

หัววัดรอยร้าวของเหล็กแผ่น
THE IRON SHEETS CRACK DETECTOR



ฐิตินันท์ โลจันรัศมีกุล

TITINAN LODRASSAMEEKUL

ธณพงศ์ หาจักร์

TANAPONG HACHACK

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

หัววัดรอยร้าวของเหล็กแผ่น

THE IRON SHEETS CRACK DETECTOR

ฐิตินันท์ โลจนร์ศรีมุกุล

ธณพงศ์ หาจักร์



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ชนิษฐา แซ่ตั้ง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง หัววัดรอยร้าวของเหล็กแผ่น

THE IRON SHEETS CRACK DETECTOR

ผู้จัดทำ

นางสาวฐิตินันท์ โลจน์รัศมีกุล รหัสประจำตัว 56010337

นายธณพงศ์ หาจักร รหัสประจำตัว 56010493



(รศ. ชนิษฐา แซ่ตั้ง)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	หัววัดรอยร้าวของแผ่นเหล็ก
นักศึกษา	นางสาวฐิตินันท์ โลจนรัศมีกุล รหัสประจำตัว 56010337
	นาย ธณพงศ์ หาจักร รหัสประจำตัว 56010493
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	รศ.ชนิษฐา แซ่ตั้ง

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการออกแบบหัววัดรอยร้าวของเหล็กแผ่น โดยใช้ตรวจสอบแบบไม่ทำลาย ใช้วิธีการวัดการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก ซึ่งใช้อุปกรณ์ตรวจจับแบบฮอลล์ในการตรวจสอบรอยร้าวของโลหะโดยการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก แล้วเกิดเป็นผลลัพธ์ค่าแรงดันที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามสนามแม่เหล็ก และใช้วงจรขยายอินพุตที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณผลต่างของสัญญาณอินพุตของวงจร โดยรับสัญญาณอินพุตจากตัวตรวจจับแบบฮอลล์เพื่อทำการปรับปรุงสมรรถนะของสัญญาณให้ดีขึ้น เพื่อนำมาสร้างหัววัดของโลหะได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดแล้วนำไปประมวลผลโดย Arduino นำมาแสดงผลในรูปแบบสำหรับกระบวนการในขั้นต่อไป

Thesis Title	The Iron Sheets Crack Detector		
Student	Ms. Titinan	Lodrassameekul	Student ID 56010337
	Mr. Tanapong	Hachack	Student ID 56010493
Degree	Bachelor of Engineering		
Program	Electronics Engineering		
Year	2016		
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Khanittha Saetang		

ABSTRACT

This project aims to design the iron sheets crack probe by use of non-destructive inspection. The leak of the iron sheets measure by changing in the magnetic field and use of Hall effects sensor to check it. Then, the sensing voltage is changed by a magnetic field. It also has an instrumental amplifier serves the differential amplifier's input circuit by getting input from the hall to improve the performance of the better signal. The cracks in the iron sheets and check the effect of different voltage, indicating a crack occurs. The signal has effectively been processed by the Arduino to show results in the form later process.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้ สามารถลุล่วงไปด้วยดี เนื่องด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์อย่างสูงจากท่าน รศ.ชนิษฐา แซ่ตั้ง ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้คุมปริญญานิพนธ์ นอกจากนี้ที่ท่านจะให้ความรู้ทางด้านวิชาการแล้ว ท่านยังให้แนวคิดด้านการดำเนินชีวิตมากมาย ทางคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ที่ดียิ่งจากท่าน และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ครูอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา ทางคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและภาคภูมิใจ และจะนำความรู้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อประเทศชาติให้มากที่สุด

และสิ่งสำคัญที่จะลืมมิได้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดาและมารดา อันเป็นที่รักและเคารพยิ่งของลูก ที่ให้ทุกสิ่งทุกอย่าง พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เงินทุนสนับสนุน พร้อมทั้งเอาใจใส่ที่ตีเสมอมาในทุกๆด้าน อันหาเปรียบมิได้ ลูกขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสที่นี้ด้วย

คุณค่า และประโยชน์อันพึงมีจากโครงการนี้ทางคณะผู้จัดทำ ขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้

คณะผู้จัดทำ

นางสาวฐิตินันท์ โสจนร์ศรีมิกุล


นายธณพงษ์ หาจักร์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีหลักการพื้นฐาน	2
2.1 หลักการของปรากฏการณ์ฮอลล์	2
2.2 การตรวจวัดสนามแม่เหล็กฮอลล์	9
2.3 ชนิดของตัวตรวจจับฮอลล์	11
2.3.1 ฮอลล์ชนิดสวิตช์ (Switch Hall Device)	11
2.3.2 ฮอลล์ชนิดแลตช์ (Latching Hall Device)	11
2.3.3 ฮอลล์ชนิดเชิงเส้น (Linear Hall Device)	12
2.4 พื้นฐานการตรวจสอบหาตำแหน่งของผิวงานด้วยสนามแม่เหล็ก	13
2.5 ความเป็นแม่เหล็กของวัสดุที่นำมาทดสอบ	14
2.6 วงจรขยายอินสทรูเมนต์ (Instrumentation Amplifiers, IAs)	15

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ 3 การออกแบบ	17
3.1 ฮอล์เอฟเฟคเซนเซอร์	18
3.2 วงจรขยายและเปรียบเทียบแรงดัน	18
3.3 ส่วนควบคุมการเคลื่อนที่	20
3.4 ส่วนจ่ายพลังงาน	22
บทที่ 4 ผลการทดลอง	24
4.1 การทดลองหารอยบกพร่องของโลหะ	24
4.2 การทดลองหารอยบกพร่องของโลหะเมื่อมีความกว้างของรอยร้าวที่ต่างกัน	25
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	27
เอกสารอ้างอิง	28



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
รูปที่ 2.1	การเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น	2
รูปที่ 2.2	การเบี่ยงเบนของอิเล็กตรอนและโฮลในฮอลล์เพลทซึ่งเป็นผลจากสนามแม่เหล็กในทิศทาง Z	4
รูปที่ 2.3	สัมประสิทธิ์ฮอลล์ของสารกึ่งตัวนำอินทรีนซิค	6
รูปที่ 2.4	การวัดความเข้มของสนามแม่เหล็ก	9
รูปที่ 2.5	การวัดความต่างศักย์ฮอลล์ V_H	9
รูปที่ 2.6	เป็นกราฟแสดงผลการตอบสนองของฮอลล์ชนิดเชิงเส้น	12
รูปที่ 2.7	แสดงลักษณะของรอยตำหนิ	13
รูปที่ 2.8	แสดงกราฟบอกคุณสมบัติวัสดุแม่เหล็ก	14
รูปที่ 2.9	แสดงกราฟบอกคุณสมบัติเปรียบเทียบวัสดุแม่เหล็กแบบอ่อนและแบบแข็ง	14
รูปที่ 2.10	วงจรรขยายสัญญาณอินสตุรเมนต์	15
รูปที่ 3.1	แผนผังการทำงานของเครื่องตรวจสอบรอยร้าวของโลหะ	16
รูปที่ 3.2	ฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ และ วิธีการตรวจจับ	17
รูปที่ 3.3	วงจรรขยายผลต่าง และวงจรเปรียบเทียบแรงดัน	18
รูปที่ 3.4	แสดงการเชื่อมต่อคอนโทรลเลอร์กับส่วนต่างๆ	19
รูปที่ 3.5	แผนผังแสดงการทำงานของเครื่องตรวจสอบรอยร้าวของโลหะ	20
รูปที่ 3.6	วงจรรจ่ายแรงดันคงที่บวกลบ 5 โวลต์	21
รูปที่ 3.7	วงจรรวมทั้งหมด	22
รูปที่ 4.1	แสดงการทำงานของชุดหัววัด	25

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบแรงดันของฮอลเอฟเฟคเซนเซอร์ระหว่างตรวจพบ และไม่พบรอยบกพร่อง	23
ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบแรงดันของฮอลเอฟเฟคเซนเซอร์ระหว่างตรวจพบ และไม่พบรอยบกพร่องเมื่อมีความกว้างของรอยร้าวที่ต่างกัน	24



บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีได้ก้าวหน้าไปอย่างต่อเนื่อง ในโรงงานอุตสาหกรรมก็มีการขยายผลผลิตเพิ่มขึ้น ซึ่งในกระบวนการผลิตมีการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อหาคุณภาพและมาตรฐานของผลิตภัณฑ์รวมถึงขั้นตอนการผลิต ขั้นตอนที่น่าิยมใช้ในโรงงานวิธีหนึ่งคือ การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย การตรวจสอบแบบไม่ทำลายมีข้อดีก็คือ ไม่ทำให้วัตถุที่นำมาทดสอบเสียหาย วิธีนี้จึงเหมาะสมที่จะใช้ในการตรวจสอบ และซ่อมบำรุงอีกด้วย

การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย เป็นที่รู้จักในภาษาอังกฤษว่า Non-destructive Testing or Inspection or Evaluation หรือ NDT, NDI, NDE โดยเป็นกรรมวิธีที่ใช้ตรวจหารอยบกพร่อง ความไม่สมบูรณ์หรือความผิดปกติใด ๆ ที่มีอยู่ในชิ้นงาน เช่น การแยกชั้น (Lamination) รอยแตก โพรงอากาศ ฟองอากาศ ฯลฯ โดยไม่ทำให้เกิดการความเสียหาย หรือทำลายชิ้นงาน หลักการในการตรวจสอบของวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายนั้นอาศัยหลักการและปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ เช่น รังสีแกมมาหรือรังสีเอกซ์ คลื่นเสียงความถี่สูง การสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก หลักการแทรกซึมของของเหลวในช่องแคบ (Capillary action) เป็นต้น โดยผลที่ได้จะเป็นการสังเกตการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของปรากฏการณ์ต่างๆที่เป็นไปตามความผิดปกติของรอยบกพร่องหรือความไม่สมบูรณ์ของชิ้นงานที่ทำการทดสอบ โดยลักษณะของรอยบกพร่องหรือความไม่สมบูรณ์สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ รอยบกพร่องหรือความไม่สมบูรณ์ที่เกิดบริเวณผิว และรอยบกพร่องหรือความไม่สมบูรณ์ที่เกิดภายในชิ้นงาน

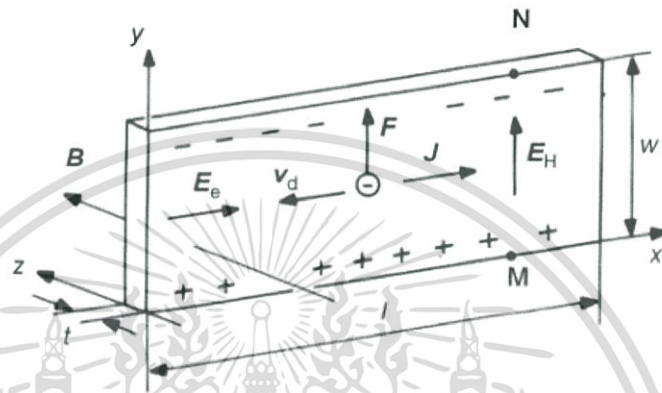
วิธีการตรวจสอบโดยใช้วิธีการวัดการเปลี่ยนแปลงของแม่เหล็ก เป็นวิธีการที่ใช้กับวัตถุที่ต้องการตรวจสอบมีสภาพเป็นแม่เหล็ก ดังนั้นการตรวจสอบนี้จึงได้นำอุปกรณ์ฮอลล์มาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบรอยร้าวของโลหะ เมื่อวัตถุโลหะที่ต้องนำมาตรวจสอบมีรอยร้าวเกิดขึ้น จะทำให้สนามแม่เหล็กเปลี่ยนไปจากเดิม อุปกรณ์ฮอลล์สามารถตรวจจับได้ผลเป็นแรงดัน ค่าแรงดันที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามสนามแม่เหล็กนี้เอง เราสามารถไปประมวลผลโดย Arduino เพื่อแสดงผลในรูปแบบที่เราต้องการ

บทที่ 2

อุปกรณ์และทฤษฎีที่ใช้ในโครงการ

หลักการตรวจสอบรอยร้าวของโลหะนี้ ใช้อุปกรณ์และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องหลายอย่าง ดังนี้

2.1 ตัวตรวจจับสนามแม่เหล็ก โดยใช้ตัวตรวจจับแบบใช้หลักการของปรากฏการณ์ฮอลล์



รูปที่ 2.1 การเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

การเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์สามารถอธิบายได้โดยใช้รูปที่ 2.1 ซึ่งแสดงอุปกรณ์ฮอลล์เพลทในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นที่มีความกว้าง w ยาว l และหนา t เมื่อฮอลล์เพลทได้รับสนามไฟฟ้า E ในทิศทาง $+x$ จะทำให้เกิดมีแรงกระทำกับประจุพาหะ วัสดุเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นพาหะส่วนมากคืออิเล็กตรอนซึ่งมีประจุไฟฟ้าลบ อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่แบบดริฟท์ ด้วยความเร็วค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่า “ความเร็วดริฟท์” (Drift velocity: V) โดยมีทิศทางตรงข้ามกับสนามไฟฟ้าคือทิศลบ x และการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุไฟฟ้าเป็นลบจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า I_d ไหลในทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน หรือก็คือมีกระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางเดียวกันกับทิศของสนามไฟฟ้า เมื่อให้สนามแม่เหล็ก B ในทิศทาง $+z$ และตั้งฉากกับทิศทางของกระแส I พบว่าจะมีแรงกระทำต่อพาหะเกิดขึ้น ซึ่งแรงที่กระทำต่อพาหะนี้ เรียกว่า “แรงลอเรนซ์ (Lorentz Force: F_x)” ทำให้อิเล็กตรอนเกิดการเบี่ยงเบนไปด้านข้างของแผ่นฮอลล์เพลทในทางทิศ $+y$ ส่วนทางด้านข้างของแผ่นฮอลล์เพลทในทิศทาง $-y$ จะเกิดประจุไฟฟ้าชนิดตรงกันข้ามอีกชนิดหนึ่งซึ่งก็คือ โฮล (hole) สิ่งนี้ จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นซึ่งเรียกว่า สนามไฟฟ้าฮอลล์ E มี ทิศทาง $+y$ สนามไฟฟ้าฮอลล์จะทำให้เกิดแรงไฟฟ้ากระทำกับอิเล็กตรอนทำให้อิเล็กตรอนถูกผลักไปทางทิศ $-y$ เมื่อแรงลอเรนซ์สมดุลกับแรงจาก

สนามไฟฟ้าฮอลล์ จะทำให้ อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ ในทิศทาง +x เช่นเดิมโดยไม่มีแรงเบี่ยงเบนการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอีก เมื่อทำการวัดแรงดันทางด้านข้างของแผ่นฮอลล์เพลทในทิศ y จะพบแรงดันฮอลล์ (V_H) ขึ้น ซึ่งแรงดันฮอลล์ หาได้จากสมการที่ 2.1

$$V_H = R_H I_x B_z / t \quad (2.1)$$

R_H คือสัมประสิทธิ์ฮอลล์ (Hall constant) จากสมการที่ 2.1 จะเห็นว่าแรงดันฮอลล์จะแปรผกผันกับความหนาของแผ่นฮอลล์เพลท จากที่กล่าวก่อนหน้านี้อิเล็กตรอนซึ่งมีประจุเป็นลบจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วดริฟต์เฉลี่ยผ่านทางฮอลล์เพลทเมื่อได้รับสนามแม่เหล็กจะทำให้อิเล็กตรอนเกิดการเบี่ยงเบนเนื่องจากแรงลอเรนซ์ (F_L) ซึ่งแรงลอเรนซ์หาได้จากสมการที่ 2.2

$$\vec{F}_L = -q(\vec{v}_x \times \vec{B}_z) \quad (2.2)$$

\vec{v}_x คือ ความเร็วดริฟต์เฉลี่ยของประจุพาหะในทิศทาง x อิเล็กตรอนจะถูกเบี่ยงเบนด้วยแรงลอเรนซ์ในทิศทาง +y ไปทางด้านข้างของแผ่นฮอลล์เพลท ส่วนทิศทาง -y ก็เกิดพาหะประจุอีกชนิดหนึ่งซึ่งก็คือโฮล สิ่งนี้จะสร้างสนามไฟฟ้าฮอลล์ขึ้น เมื่อสนามไฟฟ้าฮอลล์สมดุลกับแรงลอเรนซ์จะทำให้พาหะเคลื่อนที่ ในทิศทางเดิมโดยไม่มีแรงเบี่ยงเบนอีกสนามไฟฟ้าฮอลล์ในขณะนี้หาได้จากสมการที่ 2.3

$$E_H = v_x B_z \quad (2.3)$$

ความหนาแน่นกระแส J_x คือ $J_x = nq v_x$ (2.4)

n คือ ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน q คือ ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน = -1.6×10^{-19} คุลมบ์ ดังนั้น จากสมการที่ 2.3 และ 2.4 สนามไฟฟ้าฮอลล์ E_H จะแสดงตามสมการที่ 2.5

$$E_H = -J_x B_z / nq \quad (2.5)$$

คูณทั้งสองข้างด้วยความกว้าง w ก็จะได้

$$E_H w = -J_x w t B_z / nq t \quad (2.6)$$

ดังนั้นแรงดันฮอลล์จะได้ $V_H = -I_x B_z / nq t$ (2.7)

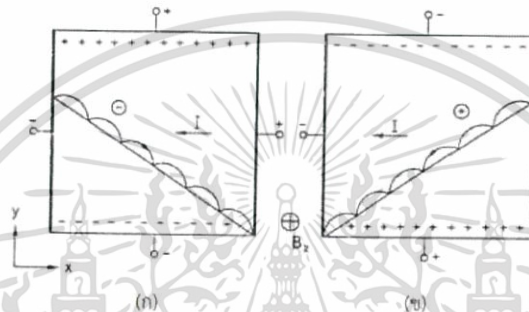
เมื่อเปรียบเทียบสมการที่ 2.7 กับสมการที่ 2.1 จะได้สัมประสิทธิ์ฮอลล์ (R_H) ของอิเล็กตรอนตามสมการที่ 2.8

$$R_H(\text{electrons}) = -1/nq \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 2.8 จะเห็นว่าสัมประสิทธิ์ฮอลล์ (R_H) จะแปรผกผันกับความเข้มข้นอะตอมสารเจือ (Doping concentration) สิ่งนี้ จึงอธิบายความจริงที่ว่าปรากฏการณ์ฮอลล์ ในสารกึ่งตัวนำจะมีมากกว่าในโลหะ อิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type semiconductor) ถูกเบี่ยงเบนด้วยผลของสนามแม่เหล็กแสดงในรูปที่ 2.2(ก) นำไปสู่แรงดันฮอลล์ที่มีค่าเป็นลบ โหล์ก็เป็นพาหะนำไฟฟ้าอีกชนิดหนึ่งในสารกึ่งตัวนำ

แรงลอเรนซ์ F_L ของประจุพาหะที่เป็นบวกเช่นโหล์จะตรงข้ามกับประจุพาหะที่เป็นลบ ซึ่งส่วนของโหล์จะแสดงอยู่ในรูปที่ 2.2(ข) แรงดันฮอลล์ ในสารกึ่งตัวนำชนิดพี (p-type semiconductor) มีค่าเป็นบวก



รูปที่ 2.2 การเบี่ยงเบนของอิเล็กตรอนและโหล์ในฮอลล์เพลทซึ่งเป็นผลจากสนามแม่เหล็กในทิศทาง Z

จากรูปที่ 2.2 พาหะทั้งอิเล็กตรอนหรือโหล์เมื่อเคลื่อนที่ด้วยผลของสนามแม่เหล็กจะเกิดการชนกับแลตทิซ (lattice) หรืออะตอมสารเจือแต่ละการชนความเร็วของพาหะจะลดลงเป็นศูนย์และจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วอีกครั้งด้วยผลของสนามไฟฟ้าในทิศทาง x และแรงลอเรนซ์ F_L ในทิศทาง y สำหรับสัมประสิทธิ์ฮอลล์ในสารกึ่งตัวนำชนิดพีจะมีค่าเป็นบวกตามสมการที่ 2.9

$$R_H(\text{holes}) = +1/pq \quad (2.9)$$

การได้มาถึงสัมประสิทธิ์ฮอลล์ ในสารกึ่งตัวนำที่เติมด้วยอะตอมสารเจือชนิดพีและชนิดเอ็นอย่างเข้มข้นสามารถหาได้จากที่ กล่าวมา แต่สำหรับสารกึ่งตัวนำที่เป็นสารชนิดอินทรินซิกเมื่อได้รับสนามแม่เหล็กพาหะประจุ ทั้งสองชนิดจะเบี่ยงเบนไปทางด้านข้างของแผ่นฮอลล์เพลท เมื่อสนามไฟฟ้าฮอลล์สมดุลกับแรงลอเรนซ์จะทำให้กระแสไหลในทิศทางเดิมโดยไม่มีการเบี่ยงเบนอีก ซึ่งสนามไฟฟ้าฮอลล์ในทิศทาง y แสดงตามสมการที่ 2.10

$$E_H = E_y = v_x B_z \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีสนามไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว drift (Drift velocity)

$$v_x = -\mu_n E_x \quad (2.11)$$

μ_n คือความคล่องตัวของอิเล็กตรอนซึ่งมีค่าเป็นบวก
สำหรับความหนาแน่นกระแสในทิศทาง y จะได้ที่

$$J_{ny} = qn\mu_n E_y \quad (2.12)$$

จากสมการที่ 2.10 – 2.11 เราจะพบว่า $J_{ny} = -qn\mu_n^2 B_z E_x$ (2.13)

สำหรับโฮลจะได้ $J_{ny} = -qn\mu_n^2 B_z E_x$ (2.14)

สำหรับความหนาแน่นกระแสทั้งหมดในทิศทาง y แสดงในที่ 2.15

$$J_y = q(n\mu_n + p\mu_p)E_y \quad (2.15)$$

จากสมการที่ 2.15 จะเท่ากับผลบวกของสมการที่ 2.13 กับ 2.14

$$q(n\mu_n + p\mu_p)E_y = -q(n\mu_n^2 - p\mu_p^2)B_z E_x \quad (2.16)$$

ดังนั้นสนามไฟฟ้า E_y จะแสดงตามสมการที่ 2.17

$$E_y = (p\mu_p^2 - n\mu_n^2)B_z E_x / (p\mu_p + n\mu_n) \quad (2.17)$$

จากสนามไฟฟ้าฮอลล์ $E_y = R_H J_x B_z$ (2.18)

และความหนาแน่นกระแส $J_x = q(n\mu_n + p\mu_p)E_x$ (2.19)

จากสมการที่ 2.17, 2.18 และ 2.19 สัมประสิทธิ์ฮอลล์สำหรับสารกึ่งตัวนำอินทรีนซิกแสดงตามสมการที่ 2.20

$$R_H = (p\mu_p^2 - n\mu_n^2) / q(p\mu_p + n\mu_n)^2 \quad (2.20)$$

สำหรับวัสดุชนิดเอ็น ($n \gg p$) สัมประสิทธิ์ฮอลล์ $R_H = -1/nq$ (2.21)

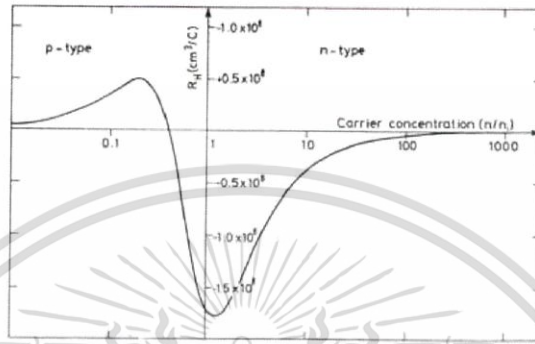
สำหรับวัสดุชนิดพี ($p \gg n$) สัมประสิทธิ์ฮอลล์ $R_H = 1/pq$ (2.22)

จะเห็นว่าในสมการที่ 2.21 และ 2.22 สัมประสิทธิ์ฮอลล์ที่ได้จะคล้ายกับกรณี ในสารกึ่งตัวนำที่เติมด้วยอะตอมสารเจือชนิดพีและชนิดเอ็นอย่างเข้มข้นตามสมการที่ 2.8 และ 2.9 ตามลำดับ สัมประสิทธิ์ฮอลล์สำหรับสารกึ่งตัวนำอินทรีนซิกแสดงดังสมการที่ 2.23

$$R_H = (\mu_p - \mu_n) / n_i q (\mu_p + \mu_n) \quad (2.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ฮอลล์กับความเข้มข้นอะตอมสารเจือ (Doping concentration) ในสารกึ่งตัวนำซิลิคอนชนิดอินทรีนซิก (n_i) ซึ่งเปลี่ยนแปลงจากสารกึ่งตัวนำชนิดพีเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น จากรูปเราจะพบค่าสัมประสิทธิ์ฮอลล์ เป็นศูนย์ที่บริเวณสารกึ่งตัวนำชนิดพี เนื่องจากโมบิลิตี (mobility) ที่แตกต่างกันของอิเล็กตรอนกับโฮล และจากรูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นว่าในที่มีความเข้มข้นอะตอมสารเจือน้อยจะทำให้สัมประสิทธิ์ฮอลล์ที่มีค่าสูงขึ้นได้



รูปที่ 2.3 สัมประสิทธิ์ฮอลล์ของสารกึ่งตัวนำอินทรีนซิก

ปรากฏการณ์ฮอลล์ยังเป็นวิธีที่นิยมนำมาวัดค่าความหนาแน่นของพาหะ, ชนิดของพาหะและสภาพคล่องของพาหะได้อีกด้วย

จากสมการ
$$J_x = pq \quad v_x \text{ หรือ } v_x = \frac{J_x}{pq} \quad (2.24)$$

และสนามไฟฟ้าฮอลล์
$$E_H = E_y = J_x B_z / pq \quad (2.25)$$

ดังนั้น
$$\frac{E_y}{J_x B_z} = \frac{1}{pq} = R_H \quad (2.26)$$

จากรูป 2.1 เมื่อทำการวัดแรงดันฮอลล์ระหว่างขอบด้านข้างของแผ่นฮอลล์เพลทในทิศทาง y ซึ่งมีระยะความกว้างเท่ากับ w จะได้

$$V_y = V_H = E_y w \text{ หรือ } E_y = \frac{V_H}{w} \quad (2.27)$$

โดย V_H คือแรงดันฮอลล์ ซึ่งเป็นแรงดันที่ตกคร่อมระหว่างด้านข้างของแท่งสารกึ่งตัวนำ โดยการแทนค่าสมการกระแส $J_x = \frac{1}{w \cdot t}$ และ $E_y = \frac{V_H}{w}$ ลงในสมการที่ 2.26 จะได้ว่า

$$R_H = \frac{V_H}{w I B_z} \cdot w \cdot t \text{ หรือ } R_H = \frac{V_H \cdot t}{I B_z} = \frac{1}{pq} \quad (2.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 2.28 ความหนาแน่นของโฮลคือ

$$p = p_0 = \frac{1}{qR_H} = \frac{I_X B_z}{q \cdot t \cdot V_H} \quad (2.29)$$

และสภาพต้านทานไฟฟ้าคือ

$$\rho = R \frac{w \cdot t}{l} = \frac{V}{I_X} \frac{wt}{l} \quad (2.30)$$

โดย R คือค่าความต้านทานไฟฟ้าของแท่งสาร (โอห์ม)

และจากสมการ $\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{pq\mu_p}$ ดังนั้นจะได้ว่า

$$\mu_p = \frac{1}{\rho \cdot p \cdot q} = \frac{1}{\rho} \cdot R_H \quad (2.31)$$

จากสมการ 2.29, 2.30 และ 2.31 จะเห็นว่า การทดลองปรากฏการณ์ของฮอลล์ ทำให้เราสามารถวัดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของแท่งสารกึ่งตัวนำได้ คือความหนาแน่นของพาหะ, สภาพต้านทานไฟฟ้า และสภาพคล่องของพาหะได้เป็นอย่างดี

นอกจากนี้ แล้วจากสมการ 2.31 โดยการวัดค่าสัมประสิทธิ์ฮอลล์ (R_H) และสภาพต้านทาน (ρ) ที่อุณหภูมิค่าต่างๆ จะทำให้เรารู้ $R_H = -1/nq$ ค่าสภาพคล่อง (μ_p) และค่าความหนาแน่นของพาหะที่อุณหภูมิต่างๆ ได้ ซึ่งข้อมูลนี้มีประโยชน์มากในการวิเคราะห์คุณสมบัติอื่นๆ ของสารกึ่งตัวนำ ในทำนองเดียวกัน ในกรณีที่สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ค่าแรงดันฮอลล์ (R_H) จะมีค่าตรงข้ามกับกรณีของสารกึ่งตัวนำชนิดพี คือมีค่า เป็นลบ(-) คือ โดยเฉพาะแรงดันฮอลล์ (V_H) จะมีค่าตรงข้ามกับกรณีของสารชนิดพี คือมีค่าเป็นลบด้วย ดังนั้น การวัดแรงดันของฮอลล์ทำให้เราสามารถบ่งชี้ชนิดของสารกึ่งตัวนำว่าเป็นชนิดเอ็นหรือพีได้อีกด้วย ขณะที่ค่าความไวในการตอบสนอง (Sensitivity: S) คือ เป็นอัตราส่วนระหว่างแรงดันฮอลล์ต่อหนึ่งหน่วยกระแสและสนามแม่เหล็ก ซึ่งสามารถหาได้ดังสมการต่อไปนี้

$$S = \frac{V_H}{I \cdot B} = \frac{R_H \cdot G}{t} = \frac{G}{n \cdot q \cdot t} \quad (2.32)$$

โดยที่ G คือ พารามิเตอร์โครงสร้าง (geometry factor) ซึ่งหาได้จากสมการที่ 2.33

$$G = \frac{V_H \cdot t}{R_H I_X B_z} \quad (2.33)$$

จากสมการที่ 2.32 จะเห็นได้ว่า ค่าความไวในการตอบสนองจะมีค่าสูงเมื่อฮอลล์เพลทมี ความหนาแน่นของพาหะที่ต่ำ ยิ่งไปกว่านั้นเมื่อพิจารณาสนามไฟฟ้าสุทธิในแท่งสารกึ่งตัวนำซึ่งเป็นผลของการรวมเวกเตอร์ของ E_H และ E_x ซึ่งไม่ได้มีทิศทางตรงไปตามแกน +x เนื่องจากแรงลอเรนซ์ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของพาหะซึ่งทำมุม θ_H กับแกน +x ซึ่งมุม θ ที่เกิดขึ้นเรียกว่า “มุมฮอลล์” (Hall angle)

โดย $\tan \theta_H = \frac{E_H}{E_x} \quad (2.34)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการแทนค่า $E_H = \frac{J_x \cdot B_z}{p \cdot q}$ และ $J_x = \sigma \cdot E_x$ ลงในสมการที่ 2.34 จะได้ว่า

$$\tan \theta_H = \frac{J_x B_z}{p \cdot q} \cdot \frac{\sigma}{J_x} = \frac{\sigma \cdot B_z}{p \cdot q}$$

หรือ
$$\tan \theta_H = \frac{\sigma \cdot B_z}{p \cdot q} = p \cdot q \cdot \mu_p \frac{B_z}{p \cdot q} = \mu_p B_z \quad (2.34)$$

ดังนั้นจะได้
$$\frac{\sigma}{p \cdot q} = \mu_p \quad (2.35)$$

หรือ
$$\mu_p = \sigma \cdot R_H \quad (2.36)$$

ในการวิเคราะห์ที่กล่าวมาแล้วนี้ ไม่ได้พิจารณาผลของการชนกันของพาหะกับแลตทิซ ดังนั้น ค่าที่ได้จึงไม่ถูกต้องนักค่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์ในกรณีนี้ พิจารณาการชนกันของพาหะกับแลตทิซ R_{Hi} สามารถแสดงสมการความสัมพันธ์ได้โดย

$$R_{Hi} = \frac{3\pi}{8} R_H = 1.18 R_H \quad (2.37)$$

และ
$$\tan \theta = \frac{3\pi}{8} \mu_p \cdot B_z \text{ หรือ } \mu_H = \frac{\tan \theta}{B_z} = \frac{3\pi}{8} \mu_p$$

และจะได้ว่า

$$\mu_{Hi} = \mu_H = 1.18 \mu_p \quad (2.38)$$

μ_H คือ ค่าสภาพความคล่องตัวของฮอลล์ (Hall mobility)

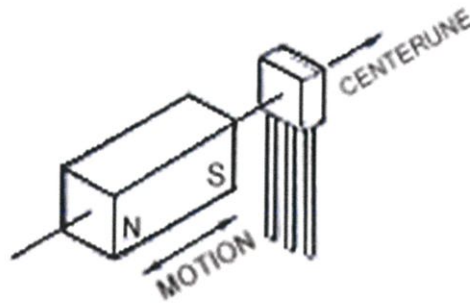
และเมื่อ μ_{Hi} คือ ค่าสภาพความคล่องตัวของฮอลล์ในกรณีพิจารณาการชนกันของพาหะกับแลตทิซในกรณีที่พิจารณาการชนกันของพาหะกับอะตอมสารเจือ (ionized impurity scattering) สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ฮอลล์ในกรณีพิจารณาการชนกันกับของพาหะกับอะตอมสารเจือ R_{Hi} แสดงได้ดังสมการที่ (2.39)

$$R_{Hi} = \frac{315\pi}{512} R_H = 1.93 R_H \quad (2.39)$$

$$\mu_{Hi} = \frac{315\pi}{512} \mu_p = 1.93 \mu_p \quad (2.40)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การวัดความเข้มของสนามแม่เหล็ก



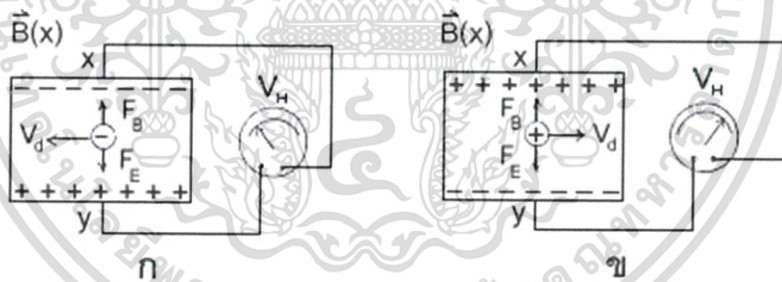
รูปที่ 2.4 การวัดความเข้มของสนามแม่เหล็ก

สนามไฟฟ้าที่เกิดในแผ่นตัวนำบางมีความสัมพันธ์กับความต่างศักย์หรือโวลเตจ V ดังนี้

$$E_H = \frac{V}{d}$$

ความต่างศักย์หรือโวลเตจที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ความต่างศักย์ฮอลล์ (hall potential difference หรือ hall voltage) V_H พบว่า ความต่างศักย์ฮอลล์มีค่ามากที่สุด เมื่อแผ่นตัวนำบางทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน และเจอร์เมเนียม ส่วนตัวนำไฟฟ้าที่ดี ความต่างศักย์ฮอลล์จะมีค่าน้อยกว่ามาก

$$V_H = E_H d$$



รูป 2.5 การวัดความต่างศักย์ฮอลล์ V_H

เราสามารถวัด V_H โดยต่อ มิลลิโวลต์มิเตอร์เข้ากับจุด x และจุด y สภาพชี้ของ V_H ทราบได้จากเครื่องหมายที่อ่านได้จาก มิลลิโวลต์มิเตอร์ พาหะประจุคืออิเล็กตรอนจึงมีประจุลบ ถ้าพาหะประจุมีประจุบวก ทิศของ V_d และ E_H จะตรงข้าม แต่ทิศของ F_B และ E_E ยังคงเดิม ทำให้ประจุบวกถูกผลักไปที่ขอบด้านขวา ส่วนประจุลบถูกผลักไปที่ขอบด้านซ้าย และสภาพชี้ของ V_H จะตรงข้ามกับกรณีที่พาหะประจุมีประจุลบ ขณะที่แรงแม่เหล็กและแรงไฟฟ้ามีขนาดเท่ากัน เราจะได้

$$\begin{aligned} (-e)E_H &= (-e)V_d B \\ E_H &= V_d B \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้

$$\begin{aligned} V_H &= E_H d \\ V_H &= V_d B d \end{aligned}$$

เนื่องจากอัตราเร็วลอยเลื่อน V_d มีค่า

$$V_d = \frac{I}{neA}$$

เมื่อ n คือจำนวนพาหะประจุต่อลูกบาศก์เมตร (หรือความหนาแน่นของพาหะประจุ) และ A คือพื้นที่หน้าตัดของแผ่นตัวนำบาง

$$V_H = \frac{IBd}{neA}$$

เนื่องจาก $t = \frac{A}{d}$ คือความหนาของแผ่นตัวนำบาง
ดังนั้น

$$V_H = \frac{IB}{net}$$

เขียนได้ใหม่เป็น

$$B = net^{-1} V_H$$

ปริมาณ V_H และ t ในสมการ (8) หาได้จากการวัด ส่วนค่า n ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำหัววัด วัสดุที่เป็นสารกึ่งตัวนำจะมีจำนวนพาหะประจุน้อยกว่าตัวนำไฟฟ้าที่ดี แต่ก็ยังมีค่ามากพอที่จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าที่สามารถวัดได้ ส่วนฉนวนมีจำนวนพาหะประจุน้อยมาก แต่ก็ยอมให้กระแสไฟฟ้าปริมาณเล็กน้อยผ่าน จากการศึกษาพบว่า สารกึ่งตัวนำที่เจือสิ่งเจือปนมีค่า $n \cong 10^{22} \text{m}^{-3}$ และโลหะทั่วไปมีค่า $n \cong 10^{28} \text{m}^{-3}$ ดังนั้น เราจึงสามารถหาความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ไม่ทราบค่าได้ ความเข้มของสนามแม่เหล็กมีหน่วยในระบบเอสไอเป็นเทสลา (tesla) แทนด้วยสัญลักษณ์ T หน่วยเดิมของความเข้มของสนามแม่เหล็กคือ เกาส์ (gauss) แทนด้วยสัญลักษณ์ G โดยที่ $1\text{T} = 10^4 \text{G}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ชนิดของตัวตรวจจับฮอลล์

ฮอลล์แบ่งออกเป็นสามชนิด คือ ชนิดเป็นสวิตช์ ชนิดเป็นตัวแลตช์ (Latch) และชนิดเป็นอุปกรณ์เชิงเส้น ชนิดสวิตช์และชนิดแลตช์เป็นอุปกรณ์ทางดิจิทัล คือ จะมีเอาต์พุตเพียงสองสถานะ ไม่เปิดก็ปิด ในขณะที่ฮอลล์แบบเชิงเส้นจะให้แรงดันเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงตามขนาดของสนามแม่เหล็ก

2.3.1 ฮอลล์ชนิดสวิตช์ (Switch Hall Device)

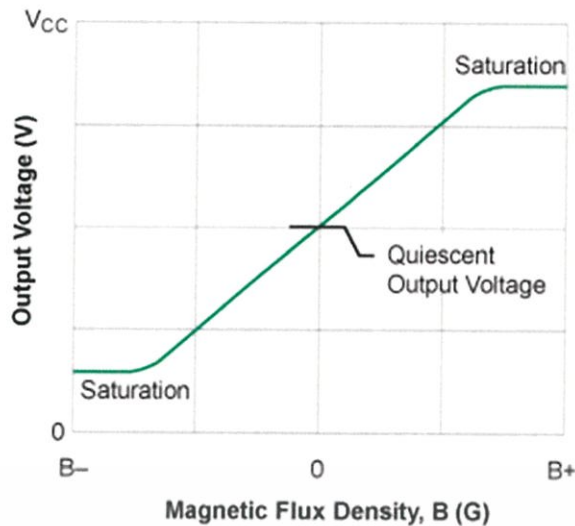
เป็นอุปกรณ์ที่ในสภาวะปกติจะ “ปิด” และจะ “เปิด” เมื่อได้รับสนามแม่เหล็กและจะปิดเมื่อหยุดให้สนามแม่เหล็ก รูปที่ แสดงผังงานของฮอลล์ชนิดสวิตช์ จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเมื่อเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก เมื่อสนามแม่เหล็กเพิ่มจนถึงค่า B_{RT} แล้วจะได้แรงเคลื่อน V_{OH} สภาวะเช่นนี้ คือ “เปิด” แต่เมื่อสนามแม่เหล็กลดลงจะถึง B_{Op} จะได้แรงดัน V_{OL} สภาวะเช่นนี้คือ “ปิด”

2.3.2 ฮอลล์ชนิดแลตช์ (Latching Hall Device)

ฮอลล์ชนิดแลตช์ เป็นฮอลล์ที่จะเปิดเมื่อได้รับสนามแม่เหล็กบวก และจะปิดเมื่อได้รับสนามแม่เหล็กลบ ซึ่งต่างจากฮอลล์ชนิดสวิตช์ การตอบสนองของฮอลล์จะเห็นได้ว่าการตอบสนองของฮอลล์จะเปิดเมื่อได้รับสนามแม่เหล็กเพื่อแลตช์เป็น 20 mT และจะปิดเมื่อได้รับสนามแม่เหล็กเป็น -25 mT

2.3.3 ฮอลล์ชนิดเชิงเส้น (Linear Hall Device)

ฮอลล์ชนิดเชิงเส้น เป็นฮอลล์ที่จะไม่เกิดการเปิดหรือปิด แบบฮอลล์ชนิดสวิตช์ กล่าวคือไม่เกิดการฮิสเตอร์รีซิส ความไวของฮอลล์ชนิดเชิงเส้นมีประมาณ 16 mV/mT ฮอลล์ชนิดนี้สามารถหาช่วงของสนามแม่เหล็ก ได้ถ้ารู้ค่าแรงดันในขณะที่สนามแม่เหล็กเป็นศูนย์ซึ่งเรียกว่า จุดอินเตอร์เซปต์ (Intercept) หากแรงดันของฮอลล์มีค่ามากกว่าจุดอินเตอร์เซปต์แล้ว แสดงว่าขณะนั้นช่วงของสนามแม่เหล็กเป็นช่วงเหนือ แต่ถ้าแรงดันของฮอลล์น้อยกว่าจุดอินเตอร์เซปต์ แสดงว่าสนามแม่เหล็กในขณะนั้นเป็นช่วงใต้ ซึ่งคุณสมบัติในข้อนี้สามารถไปหาตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสดรงได้



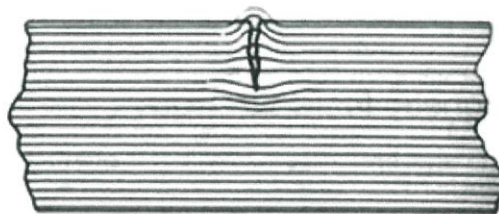
รูปที่ 2.6 เป็นกราฟแสดงผลการตอบสนองของฮอลล์ชนิดเชิงเส้น

รูปที่ 2.6 เป็นกราฟแสดงผลการตอบสนองของฮอลล์ชนิดเชิงเส้น ภายในไอซีมีฮอลล์ชนิดเชิงเส้นคอยรับรู้ (Sensor) สนามแม่เหล็ก กระแสที่จ่ายให้แก่ฮอลล์ชนิดเชิงเส้นต้องคงที่โดยต้องต่อตัวจ่ายกระแสคงที่ให้แก่ฮอลล์ เอาท์พุทจากฮอลล์ชนิดเชิงเส้นมีค่าต่ำ ดังนั้นจึงต้องขยายเพื่อให้แรงดันสูงพอเมื่อนำไปจะใช้งาน เนื่องจากฮอลล์เป็นอุปกรณ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ อุณหภูมิจึงมีผลต่อการทำงานของฮอลล์ภายในไอซีจึงจะต้องมีส่วนชดเชยอุณหภูมิ ฮอลล์ชนิดเชิงเส้นที่ดีจะต้องมีความเที่ยงตรงขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้นมากกว่าอุณหภูมิที่ใช้งานปกติ แรงดันที่วัดได้ไม่ควรผิดพลาดเกิน 5 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันที่อุณหภูมิปกติ แรงดันของฮอลล์ชนิดเชิงเส้นจะมีค่าน้อยมากเป็นมิลลิโวลต์ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องขยายเพื่อเพิ่มให้แรงดันสูงขึ้น และถ้าสนามแม่เหล็กมีค่าน้อยแรงดันที่ได้ก็จะมีค่าน้อย แต่ถ้าหากสนามแม่เหล็กมีค่ามาก ค่าของแรงดันก็จะมากขึ้นด้วย

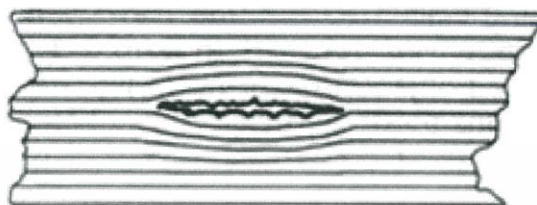
2.4 พื้นฐานการตรวจสอบหาตำหนิของผิวงานด้วยสนามแม่เหล็ก

การตรวจสอบด้วยอนุภาคแม่เหล็กสามารถใช้ตรวจสอบตำหนิที่อยู่บนผิวหน้าที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ อนุภาคของผงเหล็กจะรวมตัวกันเหนือตำหนิและแสดงให้เห็นถึงความไม่ต่อเนื่องของตำแหน่งและขนาดโดยประมาณของตำหนิ การตรวจสอบโดยวิธีนี้สามารถตรวจสอบตำหนิที่อยู่ใต้ผิวได้ด้วย การตรวจสอบตำหนิใต้ผิวลึกเพียงใดขึ้นอยู่กับขนาดของตำหนิ รวมทั้งชนิดของกระแสไฟฟ้าและผงอนุภาคแม่เหล็ก การตรวจสอบอาจลึกเพียง 2-3 มม. หรืออาจจะได้ลึกจนถึง 10-20 มม. ในกรณีนี้ที่พื้นที่ผิวที่จะวางอุปกรณ์มีความเรียบ รวมทั้งขนาดของตำหนิด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



a) ต่ำหนึบบนผิว



b) ต่ำหนึ่ใต้ผิวงาน

รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะของรอยตำหนิ

2.4.1 เงื่อนไขการทดสอบ

สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าตรง จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัด ดังนั้น เมื่อมีความเข้มสนามแม่เหล็กเพียงพอ ก็สามารถตรวจหารอยตำหนิภายใต้ผิวชิ้นงานได้ถึงระยะหนึ่งที่ไม่ลึกจนเกินไปได้

ส่วนสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าสลับ จะทำให้เกิดปฏิกิริยาผิวหนัง (Skin Effect) ความเข้มสนามแม่เหล็กมากกว่ากระแสไฟฟ้าตรง สนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานที่นำมาทดสอบ ทำให้การแสดงผลการปรากฏของตำหนิบนผิวชิ้นทดสอบเกิดไวขึ้น

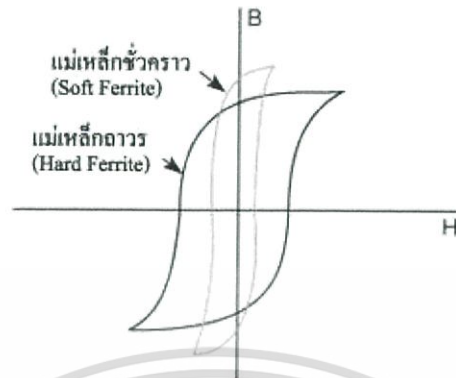
2.5 ความเป็นแม่เหล็กของวัสดุที่นำมาทดสอบ

วัสดุแม่เหล็กเป็นวัสดุวิศวกรรมที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งต่องานออกแบบทางด้านวิศวกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้า โดยทั่วไปวัสดุประเภทนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

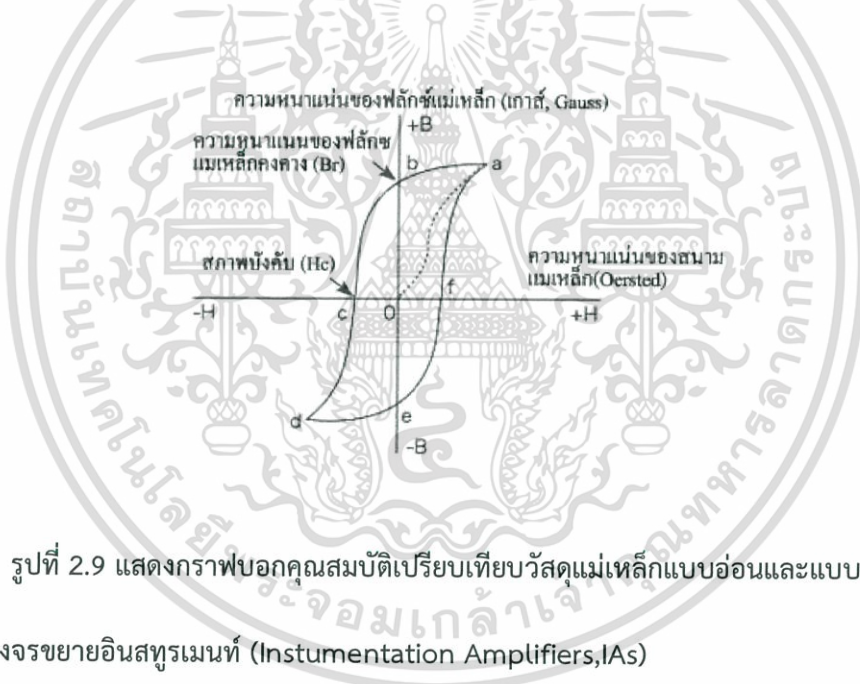
1.) วัสดุแม่เหล็กแบบ soft (soft magnetic materials) เป็นวัสดุที่สามารถทำให้เป็นแม่เหล็ก และ หมดยุทสภาพความเป็นแม่เหล็กได้ง่าย มักจะถูกนำมาทำแกนของหม้อแปลงไฟฟ้า, หม้อแปลง อิเล็กทรอนิกส์ตัวเล็กๆ และ ตัวสเตเตอร์ และ โรเตอร์ในมอเตอร์หรือเจนเนอเรเตอร์ เป็นต้น

2.) วัสดุแม่เหล็กแบบ hard (hard magnetic materials) เป็นวัสดุแม่เหล็กที่ถูกนำมาใช้ทำเป็นแม่เหล็กถาวรซึ่งยากต่อการทำให้หมดยุทสภาพความเป็นแม่เหล็กได้ อาทิเช่น แม่เหล็กถาวรที่มี

อยู่ในลำโพง หูฟัง โทรศัพท มอเตอร์แบบ synchronous และ brushless และ starting motor ในรถยนต์เป็นต้นp



รูปที่ 2.8 แสดงกราฟบอกคุณสมบัติวัสดุแม่เหล็ก



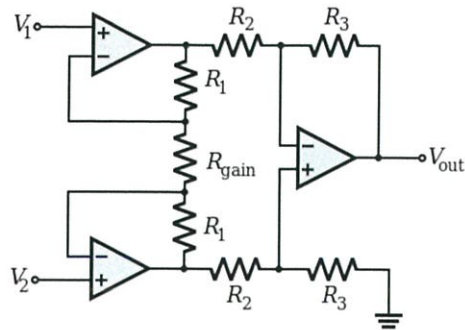
รูปที่ 2.9 แสดงกราฟบอกคุณสมบัติเปรียบเทียบวัสดุแม่เหล็กแบบอ่อนและแบบแข็ง

2.6 วงจรขยายอินสทรูเมนต์ (Instrumentation Amplifiers, IAs)

วงจขยายอินสทรูเมนต์ เป็นวงจรทำหน้าที่ขยายสัญญาณผลต่างของสัญญาณอินพุทของวงจร โดยรับสัญญาณอินพุทจากตัวฮอปส์ แล้วทำการปรับปรุงให้สมรรถนะของสัญญาณให้ดีขึ้นนอกจากนี้ ยังช่วยในการขจัดสัญญาณรบกวน(Common Mode Rejection Ration, CMRR)ของสัญญาณให้น้อยลง ซึ่งแรงดันเอาต์พุทของวงจรจะมีความสัมพันธ์เป็นไปดังสมการที่ 2.6.1

$$V_{out} = A(V_2 - V_1) \quad (2.6.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 วงจรขยายสัญญาณอินสทรูเมนต์

จากรูปที่ 2.10 เป็นวงจรอินสทรูเมนต์แบบใช้ออปแอมป์ 3 ตัว โดยที่ IC1 และ IC2 ทำหน้าที่เป็นวงจรภาคเอาต์พุตส่วนหน้า (first stage หรือ input stage) ขณะที่ออปแอมป์ IC3 จะเป็นวงจรเอาต์พุตส่วนที่สอง (Second stage หรือ output stage) ของวงจร ถ้าให้ V_{o1} และ V_{o2} เป็นแรงดันเอาต์พุตของ IC1 และ IC2 ตามลำดับจะได้สมการแรงดันเอาต์พุตของวงจร V_{out} มีค่าเท่ากับ

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} (V_{o2} - V_{o1}) \quad (2.6.2)$$

และจากคุณสมบัติของออปแอมป์ ทำให้กระแสที่ไหลผ่าน R_3 และ R_4 มีค่าเท่ากัน ($I_{R3} = I_{R4}$) ซึ่งจากกฎของโอห์มจะได้

$$V_{o1} - V_{o2} = (2R_2 + R_1) I_{R1} \quad (2.6.3)$$

เมื่อ $V_1 = 0$ จะทำให้กระแสที่ไหลผ่าน R_4 มีค่าเท่ากับ

$$I_{R4} = \frac{V_1 - V_2}{R_1} \quad (2.6.4)$$

ทำการแทนค่าสมการที่ (2.6.4) ลงในสมการที่ (2.6.2) และ (2.6.3) จะได้

$$V_{out} = A(V_2 - V_1) \quad (2.6.5)$$

โดยที่

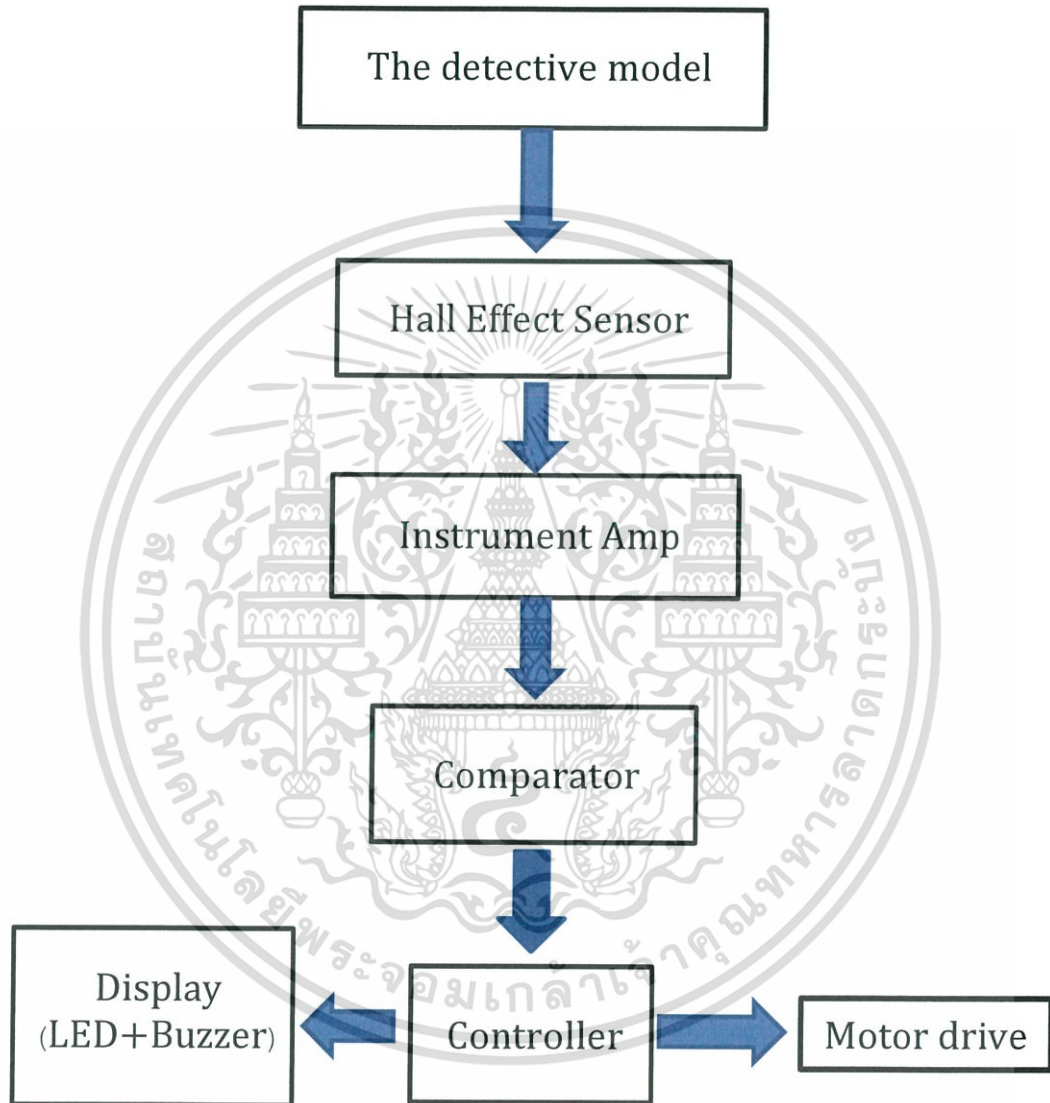
$$A = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \left(\frac{R_4}{R_5}\right) \quad (2.6.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

หลักการออกแบบ

แผนภาพรวมของชุดตรวจสอบรอยร้าวของโลหะ ในการออกแบบวงจรของเครื่องตรวจสอบรอยร้าวของโลหะ สามารถแบ่งส่วนประกอบออกเป็น 4 ส่วนหลักๆ โดยลำดับการทำงานได้ดังนี้

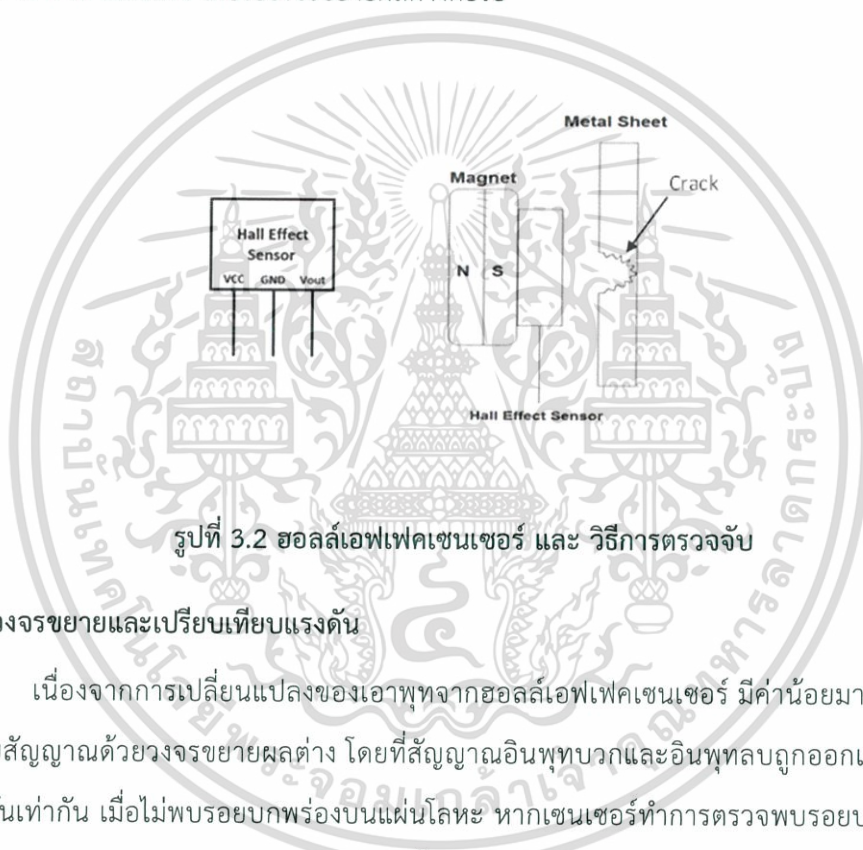


รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของเครื่องตรวจสอบรอยร้าวของโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 ฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์

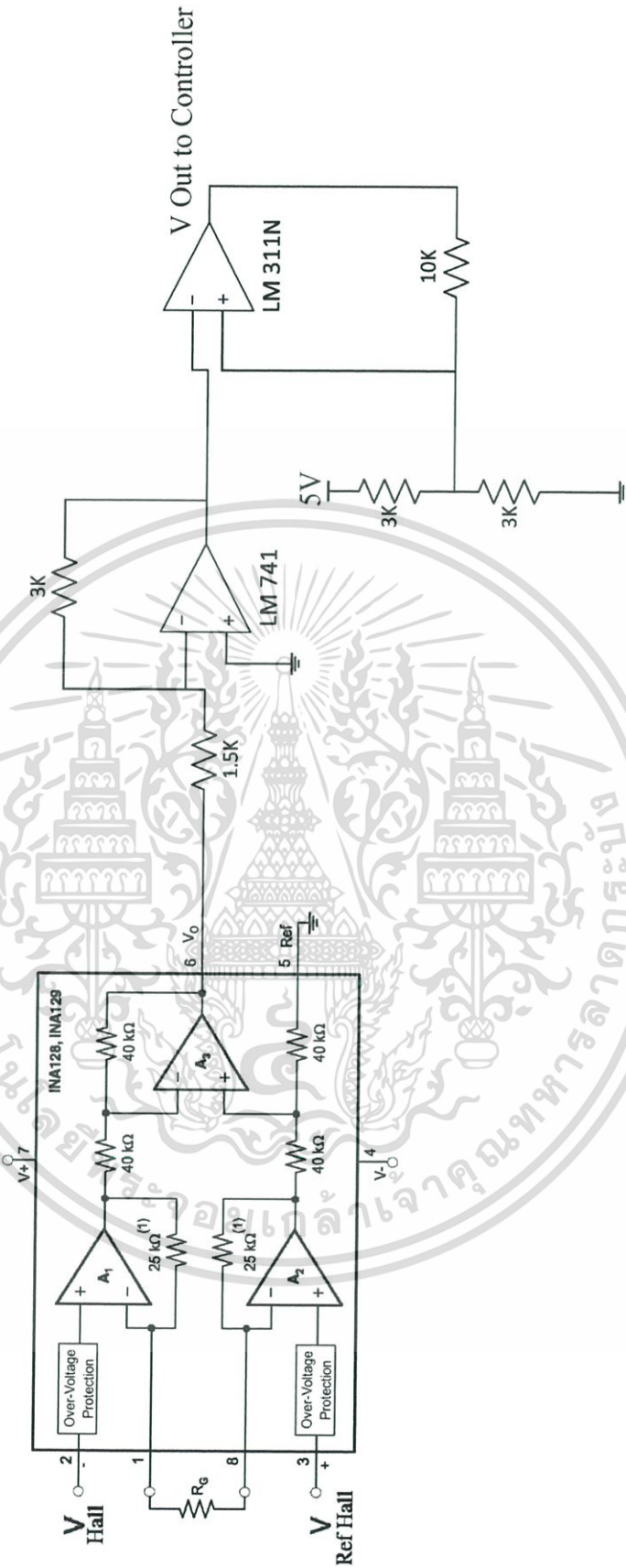
ฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ เป็นวงจรรวมที่ทำให้เกิดความต่างศักย์โดยขึ้นกับความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ผ่านบริเวณตอบสนองต่อสัญญาณ (Active Area) เมื่อนำแม่เหล็กเข้าใกล้กับบริเวณตอบสนองต่อสัญญาณ ของ ฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าความต่างศักย์ที่เพิ่มขึ้น หรือ ลดลง ขึ้นกับทิศของแม่เหล็กที่ผ่าน Active Area ในการออกแบบหัววัด ใช้แม่เหล็กถาวรติดกับตัวเซนเซอร์ เมื่อทำการจ่ายไฟให้กับเซนเซอร์ แล้วนำไปตรวจแผ่นโลหะ เมื่อพบรอยบกพร่องจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันจากฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์แตกต่างจากตอนที่ไม่มีพบรอยบกพร่อง แต่แรงดันที่เปลี่ยนแปลงนั้น มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย จึงไม่สามารถนำไปใช้งานได้ ต้องทำการขยายแรงดัน โดยใช้วงจรขยายผลต่างต่อไป



รูปที่ 3.2 ฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ และ วิธีการตรวจจับ

3.2 วงจรขยายและเปรียบเทียบแรงดัน

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของเอาพุทจากฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ มีค่าน้อยมาก ดังนั้นจึงขยายสัญญาณด้วยวงจรขยายผลต่าง โดยที่สัญญาณอินพุทบวกและอินพุทลบถูกออกแบบให้มีค่าแรงดันเท่ากัน เมื่อไม่พบรอยบกพร่องบนแผ่นโลหะ หากเซนเซอร์ทำการตรวจพบรอยบกพร่องบนแผ่นโลหะ จะทำให้เกิดผลต่างระหว่างอินพุททั้งสองค่า แล้วทำการขยายด้วยอัตราขยายที่กำหนดไว้ จากนั้นสัญญาณที่ถูกขยายจะถูกส่งไปยังส่วนของวงจรเปรียบเทียบแรงดันเพื่อเปรียบเทียบแรงดันให้เหมาะสมที่จะไปใช้ในคอนโทรลเลอร์ต่อไป



รูปที่ 3.3 วงจรขยายผลต่าง และวงจรเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ส่วนควบคุมการเคลื่อนที่

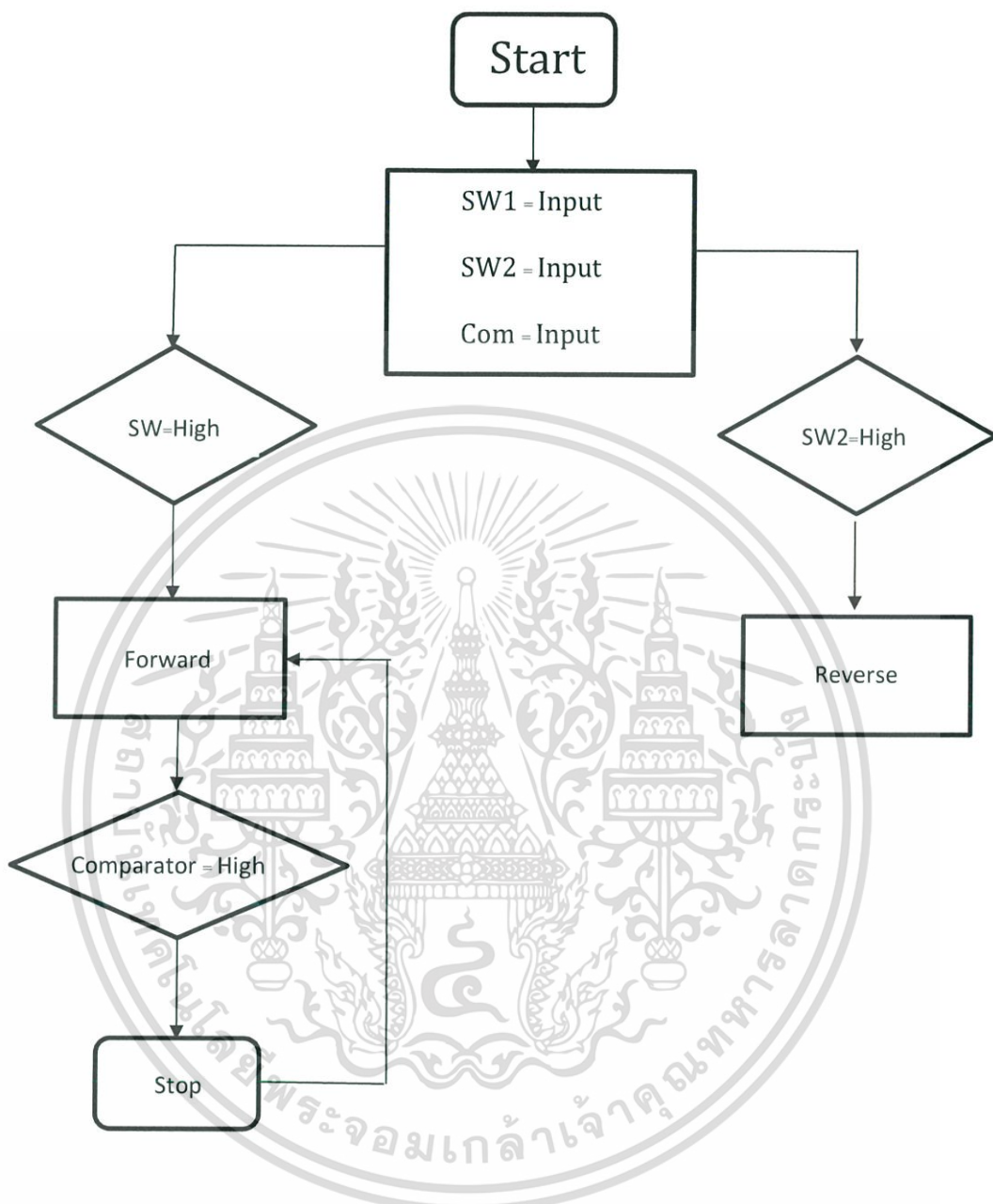
ส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ ประกอบด้วย บอร์ดควบคุม Arduino UNO R3 มอเตอร์กระแสตรง ขนาด 5 โวลต์ LED และ Buzzer การทำงานของส่วนควบคุมการเคลื่อนที่คือ เมื่อทำการติดตั้งเซนเซอร์บนส่วนเคลื่อนที่ โดยที่ส่วนเคลื่อนที่ที่ถูกโปรแกรมให้ควบคุมมอเตอร์ที่ให้เคลื่อนที่ไปในแนวแกน y เมื่อเซนเซอร์ตรวจพบรอยบกพร่องบนแผ่นโลหะ เซนเซอร์จะมีการเปลี่ยนแปลงแรงดัน ทำให้วงจรเปรียบเทียบแรงดันเกิดการเปรียบเทียบแรงดัน สัญญาณที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบแรงดันจะถูกส่งไปเป็นสัญญาณอินพุตให้กับคอนโทรลเลอร์ เมื่อได้รับสัญญาณคอนโทรลเลอร์จะทำการสั่งให้มอเตอร์หยุดเคลื่อนที่พร้อมทั้งส่งสัญญาณเสียง เพื่อแสดงให้เห็นว่ามีการตรวจพบรอยบกพร่องบนแผ่นโลหะ



รูปที่ 3.4 แสดงการเชื่อมต่อคอนโทรลเลอร์กับส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพล์ชาร์ตแสดงขบวนการในการทดสอบเพื่อวัดแผ่นโลหะ



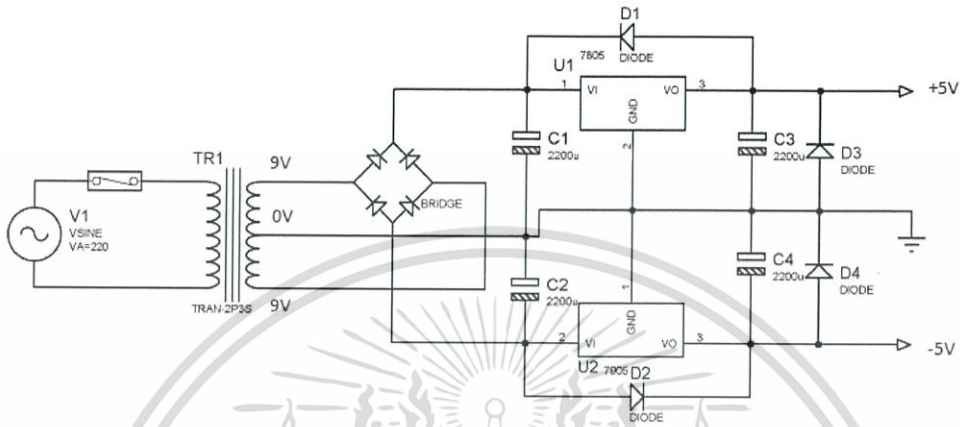
รูปที่ 3.5 แผนผังแสดงการทำงานของเครื่องตรวจสอบรอยร้าวของโลหะ

จากแผนผังแสดงการทำงานในรูปที่ 3.5 เมื่อสวิตช์ 1 ถูกกด ชุดหัววัดจะเคลื่อนที่ไปตามแกน +y จนกว่าจะได้รับสัญญาณจากวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ(comparator : High) เมื่อได้รับสัญญาณแล้วมอเตอร์ที่ควบคุมการเคลื่อนที่จะหยุด ส่วนแสดงผล LED จะติด และเกิดเสียงบี๊พเพื่อแจ้งเตือน และพร้อมรับคำสั่งจากสวิตช์ทั้งสองอีกครั้ง และถ้ากดสวิตช์ 2 ชุดหัววัดจะเคลื่อนที่ตามแนวแกน -y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ส่วนจ่ายพลังงาน

ส่วนจ่ายพลังงานถูกออกแบบให้มีจ่ายแรงดันคงที่ 5 โวลต์ทั้งค่าบวกและค่าลบ ทั้งนี้เพื่อนำไปใช้ให้กับส่วนต่างๆในวงจร โดยในส่วนของวงจรขยายนั้นต้องการแรงดันที่เป็นลบด้วย เพื่อให้ทำงานได้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด



รูปที่ 3.6 วงจรจ่ายแรงดันคงที่บวกลบ 5 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในขั้นตอนการทดลอง ได้แบ่งการทดลองเป็นสองขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกทำการทดสอบระบบการทำงาน ในส่วนของการควบคุมชุดขับเคลื่อนหัววัด หลังจากนั้น จึงทำการทดลองตรวจสอบหารอยบกพร่องของโลหะ และได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 การทดลองหารอยบกพร่องของโลหะ

ในการทดลองหารอยบกพร่องของโลหะ ได้ทำการติดตั้งชุดหัววัดเข้ากับส่วนเคลื่อนที่ นำแผ่นเหล็กที่จะใช้ทดสอบวางด้านใต้ของชุดหัววัด จากนั้นปรับองศาและระยะห่างของหัววัดกับแผ่นเหล็กให้เหมาะสม เพื่อความแม่นยำของการทดสอบ เริ่มทำการทดสอบโดยการกดปุ่มไปข้างหน้าเพื่อให้ชุดหัววัดเคลื่อนที่ชนานไปกับแผ่นโลหะ ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบแรงดันของฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ระหว่างตรวจพบและไม่พบรอยบกพร่อง

ครั้งที่	แรงดันเมื่อพบรอยบกพร่อง	แรงดันเมื่อไม่พบรอยบกพร่อง
1	1.114 V	1.018 V
2	1.083 V	986 mV
3	1.115 V	1.019 V
4	1.129 V	1.026 V
5	1.118 V	1.011 V

พบว่าค่าแรงดันจากเซนเซอร์ช่วงที่พบและไม่พบรอยบกพร่องแตกต่างกันประมาณ 0.1V ความแตกต่างนี้จะถูกนำไปขยายจะได้แรงดัน 1.1V จากนั้นนำไปเปรียบเทียบแรงดันเมื่อพบรอยร้าวจะได้แรงดัน 3V ส่งต่อไปยังคอนโทรลเลอร์ จากนั้นคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้ LED และ Buzzer ทำงานว่าเพื่อแจ้งว่าพบรอยร้าว

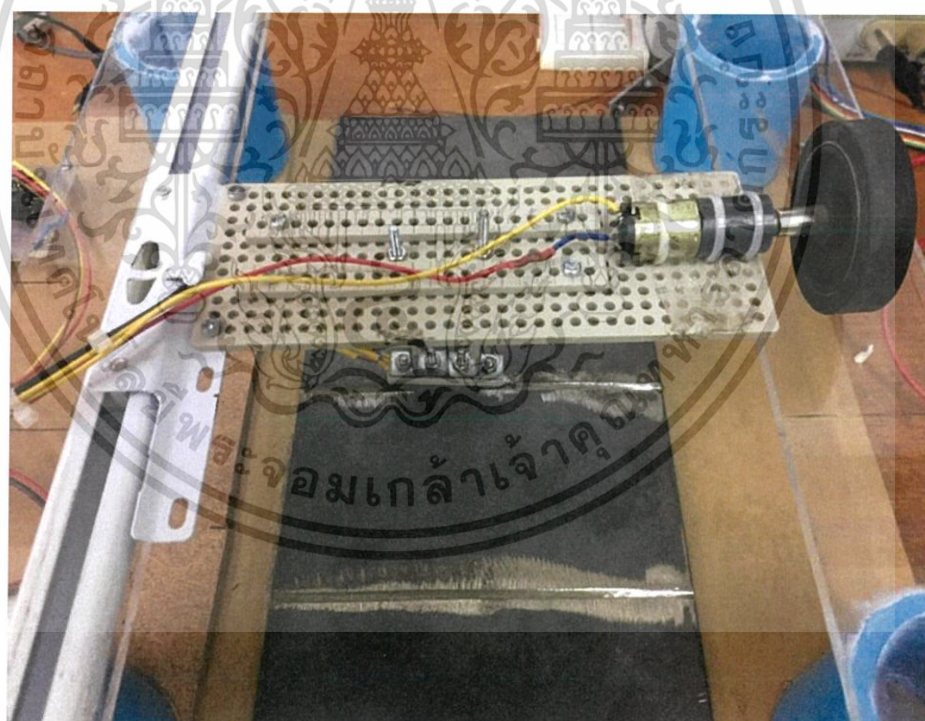
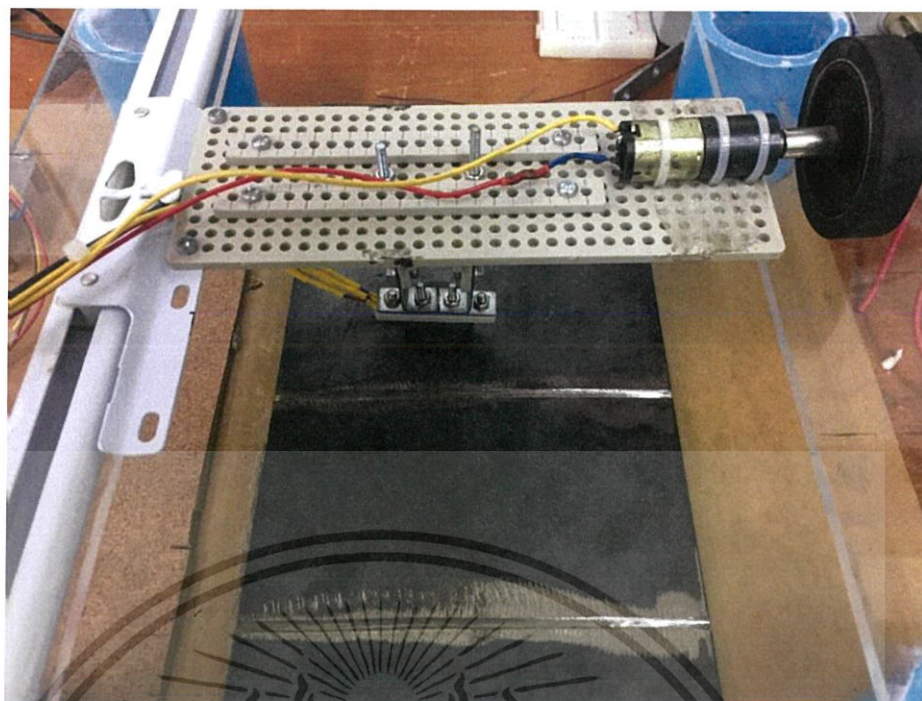
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองหารอยบกพร่องของโลหะเมื่อมีความกว้างของรอยร้าวที่ต่างกัน

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบแรงดันของฮอลเอฟเฟคเซนเซอร์ระหว่างตรวจพบและไม่พบรอยบกพร่องเมื่อมีความกว้างของรอยร้าวที่ต่างกัน

ความกว้างของรอยร้าว	แรงดันเมื่อมีรอยร้าว	แรงดันเมื่อไม่มีรอยร้าว
1.80 mm	0.982 V	0.964 V
1.5 mm	0.902 V	0.885 V
1.4 mm	0.825 V	0.824 V
1.0 mm	0.904 V	0.904 V
0.7 mm	0.964 V	0.964 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงการทำงานของชุดหัววัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

เครื่องตรวจสอบรอยร้าวของโลหะ เป็นการนำอุปกรณ์แบบปรากฏการณ์ฮอลล์มาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบรอยร้าวของโลหะ ซึ่งแบ่งการทำงานเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของชุดขับเคลื่อนหัววัด และชุดหัววัด ซึ่งในส่วนของชุดหัววัด ได้มีการออกแบบวงจรภาคต่างๆตามทฤษฎี จากนั้นจึงนำแต่ละส่วนมาประกอบกัน

ในการทดลองเพื่อตรวจสอบหารอยบกพร่องบนแผ่นโลหะ เครื่องตรวจสอบรอยร้าวของโลหะสามารถตรวจสอบรอยร้าว หรือรอยบกพร่องได้อย่างถูกต้องตามที่คาดหวังไว้ นอกจากนี้ยังสามารถบอกตำแหน่งได้อีกและส่งเสียงแจ้งเตือนได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามเครื่องตรวจสอบรอยร้าวของโลหะ ยังมีจุดที่เป็นปัญหาอยู่บ้าง ซึ่งสรุปเป็นข้อแนะนำได้ดังนี้

1. ในการตรวจสอบรอยบกพร่องของโลหะ สามารถตรวจสอบได้เฉพาะแผ่นโลหะเท่านั้น เนื่องจากหากแผ่นโลหะมีการโค้งงอจะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากเซนเซอร์เปลี่ยนไปด้วย ส่งผลให้เครื่องตรวจสอบเกิดความคลาดเคลื่อน ดังนั้น หากต้องการใช้กับโลหะที่มีความโค้งงอ ควรปรับตั้งหัววัดให้เหมาะสมกับส่วนโค้งของชิ้นงานทดสอบ เพื่อให้วัดค่าได้ถูกต้อง

2. จำเป็นต้องปรับตั้งค่าเครื่องตรวจสอบรอยร้าวของโลหะทุกครั้ง หากเปลี่ยนความหนาของแผ่นโลหะที่ใช้ทำการทดสอบ เพราะค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่มีไม่มาก ทำให้ระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะทดสอบกับหัววัดมีระยะห่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นควรเพิ่มค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กให้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สมชาย บรรยงพาณิชย์, “ปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็ก” ,วารสารเคมีคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 109,2534,หน้า 111 – 117.
- [2] ผศ.วรพงษ์ รานอก, “ออปแอมป์ และ การประมวลผลสัญญาณอนาล็อก”, ว.เพชรสกุล กรุงเทพฯ 2548, หน้า 75-77.
- [3] Honeywell, “Hall effect sensing and application”, pp.1-3.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Continuous-Time Ratiometric Linear Hall-Effect Sensor ICs

Last Time Buy

These parts are in production but has been determined to be LAST TIME BUY. This classification indicates that the product is obsolete and notice has been given. Sale of this device is currently restricted to existing customer applications. The device should not be purchased for new design applications because of obsolescence in the near future. Samples are no longer available.

Date of status change: December 5, 2016

Deadline for receipt of LAST TIME BUY orders: August 30, 2017

Recommended Substitutions: A1308

For existing customer transition, and for new customers or new applications, contact Allegro Sales.

NOTE: For detailed information on purchasing options, contact your local Allegro field applications engineer or sales representative.

Allegro MicroSystems, LLC reserves the right to make, from time to time, revisions to the anticipated product life cycle plan for a product to accommodate changes in production capabilities, alternative product availabilities, or market demand. The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems, LLC. assumes no responsibility for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Continuous-Time Ratiometric Linear Hall Effect Sensor ICs

FEATURES AND BENEFITS

- Low-noise output
- Fast power-on time
- Ratiometric rail-to-rail output
- 4.5 to 6.0 V operation
- Solid-state reliability
- Factory-programmed at end-of-line for optimum performance
- Robust ESD performance

DESCRIPTION

The A1301 and A1302 are continuous-time, ratiometric, linear Hall-effect sensor ICs. They are optimized to accurately provide a voltage output that is proportional to an applied magnetic field. These devices have a quiescent output voltage that is 50% of the supply voltage. Two output sensitivity options are provided: 2.5 mV/G typical for the A1301, and 1.3 mV/G typical for the A1302.

The Hall-effect integrated circuit included in each device includes a Hall circuit, a linear amplifier, and a CMOS Class A output structure. Integrating the Hall circuit and the amplifier on a single chip minimizes many of the problems normally associated with low voltage level analog signals.

High precision in output levels is obtained by internal gain and offset trim adjustments made at end-of-line during the manufacturing process.

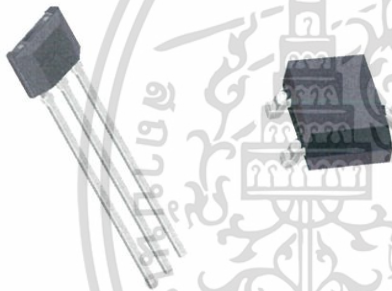
These features make the A1301 and A1302 ideal for use in position sensing systems, for both linear target motion and rotational target motion. They are well-suited for industrial applications over extended temperature ranges, from -40°C to 125°C .

Two device package types are available: LH, a 3-pin SOT23W type for surface mount, and UA, a 3-pin ultramini SIP for through-hole mount. They are lead (Pb) free (suffix, -T) with 100% matte tin plated leadframes.

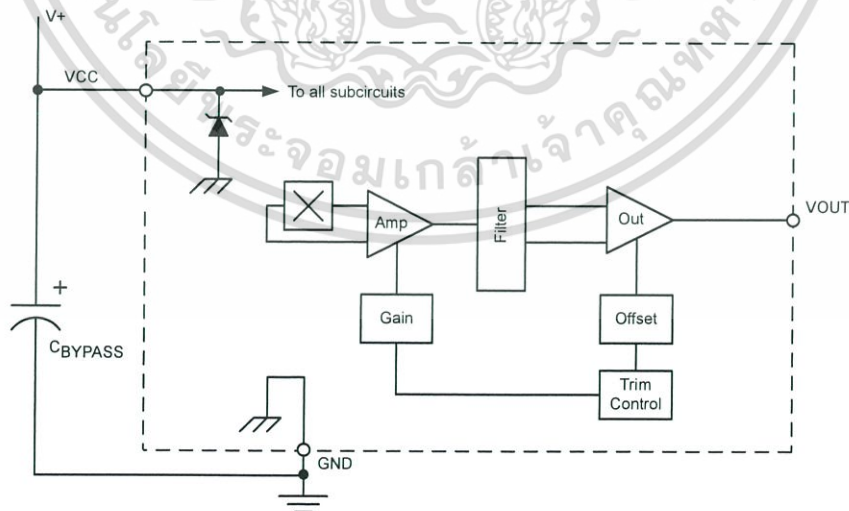
Packages:

3-Pin SOT23W (suffix LH)

3-Pin SIP (suffix UA)



Not to scale



Functional Block Diagram

SPECIFICATIONS

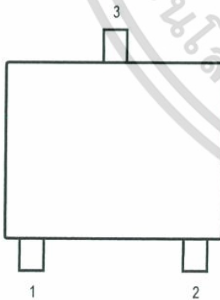
Selection Guide				
Part Number	Packing*	Package	Ambient, T_A	Sensitivity (Typical)
A1301EUA-T	Bulk, 500 pieces/bag	SIP	-40°C to 85°C	2.5 mV/G
A1301KLHLT-T	7-in. reel, 3000 pieces/reel	Surface Mount	-40°C to 125°C	
A1301KLHLX-T	13-in. reel, 10000 pieces/reel	Surface Mount		
A1301KUA-T	Bulk, 500 pieces/bag	SIP		
A1302ELHLT-T	7-in. reel, 3000 pieces/reel	Surface Mount	-40°C to 85°C	1.3 mV/G
A1302ELHLX-T	13-in. reel, 10000 pieces/reel	Surface Mount	-40°C to 125°C	
A1302KLHLT-T	7-in. reel, 3000 pieces/reel	Surface Mount		
A1302KLHLX-T	13-in. reel, 10000 pieces/reel	Surface Mount		
A1302KUA-T	Bulk, 500 pieces/bag	SIP		



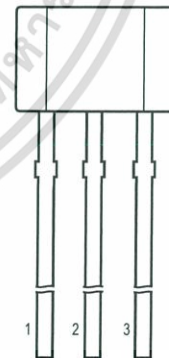
*Contact Allegro™ for additional packing options.

Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V_{CC}		8	V
Output Voltage	V_{OUT}		8	V
Reverse Supply Voltage	V_{RCC}		-0.1	V
Reverse Output Voltage	V_{ROUT}		-0.1	V
Output Sink Current	I_{OUT}		10	mA
Operating Ambient Temperature	T_A	Range E	-40 to 85	°C
		Range K	-40 to 125	°C
Maximum Junction Temperature	$T_J(\text{max})$		165	°C
Storage Temperature	T_{stg}		-65 to 170	°C



Package LH SOT23W Pin-out Diagram



Package UA, 3-Pin SIP Pin-out Diagram

Terminal List

Symbol	Number		Description
	Package LH	Package UA	
VCC	1	1	Connects power supply to chip
VOUT	2	3	Output from circuit
GND	3	2	Ground



Allegro MicroSystems, LLC
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVICE CHARACTERISTICS over operating temperature range, T_A , and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise noted

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Electrical Characteristics						
Supply Voltage	V_{CC}	Running, $T_J < 165^\circ\text{C}$	4.5	–	6	V
Supply Current	I_{CC}	Output open	–	–	11	mA
Output Voltage	$V_{OUT(High)}$	$I_{SOURCE} = -1\text{ mA}$, Sens = nominal	4.65	4.7	–	V
	$V_{OUT(Low)}$	$I_{SINK} = 1\text{ mA}$, Sens = nominal	–	0.2	0.25	V
Output Bandwidth	BW		–	20	–	kHz
Power-On Time	t_{PO}	$V_{CC(min)}$ to $0.95 V_{OUT}$; $B = \pm 1400\text{ G}$; Slew rate = $4.5\text{ V}/\mu\text{s}$ to $4.5\text{ V}/100\text{ ns}$	–	3	5	μs
Output Resistance	R_{OUT}	$I_{SINK} \leq 1\text{ mA}$, $I_{SOURCE} \geq -1\text{ mA}$	–	2	5	Ω
Wide Band Output Noise, rms	V_{OUTN}	External output low pass filter $\leq 10\text{ kHz}$; Sens = nominal	–	150	–	μV
Ratiometry						
Quiescent Output Voltage Error with respect to ΔV_{CC} ¹	$\Delta V_{OUTQ(V)}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	–	± 3.0	%
Magnetic Sensitivity Error with respect to ΔV_{CC} ²	$\Delta\text{Sens}_{(V)}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	–	± 3.0	%
Output						
Linearity	Lin	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	–	± 2.5	%
Symmetry	Sym	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	–	± 3.0	%
Magnetic Characteristics						
Quiescent Output Voltage	V_{OUTQ}	$B = 0\text{ G}$; $T_A = 25^\circ\text{C}$	2.4	2.5	2.6	V
Quiescent Output Voltage over Operating Temperature Range	$V_{OUTQ(\Delta T_A)}$	$B = 0\text{ G}$	2.2	–	2.8	V
Magnetic Sensitivity	Sens	A1301; $T_A = 25^\circ\text{C}$	2.0	2.5	3.0	mV/G
		A1302; $T_A = 25^\circ\text{C}$	1.0	1.3	1.6	mV/G
Magnetic Sensitivity over Operating Temperature Range	Sens $_{(\Delta T_A)}$	A1301	1.8	–	3.2	mV/G
		A1302	0.85	–	1.75	mV/G

¹Refer to equation (4) in Ratiometric section on page 4.

²Refer to equation (5) in Ratiometric section on page 4.



Allegro MicroSystems, LLC
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHARACTERISTIC DEFINITIONS

Quiescent Output Voltage

In the quiescent state (no significant magnetic field: $B = 0$), the output, V_{OUTQ} , equals one half of the supply voltage, V_{CC} , throughout the entire operating ranges of V_{CC} and ambient temperature, T_A . Due to internal component tolerances and thermal considerations, there is a tolerance on the quiescent output voltage, ΔV_{OUTQ} , which is a function of both ΔV_{CC} and ΔT_A . For purposes of specification, the quiescent output voltage as a function of temperature, $\Delta V_{OUTQ(\Delta T_A)}$, is defined as:

$$\Delta V_{OUTQ(\Delta T_A)} = \frac{V_{OUTQ(T_A)} - V_{OUTQ(25^\circ C)}}{Sens_{(25^\circ C)}} \quad (1)$$

where $Sens$ is in mV/G, and the result is the device equivalent accuracy, in gauss (G), applicable over the entire operating temperature range.

Sensitivity

The presence of a south-polarity (+B) magnetic field, perpendicular to the branded face of the device package, increases the output voltage, V_{OUT} , in proportion to the magnetic field applied, from V_{OUTQ} toward the V_{CC} rail. Conversely, the application of a north polarity (-B) magnetic field, in the same orientation, proportionally decreases the output voltage from its quiescent value. This proportionality is specified as the magnetic sensitivity of the device and is defined as:

$$Sens = \frac{V_{OUT(-B)} - V_{OUT(+B)}}{2B} \quad (2)$$

The stability of the device magnetic sensitivity as a function of ambient temperature, $\Delta Sens_{(\Delta T_A)}$ (%) is defined as:

$$\Delta Sens_{(\Delta T_A)} = \frac{Sens_{(T_A)} - Sens_{(25^\circ C)}}{Sens_{(25^\circ C)}} \times 100\% \quad (3)$$

Ratiometric

The A1301 and A1302 feature a ratiometric output. This means that the quiescent voltage output, V_{OUTQ} , and the magnetic sensitivity, $Sens$, are proportional to the supply voltage, V_{CC} .

The ratiometric change (%) in the quiescent voltage output is defined as:

$$\Delta V_{OUTQ(\Delta V)} = \frac{V_{OUTQ(V_{CC})} / V_{OUTQ(5V)}}{V_{CC} / 5V} \times 100\% \quad (4)$$

and the ratiometric change (%) in sensitivity is defined as:

$$\Delta Sens_{(\Delta V)} = \frac{Sens_{(V_{CC})} / Sens_{(5V)}}{V_{CC} / 5V} \times 100\% \quad (5)$$

Linearity and Symmetry

The on-chip output stage is designed to provide linear output at a supply voltage of 5 V. Although the application of very high magnetic fields does not damage these devices, it does force their output into a nonlinear region. Linearity in percent is measured and defined as:

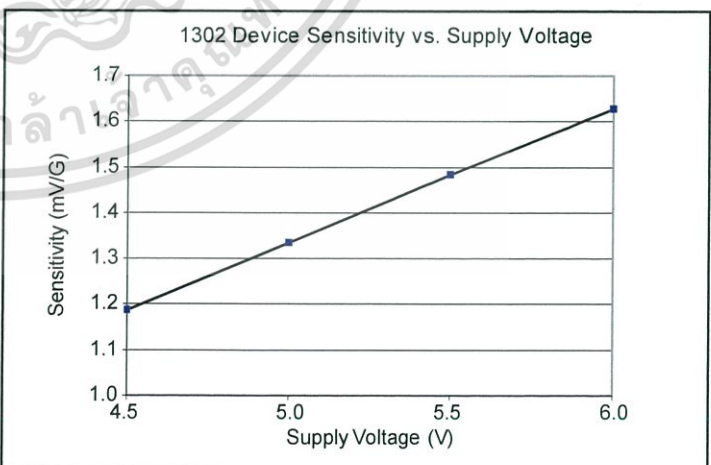
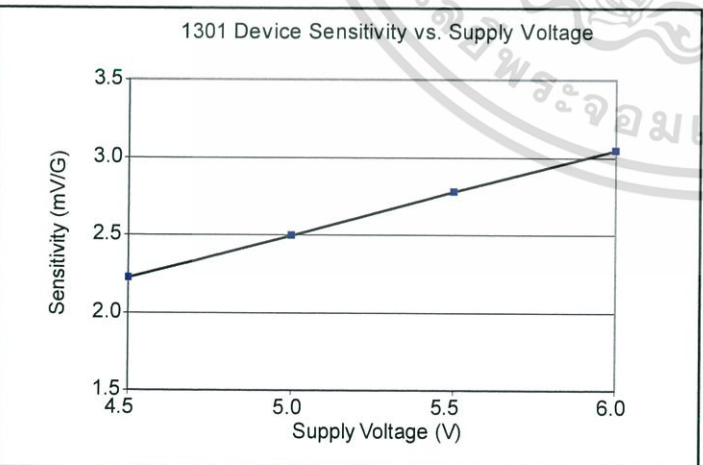
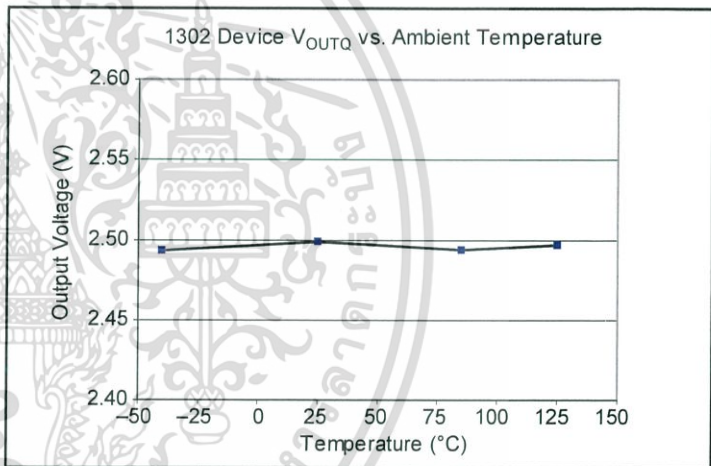
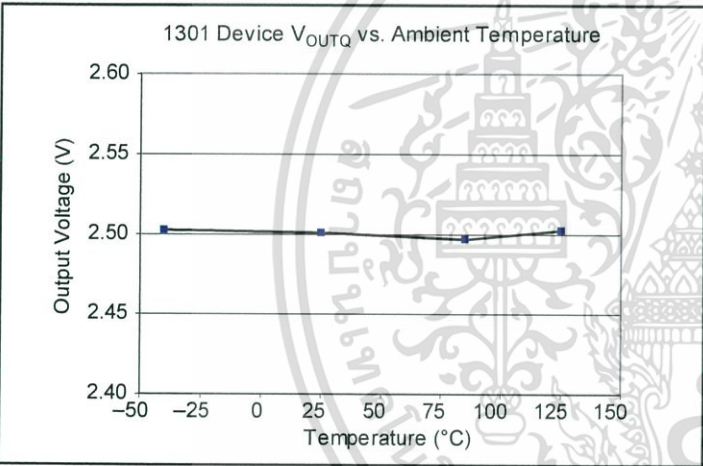
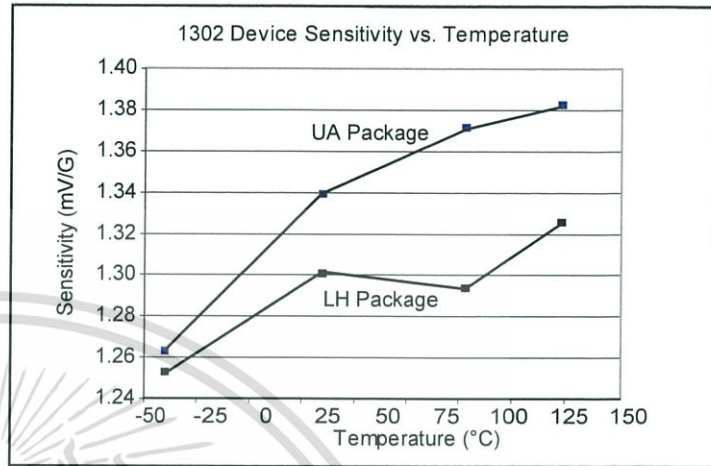
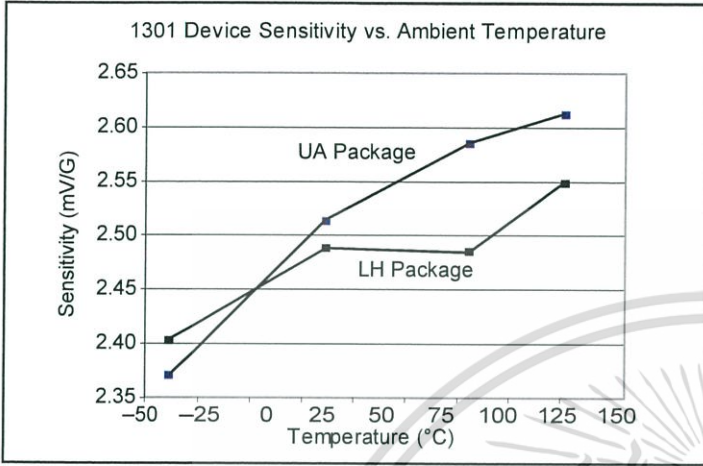
$$Lin+ = \frac{V_{OUT(+B)} - V_{OUTQ}}{2(V_{OUT(+B/2)} - V_{OUTQ})} \times 100\% \quad (6)$$

$$Lin- = \frac{V_{OUT(-B)} - V_{OUTQ}}{2(V_{OUT(-B/2)} - V_{OUTQ})} \times 100\% \quad (7)$$

and output symmetry as:

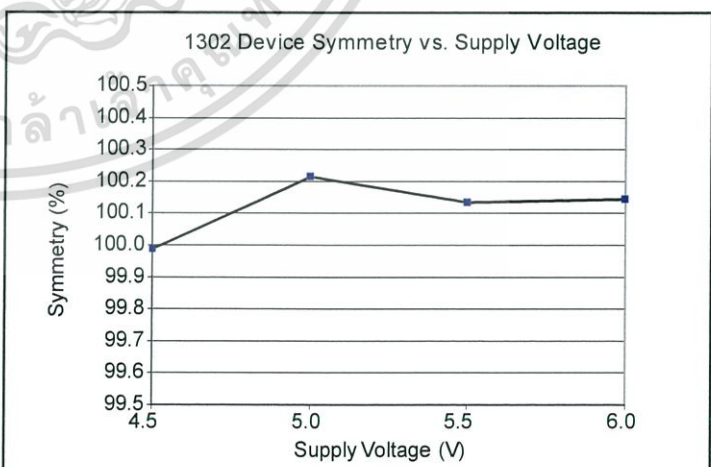
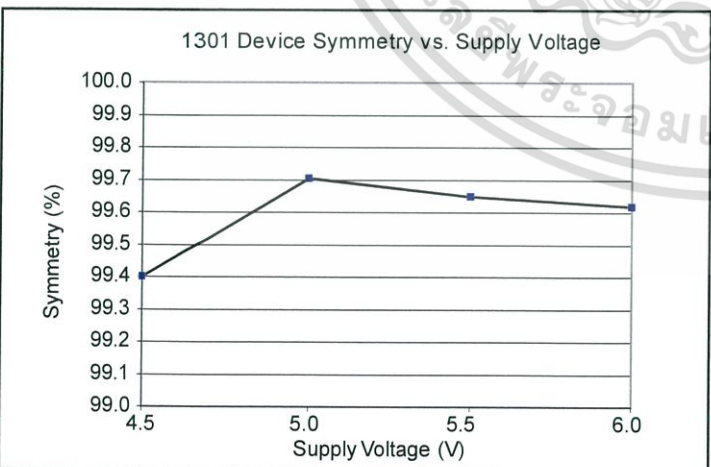
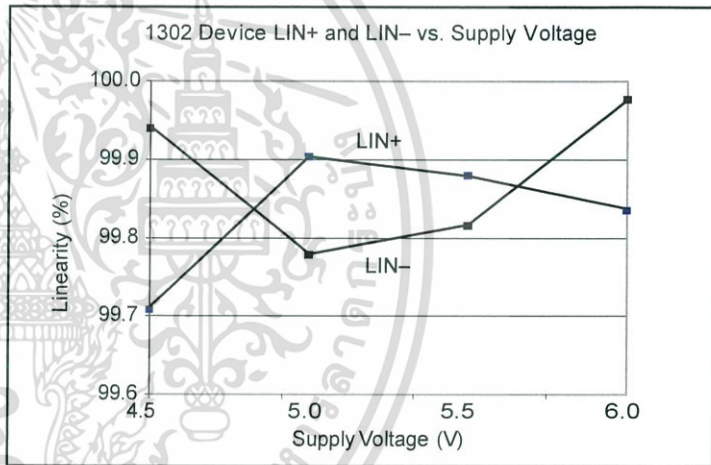
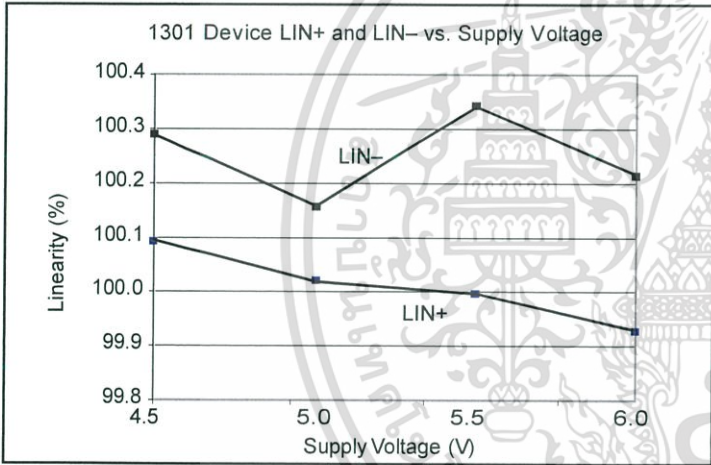
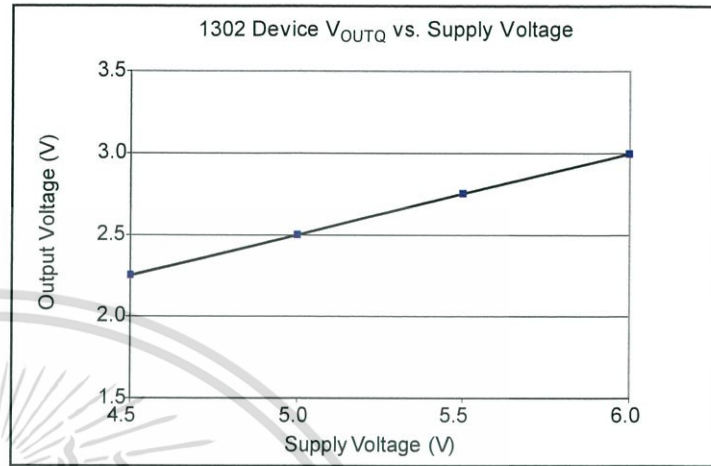
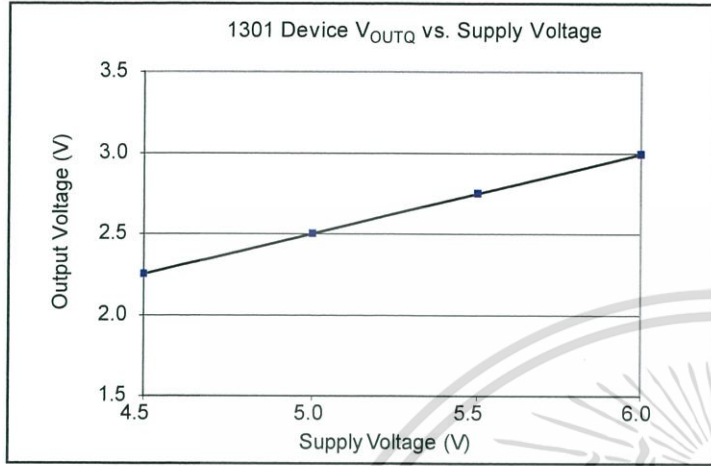
$$Sym = \frac{V_{OUT(+B)} - V_{OUTQ}}{V_{OUTQ} - V_{OUT(-B)}} \times 100\% \quad (8)$$

TYPICAL CHARACTERISTICS (30 pieces, 3 fabrication lots)



Continued on the next page...

TYPICAL CHARACTERISTICS CONTINUED
(30 pieces, 3 fabrication lots)



CUSTOMER OUTLINE DRAWINGS

For Reference Only – Not for Tooling Use

(Reference DWG-2840)

Dimensions in millimeters – NOT TO SCALE

Dimensions exclusive of mold flash, gate burrs, and dambar protrusions
Exact case and lead configuration at supplier discretion within limits shown

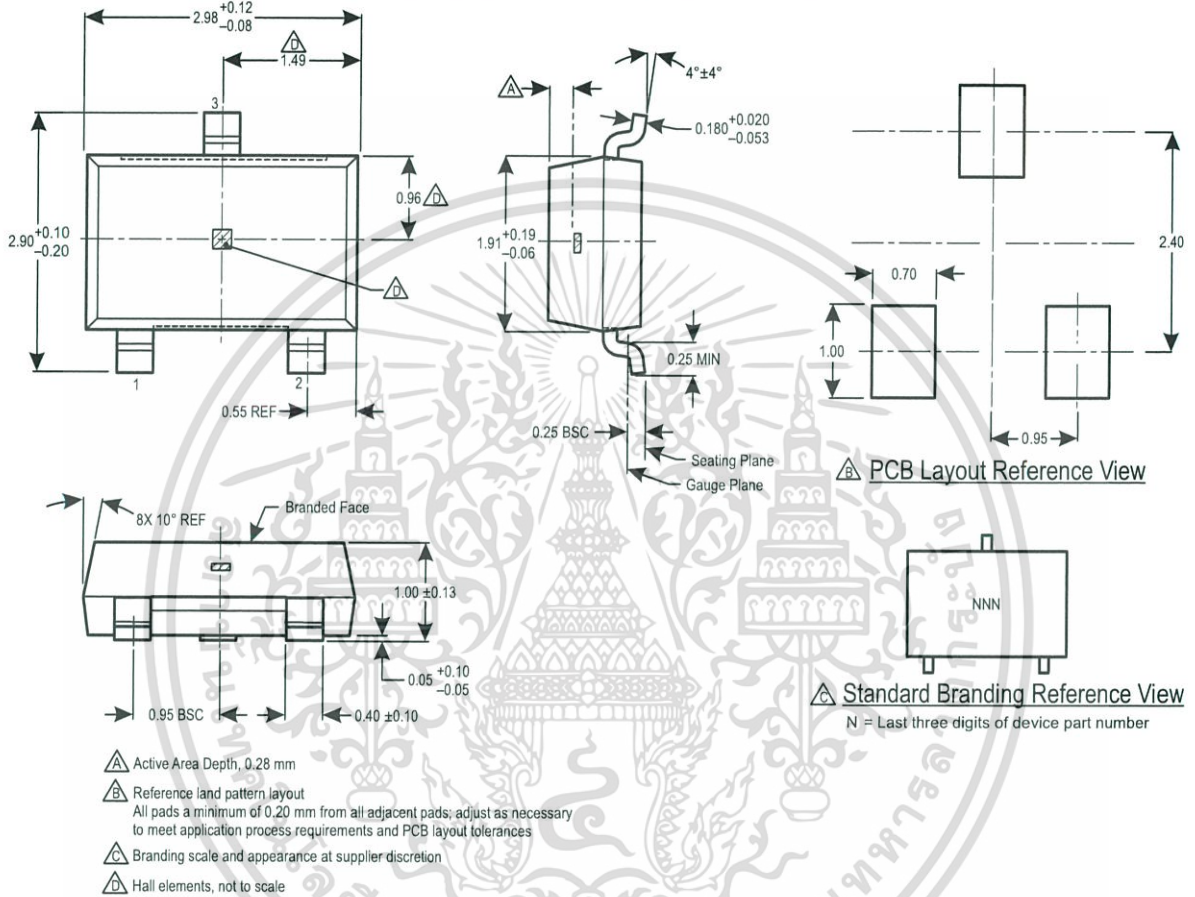


Figure 1: Package LH, 3-Pin; (SOT-23W)

For Reference Only – Not for Tooling Use

(Reference DWG-9065)

Dimensions in millimeters – NOT TO SCALE

Dimensions exclusive of mold flash, gate burrs, and dambar protrusions
Exact case and lead configuration at supplier discretion within limits shown

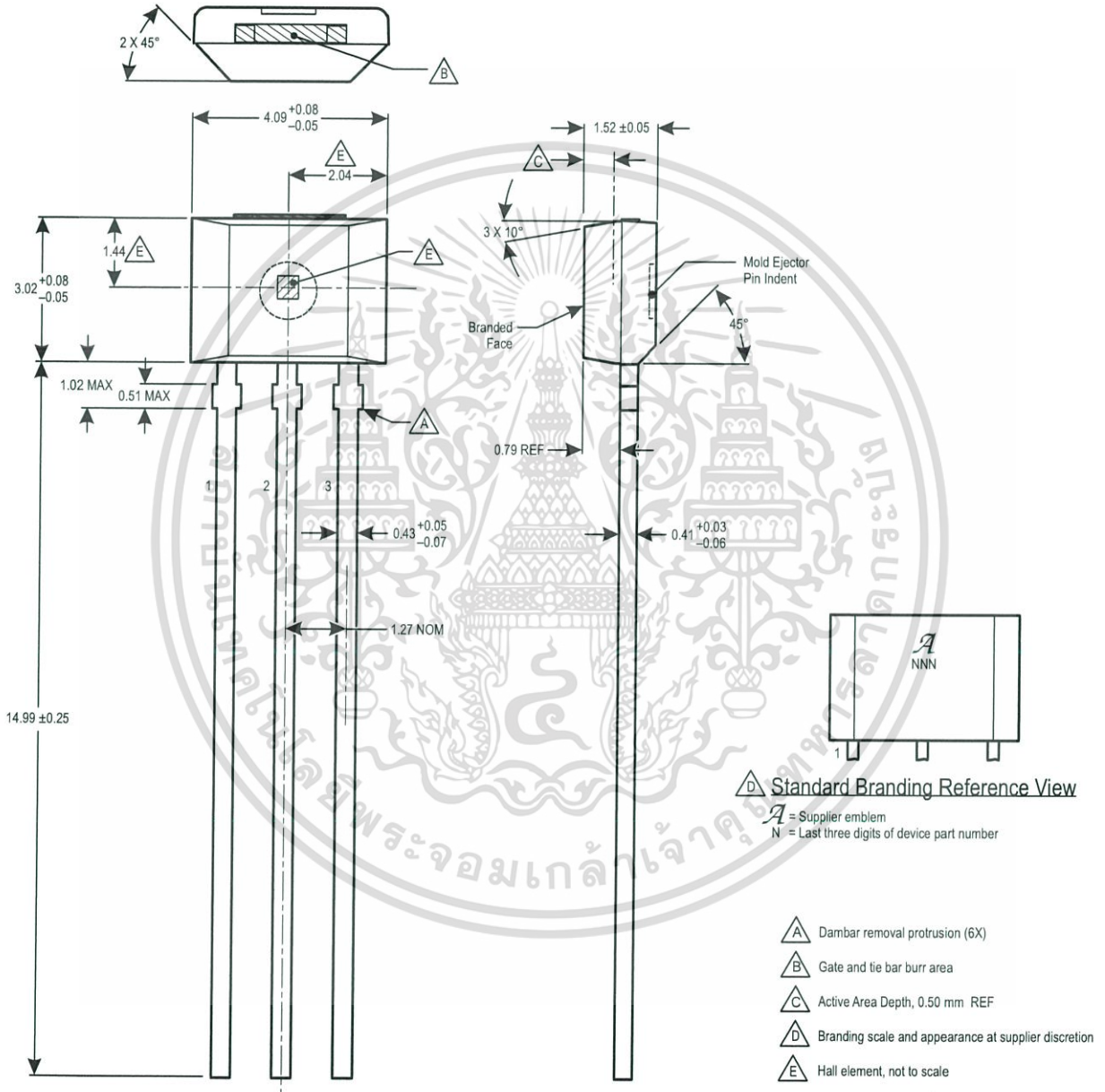


Figure 2: Package UA, 3-Pin SIP

Revision History

Revision	Revision Date	Description of Revision
18	April 26, 2013	Update UA package drawing
19	January 1, 2015	Add LX option to Selection Guide
20	July 13, 2015	Corrected LH package Active Area Depth value
21	December 1, 2015	Updated product status to "Not for New Design"
22	December 5, 2016	Updated product status to "Last Time Buy"



Copyright ©2005-2016, Allegro MicroSystems, LLC

Allegro MicroSystems, LLC reserves the right to make, from time to time, such departures from the detail specifications as may be required to permit improvements in the performance, reliability, or manufacturability of its products. Before placing an order, the user is cautioned to verify that the information being relied upon is current.

Allegro's products are not to be used in life support devices or systems, if a failure of an Allegro product can reasonably be expected to cause the failure of that life support device or system, or to affect the safety or effectiveness of that device or system.

The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems, LLC assumes no responsibility for its use; nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use.

For the latest version of this document, visit our website:

www.allegromicro.com

INA12x Precision, Low Power Instrumentation Amplifiers

1 Features

- Low Offset Voltage: 50 μV Maximum
- Low Drift: 0.5 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ Maximum
- Low Input Bias Current: 5 nA Maximum
- High CMR: 120 dB minimum
- Inputs Protected to $\pm 40\text{ V}$
- Wide Supply Range: $\pm 2.25\text{ V}$ to $\pm 18\text{ V}$
- Low Quiescent Current: 700 μA
- 8-PIN Plastic Dip, SO-8

2 Applications

- Bridge Amplifier
- Thermocouple Amplifier
- RTD Sensor Amplifier
- Medical Instrumentation
- Data Acquisition

3 Description

The INA128 and INA129 are low-power, general purpose instrumentation amplifiers offering excellent accuracy. The versatile 3-op amp design and small size make these amplifiers ideal for a wide range of applications. Current-feedback input circuitry provides wide bandwidth even at high gain (200 kHz at $G = 100$).

A single external resistor sets any gain from 1 to 10,000. The INA128 provides an industry-standard gain equation; the INA129 gain equation is compatible with the AD620.

The INA12x is laser-trimmed for very low offset voltage (50 μV), drift (0.5 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$) and high common-mode rejection (120 dB at $G \geq 100$). The INA12x operates with power supplies as low as $\pm 2.25\text{ V}$, and quiescent current is only 700 μA , ideal for battery-operated systems. Internal input protection can withstand up to $\pm 40\text{ V}$ without damage.

The INA12x is available in 8-pin plastic DIP and SO-8 surface-mount packages, specified for the -40°C to 85°C temperature range. The INA128 is also available in a dual configuration, the INA2128.

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
INA128	SOIC (8)	3.91 mm \times 4.9 mm
INA129	PDIP (8)	6.35 mm \times 9.81 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

Simplified Schematic

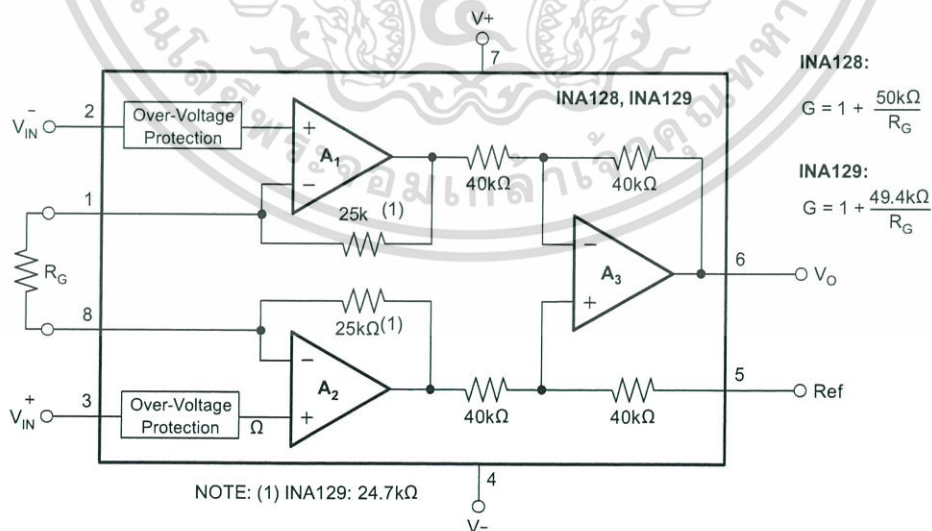


Table of Contents

1 Features	1	7.4 Device Functional Modes.....	11
2 Applications	1	8 Application and Implementation	13
3 Description	1	8.1 Application Information.....	13
4 Revision History	2	8.2 Typical Application	13
5 Pin Configuration and Functions	3	9 Power Supply Recommendations	16
6 Specifications	3	9.1 Low Voltage Operation	16
6.1 Absolute Maximum Ratings	3	10 Layout	18
6.2 ESD Ratings.....	3	10.1 Layout Guidelines	18
6.3 Recommended Operating Conditions.....	4	10.2 Layout Example	19
6.4 Thermal Information	4	11 Device and Documentation Support	20
6.5 Electrical Characteristics.....	4	11.1 Community Resources.....	20
6.6 Typical Characteristics	7	11.2 Related Links	20
7 Detailed Description	11	11.3 Trademarks	20
7.1 Overview	11	11.4 Electrostatic Discharge Caution.....	20
7.2 Functional Block Diagram	11	11.5 Glossary	20
7.3 Feature Description.....	11	12 Mechanical, Packaging, and Orderable Information	20

4 Revision History

NOTE: Page numbers for previous revisions may differ from page numbers in the current version.

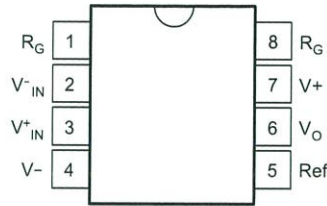
Changes from Revision B (February 2005) to Revision C

Page

- Added *ESD Ratings* table, *Feature Description* section, *Device Functional Modes*, *Application and Implementation* section, *Power Supply Recommendations* section, *Layout* section, *Device and Documentation Support* section, and *Mechanical, Packaging, and Orderable Information* section..... 1

5 Pin Configuration and Functions

D and P Packages
8 Pin SOIC and PDIP
Top View



Pin Functions

PIN		I/O	DESCRIPTION
NAME	NO.		
REF	5	I	Reference input. This pin must be driven by low impedance or connected to ground.
R _G	1,8	—	Gain setting pin. For gains greater than 1, place a gain resistor between pin 1 and pin 8.
V ⁻	4	—	Negative supply
V ⁺	7	—	Positive supply
V _{IN-}	2	I	Negative input
V _{IN+}	3	I	Positive input
V _O	6	I	Output

6 Specifications

6.1 Absolute Maximum Ratings

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted) ⁽¹⁾

	MIN	MAX	UNIT
Supply voltage		±18	V
Analog input voltage		±40	V
Output short circuit (to ground)		continuous	
Operating temperature	-40	125	°C
Junction temperature		150	°C
Lead temperature (soldering, 10s)		300	°C
T _{stg} Storage temperature	-55	125	°C

(1) Stresses beyond those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, which do not imply functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions*. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

6.2 ESD Ratings

	VALUE	UNIT
V _(ESD) Electrostatic discharge	Human-body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 ⁽¹⁾	±2000
	Charged-device model (CDM), per JEDEC specification JESD22-C101 ⁽²⁾	±50

(1) JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

(2) JEDEC document JEP157 states that 250-V CDM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

6.3 Recommended Operating Conditions

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

	MIN	NOM	MAX	UNIT
V power supply	±2.25	±15	±18	V
Input common-mode voltage range for $V_O = 0$	V – +2 V		V + –2 V	
T _A operating temperature INA128-HT	–55		175	°C
T _A operating temperature INA129-HT	–55		210	°C

6.4 Thermal Information

THERMAL METRIC ⁽¹⁾		INA12x		UNIT
		D (SOIC)	P (PDIP)	
		8 PINS	8 PINS	
R _{θJA}	Junction-to-ambient thermal resistance	110	46.1	°C/W
R _{θJC(top)}	Junction-to-case (top) thermal resistance	57	34.1	°C/W
R _{θJB}	Junction-to-board thermal resistance	54	23.4	°C/W
Ψ _{JT}	Junction-to-top characterization parameter	11	11.3	°C/W
Ψ _{JB}	Junction-to-board characterization parameter	53	23.2	°C/W

(1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the *Semiconductor and IC Package Thermal Metrics* application report, [SPRA953](http://www.ti.com/lit/zip/spra953).

6.5 Electrical Characteristics

At T_A = 25°C, V_S = ±15 V, R_L = 10 kΩ, unless otherwise noted.

PARAMETER		TEST CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNIT
INPUT							
Offset Voltage, RTI	Initial	T _A = 25°C	INA128P, U INA129P, U	±10±100/G		±50±500/G	μV
			INA128PA, UA INA129PA, UA	±25±100/G		±125±1000/G	
	vs Temperature	T _A = T _{MIN} to T _{MAX}	INA128P, U INA129P, U	±0.2±2/G		±0.5±0/G	μV/°C
			INA128PA, UA INA129PA, UA	±0.2±5/G		±1±20/G	
	vs Power Supply	V _S = ±2.25 V to ±18 V	INA128P, U INA129P, U	±0.2±20/G		±1±100/G	μV/V
	INA128PA, UA INA129PA, UA				±2±200/G		
	Long-Term Stability			±0.1±3/g			μV/mo
Impedance	Differential				10 ¹⁰ 2		Ω pF
	Common-Mode				10 ¹¹ 9		
Common-Mode Voltage Range ⁽¹⁾		V _O = 0 V		(V+) – 2	(V+) – 1.4		V
				(V-) + 2	(V-) + 1.7		
Safe Input Voltage						±40	V

(1) Input common-mode range varies with output voltage - see [Typical Characteristics](#).

Electrical Characteristics (continued)

At TA = 25°C, VS = ±15 V, RL = 10 kΩ, unless otherwise noted.

PARAMETER		TEST CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNIT
Common-Mode Rejection		V _{CM} = ±13 V, ΔR _S = 1 kΩ	G = 1	INA128P, U INA129P, U	80	86	dB
				INA128PA, UA INA129PA, UA	73		
			G = 10	INA128P, U INA129P, U	100	106	
				INA128PA, UA INA129PA, UA	93		
		G = 100	INA128P, U INA129P, U	120	125		
			INA128PA, UA INA129PA, UA	110			
		G = 1000	INA128P, U INA129P, U	120	130		
			INA128PA, UA INA129PA, UA	110			
Bias Current			INA128P, U INA129P, U		±2	±5	nA
			INA128PA, UA INA129PA, UA			±10	
Bias Current vs Temperature					±30		pA/°C
Offset Current			INA128P, U INA129P, U		±1	±5	nA
			INA128PA, UA INA129PA, UA			±10	
Offset Current vs Temperature					±30		pA/°C
Noise Voltage, RTI	f = 10 Hz	G = 1000, R _S = 0Ω			10		nV/√Hz
	f = 100 Hz				8		
	f = 1 kHz				8		
	f _B = 0.1 Hz to 10 Hz				0.2		
Noise Current	f = 10 Hz				0.9		pA/√Hz
	f = 1 kHz				0.3		
	F _B = 0.1 Hz to 10 Hz				30		pA _{PP}
GAIN							
Gain Equation	INA128			1 + (50 kΩ/R _G)			V/V
	INA129			1 + (49.4 kΩ/R _G)			
Range of Gain				1		10000	V/V
Gain Error		G = 1	INA128P, U INA129P, U		±0.01%	±0.024%	
			INA128PA, UA INA129PA, UA			±0.01%	
		G = 10	INA128P, U INA129P, U		±0.02%	±0.4%	
			INA128PA, UA INA129PA, UA			±0.5%	
		G = 100	INA128P, U INA129P, U		±0.05%	±0.5%	
			INA128PA, UA INA129PA, UA			±0.7%	
		G = 1000	INA128P, U INA129P, U		±0.5%	±1%	
			INA128PA, UA INA129PA, UA			±2%	

Electrical Characteristics (continued)

At TA = 25°C, VS = ±15 V, RL = 10 kΩ, unless otherwise noted.

PARAMETER	TEST CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNIT
Gain vs Temperature ⁽²⁾	G = 1			±1	±10	ppm/°C
	50-kΩ (or 49.4-kΩ) Resistance ⁽²⁾⁽³⁾			±25	±100	
Nonlinearity	VO = ±13.6 V, G = 1	INA128P, U INA129P, U		±0.0001	±0.001	% of FSR
		INA128PA, UA INA129PA, UA			±0.002	
	G = 10	INA128P, U INA129P, U		±0.0003	±0.002	
		INA128PA, UA INA129PA, UA			±0.004	
	G = 100	INA128P, U INA129P, U		±0.0005	±0.002	
		INA128PA, UA INA129PA, UA			±0.004	
G = 1000			±0.001			
⁽⁴⁾OUTPUT						
Voltage	Positive	RL = 10 kΩ	(V+) - 1.4	(V+) - 0.9		V
	Negative	RL = 10 kΩ	(V-) + 1.4	(V-) + 0.8		
Load Capacitance Stability				1000		pF
Short Circuit Current				6/-15		mA
FREQUENCY RESPONSE						
Bandwidth, -3 dB	G = 1			1.3		MHz
	G = 10			700		kHz
	G = 100			200		
	G = 1000			20		
Slew Rate	VO = ±10 V, G = 10			4		V/μs
Settling Time, 0.01%	G = 1			7		μs
	G = 10			7		
	G = 100			9		
	G = 1000			80		
Overload Recovery	50% Overdrive			4		μs
POWER SUPPLY						
Voltage Range			±2.25	±15	±18	V
Current, Total		VIN = 0 V		±700	±750	μA
TEMPERATURE RANGE						
Specification			-40		85	°C
Operating			-40		125	°C

(2) Specified by wafer test.

(3) Temperature coefficient of the 50 kΩ (or 49.4 kΩ) term in the gain equation.

(4) Nonlinearity measurements in G = 1000 are dominated by noise. Typical non-linearity is ±0.001%.

6.6 Typical Characteristics

At $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 15\text{ V}$, unless otherwise noted.

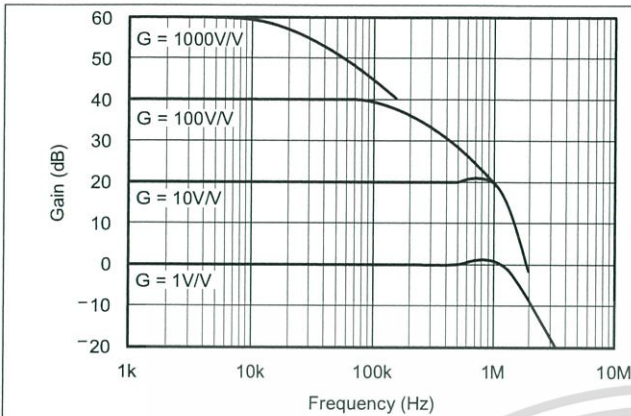


Figure 1. Gain vs Frequency

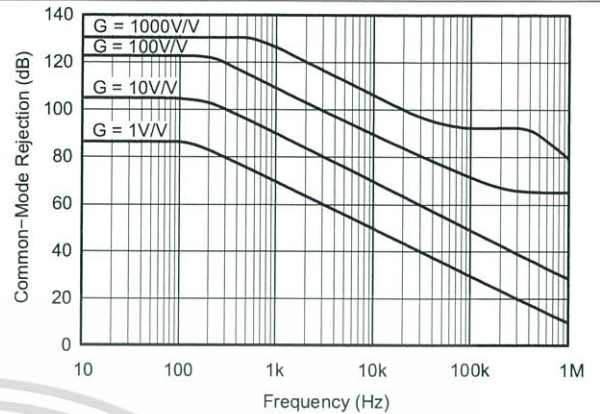


Figure 2. Common-Mode Rejection vs Frequency

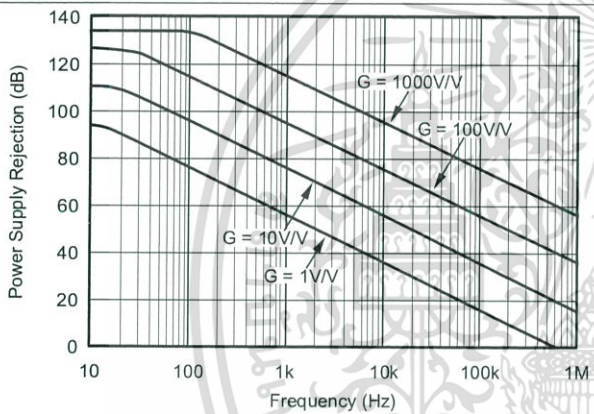


Figure 3. Positive Power Supply Rejection vs Frequency

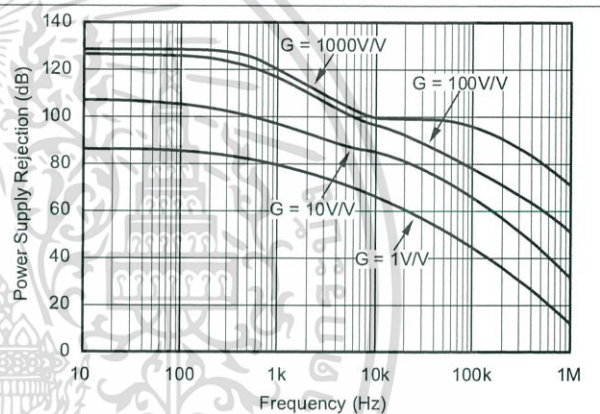


Figure 4. Negative Power Supply Rejection vs Frequency

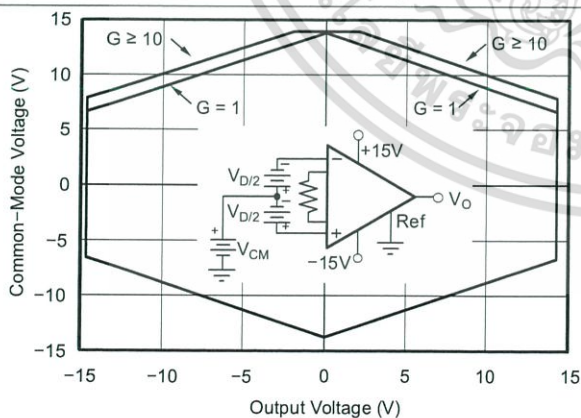


Figure 5. Input Common-Mode Range vs Output Voltage, $V_S = \pm 15\text{ V}$

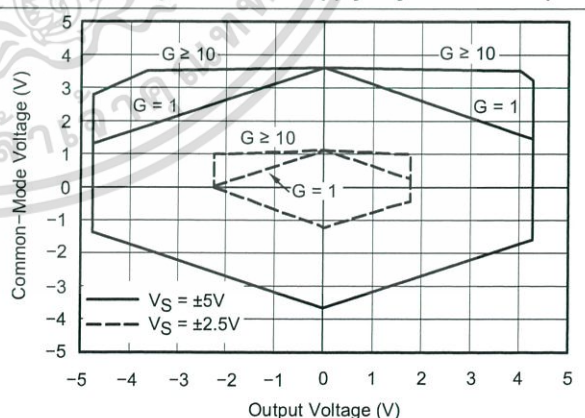


Figure 6. Input Common-Mode Range vs Output Voltage, $V_S = \pm 5\text{ V}, \pm 2.5\text{ V}$

Typical Characteristics (continued)

At $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 15\text{ V}$, unless otherwise noted.

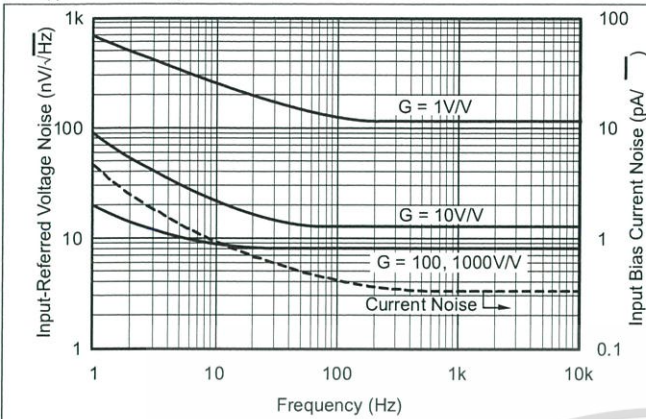


Figure 7. Input-Referred Noise vs Frequency

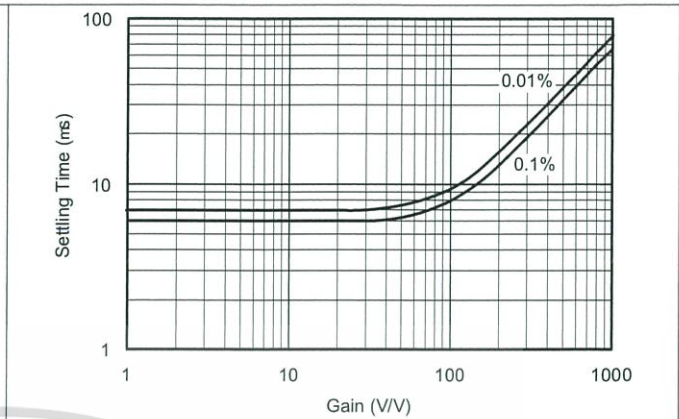


Figure 8. Settling Time vs Gain

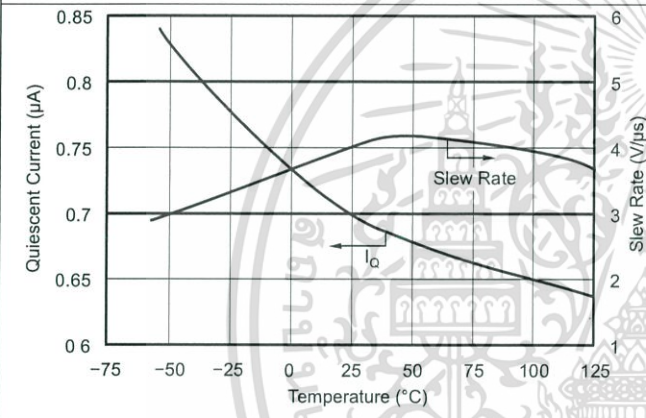


Figure 9. Quiescent Current and Slew Rate vs Temperature

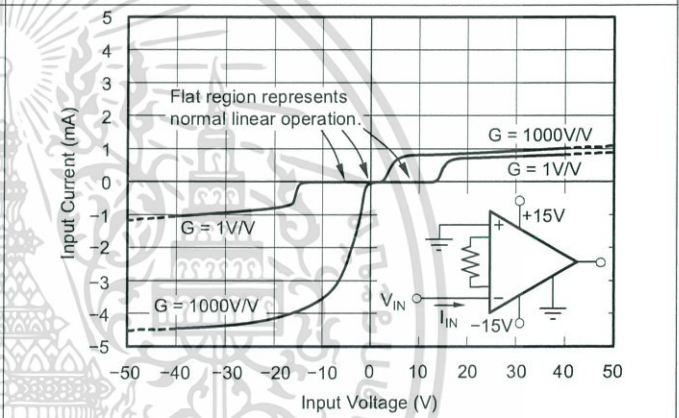


Figure 10. Input Overvoltage V/I Characteristics

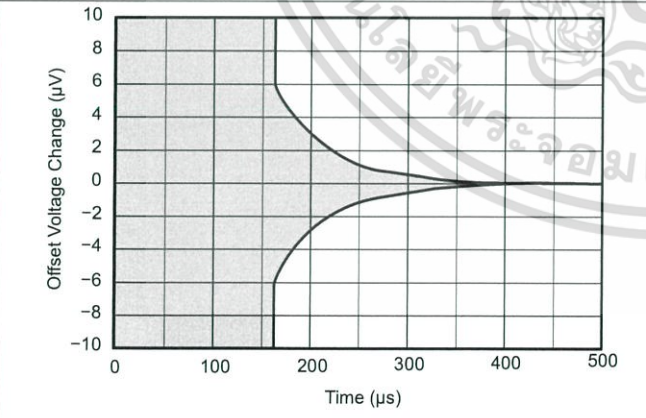


Figure 11. Input Offset Voltage Warm-Up

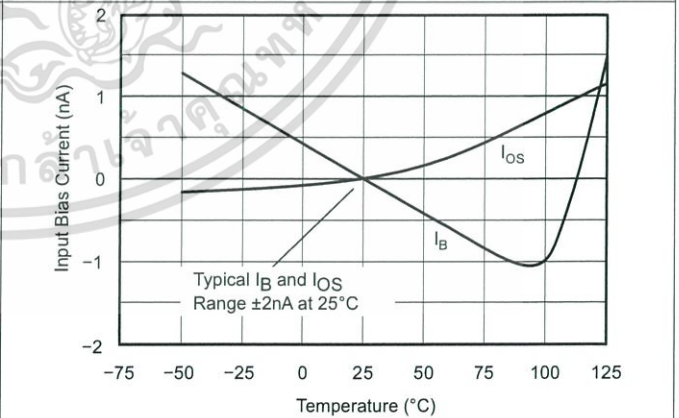


Figure 12. Input Bias Current vs Temperature

Typical Characteristics (continued)

At $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 15\text{ V}$, unless otherwise noted.

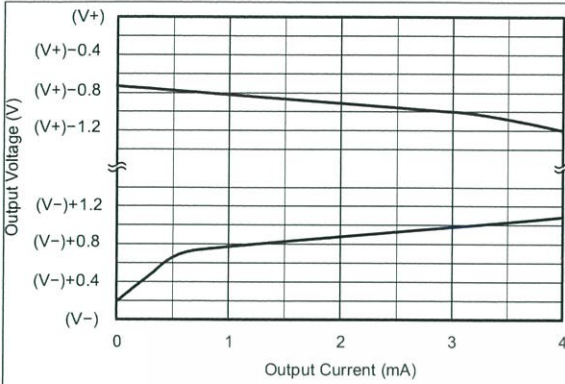


Figure 13. Output Voltage Swing vs Output Current

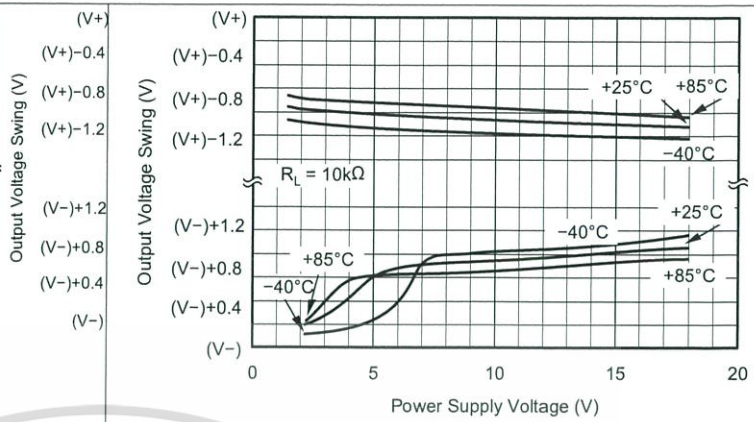


Figure 14. Output Voltage Swing vs Power Supply Voltage

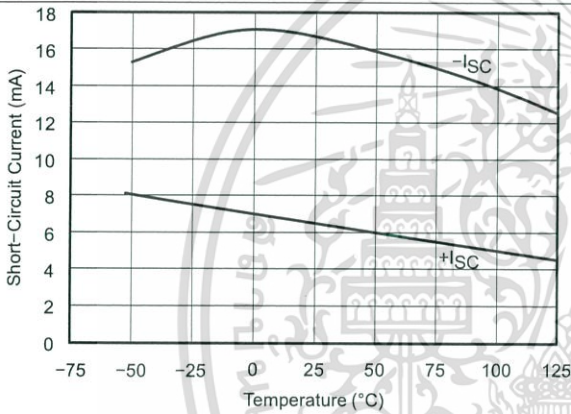


Figure 15. Short-Circuit Output Current vs Temperature

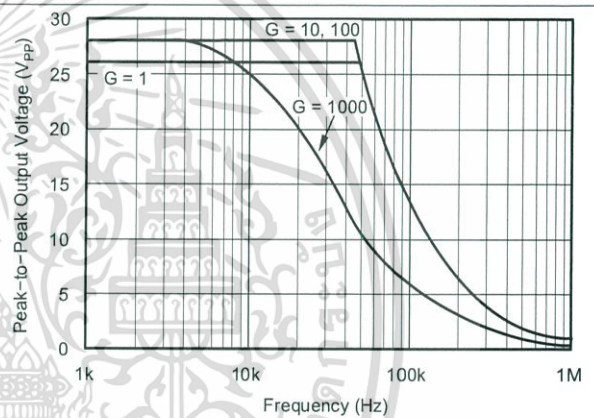


Figure 16. Maximum Output Voltage vs Frequency

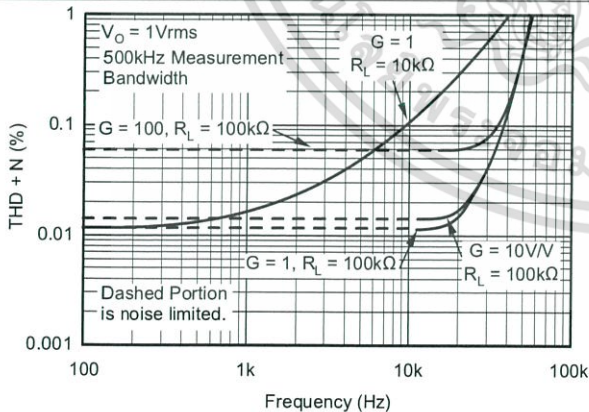


Figure 17. Total Harmonic Distortion + Noise vs Frequency

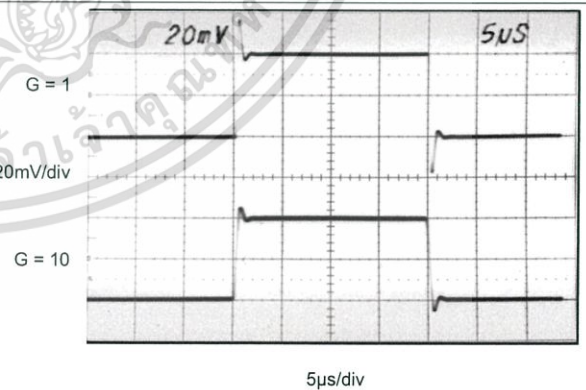
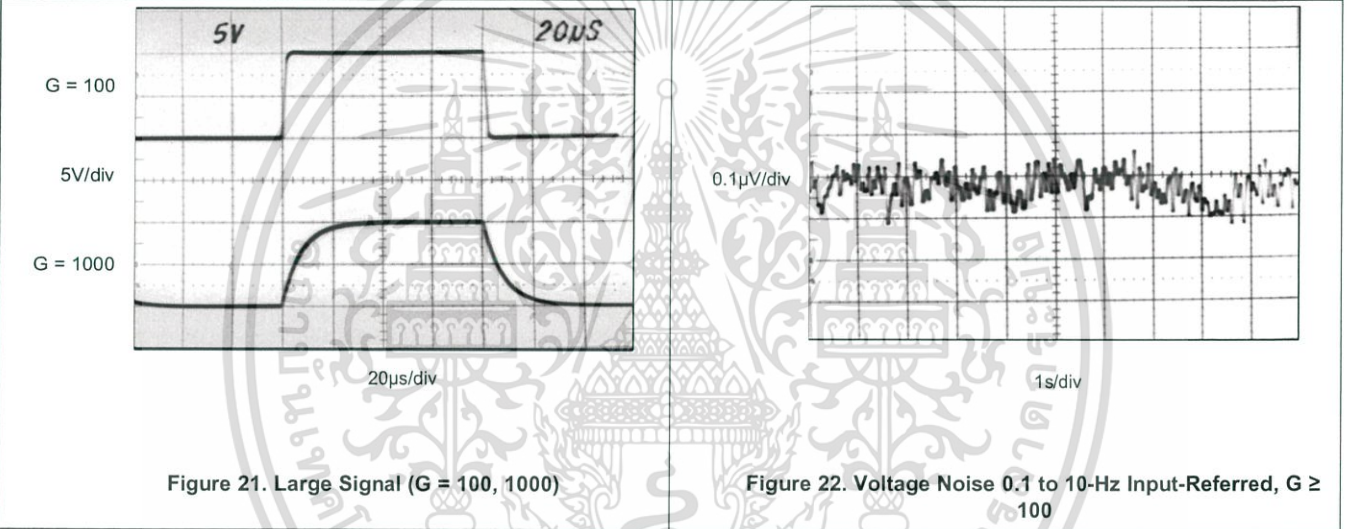
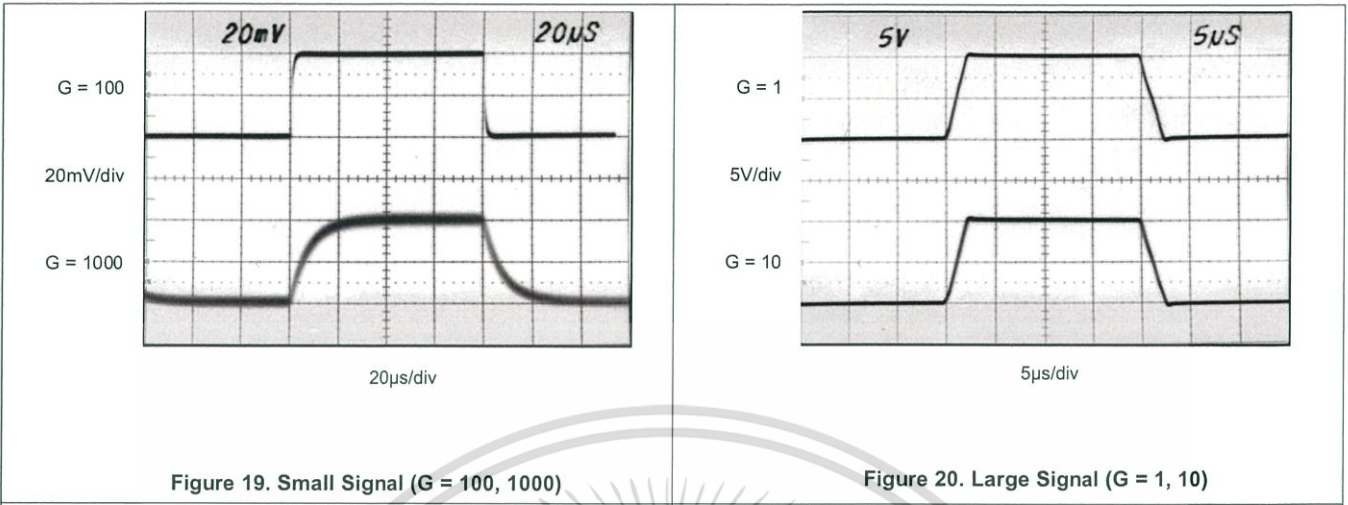


Figure 18. Small Signal (G = 1, 10)

Typical Characteristics (continued)

At $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 15\text{ V}$, unless otherwise noted.

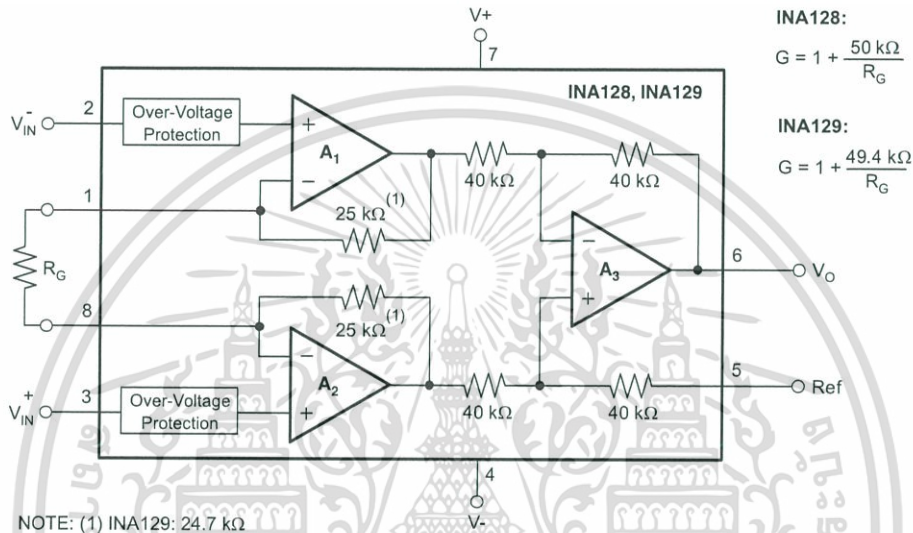


7 Detailed Description

7.1 Overview

The INA12x instrumentation amplifier is a type of differential amplifier that has been outfitted with input protection circuit and input buffer amplifiers, which eliminate the need for input impedance matching and make the amplifier particularly suitable for use in measurement and test equipment. Additional characteristics of the INA128 include a very low DC offset, low drift, low noise, very high open-loop gain, very high common-mode rejection ratio, and very high input impedances. The INA12x is used where great accuracy and stability of the circuit both short and long term are required.

7.2 Functional Block Diagram



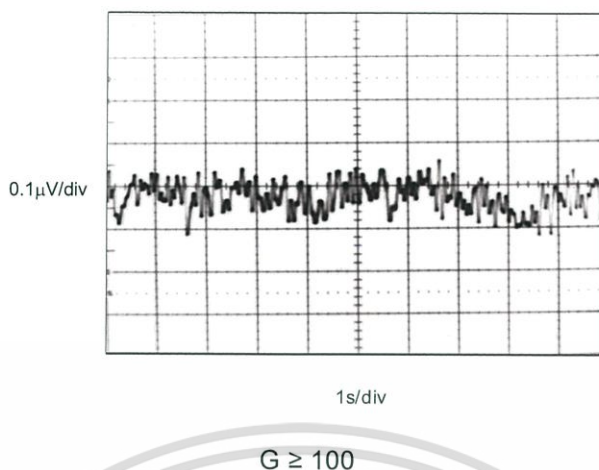
7.3 Feature Description

The INA12x devices are low power, general-purpose instrumentation amplifiers offering excellent accuracy. The versatile three-operational-amplifier design and small size make the amplifiers ideal for a wide range of applications. Current-feedback input circuitry provides wide bandwidth, even at high gain. A single external resistor sets any gain from 1 to 10,000. The INA128 is laser trimmed for very low offset voltage (25 μV typical) and high common-mode rejection (93 dB at $G \geq 100$). These devices operate with power supplies as low as $\pm 2.25 \text{ V}$, and quiescent current of 2 mA, typically. The internal input protection can withstand up to $\pm 40 \text{ V}$ without damage.

7.4 Device Functional Modes

7.4.1 Noise Performance

The INA12x provides very low noise in most applications. Low-frequency noise is approximately 0.2 μV_{PP} measured from 0.1 to 10 Hz ($G \geq 100$). This provides dramatically improved noise when compared to state-of-the-art chopper-stabilized amplifiers.

Device Functional Modes (continued)

Figure 23. 0.1-Hz to 10-Hz Input-Referred Voltage Noise
7.4.2 Input Common-Mode Range

The linear input voltage range of the input circuitry of the INA12x is from approximately 1.4 V below the positive supply voltage to 1.7 V above the negative supply. As a differential input voltage causes the output voltage increase, however, the linear input range is limited by the output voltage swing of amplifiers A₁ and A₂. Thus the linear common-mode input range is related to the output voltage of the complete amplifier. This behavior also depends on supply voltage (see performance curve [Figure 6](#)).

Input-overload can produce an output voltage that appears normal. For example, if an input overload condition drives both input amplifiers to their positive output swing limit, the difference voltage measured by the output amplifier will be near zero. The output of A₃ will be near 0 V even though both inputs are overloaded.

8 Application and Implementation

NOTE

Information in the following applications sections is not part of the TI component specification, and TI does not warrant its accuracy or completeness. TI's customers are responsible for determining suitability of components for their purposes. Customers should validate and test their design implementation to confirm system functionality.

8.1 Application Information

The INA12x measures small differential voltage with high common-mode voltage developed between the noninverting and inverting input. The high-input voltage protection circuit in conjunction with high input impedance make the INA12x suitable for a wide range of applications. The ability to set the reference pin to adjust the functionality of the output signal offers additional flexibility that is practical for multiple configurations.

8.2 Typical Application

Figure 24 shows the basic connections required for operation of the INA12x. Applications with noisy or high impedance power supplies may require decoupling capacitors close to the device pins as shown. The output is referred to the output reference (Ref) terminal which is normally grounded. This must be a low-impedance connection to assure good common-mode rejection. A resistance of 8 Ω in series with the Ref pin will cause a typical device to degrade to approximately 80dB CMR ($G = 1$).

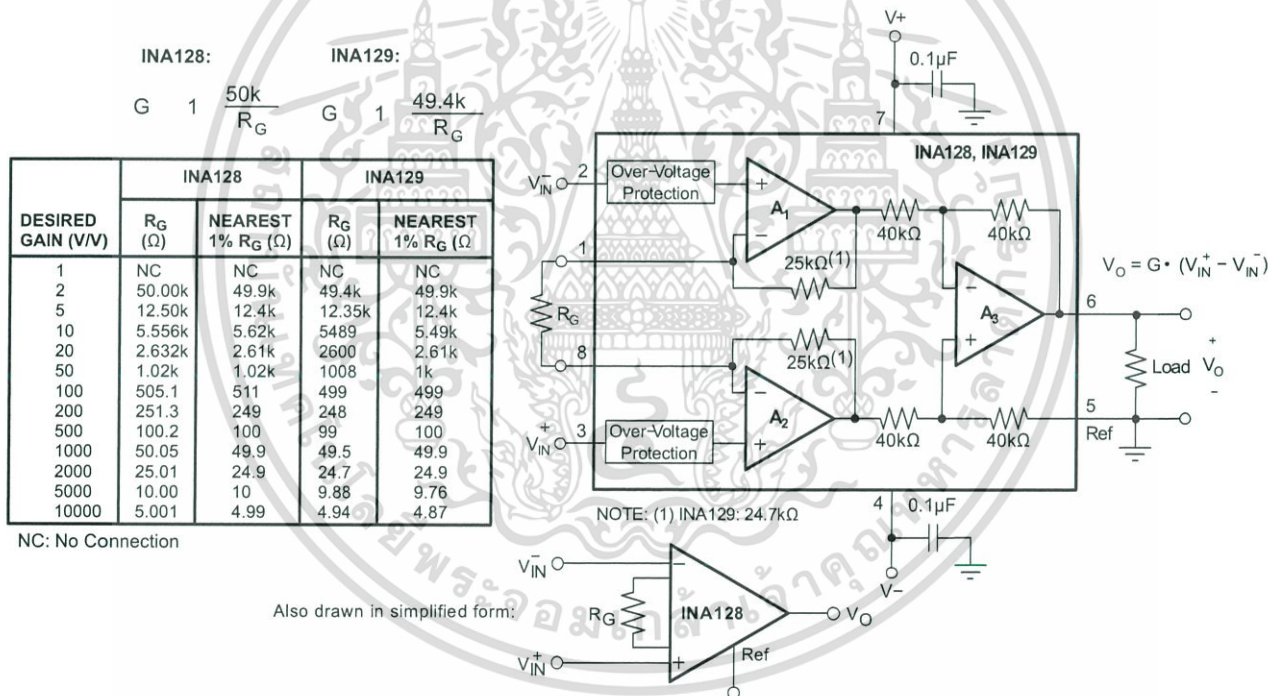


Figure 24. Basic Connections

8.2.1 Design Requirements

The device can be configured to monitor the input differential voltage when the gain of the input signal is set by the external resistor R_G . The output signal references to the Ref pin. The most common application is where the output is referenced to ground when no input signal is present by connecting the Ref pin to ground, as Figure 24 shows. When the input signal increases, the output voltage at the OUT pin increases, too.

Typical Application (continued)

8.2.2 Detailed Design Procedure

8.2.2.1 Setting the Gain

Gain is set by connecting a single external resistor, R_G , connected between pins 1 and 8:

$$\text{INA128: } g = 1 + 50 \text{ k}\Omega / R_G \quad (1)$$

Commonly used gains and resistor values are shown in [Figure 24](#).

The 50-k Ω term in [Equation 1](#) comes from the sum of the two internal feedback resistors of A_1 and A_2 . These on-chip metal film resistors are laser-trimmed to accurate absolute values. The accuracy and temperature coefficient of these internal resistors are included in the gain accuracy and drift specifications of the INA128.

The stability and temperature drift of the external gain setting resistor, R_G , also affects gain. R_G 's contribution to gain accuracy and drift can be directly inferred from [Equation 1](#). Low resistor values required for high gain can make wiring resistance important. Sockets add to the wiring resistance, which contributes additional gain error (possibly an unstable gain error) in gains of approximately 100 or greater.

8.2.2.2 Dynamic Performance

The typical performance curve [Figure 1](#) shows that, despite its low quiescent current, the INA12x achieves wide bandwidth even at high gain. This is due to the current-feedback topology of the input stage circuitry. Settling time also remains excellent at high gain.

8.2.2.3 Offset Trimming

The INA12x is laser-trimmed for low-offset voltage and offset voltage drift. Most applications require no external offset adjustment. [Figure 25](#) shows an optional circuit for trimming the output offset voltage. The voltage applied to the Ref terminal is summed with the output. The op amp buffer provides low impedance at the Ref terminal to preserve good common-mode rejection.

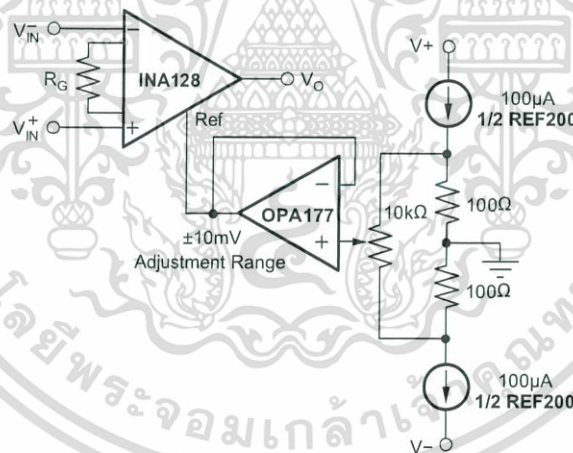


Figure 25. Optional Trimming of Output Offset Voltage

8.2.2.4 Input Bias Current Return Path

The input impedance of the INA12x is extremely high: approximately $10^{10} \Omega$. However, a path must be provided for the input bias current of both inputs. This input bias current is approximately $\pm 2 \text{ nA}$. High input impedance means that this input bias current changes very little with varying input voltage.

Input circuitry must provide a path for this input bias current for proper operation. [Figure 26](#) shows various provisions for an input bias current path. Without a bias current path, the inputs will float to a potential which exceeds the common-mode range, and the input amplifiers will saturate.

Typical Application (continued)

If the differential source resistance is low, the bias current return path can be connected to one input (see the thermocouple example in Figure 26). With higher source impedance, using two equal resistors provides a balanced input, with possible advantages of lower input offset voltage due to bias current and better high-frequency common-mode rejection.

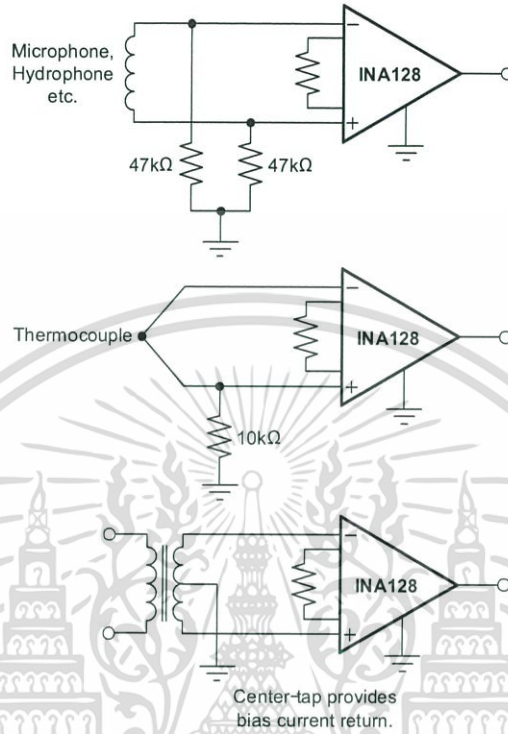


Figure 26. Providing an Input Common-Mode Current Path

8.2.3 Application Curves

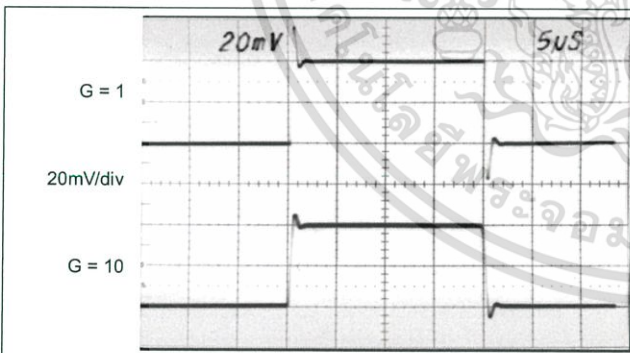


Figure 27. Small Signal

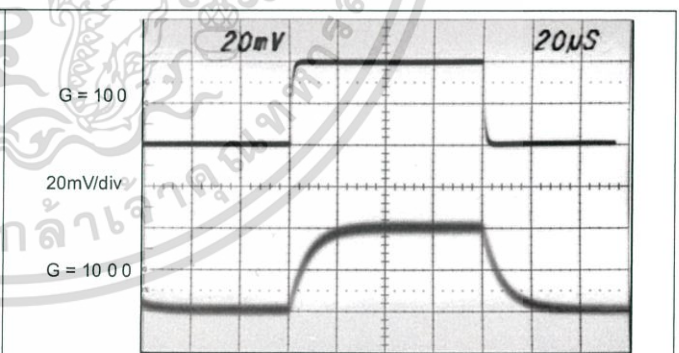
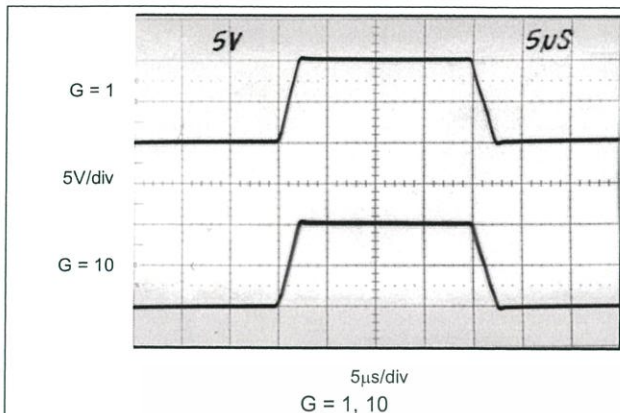
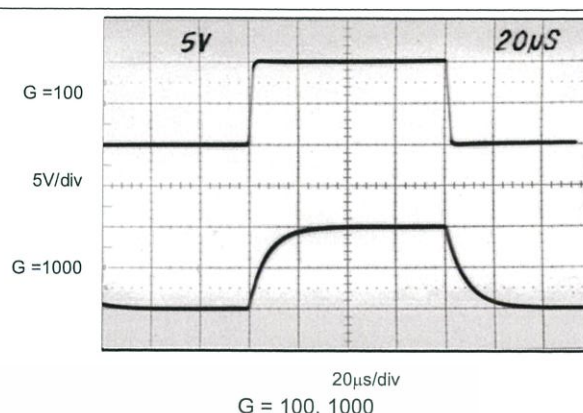


Figure 28. Small Signal

Typical Application (continued)

Figure 29. Large Signal

Figure 30. Large Signal

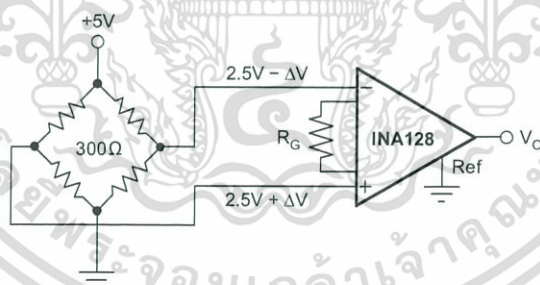
9 Power Supply Recommendations

The minimum power supply voltage for INA12x is ± 2.25 V and the maximum power supply voltage is ± 18 V. This minimum and maximum range covers a wide range of power supplies; but for optimum performance, ± 15 V is recommended. TI recommends adding a bypass capacitor at the input to compensate for the layout and power supply source impedance.

9.1 Low Voltage Operation

The INA12x can be operated on power supplies as low as ± 2.25 V. Performance remains excellent with power supplies ranging from ± 2.25 V to ± 18 V. Most parameters vary only slightly throughout this supply voltage range—see *Typical Characteristics*.

Operation at very low supply voltage requires careful attention to assure that the input voltages remain within their linear range. Voltage swing requirements of internal nodes limit the input common-mode range with low power supply voltage. Figure 6 shows the range of linear operation for ± 15 -V, ± 5 -V, and ± 2.5 -V supplies.


Figure 31. Bridge Amplifier

Low Voltage Operation (continued)

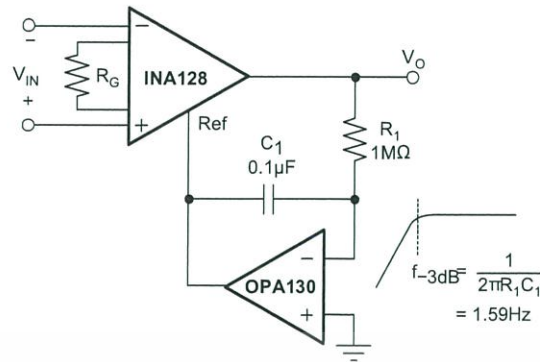


Figure 32. AC-Coupled Instrumentation Amplifier

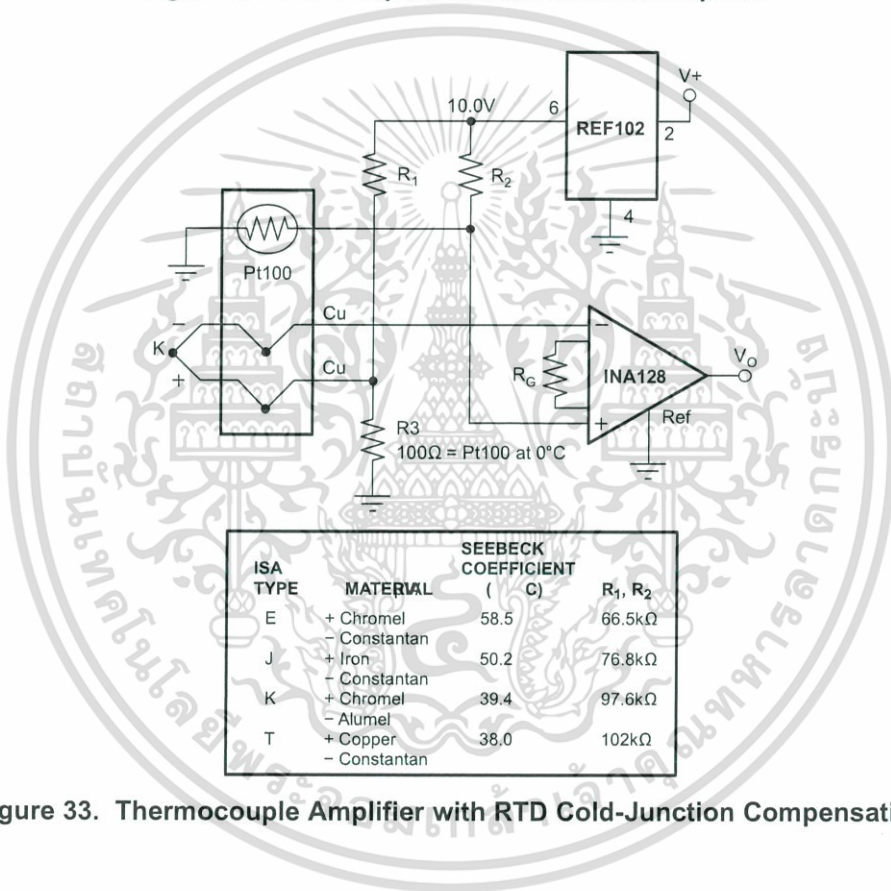


Figure 33. Thermocouple Amplifier with RTD Cold-Junction Compensation

Low Voltage Operation (continued)

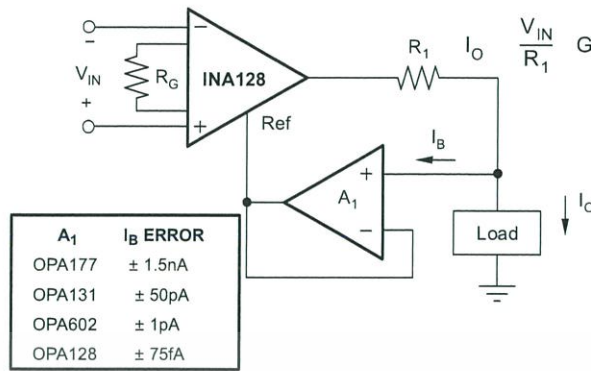


Figure 34. Differential Voltage to Current Converter

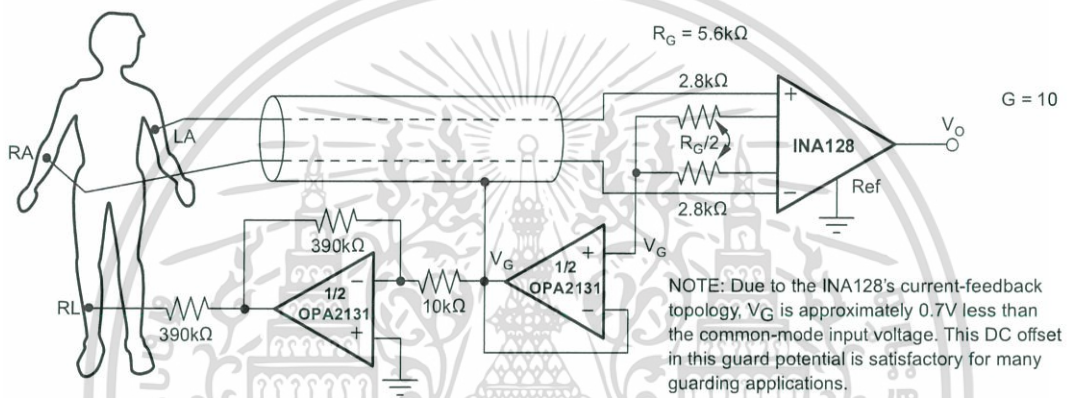


Figure 35. ECG Amplifier with Right-Leg Drive

10 Layout

10.1 Layout Guidelines

Place the power-supply bypass capacitor as closely as possible to the supply and ground pins. The recommended value of this bypass capacitor is 0.1 μF to 1 μF. If necessary, additional decoupling capacitance can be added to compensate for noisy or high-impedance power supplies. These decoupling capacitors must be placed between the power supply and INA12x devices.

The gain resistor must be placed close to pin 1 and pin 8. This placement limits the layout loop and minimizes any noise coupling into the part.

10.2 Layout Example

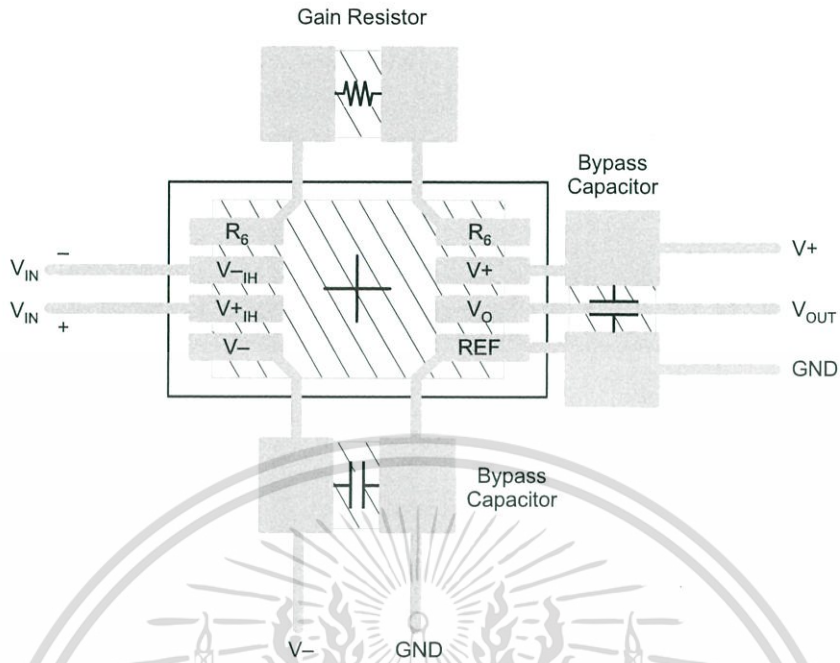


Figure 36. Recommended Layout

11 Device and Documentation Support

11.1 Community Resources

The following links connect to TI community resources. Linked contents are provided "AS IS" by the respective contributors. They do not constitute TI specifications and do not necessarily reflect TI's views; see TI's [Terms of Use](#).

TI E2E™ Online Community *TI's Engineer-to-Engineer (E2E) Community*. Created to foster collaboration among engineers. At e2e.ti.com, you can ask questions, share knowledge, explore ideas and help solve problems with fellow engineers.

Design Support *TI's Design Support* Quickly find helpful E2E forums along with design support tools and contact information for technical support.

11.2 Related Links

The table below lists quick access links. Categories include technical documents, support and community resources, tools and software, and quick access to sample or buy.

Table 1. Related Links

PARTS	PRODUCT FOLDER	SAMPLE & BUY	TECHNICAL DOCUMENTS	TOOLS & SOFTWARE	SUPPORT & COMMUNITY
INA128	Click here	Click here	Click here	Click here	Click here
INA129	Click here	Click here	Click here	Click here	Click here

11.3 Trademarks

E2E is a trademark of Texas Instruments. All other trademarks are the property of their respective owners.

11.4 Electrostatic Discharge Caution



These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

11.5 Glossary

SLYZ022 — *TI Glossary*.

This glossary lists and explains terms, acronyms, and definitions.

12 Mechanical, Packaging, and Orderable Information

The following pages include mechanical, packaging, and orderable information. This information is the most current data available for the designated devices. This data is subject to change without notice and revision of this document. For browser-based versions of this data sheet, refer to the left-hand navigation.

PACKAGING INFORMATION

Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead/Ball Finish (6)	MSL Peak Temp (3)	Op Temp (°C)	Device Marking (4/5)	Samples
INA128P	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type		INA128P	Samples
INA128PA	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type		INA128P A	Samples
INA128PAG4	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type		INA128P A	Samples
INA128PG4	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type		INA128P	Samples
INA128U	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR		INA 128U	Samples
INA128U/2K5	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR		INA 128U	Samples
INA128U/2K5G4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR		INA 128U	Samples
INA128UA	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	INA 128U A	Samples
INA128UA/2K5	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	INA 128U A	Samples
INA128UA/2K5E4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	INA 128U A	Samples
INA128UA/2K5G4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	INA 128U A	Samples
INA128UAE4	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	INA 128U A	Samples
INA128UAG4	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	INA 128U A	Samples
INA128UG4	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR		INA 128U	Samples

Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead/Ball Finish (6)	MSL Peak Temp (3)	Op Temp (°C)	Device Marking (4/5)	Samples
INA129P	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type		INA129P	Samples
INA129PA	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type		INA129P A	Samples
INA129PAG4	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type		INA129P A	Samples
INA129PG4	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type		INA129P	Samples
INA129U	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR		INA 129U	Samples
INA129U/2K5	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR		INA 129U	Samples
INA129U/2K5G4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR		INA 129U	Samples
INA129UA	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	INA 129U A	Samples
INA129UA/2K5	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	INA 129U A	Samples
INA129UA/2K5E4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	INA 129U A	Samples
INA129UA/2K5G4	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	INA 129U A	Samples
INA129UAE4	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	INA 129U A	Samples
INA129UG4	ACTIVE	SOIC	D	8	75	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR		INA 129U	Samples

(1) The marketing status values are defined as follows:

ACTIVE: Product device recommended for new designs.

LIFEBUY: TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

NRND: Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

PREVIEW: Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.

OBSOLETE: TI has discontinued the production of the device.

(2) Eco Plan - The planned eco-friendly classification: Pb-Free (RoHS), Pb-Free (RoHS Exempt), or Green (RoHS & no Sb/Br) - please check <http://www.ti.com/productcontent> for the latest availability information and additional product content details.

TBD: The Pb-Free/Green conversion plan has not been defined.

Pb-Free (RoHS): TI's terms "Lead-Free" or "Pb-Free" mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TI Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.

Pb-Free (RoHS Exempt): This component has a RoHS exemption for either 1) lead-based flip-chip solder bumps used between the die and package, or 2) lead-based die adhesive used between the die and leadframe. The component is otherwise considered Pb-Free (RoHS compatible) as defined above.

Green (RoHS & no Sb/Br): TI defines "Green" to mean Pb-Free (RoHS compatible), and free of Bromine (Br) and Antimony (Sb) based flame retardants (Br or Sb do not exceed 0.1% by weight in homogeneous material)

(3) MSL, Peak Temp. - The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

(4) There may be additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category on the device.

(5) Multiple Device Markings will be inside parentheses. Only one Device Marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a device. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire Device Marking for that device.

(6) Lead/Ball Finish - Orderable Devices may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead/Ball Finish values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

Important Information and Disclaimer: The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

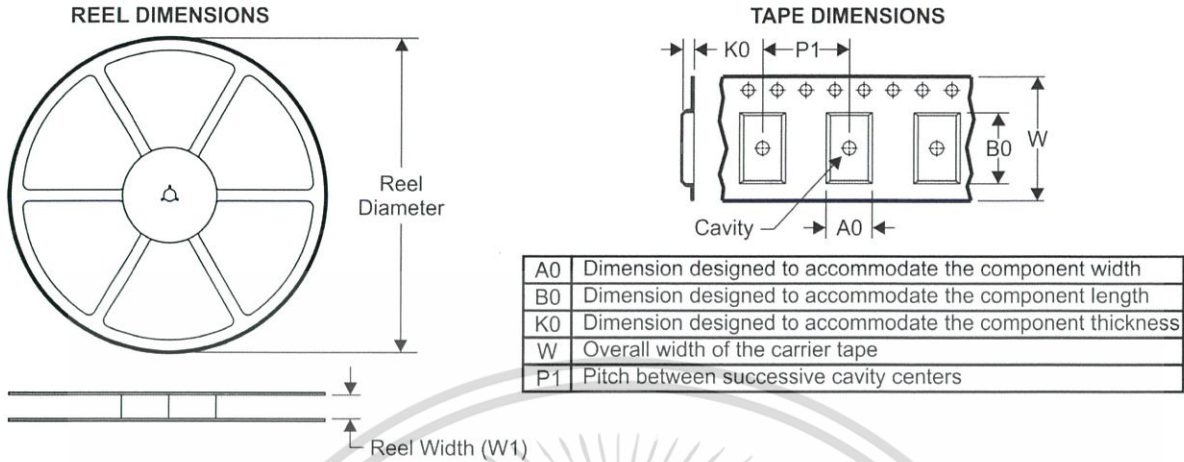
OTHER QUALIFIED VERSIONS OF INA128, INA129 :

- Enhanced Product: [INA129-EP](#)

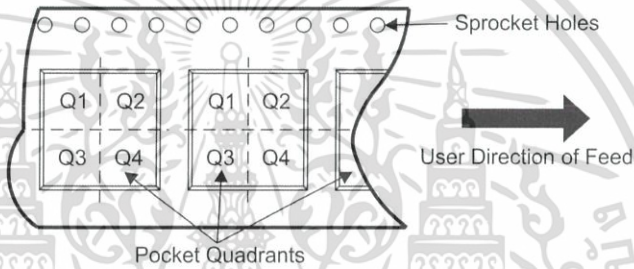
NOTE: Qualified Version Definitions:

- Enhanced Product - Supports Defense, Aerospace and Medical Applications

TAPE AND REEL INFORMATION

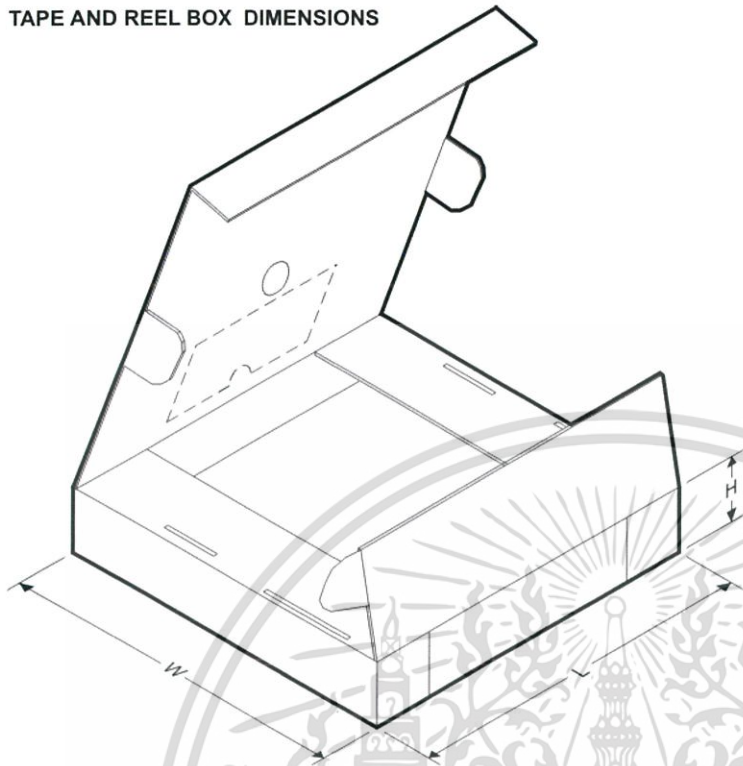


QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
INA128U/2K5	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
INA128UA/2K5	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
INA129U/2K5	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1
INA129UA/2K5	SOIC	D	8	2500	330.0	12.4	6.4	5.2	2.1	8.0	12.0	Q1

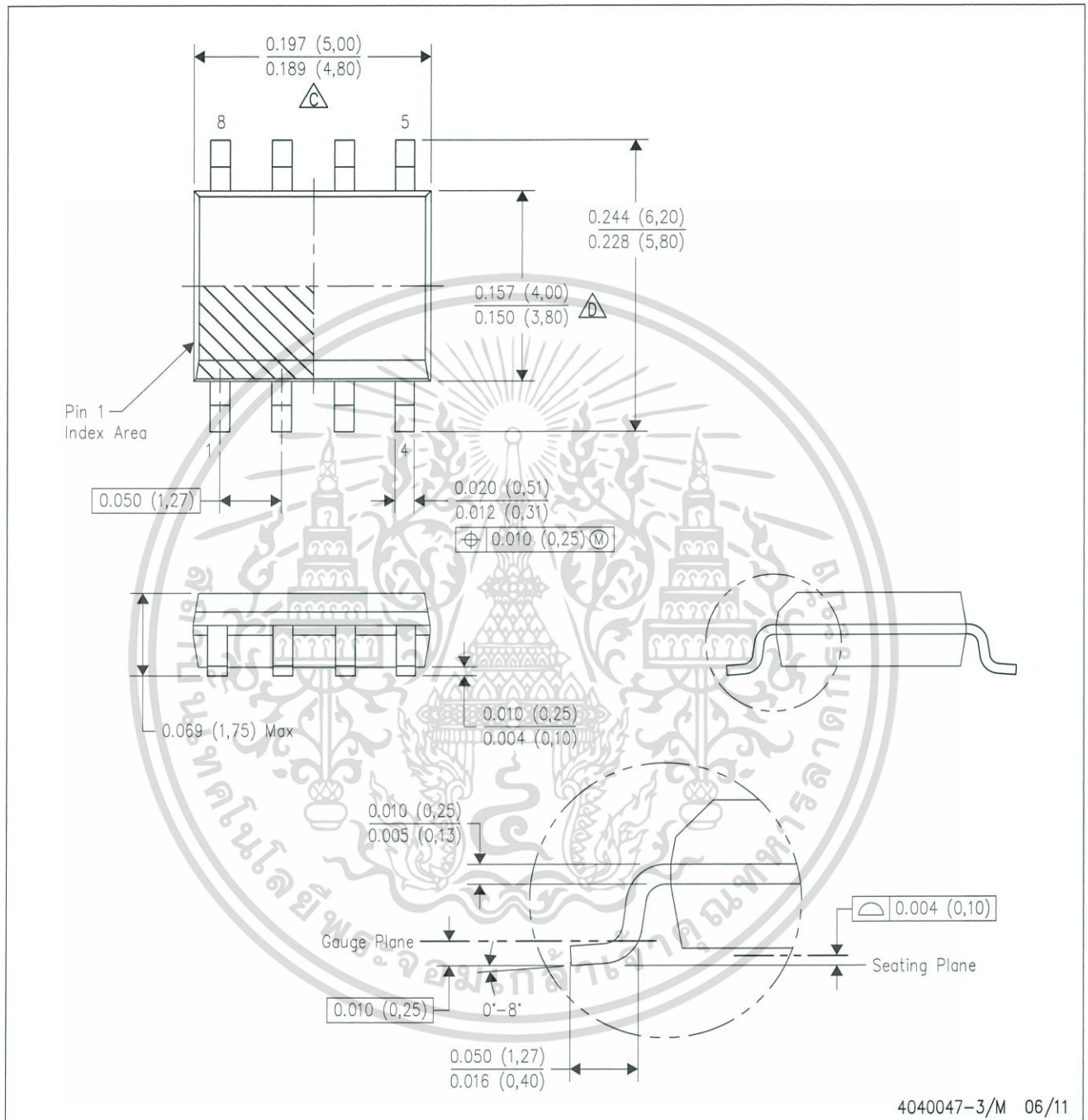
TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS


*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
INA128U/2K5	SOIC	D	8	2500	367.0	367.0	35.0
INA128UA/2K5	SOIC	D	8	2500	367.0	367.0	35.0
INA129U/2K5	SOIC	D	8	2500	367.0	367.0	35.0
INA129UA/2K5	SOIC	D	8	2500	367.0	367.0	35.0

D (R-PDSO-G8)

PLASTIC SMALL OUTLINE

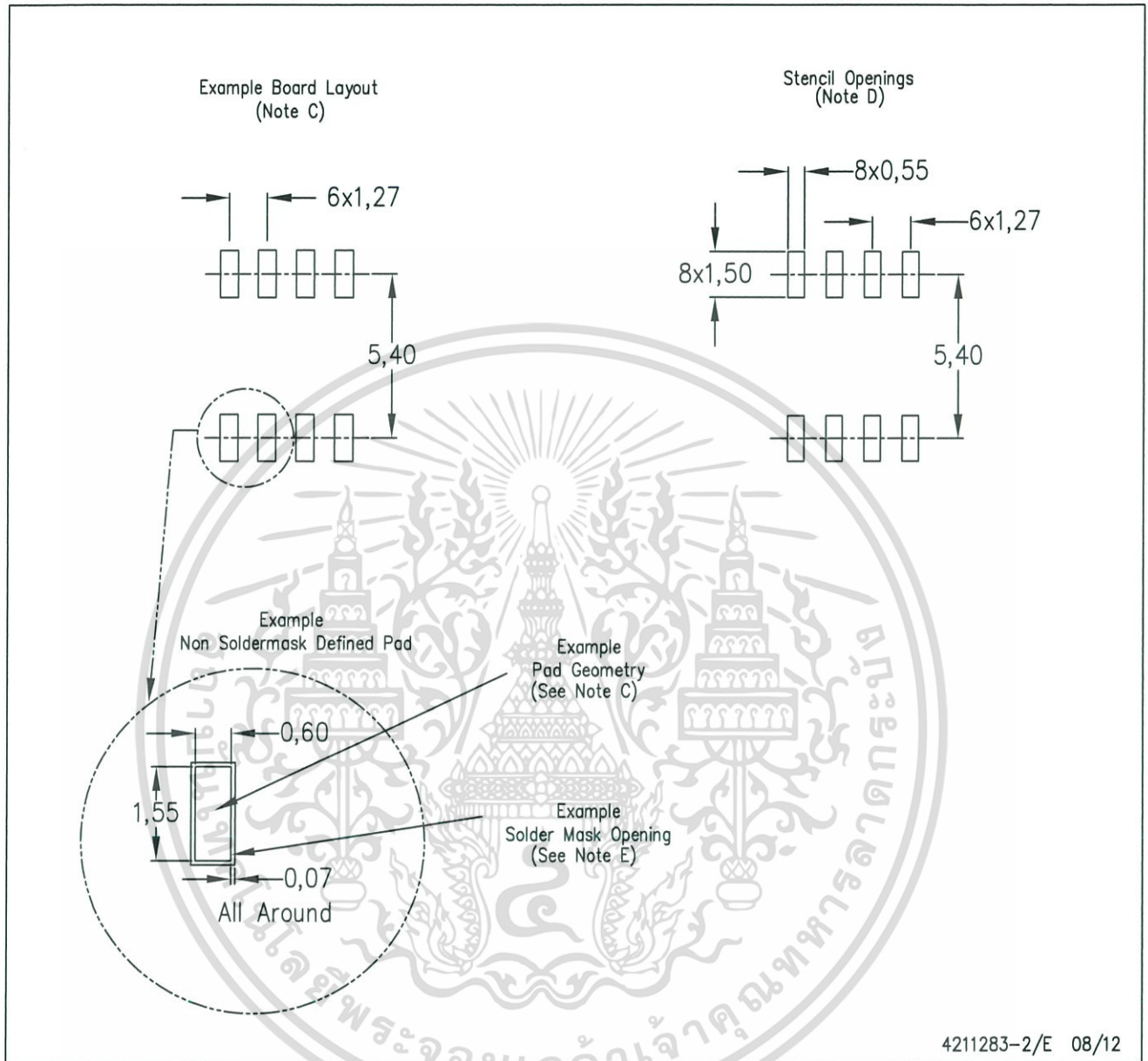


4040047-3/M 06/11

- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - Body length does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed 0.006 (0,15) each side.
 - Body width does not include interlead flash. Interlead flash shall not exceed 0.017 (0,43) each side.
 - E. Reference JEDEC MS-012 variation AA.

D (R-PDSO-G8)

PLASTIC SMALL OUTLINE

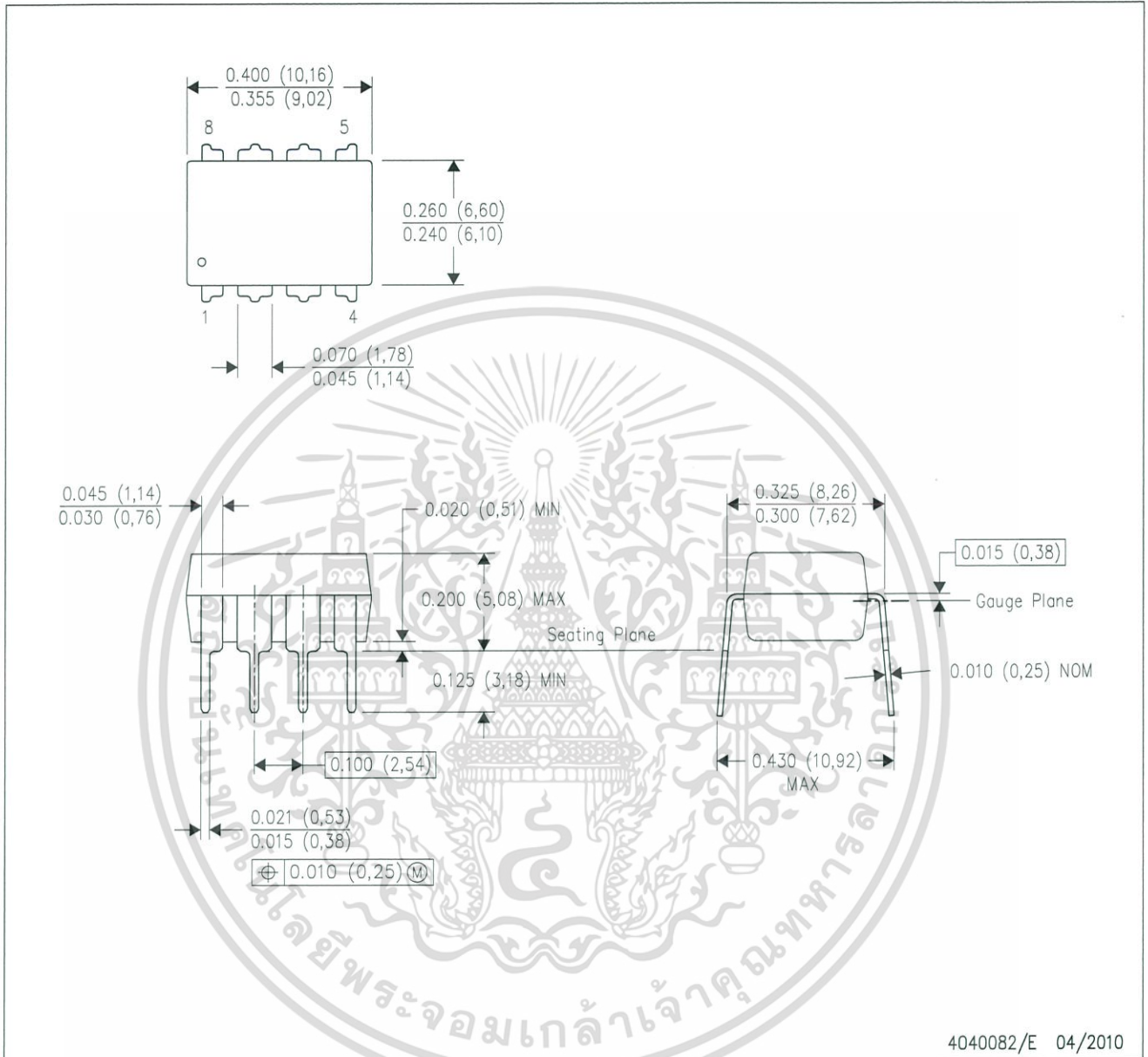


4211283-2/E 08/12

- NOTES:
- A. All linear dimensions are in millimeters.
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Publication IPC-7351 is recommended for alternate designs.
 - D. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and also rounding corners will offer better paste release. Customers should contact their board assembly site for stencil design recommendations. Refer to IPC-7525 for other stencil recommendations.
 - E. Customers should contact their board fabrication site for solder mask tolerances between and around signal pads.

P (R-PDIP-T8)

PLASTIC DUAL-IN-LINE PACKAGE



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Falls within JEDEC MS-001 variation BA.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, enhancements, improvements and other changes to its semiconductor products and services per JESD46, latest issue, and to discontinue any product or service per JESD48, latest issue. Buyers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All semiconductor products (also referred to herein as "components") are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its components to the specifications applicable at the time of sale, in accordance with the warranty in TI's terms and conditions of sale of semiconductor products. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by applicable law, testing of all parameters of each component is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or the design of Buyers' products. Buyers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with Buyers' products and applications, Buyers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI components or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of significant portions of TI information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. TI is not responsible or liable for such altered documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions.

Resale of TI components or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that component or service voids all express and any implied warranties for the associated TI component or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Buyer acknowledges and agrees that it is solely responsible for compliance with all legal, regulatory and safety-related requirements concerning its products, and any use of TI components in its applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by TI. Buyer represents and agrees that it has all the necessary expertise to create and implement safeguards which anticipate dangerous consequences of failures, monitor failures and their consequences, lessen the likelihood of failures that might cause harm and take appropriate remedial actions. Buyer will fully indemnify TI and its representatives against any damages arising out of the use of any TI components in safety-critical applications.

In some cases, TI components may be promoted specifically to facilitate safety-related applications. With such components, TI's goal is to help enable customers to design and create their own end-product solutions that meet applicable functional safety standards and requirements. Nonetheless, such components are subject to these terms.

No TI components are authorized for use in FDA Class III (or similar life-critical medical equipment) unless authorized officers of the parties have executed a special agreement specifically governing such use.

Only those TI components which TI has specifically designated as military grade or "enhanced plastic" are designed and intended for use in military/aerospace applications or environments. Buyer acknowledges and agrees that any military or aerospace use of TI components which have *not* been so designated is solely at the Buyer's risk, and that Buyer is solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

TI has specifically designated certain components as meeting ISO/TS16949 requirements, mainly for automotive use. In any case of use of non-designated products, TI will not be responsible for any failure to meet ISO/TS16949.

Products

Audio	www.ti.com/audio
Amplifiers	amplifier.ti.com
Data Converters	dataconverter.ti.com
DLP® Products	www.dlp.com
DSP	dsp.ti.com
Clocks and Timers	www.ti.com/clocks
Interface	interface.ti.com
Logic	logic.ti.com
Power Mgmt	power.ti.com
Microcontrollers	microcontroller.ti.com
RFID	www.ti-rfid.com
OMAP Applications Processors	www.ti.com/omap
Wireless Connectivity	www.ti.com/wirelessconnectivity

Applications

Automotive and Transportation	www.ti.com/automotive
Communications and Telecom	www.ti.com/communications
Computers and Peripherals	www.ti.com/computers
Consumer Electronics	www.ti.com/consumer-apps
Energy and Lighting	www.ti.com/energy
Industrial	www.ti.com/industrial
Medical	www.ti.com/medical
Security	www.ti.com/security
Space, Avionics and Defense	www.ti.com/space-avionics-defense
Video and Imaging	www.ti.com/video

TI E2E Community

e2e.ti.com

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้