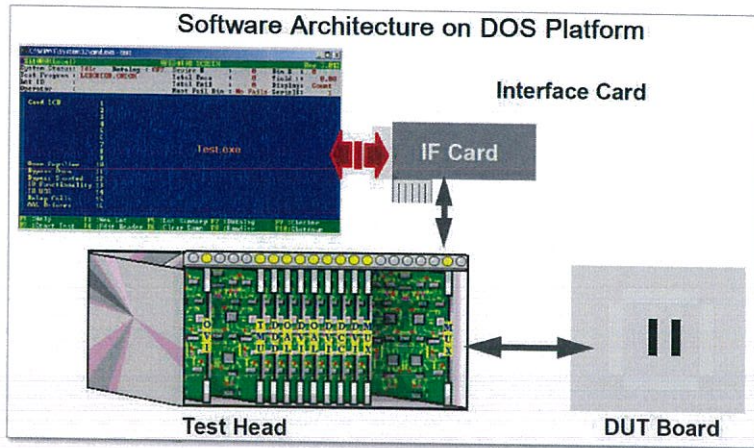
รูปที่ 2.9 รูปแบบของระบบปฏิบัติการดอส

ซึ่งในการทดสอบงานในระบบปฏิบัติการดอสจะใช้โปรแกรมที่ในการทดสอบงานคือ Borland C เพื่อใช้ในการทดสอบไอซีในฟังก์ชันต่างๆ



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างแอปพลิเคชัน Borland C

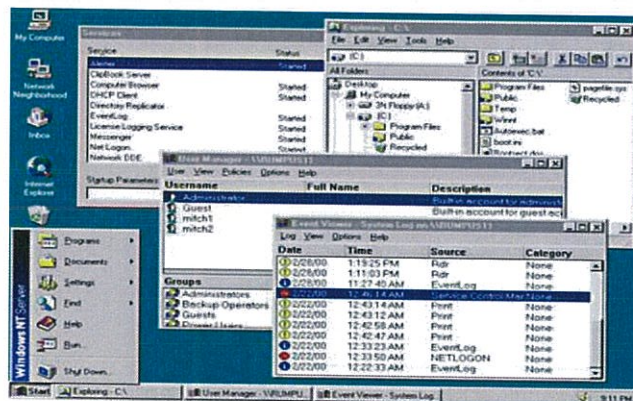
ในการทดสอบงานในระบบปฏิบัติการดอสจะใช้โปรแกรม Borland C จะสั่งงานไปที่ Instrument Cards ที่อยู่ใน tester แล้ว Instrument Cards จะทำการจ่ายแรงดันไปที่ DUT Board จะทำการวัดค่าที่ได้จากไอซีกลับมาประมวลผลได้รูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.11 รูปแบบการทำงานของระบบปฏิบัติการดอส

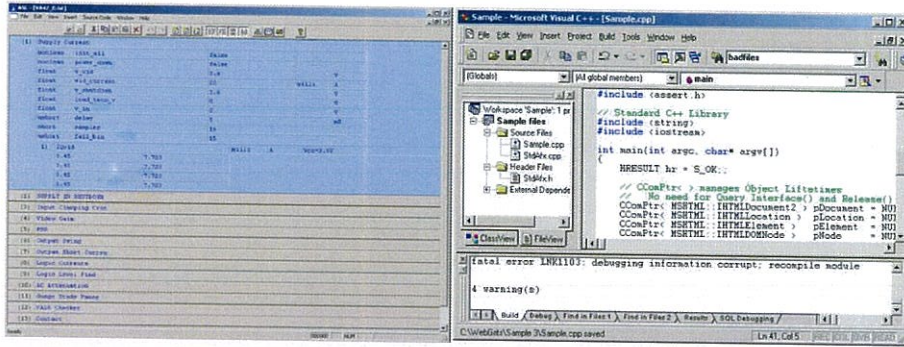
2.2.2.3.2 ระบบปฏิบัติการวินโดวส์เอ็นที (Windows NT)

Windows NT เป็นระบบปฏิบัติการแบบ Microsoft Windows บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ที่ได้รับการออกแบบสำหรับผู้ใช้และธุรกิจของระบบ ที่มีความสามารถระดับสูง Windows NT แบ่งได้ 2 ระดับ คือ Windows NT Workstation และ Windows NT Server Workstation โดยเฉพาะอย่างยิ่งในหน่วยธุรกิจ ซึ่งต้องการมีความเร็วและระบบที่เสียหายน้อย Windows NT เป็นระบบปฏิบัติการเครือข่ายแบบ 32 บิตที่สามารถทำงานหลายงานควบคู่กันไปได้ และยังสนับสนุนระบบหลายโปรเซสเซอร์ รวมทั้งการประมวลผลแบบสมมาตรที่เป็นการกระจายงานออกไปยังโปรเซสเซอร์ทั้งหลายให้ช่วยกันทำการประมวลผลอย่างได้สมดุล

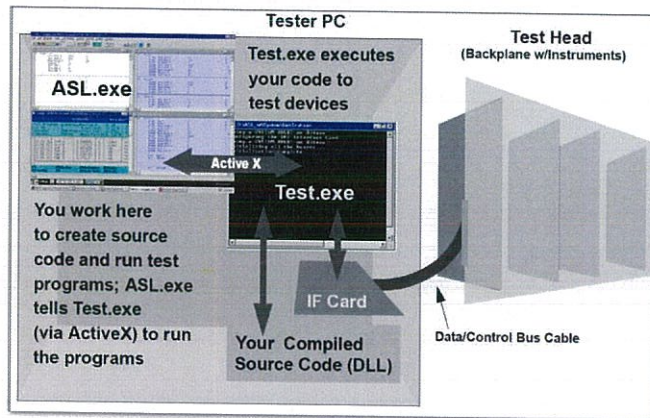


รูปที่ 2.12 รูปแบบของระบบปฏิบัติการวินโดวส์เอ็นที

ซึ่งในการทดสอบงานในระบบปฏิบัติการวินโดวส์เอ็นทีจะใช้โปรแกรมที่ในการทดสอบงาน คือ Visual ATE ใช้จะโปรแกรม Visual C++ 6.0 เป็นตัวแปลง code เพื่อส่งงานไปยัง InstrumentCards ที่อยู่ใน tester แล้ว Instrument Cards จะทำการจ่ายแรงดันไปที่ DUT Board



รูปที่ 2.13 โปรแกรม Visual ATE และ โปรแกรม Visual C++ 6.0



รูปที่ 2.14 รูปแบบการทำงานของระบบปฏิบัติการวินโดวส์เอ็นที

2.2.2.4 เครื่องจับตัวงานและโหลดตัวงาน (Handler)

เครื่องจับตัวงานและโหลดตัวงานมีหน้าที่จับตัวงานที่ทำการโหลดเข้ามา เมื่อเครื่อง tester ได้ทำการทดสอบไอซีแล้วจะส่งสัญญาณกลับที่ Handler เพื่อให้ Handler ทำการคัดเลือกตัวงานดีและเสียออกจากกัน ในแต่แพ็คเกจของไอซีจะต้องใช้ Handler ให้เหมาะกับการทดสอบงาน



รูปที่ 2.15 เครื่องจับตัวงานและโหลดตัวงาน

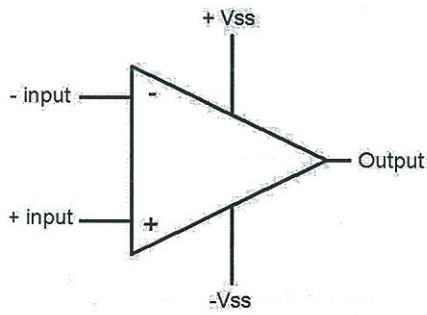
2.2.2.5 Instrument Cards

Instrument Cards คือฮาร์ดแวร์ที่สำคัญอยู่ที่เครื่องทดสอบงาน TMT SYSTEM หรือถูกเรียกว่ากาด แต่ละกาดมีหน้าที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น

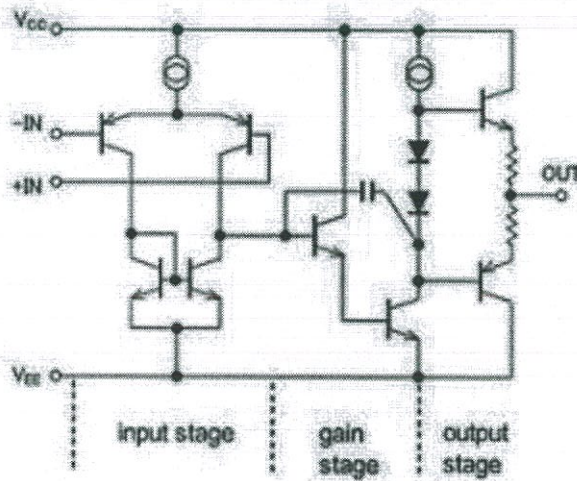
- DVI Card (Dual Voltage/Current Source) มีฟังก์ชันในการโปรแกรมแรงดันและกระแส และยังสามารถวัดค่าของแรงดันและกระแสได้
- MUX Card (Resource Multiplexer) จะมีอยู่ 8 banks โดยที่แต่ละ banks จะมี 4 channel หรือ มี relay อยู่ 4 ตัว ทำให้เกิด 32 ช่องทาง relay matrix บาง banks จะมีการต่อ relay ที่สามารถเชื่อมต่อไปที่ system ground และ user busses
- TMU (Time Measurement Unit) มีฟังก์ชันในการวัดค่าเวลา ของการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง
- DDD (Digital Driver and Detector) มีฟังก์ชันเพื่อใช้ทดสอบงานประเภท Digital และ Mixed-signal
- DCC (Data Converter Card) มีฟังก์ชันเพื่อใช้ในการทดสอบตัว IC แบบ ADC (analog to digital converter) และ DAC (digital to analog converter) ที่รองรับถึง 16-bit

2.2.3 วงจรขยายเชิงดำเนินการหรือออปแอมป์(Op-amp)

วงจรขยายเชิงดำเนินการหรือออปแอมป์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นวงจรขยายแรงดัน โดยออปแอมป์มีโครงสร้างภายในเป็นวงจรที่ซับซ้อน ประกอบไปด้วย ตัวต้านทาน, ทรานซิสเตอร์, ตัวเก็บประจุ และไดโอดจำนวนมากโดยออปแอมป์มีสัญลักษณ์ดังนี้

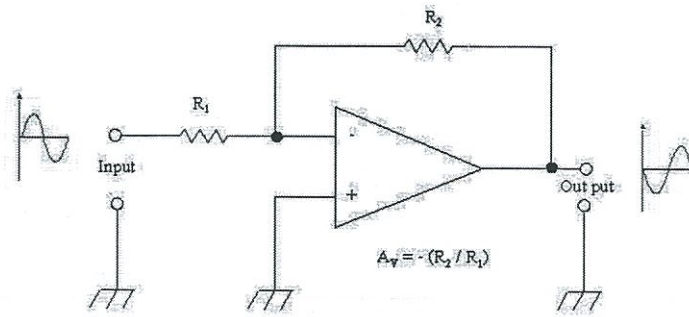


รูปที่ 2.16 สัญลักษณ์วงจรรขยายเชิงดำเนินการหรือออปแอมป์

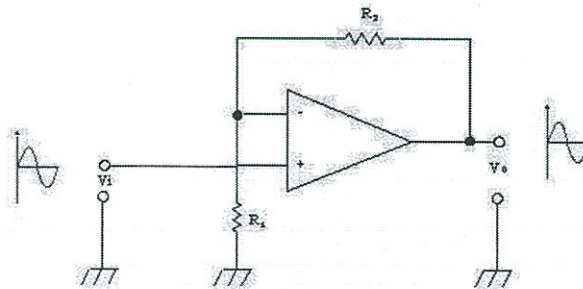


รูปที่ 2.17 วงจรภายในออปแอมป์ BA4558

ออปแอมป์จะประกอบไปด้วยขาอินพุตบวก (V^+) ขาอินพุตลบ (V^-) ขาเอาต์พุต (V_o) ขาไฟเลี้ยงบวก ($+V_{ss}$) และไฟเลี้ยงลบ ($-V_{ss}$) โดยทางด้านอินพุตของออปแอมป์จะมีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_{in}) และทางด้านเอาต์พุตจะมีค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_{out}) ซึ่งเอาต์พุตของออปแอมป์จะมีลักษณะเป็นสัญญาณอนาล็อก และออปแอมป์จะมีค่าอัตราขยายวงเปิด (A_v) ที่สูงมาก ออปแอมป์ในอุดมคติจะมีคุณสมบัติของค่าต่างๆ ดังนี้ 1. อัตราขยายวงเปิดมีค่าเป็นอนันต์ (A_v) 2. ความต้านทานอินพุตมีค่าเป็นอนันต์ (Z_{in}) 3. ความต้านทานเอาต์พุตมีค่าเป็น 0 (Z_{out}) เนื่องจากออปแอมป์ในอุดมคติดีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์เป็นอนันต์ ดังนั้นจึงถือว่าไม่มีกระแสไหลเข้าในออปแอมป์ทางด้านอินพุต และออปแอมป์มีสมการคำนวณดังนี้ $V_o = A_v(V^+ - V^-)$ นอกจากนี้ผู้ใช้อย่างสามารถควบคุมค่าอัตราขยายของออปแอมป์ได้ด้วยการใส่ตัวต้านทานต่อกับออปแอมป์ในลักษณะต่างๆ และออปแอมป์ยังสามารถใช้เป็นวงจรเปรียบเทียบได้เนื่องจากมีอัตราขยายที่สูงมาก



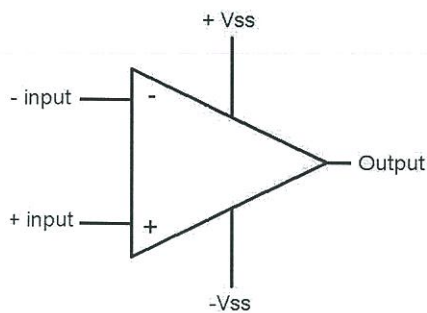
รูปที่ 2.18 วงจรขยายแรงดันแบบกลับเฟส



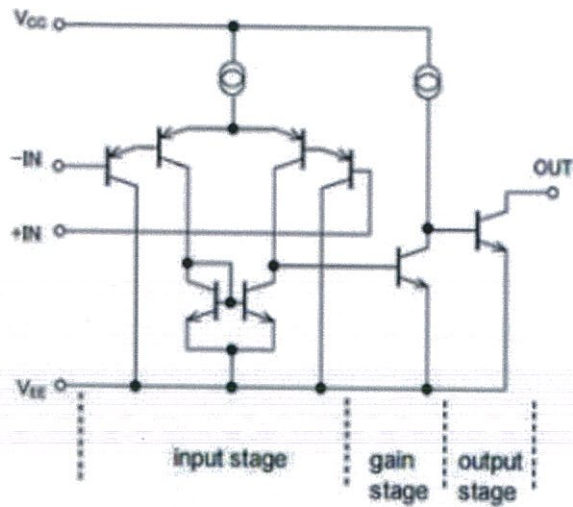
รูปที่ 2.19 วงจรขยายแรงดันแบบไม่กลับเฟส

2.2.4 วงจรรวมเปรียบเทียบแรงดัน

วงจรรวมเปรียบเทียบแรงดันคือวงจรเปรียบเทียบที่บรรจุอยู่ในวงจรรวม โดยวงจรเปรียบเทียบแรงดันคืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปรียบเทียบแรงดัน 2 ค่าและมีลักษณะสัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณดิจิทัล วงจรเปรียบเทียบแรงดันจะมีอินพุตที่เป็นสัญญาณอนาล็อก 2 ชาติคืออินพุตบวก (V^+) และอินพุตลบ (V^-) และมีเอาต์พุตเป็นสัญญาณดิจิทัล (V_o) ซึ่งเอาต์พุตจะมีลักษณะดังนี้ $V_o = \{ \text{เป็น } 1 \text{ ถ้า } V^+ > V^- \text{ และ เป็น } 0 \text{ ถ้า } V^+ < V^- \}$ วงจรเปรียบเทียบมีอัตราขยายเปิดวงจร (A_v) สูงมากส่งผลให้สมการ $V_o = A_v(V^+ - V^-)$ สามารถใช้ได้กับวงจรเปรียบเทียบเช่นกัน



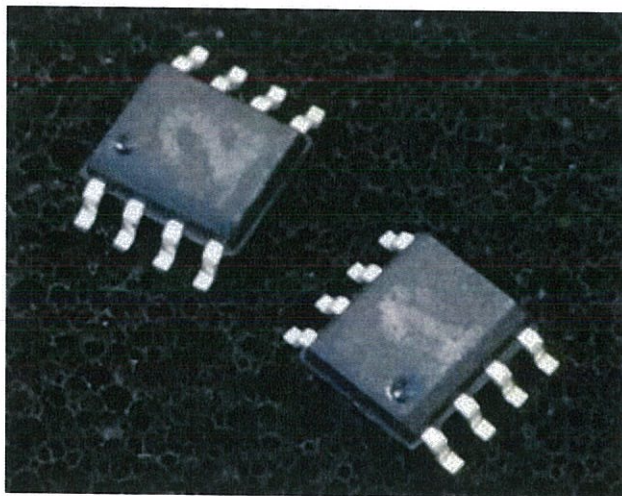
รูปที่ 2.20 สัญลักษณ์วงจรถือเปรียบเทียบ



รูปที่ 2.21 วงจรภายในวงจรเปรียบเทียบ BA10393

จากรูปที่ 2.18 จะเห็นว่าสัญลักษณ์ของออปแอมป์ และ วงจรเปรียบเทียบจะเหมือนกัน แต่เมื่อดูวงจรภายในจะเห็นว่ามีความต่างกันในส่วน gain stage และ output stage ซึ่งใน 2 ส่วนนี้วงจรภายในออปแอมป์จะทำให้เอาท์พุทออกมาเป็นสัญญาณอนาล็อก และ วงจรภายในวงจรเปรียบเทียบจะทำให้เอาท์พุทออกมาเป็นสัญญาณดิจิทัล

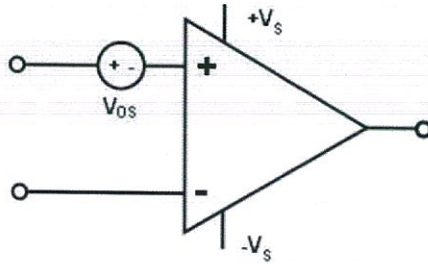
ในโครงการนี้ได้เลือกวงจรรวมเปรียบเทียบแรงดัน MAX9022 เป็นตัวอย่างในการทดสอบวงจร โดยมีคุณสมบัติดังนี้ 1)Space saving 8-pin sot23 Packages 2)Low Supply current 2.8uA 3)Propagation delay 3us 4)Internal 4mV Comparator Hysteresis 5)Comparator output swings rail to rail 6)single-supply voltage range 2.5to5.5 7)No phase reversal for overdriven inputs



รูปที่ 2.22 วงจรรวมเปรียบเทียบแรงดัน MAX9022

2.2.5 แรงดันอินพุตออฟเซต(Input Offset Voltage)

แรงดันอินพุตออฟเซตคือแรงดันที่ตกคร่อมขาอินพุตทั้งสองของออปแอมป์เพื่อให้ได้เอาต์พุตของออปแอมป์มีค่าเป็น 0V ในทางอุดมคติเอาต์พุตของออปแอมป์ควรจะเป็น 0V เมื่ออินพุตทั้งสองของออปแอมป์ต่อลงกราวด์(จากสมการ $V_o = A_v(V^+ - V^-)$) แต่ในความเป็นจริงเมื่ออินพุตทั้งสองต่อลงกราวด์จะยังคงมีความต่างศักย์เล็กน้อยคร่อมที่ขาอินพุตทั้งสอง จึงทำให้อาต์พุตที่ออกมาไม่เป็น 0V

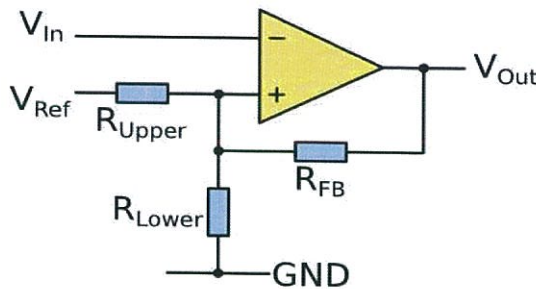


รูปที่ 2.23 สัญลักษณ์แรงดันอินพุตออฟเซตของออปแอมป์และวงจรเปรียบเทียบ

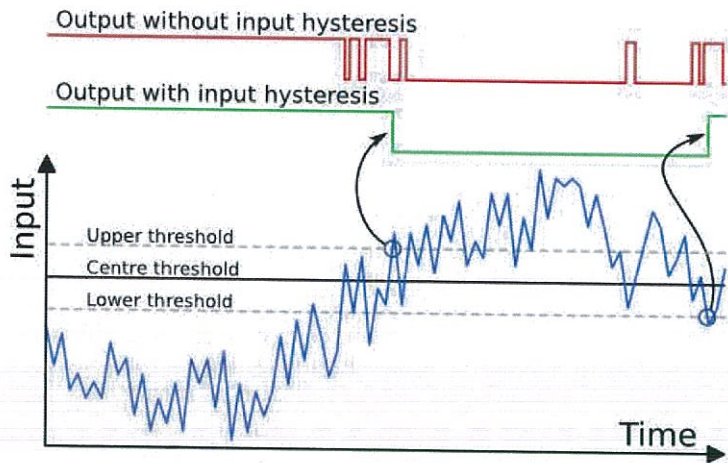
เช่นเดียวกับออปแอมป์สำหรับวงจรรวมเปรียบเทียบแรงดัน จะมีแรงดันอินพุตออฟเซตเช่นเดียวกันแต่ในกรณีที่เป็วงจรเปรียบเทียบแรงดัน จะให้ความสนใจไปในเรื่องของ Hysteresis มากกว่าแรงดันอินพุตออฟเซต ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

2.2.6 ฮิสเทอรีซิส(Hysteresis)

ฮิสเทอรีซิส(Hysteresis) คือค่าขอบการเปลี่ยนแปลงซึ่งมีทั้งขอบขาขึ้นและขอบขาลงสามารถอธิบายได้ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.24 วงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบกลับเฟส



รูปที่ 2.25 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบกลับเฟสเมื่อมีHysteresisและไม่มี Hysteresis

จากรูปที่ 2.24 จะเห็นว่า เป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบกลับเฟส และจากรูปที่ 2.25 เมื่อวงจรเปรียบเทียบแรงดันไม่มีHysteresis วงจรจะมีค่าขอบการเปลี่ยนแปลงค่าเดียวคือ Centre threshold นั้นคือเอาต์พุตจะเปลี่ยนแปลงทุกครั้งเมื่อสัญญาณอินพุตตัดข้ามเส้น Centre threshold โดยสัญญาณที่ได้จะเป็นดังเส้นสัญญาณ Output without input hysteresis และ สำหรับวงจรที่มีHysteresisวงจรจะมีค่าขอบเปลี่ยนแปลง2ค่าคือขอบขาขึ้นและขอบขาลงดังในรูปคือ Upper threshold และ Lower threshold โดยสัญญาณเอาต์พุตจะเปลี่ยนแปลงดังนี้คือ เมื่อสัญญาณอินพุตตัดข้ามเส้น Upper threshold เอาต์พุตจะมีค่าเป็น low และเมื่ออินพุตตัดข้ามเส้น Lower threshold เอาต์พุตจะมีค่าเป็น high

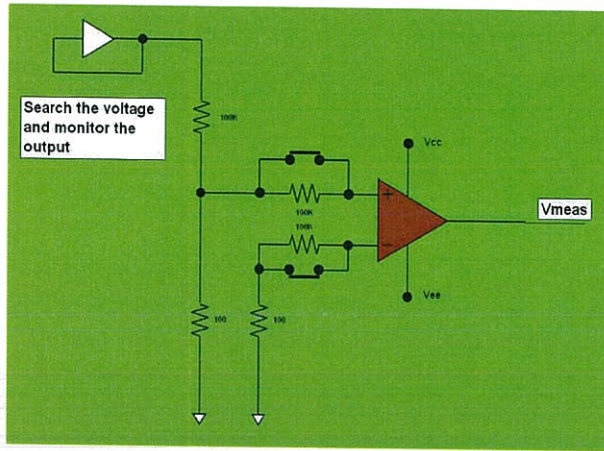
ดังนั้นจะเห็นว่าHysteresisนั้นมีไว้เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนที่เข้ามาทางด้านอินพุต เพื่อให้ได้เอาต์พุตที่ถูกต้อง

สำหรับออปแอมป์และวงจรรวมเปรียบเทียบแรงดันทางผู้ผลิตได้ทำการกำหนดค่าHysteresis ภายในไว้เป็นค่าๆหนึ่ง และผู้ใช้ยังสามารถควบคุมค่าHysteresisได้ด้วยการต่อวงจรแบบ การป้อนกลับบวก ดังแสดงในรูปที่2.24

2.2.7 วิธีหาค่าแรงดันอินพุตออฟเซ็ท(V_{os})

การหาค่าแรงดันอินพุตออฟเซ็ทของออปแอมป์และวงจรรวมเปรียบเทียบแรงดัน นั้นทำได้ดังรูป 2.26

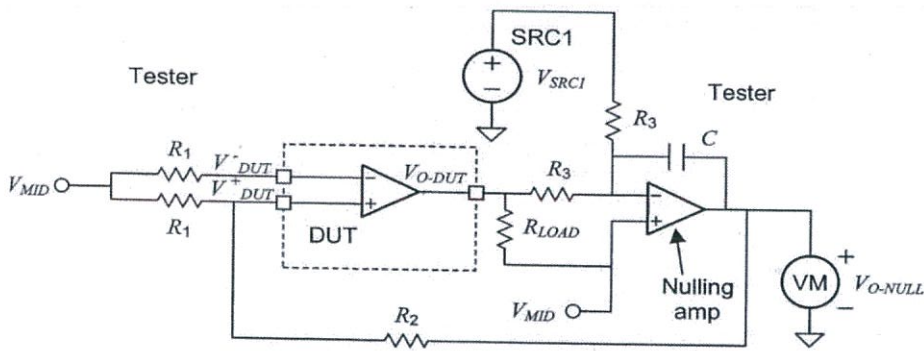
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.26 การหาค่าแรงดันอินพุตออฟเซ็ท

จากรูป 2.26 ได้ให้ขาอินพุตลบของออปแอมป์หรือวงจรรวมเปรียบเทียบกับแรงดัน ต่อดงกราวน์เพื่อเป็นจุดอ้างอิง จากนั้นทำการเปลี่ยนค่าของแรงดันที่ขาอินพุตบวก จนกระทั่งเอาท์พุทให้ค่าแรงดันเป็น 0V จากนั้นนำค่าแรงดันที่วัดได้มาคำนวณกับวงจรแบ่งแรงดันเพื่อให้ได้ค่าแรงดันจริง ที่อยู่บนขาอินพุตบวก เมื่อนำแรงดันที่ขาอินพุตบวกและอินพุตลบ มาลบกันจะได้ค่าแรงดันที่ตกคร่อมขาอินพุตทั้งสองหรือก็คือแรงดันอินพุตออฟเซ็ท

ในกรณีที่ทดสอบวงจรรวมปริมาณมากเพื่อหาแรงดันอินพุตออฟเซ็ทโดยใช้คนปรับเปลี่ยนค่าไปเรื่อยๆ นั้นเสียเวลามาก จึงได้มีการคิดค้นวงจรถองหาแรงดันอินพุตออฟเซ็ท เพื่อให้วงจรสามารถทำงานได้อัตโนมัติ โดยวงจรถองหาใช้กันคือ วงจรNulling Amplifier



รูปที่ 2.27 วงจรNulling Amplifier

โดยวงจรถองหาสามารถให้หาแรงดันอินพุตออฟเซ็ท อัตราขยายเปิดวงจรถองหาเฉพาะออปแอมป์เท่านั้นซึ่ง Vsrc และ Vmid คือสิ่งที่สามารถกำหนดได้โดยผู้ใช้ โดยจากวงจรถองหาสามารถคำนวณสมการได้ดังนี้

อัตราขยายเปิดวงจรถองหา

$$G = \frac{\Delta V_o}{\Delta V_{in}} = -\left(\frac{R_1 + R_2}{R_1}\right) \frac{\Delta V_{src}}{\Delta V_{o_null}}$$

โดย

$$V_{o_dut} = V_{src}$$

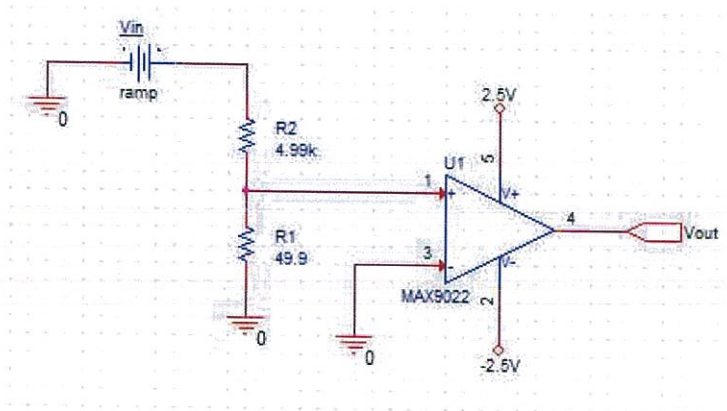
148506

และเมื่อกำหนด V_{mid} คือกราวด์และกำหนด $V_{src} = 0V$ จะได้ค่า $V_{os} = V_{o_null} \frac{R1}{R1+R2}$

สำหรับวงจรรวมเปรียบเทียบแรงดันเนื่องจาก วงจรNulling Amplifierไม่สามารถหาค่า V_{os} ได้โดยตรง จึงต้องมีการคำนวณจากค่าHysteresis ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

2.2.8 วิธีหาค่าhysteresis

ในการหาHysteresisนั้น จะทำโดยการต่อวงจรดังนี้



รูปที่ 2.28 วงจรทดลองหาค่าขอบการเปลี่ยนแปลง

จากรูปสามารถหาค่าขอบการเปลี่ยนแปลงทั้งขาขึ้นและขาลงได้ โดยการปรับเปลี่ยน V_{in} ไปเรื่อยๆ จากนั้นเมื่อเอาท์พุทเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น หรือเปลี่ยนแปลงลง ให้ทำการวัดค่า V_{in} แล้วนำมาคำนวณกับวงจรแบ่งแรงดัน ดังนี้ $V_{trip\ up}$ หรือ $V_{trip\ down} = V_{in} \left(\frac{R1}{R1+R2} \right)$ เมื่อได้ค่าขอบขาขึ้นและขอบขาลงแล้วเราสามารถหาค่าHysteresisและ V_{os} ของวงจรรวมเปรียบเทียบแรงดันได้ดังนี้

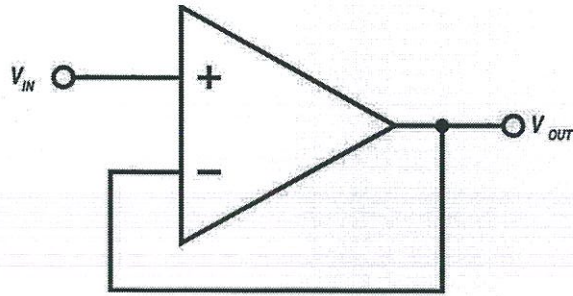
$$Hysteresis = (V_{trip\ up} - V_{trip\ down})$$

$$V_{os} = (V_{trip\ up} + V_{trip\ down}) / 2$$

สำหรับค่าคุณสมบัติอื่นๆทางไฟฟ้าของออปแอมป์และวงจรรวมเปรียบเทียบแรงดัน สามารถคำนวณได้จากค่า V_{os} เป็นส่วนใหญ่ ส่วนค่าอื่นๆที่เหลือสามารถวัดได้โดยตรง

2.2.10 โวลต์เตจฟอลโลวเวอร์หรือวงจรบัฟเฟอร์

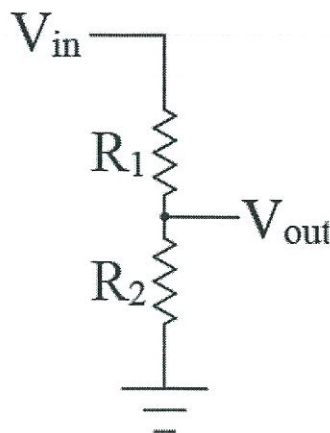
เป็นวงจรที่ให้อัตราขยายเท่ากับ 1 ใช้เป็นตัวเชื่อมระหว่างวงจรสองวงจรเข้าด้วยกัน วงจรบัฟเฟอร์นี้จะมีค่าความต้านทานอินพุตสูง เมื่อนำไปต่อเป็นโหลดวงจรอื่น ก็ไม่ทำให้ให้แรงดันเอาต์พุตของวงจรอื่นนั้นลดลง และเมื่อนำไปขับวงจรอื่นก็สามารถจ่ายกระแสไปให้วงจรอื่นได้ โดยไม่ทำให้ระดับแรงดันเอาต์พุตของมันเองลดลง



รูปที่ 2.29 สัญลักษณ์โวลต์เตจฟอลโลวเวอร์หรือวงจรบัฟเฟอร์

2.2.13 วงจรแบ่งแรงดัน

วงจรแบ่งแรงดัน คือ หนึ่งในวงจรพื้นฐานทางอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแรงดันจากที่มีค่ามากให้มีค่าน้อยลง ด้วยการใช้ตัวต้านทานสองตัวและแรงดันอินพุตดังรูป

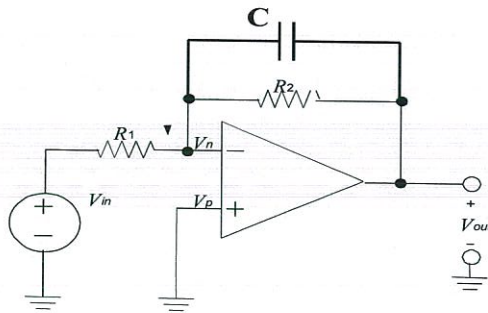


รูปที่ 2.30 วงจรแบ่งแรงดัน

โดยเอาต์พุตที่ได้สามารถคำนวณได้จากสมการ $V_{out} = V_{in} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$

2.2.14 วงจรอินทิเกรต

วงจรรวมอินทิเกรตประกอบด้วย ออปแอมป์ ตัวเก็บประจุต่อขนานกับออปแอมป์และตัวต้านทานต่อแบบการป้อนกลับแบบลบดังแสดงในรูป 2.31 ซึ่งวงจรรวมอินทิเกรตในอุดมคติจะต้องไร้การสูญเสีย $R_2 = \infty$ โดยเอาท์พุทสามารถคำนวณได้ด้วยสมการ $V_{out} = \frac{-1}{R_1(C)} \int V_{in} dt$



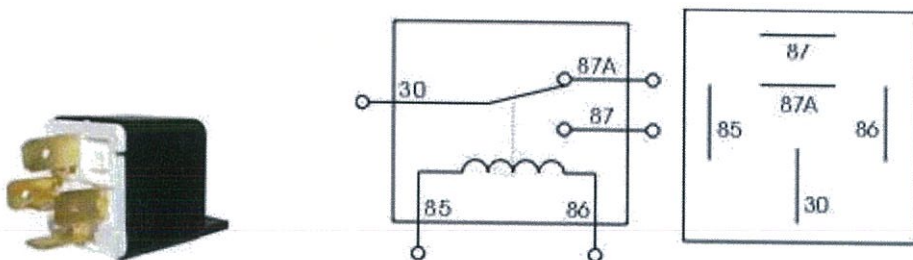
รูปที่ 2.31 วงจรรวมอินทิเกรต

ซึ่งถ้าใส่สัญญาณสี่เหลี่ยมเข้าที่อินพุทจะได้เอาท์พุทเป็นรูปสามเหลี่ยม ในความเป็นจริง $R_2 < \infty$ จึงมีการสูญเสียบ้างในระบบ ทำให้เอาท์พุทของวงจรถดลงแบบ exponential ด้วยค่า time constant

$$\tau = R_2(C)$$

2.2.16 รีเลย์

รีเลย์คือสวิตช์ทางอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งใช้หลักการของแม่เหล็กไฟฟ้าในการทำงาน เพื่อให้แผ่นโลหะเคลื่อนที่จากตำแหน่ง ปิดวงจร ไปตำแหน่ง เปิดวงจร ข้อดีคือ คอยล์ของรีเลย์ใช้กำลังงานน้อยในการให้รีเลย์ทำงาน ตัวอย่างการใช้รีเลย์ ใช้ควบคุมมอเตอร์ ฮีตเตอร์ โคมไฟ และอื่นๆ



รูปที่ 2.32 รีเลย์ 5ขา 12โวลต์

บทที่ 3

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีที่ใช้ศึกษาค้นคว้าและการวิจัยการทดลอง

การดำเนินโครงการในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาค้นคว้าในเรื่องของทฤษฎีต่างๆทั้งจากหนังสือเรียนและสื่อทางอินเทอร์เน็ตมาผสมกับความรู้อันได้ศึกษาจากมหาวิทยาลัยและจากบริษัทแม็กซิมอินทิเกรตเต็ดโปรดักส์ ประเทศไทย ประกอบกับการปรึกษาและรับคำแนะนำจากพี่วิศวกรผู้ดูแลและพี่วิศวกรในแผนกต่างๆ

3.2 ลักษณะข้อมูล การเลือกข้อมูล และการทดลอง

ในการทำโครงการในครั้งนี้ได้มีการศึกษาความรู้ประเภทรูปแบบทฤษฎีทางไฟฟ้าประกอบกับสมการในการคำนวณหาค่าต่างๆ เพื่อให้วงจรที่ออกแบบสามารถให้ผลการทดลองที่เป็นไปตามเป้าหมาย โดยมีค่าที่ต้องการในการทดสอบจากวงจรCM51เป็นต้นแบบ โดยมีข้อมูลคุณสมบัติของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่นำมาใช้ในวงจรประกอบในการคำนวณ ซึ่งวิธีการที่ใช้ในการเลือกข้อมูลเหล่านี้คือทำการออกแบบวงจรและคำนวณหาค่าตัวแปรต่างๆแล้วจากนั้นจึงไปค้นคว้าหาอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติตามต้องการ

ลักษณะการทดลองในโครงการนี้จะเป็นการนำวงจรที่ออกแบบมาทำการทดสอบวงจรรวมเปรียบเทียบกับแรงดันเป็นจำนวนสามตัว จากนั้นนำค่าคุณสมบัติต่างๆที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับวงจรCM51 ซึ่งมีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน และทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการนำตัวงานมาทำการทดลองว่าด้วยคน เพื่อวิเคราะห์ว่าวงจรที่ออกแบบสามารถใช้งานแทนวงจรเดิมได้หรือไม่

3.3 เครื่องมือและวิธีการวิจัยทดลอง

3.3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยทดลองครั้งนี้ประกอบไปด้วย

3.3.1.1 ดิจิตอลมิเตอร์

3.3.1.2 ออสซิลโลสโคป

3.3.1.3 เครื่องทดสอบ

3.3.1.4 ตัวจับชิ้นงาน

3.3.2 วิธีการวิจัยทดลอง

วิธีการวิจัยทดลองในโครงการนี้จะทำการตรวจสอบคุณสมบัติและขั้นตอนการทำงานของวงจรที่ออกแบบโดยนำไปทดสอบกับชิ้นงานจากนั้นนำค่าการทดสอบที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าการทดสอบที่ได้จากวงจรCM51 และเปรียบเทียบกับค่าการทดสอบที่ได้จากการทดสอบด้วยคน โดยใช้ชิ้นงานเดียวกัน โดยค่าที่จะตรวจสอบจะมีดังนี้

3.3.2.1 ค่าขอขบการเปลี่ยนแปลงบน

3.3.2.2 ค่าขอขบการเปลี่ยนเปลี่ยนล่าง

3.3.2.3 ค่าฮีสเทอรีซิส(Hysteresis)

3.3.2.4 ค่าแรงดันอินพุตออฟเซตหรือVos(Voltage input offset)

โดยในการตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆ วงจรที่ออกแบบนั้นสามารถตรวจสอบได้ดังนี้

1. นำวงจรที่ออกแบบต่อเข้ากับเครื่องทดสอบจากนั้นนำตัวงานใส่ตัวจับชิ้นงานแล้วนำมาต่อกับวงจรที่ออกแบบ ทำการเขียนโปรแกรมตั้งค่า ให้ค่าเริ่มต้นของวงจรเป็นสำหรับการทดสอบหาขอบบนจากนั้นปล่อยให้วงจรทำงาน บันทึกค่าที่วัดได้
2. จากข้อที่แล้วให้ทำการเขียนโปรแกรมตั้งค่าให้ค่าเริ่มต้นของวงจรเป็นสำหรับการทดสอบหาขอบล่างจากนั้นปล่อยให้วงจรทำงาน บันทึกค่าที่วัดได้
3. ทำการหาค่าคำนวณหาค่าHysteresisโดย

$$Hysteresis = (V_{trip\ up} - V_{trip\ down})$$

4. ทำการคำนวณหาค่าVosโดย

$$V_{os} = (V_{trip\ up} + V_{trip\ down}) / 2$$

5. ทำการทดลองตามข้อ 1. ถึง 4. โดยเปลี่ยนมาใช้วงจรCM51แทน
6. ทำการทดสอบหาค่าขอบขึ้นและขอบลงโดยต่อวงจรดังรูป2.28 จากนั้นคำนวณตามข้อ 3.และ 4.

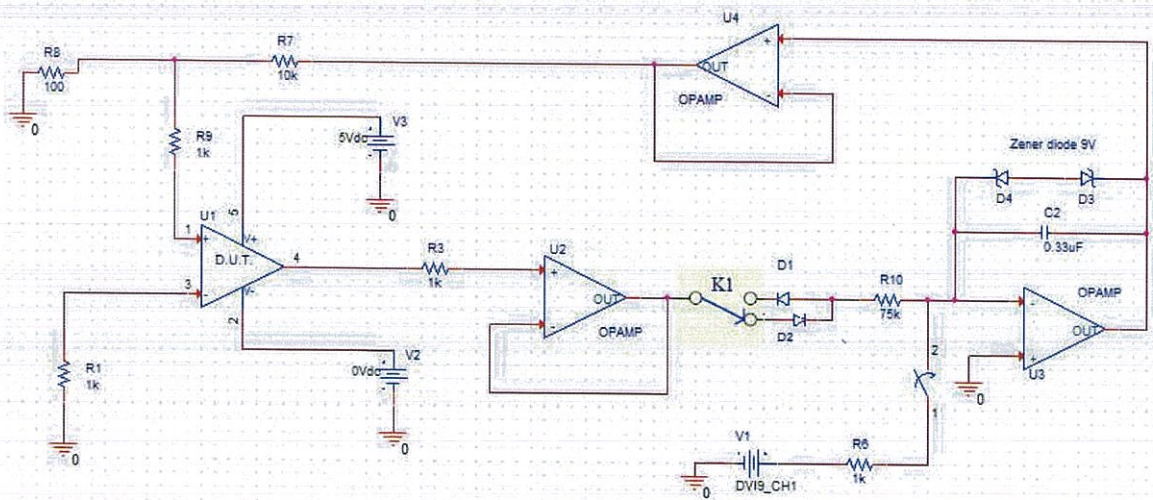
3.4 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างเครื่องมือ

การออกแบบวงจรในครั้งนี้เริ่มต้นโดยการวิเคราะห์ถึงปัญหาของวงจรCM51 เนื่องจากมีอัตราการเกิดปัญหาระหว่างที่ใช้ทำการทดสอบที่สูง และเนื่องจากCM51เป็นวงจรที่มีส่วนประกอบมาก ซับซ้อนและยากแก่การเข้าใจ จึงได้เริ่มทำการออกแบบวงจรที่มีหลักการทำงานใกล้เคียงกันแต่ให้ผลการทดสอบชิ้นงานเหมือนกัน โดยได้เก็บข้อมูลค่าการทดสอบชิ้นงานด้วยคน การทดสอบชิ้นงานด้วยวงจรCM51 และได้

รวบรวมหลักการในการทดสอบวงจรรวมเปรียบเทียบแรงดัน จากนั้นนำความรู้และข้อมูลที่ได้มา ออกแบบ บล็อกไดอะแกรมของวงจร จากนั้นจึงได้ทำการออกแบบสคีมเมติกและสร้างเป็นวงจรตามแบบเป็นลำดับ ถัดมา โดยสามารถจำแนกขั้นตอนในการออกแบบและสร้างเครื่องมือในส่วนต่างๆได้ดังนี้

3.4.1 จากการวิเคราะห์ ศึกษา ถึงปัญหาและหลักการความรู้ต่างๆในโครงการทั้งหมดที่ได้กล่าวมา สามารถนำมาเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 2.1

3.4.2 เมื่อออกแบบบล็อกไดอะแกรมได้แล้ว จึงทำการออกแบบวงจรสคีมเมติกได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 สคีมเมติกของวงจรที่ออกแบบ

3.4.2.1 วงจรรวมเปรียบเทียบแรงดันหรือตัววงจรรวม(D.U.T.)

ในการวงจรนี้ใช้ตัวงานเบอร์ MAX9022 เป็นตัวงานที่ใช้ในการทดสอบโดย วงจรรวมเปรียบเทียบแรงดันในส่วนนี้จะทำหน้าที่เปรียบเทียบแรงดันที่เข้ามาขาอินพุตบวกและขาอินพุตลบ โดยมีอัตราขยายที่สูงมากและจะให้เอาต์พุตออกมาตามสมการ $V_o = Av(V_+ - V_-)$ แต่เนื่องจากวงจรเปรียบเทียบแรงดันไม่สามารถให้ค่าเอาต์พุตที่มากกว่าหรือน้อยกว่าไฟเลี้ยงได้ จึงจะให้เอาต์พุตได้แค่ไฟบวกหรือไฟเลี้ยงเท่านั้น

3.4.2.2 วงจรตามแรงดัน หรือบัฟเฟอร์

วงจรตามแรงดันหรือบัฟเฟอร์ นั้นคือออปแอมป์ที่นำมาต่อแบบป้อนกลับโดยนำเอาต์พุตมาต่อกับขาอินพุตลบเลย โดยจะให้เอาต์พุตตามอินพุตขาบวก และจะทำหน้าที่เหมือนแยกวงจรฝั่งอินพุตออกจากฝั่งเอาต์พุตเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับตัวชิ้นงานจากทางฝั่งเอาต์พุตของบัฟเฟอร์

3.4.2.3 รีเลย์

ทำหน้าที่เหมือนสวิตช์สับไปมาเพื่อเลือกว่าจะทำการทดสอบค่าขอบบนหรือค่าขอบล่าง

3.4.2.4 ไดโอด

ทำหน้าที่เป็นตัวกั้นให้กระแสไฟฟ้าไหลได้เพียงทิศทางเดียว

3.4.2.5 การ์ดDVI9 CH1

การ์ดDVI9 CH1จะอยู่ในเครื่องทดสอบทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดันในที่นี้มาใช้เป็นตัวตั้งค่าเริ่มต้นของวงจรโดยจะต้องมีการคำนวณกระแสที่จ่ายออกด้วยตามสมการ $I = (V_1 - V_2)/R$ โครงงานนี้ได้เขียนโปรแกรมให้การ์ดจ่ายแรงดัน5V และจะได้กระแส ประมาณ 5mA หรือตั้งไว้-5Vได้กระแสประมาณ 5mAเช่นกัน

3.4.2.6 วงจรอินทิเกรตและซีเนอร์ไดโอด

วงจรอินทิเกรตจะทำหน้าที่ชาร์จประจุเมื่อการ์ดมีการปล่อยแรงดันและกระแสเมื่อชาร์ตจนเต็มแล้วกระแสจะหยุดไหล และในวงจรไดโอดซีเนอร์ไดโอดคร่อมตัวเก็บประจุไว้ โดยซีเนอร์ไดโอดที่ใช้เป็นซีเนอร์ไดโอดที่ เบรกควานเมื่อมีแรงดันตกคร่อม9Vหลังจากนั้นจะเสมือนว่าซีเนอร์ไดโอดชื้อตวงจร และจะทำหน้าที่ให้ตัวเก็บประจุของวงจรอินทิเกรตหยุดการชาร์ตอยู่ที่9V เมื่อชาร์ตเสร็จแล้วจะได้แรงดันฝั่งอินพุต5Vและแรงดันฝั่งเอาต์พุต-9V และเมื่อชาร์ตด้วยไฟ-5Vจะได้แรงดันฝั่งอินพุตของวงจรอินทิเกรตเป็น-5V และฝั่งเอาต์พุตเป็น9V

หลังจากทำการตั้งค่าเริ่มต้นของวงจรอินทิเกรตเสร็จแล้ว จะทำการตัดการ์ดออกเพื่อให้วงจรอินทิเกรตเริ่มแรมป์

3.4.2.7 วงจรแบ่งแรงดัน

ประกอบด้วยตัวต้านทาน2ตัวโดยจะทำหน้าที่ลดขนาดของแรงดันเพื่อนำแรงดันที่มีขนาดเล็กแล้วไปเข้าเป็นอินพุตของชิ้นงานต่อไปโดยจะคำนวณได้ตามสมการ $V_o = \frac{V_{ramp} R_8}{R_7 + R_8}$

3.4.3 การทำงานของวงจรทดสอบและการคำนวณ

3.4.3.1 ในกรณีหาค่าขอบบน

1. ให้เปลี่ยนรีเลย์ K1 มาอยู่ที่ไดโอด D1

2. ต่อการ์ดเข้ากับวงจรแล้วเซตไฟให้การ์ดจ่าย 5V

3. เมื่อตัวเก็บประจุชาร์จเต็มแล้วจะได้เอาต์พุตเป็น -9V และเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบกับแรงดันเป็นไฟเลี้ยงลบ ให้ทำการตัดการ์ดออก วงจรอินทิเกรตจะเริ่มแรมป์ และสัญญาณที่ออกมาจากวงจรอินทิเกรตจะถูกลดขนาดลงด้วยวงจรแบ่งแรงดันเพื่อไปเข้าที่ตัวงาน

4. เมื่อเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบกับแรงดันเปลี่ยนจากไฟเลี้ยงลบเป็นไฟเลี้ยงบวก วงจรอินทิเกรตจะหยุดแรมป์แล้วจะคงค่าที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไว้

5. ทำการวัดค่าจากเอาต์พุตของวงจรอินทิเกรต จากนั้นนำมาหารด้วยอัตราขยายของวงจรแบ่งแรงดัน ในโครงการ อัตราขยายมีค่าเท่ากับ 100 เท่า โดยจะได้ว่า

$$V_{trip\ up} = V_{ramp\ hold} / 100$$

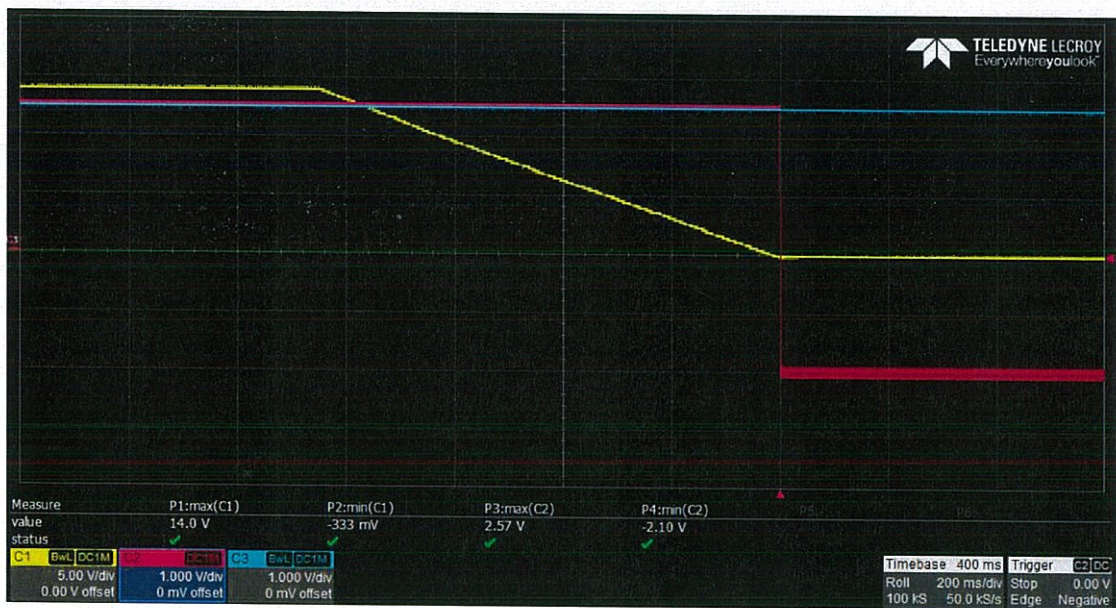


รูปที่ 3.2 ลักษณะสัญญาณขณะทำการทดสอบหาค่าขอบบน

3.4.3.2 ในกรณีหาค่าขบล่าง

1. ให้เปลี่ยนรีเลย์K1มาอยู่ที่ไดโอดD2
2. ต่อการ์ดเข้ากับวงจรแล้วเซตไฟให้การ์ดจ่าย -5V
3. เมื่อตัวเก็บประจุชาร์จเต็มแล้วจะได้เอาท์พุตเป็น 9Vและเอาท์พุตของวงจรเปรียบเทียบกับแรงดันเป็นไฟเลี้ยงบวก ให้ทำการตัดการ์ดออก วงจรอินทิเกรตจะเริ่มแรมป์จาก 9Vลงไปหา -9V และสัญญาณที่ออกมาจากวงจรอินทิเกรตจะถูกลดขนาดลงด้วยวงจรแบ่งแรงดันเพื่อไปเข้าที่ตัวงาน
4. เมื่อเอาท์พุตของวงจรเปรียบเทียบกับแรงดันเปลี่ยนจากไฟเลี้ยงบวกเป็นไฟเลี้ยงลบ วงจรอินทิเกรตจะหยุดแรมป์แล้วจะคงค่าที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไว้
5. ทำการวัดค่าจากเอาท์พุตของวงจรอินทิเกรต จากนั้นนำมาหารด้วยอัตราขยายของวงจรแบ่งแรงดัน ในโครงการ อัตราขยายมีค่าเท่ากับ 100 เท่า โดยจะได้ว่า

$$V_{trip\ down} = V_{ramp\ hold} / 100$$



รูปที่ 3.3 ลักษณะสัญญาณขณะทดสอบหาค่าขบล่าง

3.4.3.3 คำนวณหาค่าฮิสเทอรีซิส(Hysteresis)และแรงดันอินพุตออฟเซต

สามารถคำนวณได้ตามสมการนี้

$$Hysteresis = (V_{trip\ up} - V_{trip\ down})$$

$$V_{os} = (V_{trip\ up} + V_{trip\ down}) / 2$$

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 เปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากวงจรที่ทำการออกแบบและวงจรCM51

Max9022 วงจรที่ออกแบบ

Part No.	Trip up	Trip down	Hysteresis	Vos
1	212mV	-184mV	3.96mV	0.14mV
2	208mV	-136mV	3.44mV	0.36mV
3	296mV	-164mV	4.60mV	0.66mV

ตารางที่ 4.1 ค่าที่วัดได้จากวงจรที่ออกแบบ

Max9022 วงจรCM51

Part No.	Trip up	Trip down	Hysteresis	Vos
1	216mV	-168mV	3.84mV	0.24mV
2	264mV	-160mV	4.24mV	0.52mV
3	276mV	-100mV	3.76mV	0.88mV

ตารางที่ 4.2 ค่าที่วัดได้จากวงจรCM51

Part No.	Hysteresis	Vos
1	3.13%	41.67%
2	18.87%	30.77%
3	22.34%	25.00%

ตารางที่ 4.3 เปอร์เซนต์ความผิดพลาดของวงจรที่ออกแบบเปรียบเทียบกับวงจรCM51

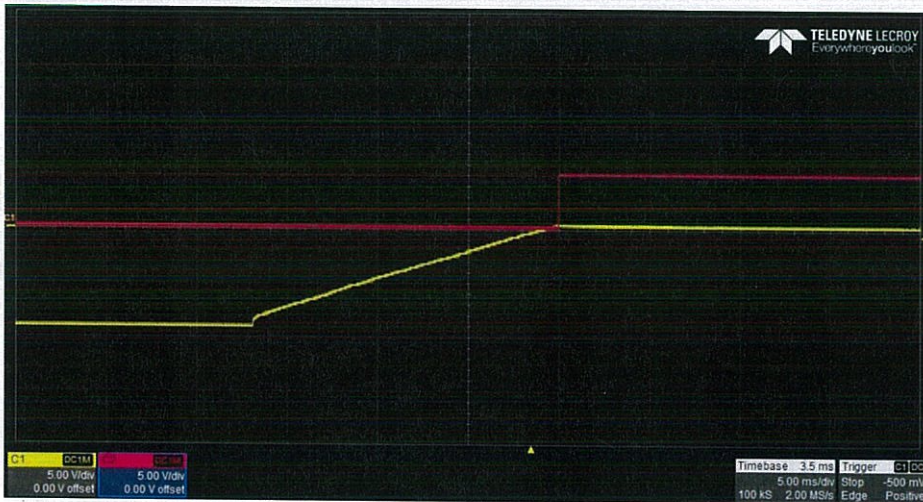
4.2 เปรียบเทียบสัญญาณจากวงจรที่ออกแบบและวงจรCM51

โดยสัญญาณสีชมพูคือสัญญาณเอาต์พุตจากตัววงจรรวมเปรียบเทียบแรงดันและสัญญาณสีเหลืองคือสัญญาณจากวงจรอินทิเกรต

● สัญญาณจวงจรรวมเปรียบเทียบแรงดัน ● สัญญาณจากวงจรอินทิเกรต

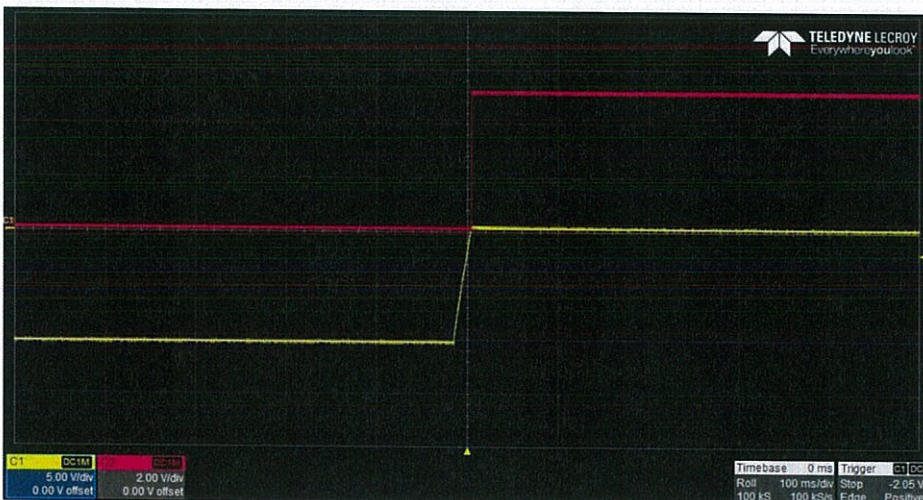
4.2.1 เปรียบเทียบรูปแบบสัญญาณในขณะที่วัดขอบการเปลี่ยนแปลงบน

สัญญาณจากวงจรที่ออกแบบ ● 5V/divs 5ms/div ● 5V/divs 5ms/div



รูปที่ 4.1 รูปสัญญาณขณะทำการวัดขอบการเปลี่ยนแปลงบนของวงจรที่ออกแบบ

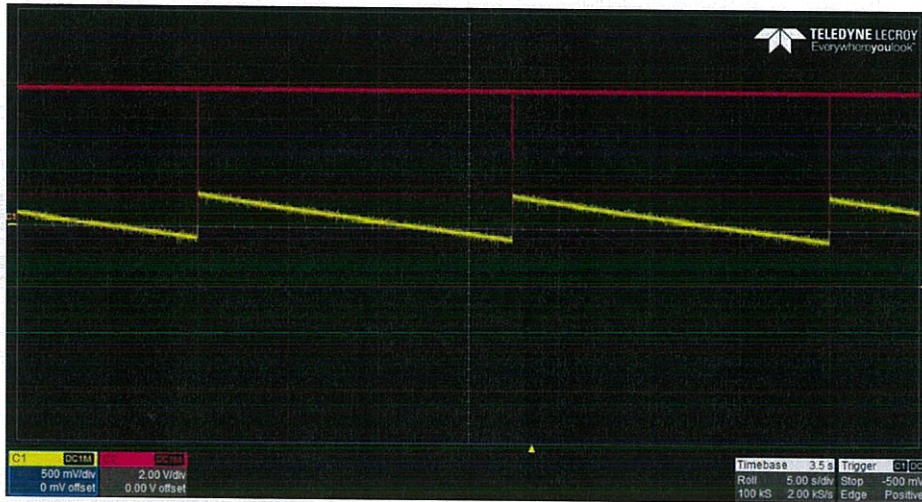
สัญญาณจากวงจรCM51 ● 5V/divs 100ms/div ● 2V/divs 100ms/div



รูปที่ 4.2 รูปสัญญาณขณะทำการวัดขอบการเปลี่ยนแปลงบนของวงจรCM51

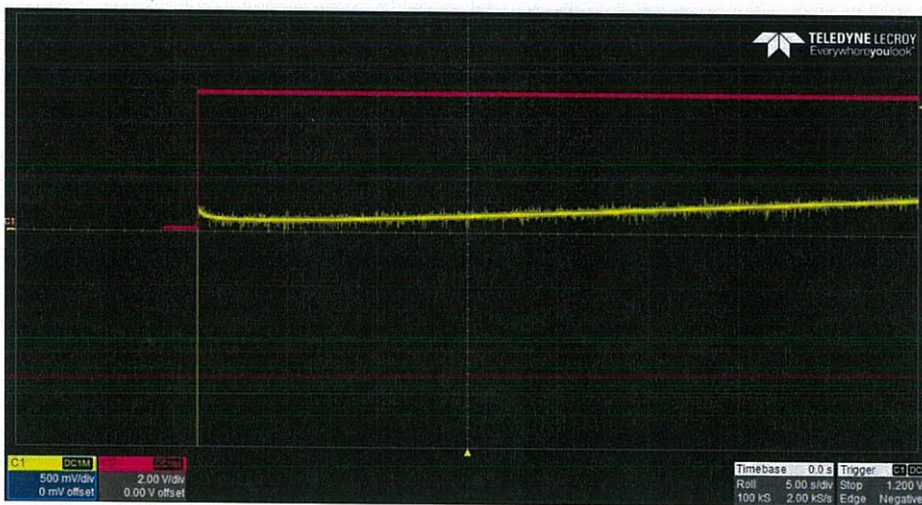
รูปแบบสัญญาณเมื่อทำการขยายขึ้นมาหลังจากที่มีการคงค่าแล้ว

สัญญาณของวงจรที่ออกแบบ  500mV/divs 5s/div  2V/divs 5s/div



รูปที่ 4.3 รูปสัญญาณขณะทำการวัดขอบการเปลี่ยนแปลงบนของวงจรที่ออกแบบ แบบขยาย

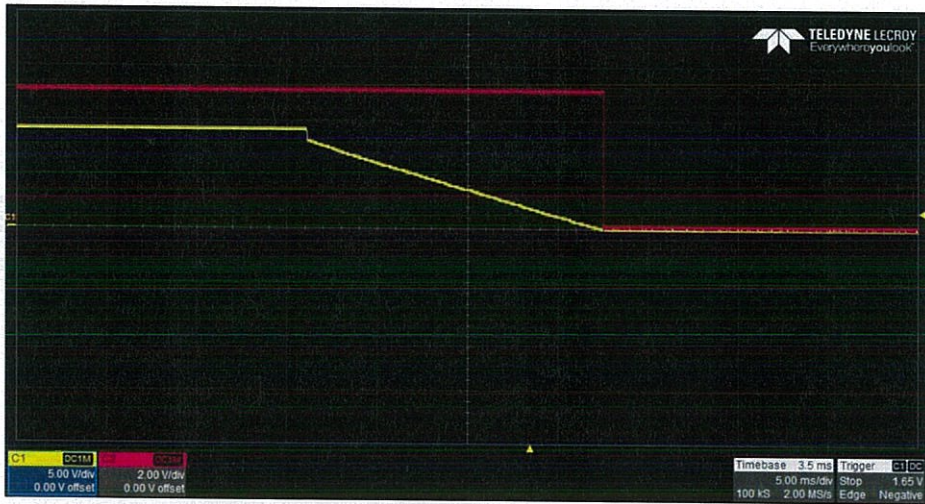
สัญญาณของวงจรCM51  500mV/divs 5s/div  2V/divs 5s/div





รูปที่ 4.4 รูปสัญญาณขณะทำการวัดขอบการเปลี่ยนแปลงบนของวงจรCM51 แบบขยาย

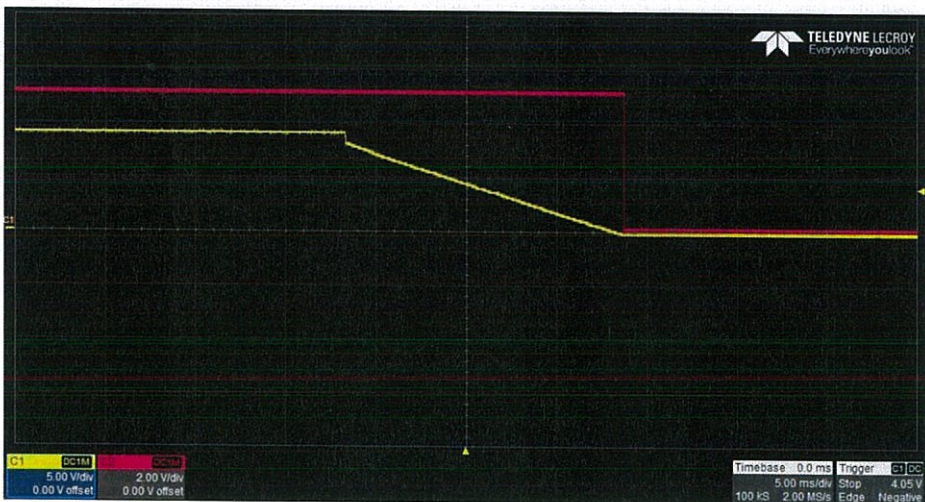
4.2.2 เปรียบเทียบรูปแบบสัญญาณในขณะที่วัดขอบการเปลี่ยนแปลงล่าง

สัญญาณจากวงจรที่ออกแบบ  5V/divs 5ms/div  2V/divs 5ms/div



รูปที่ 4.5 รูปสัญญาณขณะทำการวัดขอบการเปลี่ยนแปลงล่างของวงจรที่ออกแบบ

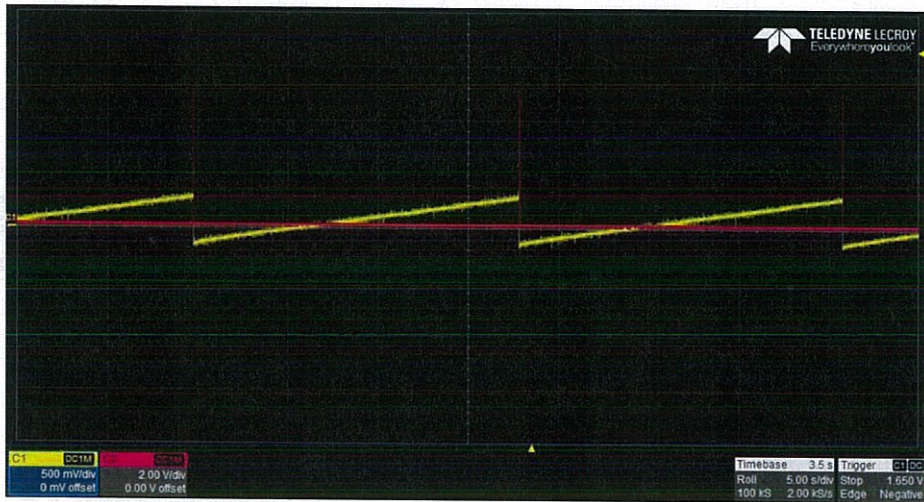
สัญญาณของวงจรCM51  5V/divs 5ms/div  2V/divs 5ms/div



รูปที่ 4.6 รูปสัญญาณขณะทำการวัดขอบการเปลี่ยนแปลงล่างของวงจรCM51

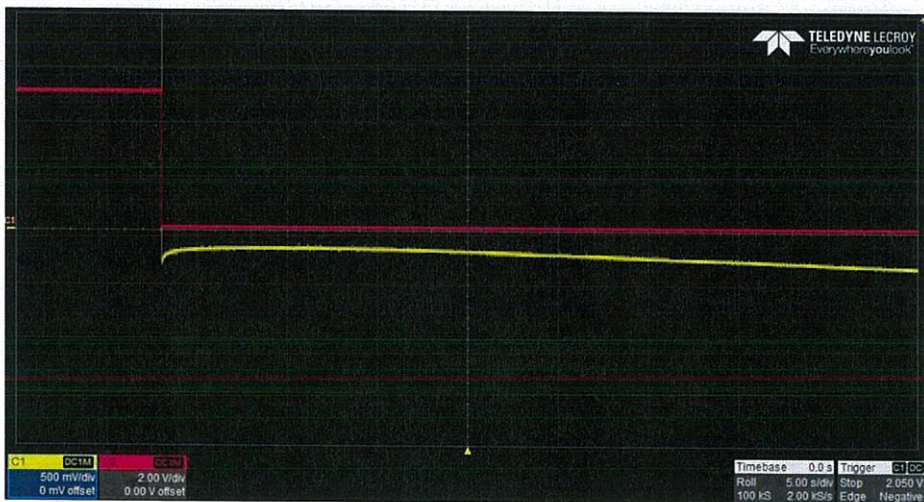
รูปแบบสัญญาณเมื่อทำการขยายขึ้นมาจากที่มีการคงค่าแล้ว

สัญญาณของวงจรที่ออกแบบ  500mV/divs 5s/div  2V/divs 5s/div



รูปที่ 4.7 รูปสัญญาณขณะทำการวัดขอการเปลี่ยนแปลงล่างของวงจรที่ทำการออกแบบ แบบขยาย

สัญญาณของวงจรCM51  500mV/divs 5s/div  2V/divs 5s/div



รูปที่ 4.8 รูปสัญญาณขณะทำการวัดขอการเปลี่ยนแปลงล่างของวงจรCM51 แบบขยาย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาโครงการในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะทำการปรับปรุงฮาร์ดแวร์ CM51 ที่ใช้ในการทดสอบวงจรรวมเปรียบเทียบกับแรงดันเพื่อลดอัตราการเกิดปัญหาของฮาร์ดแวร์ และเพื่อให้วงจรบนฮาร์ดแวร์มีความง่ายมากขึ้น โดยที่จะต้องสามารถวัดค่าฮีสเทอรีซิสออกมาได้ใกล้เคียงกับฮาร์ดแวร์ CM51 ซึ่งผู้จัดทำโครงการได้เลือกฮาร์ดแวร์ OX14 มาใช้เนื่องจากเป็นฮาร์ดแวร์ที่ใช้ทำการทดสอบวงจรขยายเชิงดำเนินการซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับวงจรเปรียบเทียบแรงดันและเป็นฮาร์ดแวร์ที่มีอัตราการเกิดปัญหาน้อยมาก โดยผู้ทำโครงการได้ทำการออกแบบและปรับแต่งวงจรบนฮาร์ดแวร์ OX14 เพื่อให้สามารถทำการทดสอบวัดค่าฮีสเทอรีซิส ได้เหมือนกับฮาร์ดแวร์ CM51

ซึ่งจากผลการทดลอง ในหัวข้อที่ 4.1 จะเห็นว่าเมื่อนำค่าที่วัดได้จากทั้งสองวงจรมารวมเปรียบเทียบกับนั้น เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดยังมีค่าที่สูงอยู่ซึ่งยังไม่สามารถนำไปใช้ทดสอบในไลน์การผลิตแทนที่ฮาร์ดแวร์ CM51 ตัวเดิมได้ และในหัวข้อที่ 4.2 เป็นการเปรียบเทียบสัญญาณในขณะที่ทำการวัดขอการเปลี่ยนแปลงบน และขอการเปลี่ยนแปลงล่าง จะเห็นว่าสัญญาณของทั้งสองวงจรมีความคล้ายคลึงกันเมื่อมองจากระยะไกล แต่เมื่อขยายสัญญาณขึ้นมาจะเห็นว่ารูปร่างของสัญญาณมีความแตกต่างกัน แต่สัญญาณจากทั้งสองวงจรมีความเพี้ยนอยู่ส่งผลให้เมื่อทำการวัดจึงต้องวัดในช่วงเวลาไม่เกิน 20ms หลังจากที่วงจรได้ทำการคงค่าเอาไว้ เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง

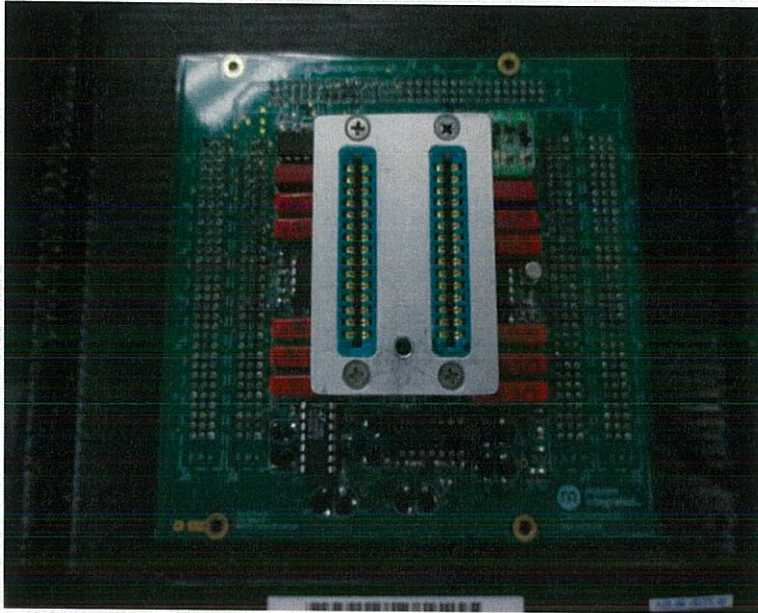
5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการทำโครงการในครั้งนี้ยังไม่ประสบผลสำเร็จตามที่ทางผู้จัดทำตั้งใจไว้จึงมีข้อเสนอแนะในการพัฒนาโครงการนี้ต่อไปดังนี้ 1. ควรจะมุ่งไปที่ระยะเวลาที่จะทำการวัดหลังจากที่วงจรทำการคงค่าเอาไว้เพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าขอการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด 2. ควรมุ่งไปที่การศึกษาเพื่อให้สัญญาณจากวงจรอินทิเกรตคงค่าเอาไว้ได้นานขึ้นหรือมีการเปลี่ยนแปลงที่ช้ามาก เพื่อแก้ปัญหาการวัดในช่วงเวลาที่จำกัด และเพื่อให้วิศวกรที่เข้ามาแก้ไขเมื่อเกิดปัญหาสามารถเข้าใจได้ง่าย

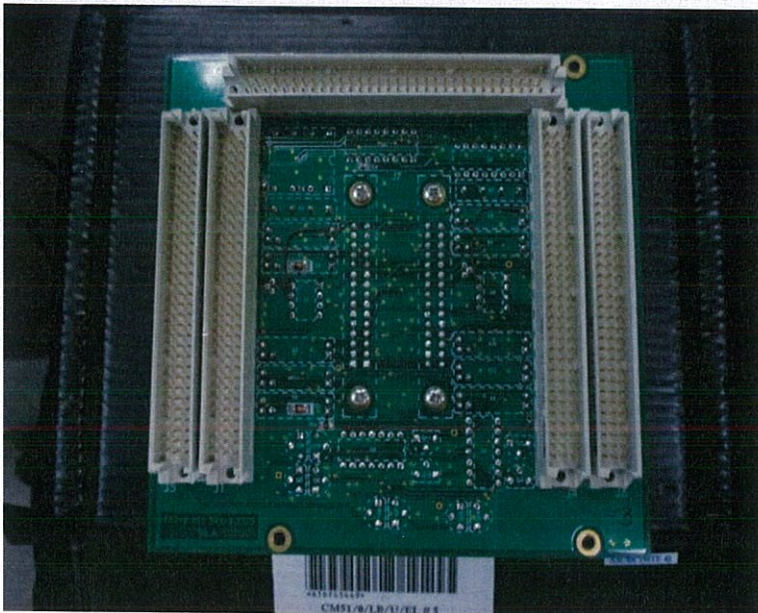
เอกสารอ้างอิง

1. Alexander and Sadiku 2009, Fundamentals of Electric Circuits 4th Edition
2. Mark Burns and Gordon W. Roberts 2001, An introduction to mixed-signal IC Test and Measurement
3. http://www.tatc.ac.th/files/09011219194805_11101814144616.pdf
4. http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/286/16/1/electric/R-L/chap5_1.htm
5. <http://www.learningaboutelectronics.com/Articles/What-is-an-ideal-op-amp.php>
6. https://en.wikipedia.org/wiki/Comparator#Differential_voltage
7. http://www.pm.ac.th/files/1205031717312916_12091916163602.pdf

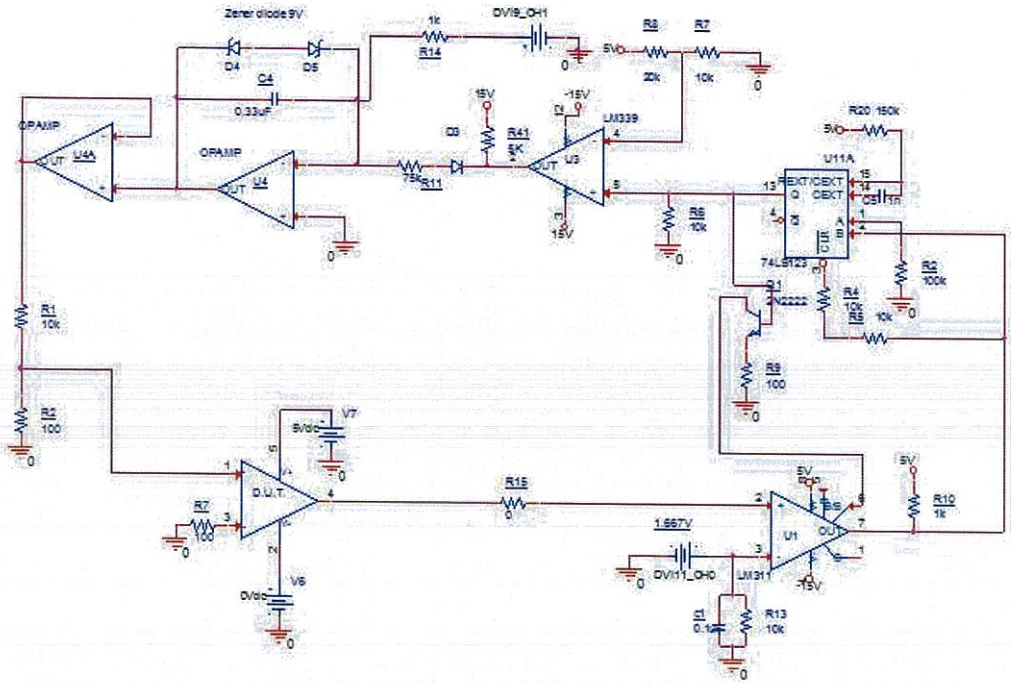
ภาคผนวก



รูปฮาร์ดแวร์CM51ของจริง ด้านหน้า



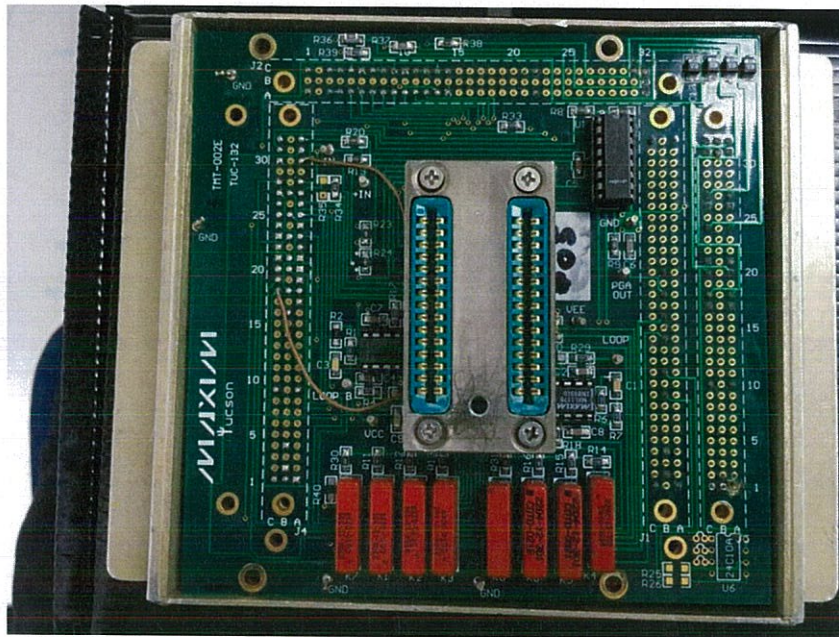
รูปฮาร์ดแวร์CM51ของจริง ด้านหลัง



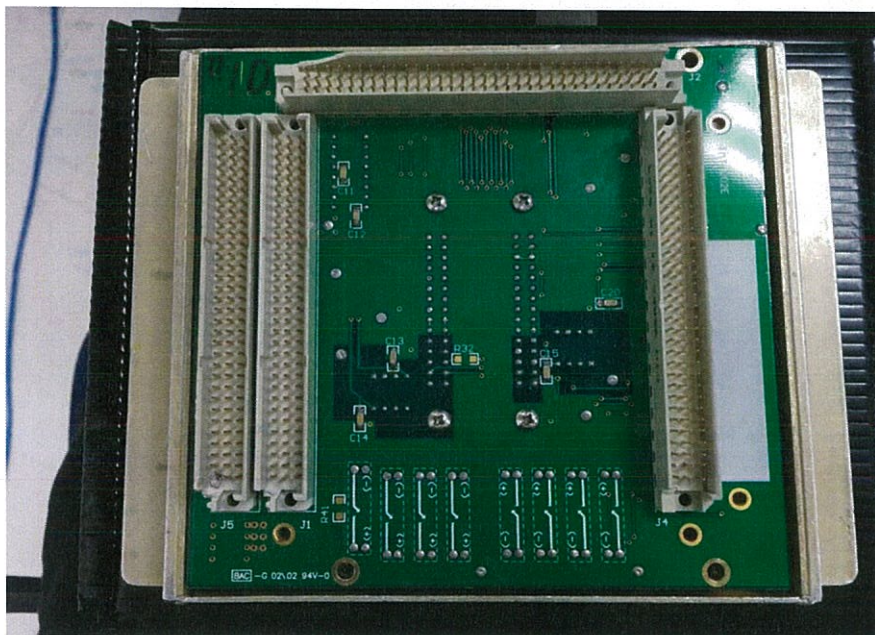
รูปสคีมาเมติกของวงจรบนฮาร์ดแวร์CM51



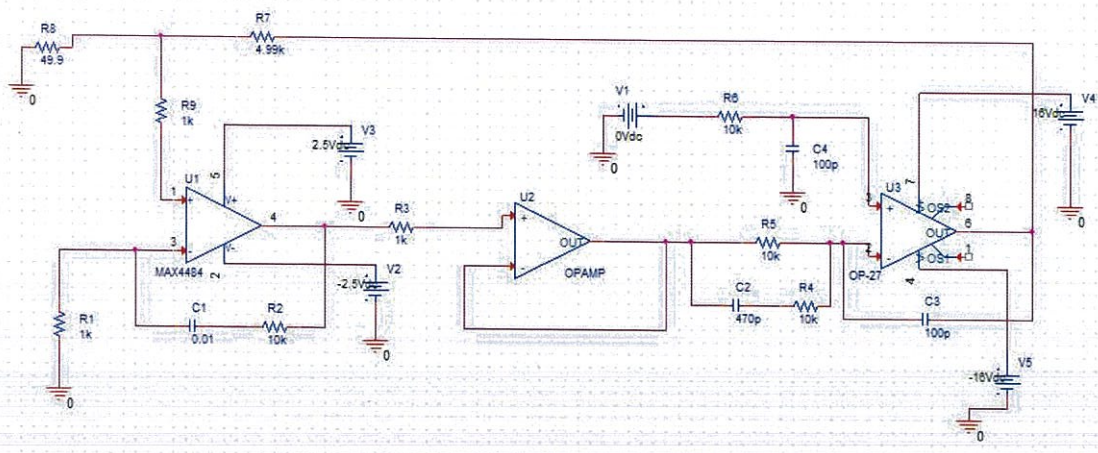
รูปสัญญาณการวัดขอบบนและขอบล่างของวงจรCM51



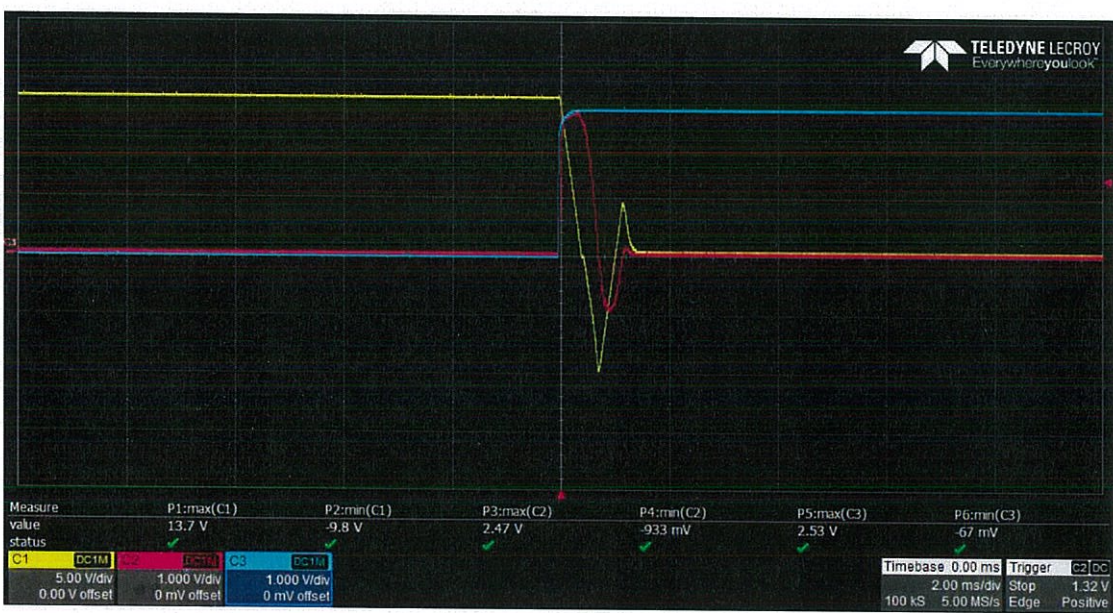
รูปฮาร์ดแวร์OX14ของจริง ด้านหน้า



รูปฮาร์ดแวร์OX14ของจริง ด้านหลัง



สคีมเมตริกวงจรOX14



รูปสัญญาณการทดสอบค่าแรงดันอินพุตออฟเซตของออปแอมป์โดยใช้OX14

MAXIM**Micropower, Ultra-Small, Single/Dual/Quad,
Single-Supply Comparators****General Description**

The MAX9021/MAX9022/MAX9024 single/dual/quad comparators are optimized for low-power consumption while still providing a fast output response. They are designed for single-supply applications from 2.5V to 5.5V, but can also operate from dual supplies. These comparators have a 3 μ s propagation delay and consume 2.8 μ A of supply current per comparator over the -40°C to +125°C operating temperature range. The combination of low-power, single-supply operation down to 2.5V, and ultra-small footprint makes these devices ideal for portable applications.

The MAX9021/MAX9022/MAX9024 have 4mV of built-in hysteresis to provide noise immunity and prevent oscillations even with a slow-moving input signal. The input common-mode range extends from the negative supply to within 1.1V of the positive supply. The design of the comparator-output stage substantially reduces switching current during output transitions, eliminating power-supply glitches.

The MAX9021 single comparator is available in tiny 5-pin SC70 and SOT23 packages. The MAX9022 dual comparator is available in 8-pin SOT23, μ MAX, and SO packages, and the MAX9024 quad comparator is available in 14-pin TSSOP and SO packages.

Applications

Battery-Powered	Digital Line Receivers
Portable Systems	Keyless Entry Systems
Mobile Communications	Threshold Detectors/ Discriminators
Sensor-Signal Detection	
Photodiode Preamps	

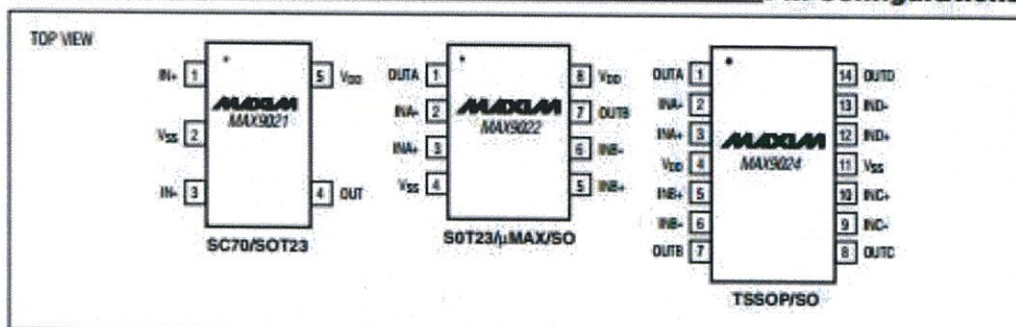
Features

- ◆ Low-Cost Solution Available in Space-Saving SC70 Packages (Half the Size of SOT23)
- ◆ Low 2.8 μ A Supply Current
- ◆ 3 μ s Propagation Delay
- ◆ Internal 4mV Comparator Hysteresis
- ◆ Comparator Output Swings Rail-to-Rail®
- ◆ 2.5 to 5.5V Single-Supply Voltage Range
- ◆ No Phase Reversal for Overdriven Inputs
- ◆ Space-Saving Packages
 - 5-Pin SC70 (MAX9021)
 - 8-Pin SOT23 (MAX9022)
 - 8-Pin μ MAX (MAX9022)
 - 14-Pin TSSOP (MAX9024)

Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX9021AXK-T	-40°C to +125°C	5 SC70-5
MAX9021AUK-T	-40°C to +125°C	5 SOT23-5
MAX9022AKA-T	-40°C to +125°C	8 SOT23-8
MAX9022ALJA	-40°C to +125°C	8 μ MAX
MAX9022ASA	-40°C to +125°C	8 SO
MAX9024AUD	-40°C to +125°C	14 TSSOP
MAX9024ASD	-40°C to +125°C	14 SO

Typical Application Circuit appears at end of data sheet.

Pin Configurations

Rail-to-Rail is a registered trademark of Nippon Motorola, Ltd.

MAXIM

Maxim Integrated Products 1

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim/Dallas Direct! at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at www.maxim-ic.com.

MAX9021/MAX9022/MAX9024

Micropower, Ultra-Small, Single/Dual/Quad, Single-Supply Comparators

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage (VDD to VSS)	-0.3V to +6V	8-Pin μ MAX (derate 4.5mW/°C above +70°C)	362mW
Voltage Inputs (IN+, IN- to VSS)	-0.3V to (VDD + 0.3V)	8-Pin SO (derate 5.88mW/°C above +70°C)	471mW
Differential Input Voltage (IN+ to IN-)	±6.5V	14-Pin TSSOP (derate 9.1mW/°C above +70°C)	727mW
Output Short-Circuit Duration	2s to Either VDD or VSS	14-Pin SO (derate 8.3mW/°C above +70°C)	667mW
Current into Any Pin	20mA	Operating Temperature Range	
Continuous Power Dissipation (TA = +70°C)		Automotive Application	-40°C to +125°C
5-Pin SC70 (derate 3.1mW/°C above +70°C)	247mW	Junction Temperature	+150°C
5-Pin SOT23 (derate 7.1mW/°C above +70°C)	571mW	Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
8-Pin SOT23 (derate 9.1mW/°C above +70°C)	727mW	Lead Temperature (soldering, 10s)	+300°C

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(VDD = 5V, VSS = 0, VCM = 0, TA = -40°C to +125°C, unless otherwise noted. Typical values are at TA = +25°C.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Operating Voltage Range	VDD	Guaranteed by PSRR test	2.5		5.5	V
Supply Current Per Comparator	IDD			2.8	5	μ A
Input Offset Voltage	VOS	(Note 2)		±1	±8	mV
Input Offset Voltage Temperature Coefficient	TCVOS			±1		μ V/°C
Hysteresis		(Note 3)		4		mV
Input Bias Current	IBIAS			3	80	nA
Input Offset Current	IOS			±2	±60	nA
Common-Mode Voltage Range	VCM	Guaranteed by CMRR test	VSS		VDD - 1.1	V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	VSS ≤ VCM ≤ (VDD - 1.1V), VDD = 5.5V	70	100		dB
Power-Supply Rejection Ratio	PSRR	VDD = 2.5V to 5.5V	60	80		dB
Output-Voltage Swing	VOL, VOH	VOH = VDD - VOUT, (VIN+ - VIN-) ≥ 20mV	ISOURCE = 10 μ A		2	mV
			ISOURCE = 4mA	160	400	
		VOL = VOUT - VSS, (VIN+ - VIN-) ≥ 20mV	ISINK = 10 μ A		2	
			ISINK = 4mA	180	400	
Output Short-Circuit Current	ISC			50		mA
Propagation Delay	tpd+/- tpd*	RL = 10k Ω , CL = 15pF (Note 4)	VOD = 10mV		8	μ s
			VOD = 100mV		3	
Rise and Fall Time	tr, tf	RL = 10k Ω , CL = 15pF (Note 5)		20		ns
Power-On Time		RL = 10k Ω , CL = 15pF		150		ns
Maximum Capacitive Load	CL	No sustained oscillations		150		pF

Note 1: All devices are production tested at 25°C. All temperature limits are guaranteed by design.

Note 2: Comparator Input Offset is defined as the center of the hysteresis zone.

Note 3: Hysteresis is defined as the difference of the trip points required to change comparator output states.

Note 4: VOD is the overdrive voltage beyond the offset and hysteresis-determined trip points.

Note 5: Rise and fall times are measured between 10% and 90% at OUT.

MAXIM

17µA Max, Dual/Quad, Single-Supply, Precision Op Amps

MXL1178/MXL1179

General Description

Maxim's MXL1178 and MXL1179 are dual and quad micropower, precision op amps. They feature an extremely low 17µA max per op amp supply current, as well as precision offset specifications: 30µV offset voltage, and 50pA offset current. Both offset parameters have low drift over temperature and time.

The MXL1178 and MXL1179 can operate from a single supply (e.g., one lithium cell or two NiCd cells). The input voltage range includes ground. The output stage swings to within a few millivolts of ground while sinking current, which eliminates pull-down resistors and saves power.

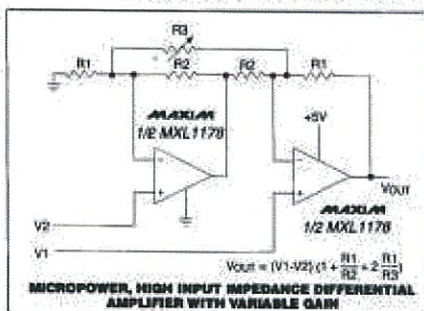
Both devices are optimized for +5V single-supply operation, but specifications for ±15V operation are also provided.

Maxim's MXL1178 and MXL1179 are pin compatible with industry standards such as the LT1178 and LT1179. For applications that require smaller packaging, see the MAX478/MAX479 data sheet. For applications that require lower power, see the MAX406/MAX407/MAX409 1µA op amp data sheet.

Applications

- Battery- or Solar-Powered Systems:
 - Portable Instrumentation
 - Remote Sensor Amplifier
 - Satellite Circuitry
- Micropower Sample-and-Hold
- Thermocouple Amplifier
- Micropower Filters
- Single Lithium Cell-Powered Systems

Typical Operating Circuit



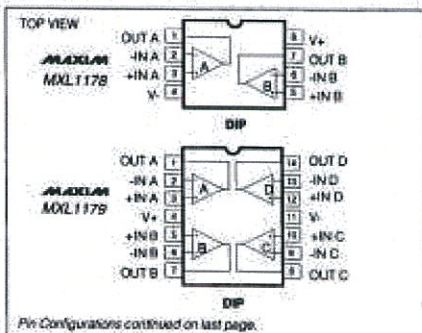
Features

- ◆ 17µA Max Supply Current per Amplifier
- ◆ 70µV Max Offset Voltage
- ◆ 250pA Max Offset Current
- ◆ 5nA Max Input Bias Current
- ◆ 0.9µV_{rms} 0.1Hz to 10Hz Voltage Noise
- ◆ 1.5pA_{rms} 0.1Hz to 10Hz Current Noise
- ◆ 0.5µV/°C Offset-Voltage Drift
- ◆ 85kHz Gain-Bandwidth Product
- ◆ 0.04V/µs Slew Rate
- ◆ Single-Supply Operation:
 - Input Voltage Range Includes Ground
 - Output Swings to Ground while Sinking Current
 - No Pull-Down Resistors Required
- ◆ Output Sources and Sinks 5mA Load Current

Ordering Information

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MXL1178ACN8	0°C to +70°C	8 Plastic DIP
MXL1178CN8	0°C to +70°C	8 Plastic DIP
MXL1178S	0°C to +70°C	16 Wide SO
MXL1178IN8	-40°C to +85°C	8 Plastic DIP
MXL1179ACN	0°C to +70°C	14 Plastic DIP
MXL1179CN	0°C to +70°C	14 Plastic DIP
MXL1179S	0°C to +70°C	16 Wide SO
MXL1179IN	-40°C to +85°C	14 Plastic DIP

Pin Configurations



17µA Max, Dual/Quad, Single-Supply, Precision Op Amps

MXL1178/MXL1179

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage	+22V
Differential Input Voltage	+30V
Input Voltage	Equal to Positive Supply Voltage 5V Below Negative Supply Voltage
Output Short-Circuit Duration	Continuous
Continuous Power Dissipation (T _A = +70°C)	
5-Pin Plastic DIP (derate 9.09mW/°C above +70°C)	727mW
14-Pin Plastic DIP (derate 10.00mW/°C above +70°C)	800mW
16-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C)	762mW

Operating Temperature Ranges:	
MXL117 AC, IC, JS	0°C to +70°C
MXL117 I	-40°C to +85°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temperature (soldering, 10sec)	+300°C

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V_S = 5V, 0V, V_{CM} = 0.1V, V_O = 1.4V, T_A = +25°C, unless otherwise noted.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MXL1178AC MXL1179AC		MXL1178CVS MXL1179CVS		UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	
Input Offset Voltage	V _{OS}	MXL1178	30	70	40	120	µV
		MXL1179	35	100	40	150	
		MXL1178S			80	450	
		MXL1179S			90	600	
Long-Term Input Offset-Voltage Stability	$\frac{\Delta V_{OS}}{\Delta \text{Time}}$		0.5		0.6		µV/Mo
Input Offset Current	I _{OS}		0.06	0.25	0.06	0.35	nA
Input Bias Current	I _B		3	5	3	6	nA
Input Noise Voltage	e _n	0.1Hz to 10Hz (Note 1)	0.9	2.0	0.9		µV _{rms}
		f ₀ = 10Hz (Note 1)	50	75	50		mV/√Hz
Input Noise Voltage Density		f ₀ = 1000Hz (Note 1)	49	65	49		mV/√Hz
		f ₀ = 0.1Hz to 10Hz (Note 1)	1.5	2.5	1.5		pA _{rms}
Input Noise Current	i _n	0.1Hz to 10Hz (Note 1)	0.03	0.07	0.03		pA/√Hz
		f ₀ = 1000Hz	0.01		0.01		
Input Resistance	R _{IN}	Differential mode (Note 1)	0.6	2.0	0.6	2.0	GΩ
		Common mode	12		12		
Input Voltage Range			3.5	3.9	3.5	3.9	V
			0	-0.3	0	-0.3	
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	V _{OS} = 0V to 3.5V	93	103	90	102	dB
Power-Supply Rejection Ratio	PSRR	V _S = 2.2V to 12V	94	104	90	104	dB
Large-Signal Voltage Gain	A _{vOL}	V _O = 0.03V to 4V, no load (Note 1)	140	700	110	700	V/mV
		V _O = 0.03V to 3.5V, R _L = 50kΩ	80	200	70	200	
Maximum Output Voltage Swing	V _{OUT}	Output low, no load	6.5	9.0	6.5	9.0	mV
		Output low, 2kΩ to GND	0.2	0.6	0.2	0.6	
		Output low, I _{OUT} = 100µA	120	160	120	160	V
		Output high, no load	4.2	4.4	4.2	4.4	
		Output high, 2kΩ to GND	3.5	3.8	3.5	3.8	
Slew Rate	SR	A _L = +1, C _L = 10pF (Note 1)	0.013	0.025	0.013	0.025	V/µs
Gain-Bandwidth Product	GBW	f ₀ ≤ 5kHz	60		60		kHz
Supply Current per Amplifier	I _S	V _S = 5V, 0V, V _O = 1.4V	13	16	14	21	µA
		V _S = ±1.5V, V _O = 0V	12	17	13	20	
Channel Separation		ΔV _{OS} = 3V, R _L = 10kΩ	130		130		dB
Minimum Supply Voltage	V _S	(Note 2)	2.0	2.2	2.0	2.2	V