เซ็นเซอร์แม่เหล็กโดยใช้มอสเฟต และการประยุกต์ใช้งานเป็นกระดานหมากฮอส

Magnetic Sensor by MOSFET and Electronics Checkerboard

พรรษชล ชะตางาม

Patsachol Chatangam

พรรษชล พรหมชัย

Patsachon Promchai

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เซ็นเซอร์แม่เหล็กโดยใช้มอสเฟต
และการประยุกต์ใช้งานเป็นกระดานหมากฮอส

Magnetic Sensor by MOSFET and Electronics Checkerboard

พรรษชล ชะตางาม

พรรษชล พรหมชัย

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.เติมพงษ์ เพ็ชรกูล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2560

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เซ็นเซอร์แม่เหล็กโดยใช้มอสเฟตและการประยุกต์ใช้งานเป็นกระดานหมากฮอส

Magnetic Sensor by MOSFET and Electronics Checkerboard

ผู้จัดทำ นางสาวพรรษชล ชะตางาม รหัสประจำตัว 57010847

นางสาวพรรษชล พรหมชัย รหัสประจำตัว 57010848

ปริญญานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

(รศ.ดร.เติมพงษ์ เพ็ชรกูล)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เซ็นเซอร์แม่เหล็กโดยใช้มอสเฟตและ การประยุกต์ใช้งานเป็นกระดานหมากฮอส
นักศึกษา	นางสาวพรรษชล ชะตางาม รหัสประจำตัว 57010847
	นางสาวพรรษชล พรหมชัย รหัสประจำตัว 57010848
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ	รศ.ดร.เติมพงษ์ เพ็ชรกูล

บทคัดย่อ

อุปกรณ์มอสเฟตนี้ ถูกใช้เป็นตัวตรวจจับสนามแม่เหล็ก ซึ่งเป็นโครงสร้างแบบทั่วไปที่มีขั้วซอส, ขั้วเกท, ขั้วเดรน และ ขั้วซับสเตรทหรือบอดี้ ถูกสร้างด้วยกระบวนการมาตรฐานของ CMOS สามารถตรวจจับสนามแม่เหล็กในระนาบแกน y ที่มีสนามแม่เหล็กขนานและตั้งฉากกับทิศทางของกระแส อุปกรณ์นี้จ่ายไบอัสให้กับขั้วเกทและขั้วซับสเตรท ซึ่งกลไกของผลกระทบฮอลล์เกิดขึ้นในโหมดของกระแส เกิดแรงลอเรนซ์ที่ส่งผลให้กระแสระหว่างขั้วเดรนและขั้วซับสเตรทมีความแตกต่างกันของกระแสที่ทางออก ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กและผลต่างของกระแสที่ทางออกมีความเป็นเชิงเส้น โดยค่าความไวสัมพัทธ์ขึ้นอยู่กับปริมาณการไบอัส ซึ่งเราได้นำการตอบสนองแม่เหล็กมาประยุกต์ใช้ในการเล่นหมากฮอสและแสดงผลบนจอมอนิเตอร์ โดยอาศัยโปรแกรมอาดุยโน่และโปรแกรมวิชวลเบสิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Magnetic Sensor by MOSFET and Electronics Checkerboard
Student	Miss. Patsachol Chatangam Student ID 57010847
	Miss. Patsachon Promchai Student ID 57010848
Degree	Bachelor's degree of Engineering
Program	Electronics Engineering
Year	2017
Project Advisor	Associate Professor Toempong Phetchakul

ABSTRACT

The MOSFET used as magnetic field sensor is presented. It is a conventional structure that has a source, a gate, a drain and a substrate or body terminal fabricated by standard CMOS process. It detects the horizontal y-direction magnetic field in parallel and perpendicular to currents. The device is biased for channel current and substrate current. The mechanism is Hall Effect in current mode. The induced Lorentz's force deflects currents between drain current and substrate forward current cause output differential current. The relation show linearly dependence between magnetic field density and output differential current. The relative sensitivity is depending on amount of bias currents. So, we made a checkerboard that relies on the magnetic response and shows on the monitor by Arduino and Visual Basic programs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้อย่างดี ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.เติมพงษ์ เพ็ชรกูล ที่ให้ความอนุเคราะห์ ช่วยเหลือ สนับสนุน ให้คำชี้แนะ ช่วยแก้ปัญหาในการวางแผนแนวทางการดำเนินงาน ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีในทุกๆด้าน ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณทุกๆคนในครอบครัวอันเป็นที่รักยิ่ง รวมถึงเพื่อนๆพี่ๆน้องๆของผู้เขียนที่เป็นกำลังใจที่ดีให้กับผู้เขียนตลอดมา

สุดท้ายนี้ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในทุกความช่วยเหลือที่ทำให้งานชิ้นนี้สำเร็จจนลุล่วงผ่านไปได้ด้วยดี หากว่ามีข้อผิดพลาดประการใดอันเกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอน้อมรับและขออภัยเป็นอย่างสูงในความผิดพลาดนั้น และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าปริญญานิพนธ์ฉบับครั้งนี้คงเป็นนี้ประโยชน์กับผู้ที่สนใจในเรื่องเซ็นเซอร์แม่เหล็กโดยใช้มอสเฟตและการประยุกต์ใช้งานเป็นกระดานหมากฮอส

พรรษชล ชะตางาม

พรรษชล พรหมชัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน	3
2.1 มอสเฟต (MOSFET)	3
2.2 หลักการพื้นฐานปรากฏการณ์ฮอลล์	11
2.3 มอสเฟตที่นำมาใช้วัดสนามแม่เหล็ก	13
2.4 ประวัติกีฬาหมากฮอส	15
2.5 โปรแกรม Arduino	17
2.6 ภาษา Visual Basic	19
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	20
3.1 วัดคุณสมบัติของมอสเฟตที่สร้างขึ้น	20
3.2 วงจรที่ใช้ในการวัดการตอบสนองแม่เหล็ก	20
3.3 ส่วน Controller	21
3.4 ส่วน Visual Basic	23
3.5 วงจรที่ใช้ในการประยุกต์กับการเล่นหมากฮอส	24
บทที่ 4 ผลการทดลอง	27
4.1 คุณสมบัติของมอสเฟต	27
4.2 ผลตอบสนองแม่เหล็ก	28
4.3 ผลการทดลองระบบการทำงาน	30
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง	31
เอกสารอ้างอิง	33
ภาคผนวก ก.	34
ภาคผนวก ข.	35
ภาคผนวก ค.	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงค่าต่างๆที่ได้ทำการวัด โดยกำหนดให้ W/L = 20×20 μm	28
4.2 แสดงค่าต่างๆที่ได้ทำการวัด โดยกำหนดให้ W/L = 20×1.2 μm	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้างพื้นฐานของมอสเฟต	3
2.2ก	สัญลักษณ์มอสเฟตแบบเอนแฮนซ์เมนต์โหมด	4
2.2ข	สัญลักษณ์มอสเฟตแบบดีพลีชั่นโหมด	4
2.3	คุณสมบัติของมอสเฟตชนิดเอ็นแชนแนล	5
2.4	ย่านเชิงเส้น (Linear region) เมื่อแรงดันเกตมากกว่าหรือเท่ากับแรงดันขีดเริ่ม	7
2.5	ย่านเชิงเส้น (Linear region) เมื่อแรงดันเดรนสูงกว่าแรงดันซอส	7
2.6	ภาวะพินช์ออฟ (Pinch Off)	8
2.7	ย่านอิ่มตัว (Saturation region)	9
2.8	กราฟ ID – VD	10
2.9	กราฟ ID – VG	10
2.10	ปรากฏการณ์ฮอลล์	11
2.11	Hall Voltage Mode	12
2.12	Hall Current Mode	13
2.13	มอสเฟตเมื่อไม่มีสนามแม่เหล็ก	13
2.14	มอสเฟตเมื่อให้สนามแม่เหล็กในทิศพุ่งออก	14
2.15	มอสเฟตเมื่อให้สนามแม่เหล็กในทิศพุ่งเข้า	14
2.16	หมากฮอสไทย	16
2.17	บอร์ด Arduino รุ่น UNO	17
2.18	ขั้นตอนการเลือกรุ่นบอร์ด Arduino และหมายเลข Com port	18
2.19	ส่วนประกอบของบอร์ด Arduino รุ่น UNO	18
3.1	เครื่องมือที่ใช้ในการวัดคุณสมบัติของมอสเฟต	20
3.2	วงจรที่ใช้ในการวัดการตอบสนองของแม่เหล็ก	21
3.3	Flowchart แสดงแนวคิดการทำงานของส่วน Controller	21
3.4	Flowchart แสดงขั้นตอนการทำงานในส่วน Controller	22
3.5	Flow Chart การทำงานในส่วนของส่วน Visual Basic	24
3.6	ระบบการทำงาน	24
3.7	วงจรที่ใช้ในการประยุกต์กับการเล่นหมากฮอส	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1	คุณสมบัติของมอสเฟต	27
4.2	กราฟแสดงผลการตอบสนองแม่เหล็กตัวที่ 1	28
4.3	กราฟแสดงผลการตอบสนองแม่เหล็กตัวที่ 2	29
4.4	ผลการทดลองเมื่อต่อวงจรทั้งหมด	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สนามแม่เหล็กเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่รอบ ๆตัวเรา ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้สองทางคือ เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เกิดจากเครื่องมือเครื่องจักรที่มนุษย์สร้างขึ้น โดยสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเราสามารถตรวจจับได้ด้วย เซ็นเซอร์แม่เหล็ก (Magnetic Sensor) โดยเซ็นเซอร์แม่เหล็ก(Magneto Sensor) สามารถสร้างได้จากอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำหลายชนิด เช่น ไดโอด(Diode), ตัวต้านทาน (Resistor), ตัวเก็บประจุ(Capacitor), มอสเฟต(MOSFET), ทรานซิสเตอร์(Transistor) เป็นต้น โดยการศึกษานี้ได้นำมอสเฟตมาใช้เป็นเซ็นเซอร์แม่เหล็กเนื่องจากมอสเฟตทำงานด้วยกระแส เมื่อกระแสนี้ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงลอเรนซ์ เป็นผลทำให้กระแสเกิดการเบี่ยงเบน จึงเกิดความแตกต่างของกระแสที่ทางออกทั้งสองขั้วซึ่งก็คือผลตอบสนองแม่เหล็ก จากนั้นนำผลตอบสนองที่ดีที่สุดมาประยุกต์ใช้กับการวัดสนามแม่เหล็ก โดยที่ใช้เป็นกระดานหมากฮอส ซึ่งปัจจุบันเมื่อมีการจัดการแข่งขันหมากฮอสหรือหมากกระดานต่างๆ จะนิยมใช้กล้องถ่ายทอดจากมุมสูงขึ้นจอมอนิเตอร์ แต่มักพบปัญหาคือมือหรือศีรษะของผู้เล่นบังกระดาน ทำให้ผู้ชมเห็นภาพการแข่งขันไม่ชัดเจน เราจึงทำกระดานหมากฮอสที่อาศัยการตอบสนองของแม่เหล็กเพื่อให้ไปแสดงผลบนจอมอนิเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Arduino และโปรแกรม Visual Basic ซึ่งผู้ชมในงานที่มีการแข่งขันสามารถรับชมการแข่งขันได้อย่างสนุกสนาน

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษาคุณสมบัติและโครงสร้างของมอสเฟตที่นำมาใช้เป็นเซ็นเซอร์แม่เหล็ก

1.2.2 ศึกษาปรากฏการณ์ฮอลล์เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กกับความแตกต่างของกระแสที่ทางออก

1.2.3 นำผลการตอบสนองของแม่เหล็กมาประยุกต์ใช้ในการเล่นหมากกระดาน

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

สามารถนำมอสเฟตมาใช้เป็นเซ็นเซอร์แม่เหล็กได้ในการเล่นหมากกระดานได้ โดยอาศัยหลักการของปรากฏการณ์ฮอลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

รายละเอียด		ระยะเวลาในการดำเนินงาน																			
		ธันวาคม				มกราคม				กุมภาพันธ์				มีนาคม				เมษายน			
1	วัดผลตอบสนองแม่เหล็กของมอสเฟตที่สร้างขึ้น	↔	↔																		
2	วัด Characteristic ของมอสเฟต						↔	↔													
3	ซื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทำหมากฮอส						←	—	—	—	—	—	—	—	→						
4	เขียนโปรแกรม Arduino							←	—	—	—	—	—	—	—	→					
5	เขียนโปรแกรม Visual Basic							←	—	—	—	—	—	—	—	→					
6	สร้างวงจร schematic									←	—	—	→								
7	สร้างชิ้นงาน											←	—	—	—	—	→				
8	สรุปผลการดำเนินงาน															←	→				
9	จัดทำรูปเล่ม									←	—	—	—	—	—	—	—	→			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

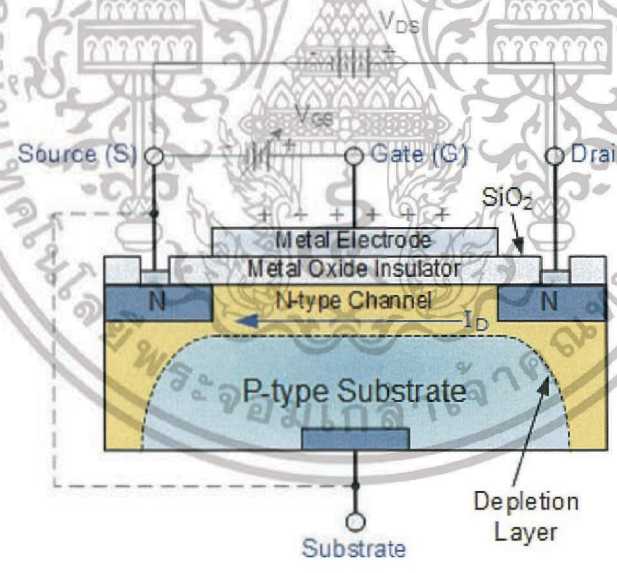
บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐาน

2.1 มอสเฟต (MOSFET)

โครงสร้างของมอสเฟตประกอบด้วยชั้นของฉนวนออกไซด์ที่คั่นอยู่ระหว่างชั้นโลหะและชั้นของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งเป็นลักษณะโครงสร้าง MIS (Metal-Insulator-Semiconductor structure) ซึ่ง Insulator หรือฉนวน หมายถึง วัสดุฉนวนใดๆก็ได้ แต่ที่นิยมใช้มากที่สุด คือ ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) หรือที่เรียกสั้นๆว่าออกไซด์ (Oxide) ทำให้นิยมเรียกโครงสร้างนี้ว่า Metal-Oxide-Semiconductor structure ดังแสดงในรูปที่ 2.1

โครงสร้างมอสเปรียบได้กับตัวเก็บประจุแบบมอส หรือ MOS capacitor เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าได้ แต่ที่สำคัญโครงสร้างมอสถูกนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นทรานซิสเตอร์ หรือ MOS Transistor หรือ MOSFET



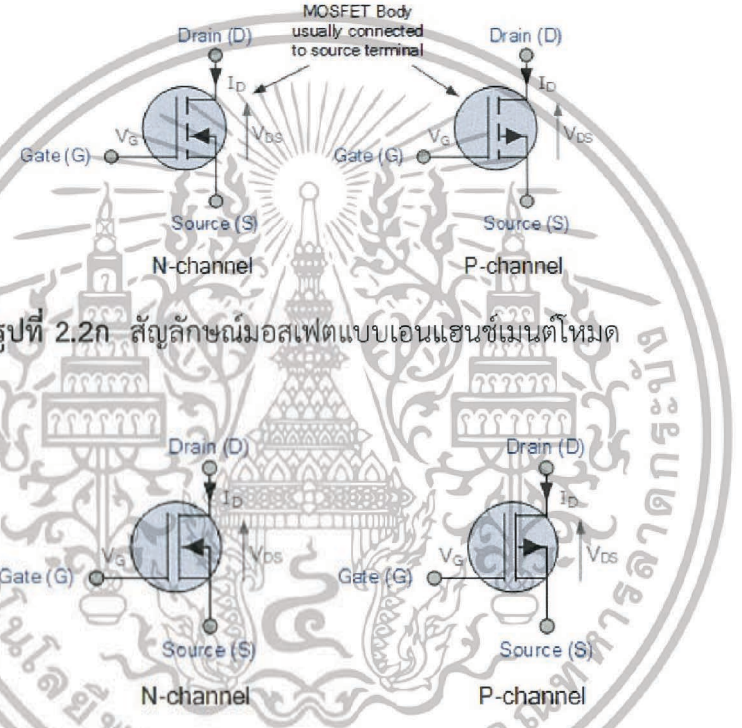
รูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของมอสเฟต

มอสเฟตเป็นทรานซิสเตอร์ที่มีขนาดเล็กมากจึงมีความสำคัญมากในงานอิเล็กทรอนิกส์ เพราะสามารถขยายแรงดันและขยายกำลังงานของสัญญาณ รวมทั้งงานสวิตชิ่งในวงจรดิจิตอล นอกจากนี้ยังถูกสร้างขึ้นมาในรูปของวงจรรวมหรือไอซี เช่น กรณีวงจรรวมระดับ VLSI ความยาวของแชแนลมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร ต้องใช้ชั้นของ Poly Silicon มาทำหน้าที่แทนชั้นของโลหะ ที่มีคุณสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เด่นในเรื่องของความเร็วในการทำงานที่ความถี่สูงได้เป็นอย่างดี และสร้างได้ง่ายกว่าวงจรรวมแบบไบโพล่าร์ จึงทำให้วงจรรวมแบบมอสเป็นที่นิยมมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายและมีราคาถูก

มอสเฟตเป็นทรานซิสเตอร์ชนิดหนึ่ง ที่ส่วนเกตเป็นโลหะแล้วถูกคั่นจากชั้นของสารกึ่งตัวนำ ด้วยฉนวนออกไซด์ ซึ่งสามารถแบ่งประเภทจากการพิจารณาโครงสร้างและคุณสมบัติของมอสเฟตได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ มอสเฟตแบบเอนแฮนซ์เมนต์โหมด (Enhancement mode MOSFET) และมอสเฟตแบบดีพลีชั่นโหมด (Depletion mode MOSFET) ซึ่งมอสเฟตทั้งสองชนิดสามารถเขียนเป็นสัญลักษณ์ได้ดังรูปที่ 2.2ก และ 2.2ข



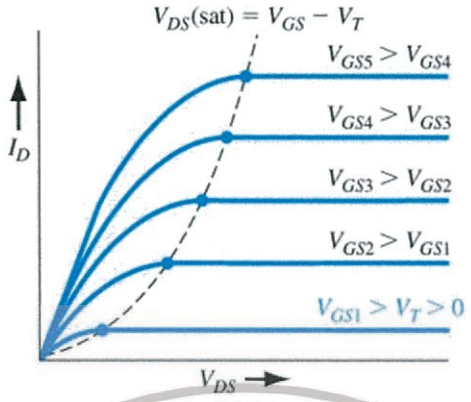
รูปที่ 2.2ก สัญลักษณ์มอสเฟตแบบเอนแฮนซ์เมนต์โหมด

รูปที่ 2.2ข สัญลักษณ์มอสเฟตแบบดีพลีชั่นโหมด

มอสเฟตชนิดเอนแฮนซ์เมนต์ (Enhancement MOSFET) หมายถึง มอสทรานซิสเตอร์ชนิดแชนแนลที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ (Induced channel MOSFET) ที่เมื่อป้อนแรงดันที่เกตเท่ากับศูนย์โวลต์ แชนแนลจะไม่เกิดขึ้น กระแสเดรนจะไม่ไหล แต่เมื่อได้รับแรงดันที่เกตอย่างเหมาะสมและมากพอ ผลของสนามไฟฟ้าที่เกตในแนวตั้ง (Vertical electric field) จะเหนี่ยวนำประจุในสารกึ่งตัวนำเกิดเป็นชั้นกลับ (Inversion Layer) หรือที่เรียกว่า แชนแนล (Channel) ที่ผิวของสารกึ่งตัวนำ และทำให้มีกระแสเดรนไหลได้ โดยความหนาแน่นของประจุที่เหนี่ยวนำขึ้นมาในแชนแนลจะขึ้นอยู่กับแรงดันที่เกต ซึ่งเป็นช่องทางเดินของกระแสระหว่างขั้วซอสและเดรน และผลของสนามไฟฟ้าระหว่างขั้วซอสและเดรนในแนวนอน (Horizontal electric field) นี้เองจะทำให้พาหะในแชนแนลเคลื่อนที่ทรานซิสเตอร์จึงสามารถทำงานได้ เราจะเรียกทรานซิสเตอร์ชนิดนี้ว่า ทรานซิสเตอร์ผลของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามไฟฟ้าหรือ Field Effect Transistor (FET) ซึ่งสามารถควบคุมการนำกระแสได้ กระแสจะไหลจากขาเดรนมาขาซอส



รูปที่ 2.3 คุณสมบัติของมอสเฟตชนิดเอ็นแชนแนล

โครงสร้างของมอสเฟตแบบเอนแฮนซ์เมนต์ชนิดเอ็นแชนแนลประกอบด้วย ชั้นฐานรอง (Substrate : SS) บางครั้งถูกเรียกว่า บอดี้ (Body : B) ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี ส่วนซอส (Source : S) และส่วนเดรน (Drain : D) สร้างจากการเติมอะตอมสารเจือชนิดเอ็นเข้มข้น (n^+) เข้าไปในฐานรองชนิดพี ความยาวของแชนแนลพิจารณาจากระยะห่างระหว่างซอสและเดรน ส่วนเกตจะถูกสร้างขึ้นอยู่ระหว่างซอสกับเดรน ที่แรงดันเกต $V_G = 0$ V จะไม่มีแชนแนลเกิดขึ้นแม้แรงดันเดรน V_D จะมีค่ามากกว่าศูนย์ก็ตาม กระแสเดรนเท่ากับศูนย์ ทรานซิสเตอร์ไม่ทำงาน แต่เมื่อแรงดันเกตมากกว่าศูนย์และสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดแชนแนลชนิดเอ็นได้หรือ V_G มากกว่า V_T ซึ่งแชนแนลจะเชื่อมระหว่างซอสและเดรนเป็นช่องทางเดินของกระแสเดรน โดยในช่วงแรกกระแสเดรนจะเพิ่มขึ้นตามแรงดันเดรนจนถึงค่าแรงดันพินช์ออฟ (Pinch off voltage : V_p) กระแสเดรนจะเริ่มอิ่มตัวและมีค่าคงที่แม้แรงดันเดรนมีค่าเพิ่มขึ้นก็ตาม จากความหนาแน่นของประจุที่ถูกเหนี่ยวนำจะมีค่าสูงขึ้นตามแรงดันเกต มีผลทำให้ความนำไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นด้วย จากการแสดงคุณสมบัติของมอสเฟตในรูปที่ 2.3 เมื่อแรงดันเดรนมีค่าเป็นบวกเมื่อเทียบกับซอส อิเล็กตรอนในแชนแนลชนิดเอ็นนี้จะสามารถเคลื่อนที่จากด้านซอสไปด้านเดรน ด้านซอสจึงเปรียบเสมือนแหล่งจ่ายประจุพาหะที่ทำให้กระแสเดรนไหลเข้าที่ขั้วเดรน

สำหรับมอสเฟตแบบเอนแฮนซ์เมนต์ชนิดพีแชนแนล เมื่อแรงดันเดรนมีค่าเป็นลบเมื่อเทียบกับศักย์ที่ขั้วซอส โฮลในแชนแนลจะเคลื่อนที่จากด้านซอสไปด้านเดรน กระแสเดรนจะไหลออกจากขั้วเดรน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอสเฟตชนิดดีพลีชั่น (Depletion MOSFET) หรือมอสเฟตชนิดแชนแนลที่เกิดจากการแพร่สารเจือ (Diffused channel MOSFET) ซึ่งแม้แรงดันที่เกตจะเป็นศูนย์โวลต์ก็มีแชนแนลตื้นๆเกิดขึ้นเนื่องจากการแพร่ของอะตอมสารเจือ ซึ่งปัจจุบันไม่มีขาย

นอกจากนี้ยังสามารถพิจารณาประเภทของมอสเฟตได้จากสิ่งที่ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าหรือที่เราเรียกว่าพาหะ (Carrier) โดยแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ กรณีที่อิเล็กตรอนในแถบนำไฟฟ้า (Conduction band) เคลื่อนที่ในช่องทางเดินกระแสจะถูกเรียกว่า มอสเฟตแบบแชนแนลชนิดเอ็น (n-channel MOSFET) และกรณีที่ช่องว่างในแถบวาเลนซ์ (Valance band) เคลื่อนที่ในช่องทางเดินกระแสจะถูกเรียกว่า มอสเฟตแบบแชนแนลชนิดพี (p-channel MOSFET)

มอสเฟตชนิดเอ็นแชนแนล (n-channel MOSFET) หรือ NMOS เป็นมอสทรานซิสเตอร์ที่กระแสจะเกิดจากการนำไฟฟ้าของอิเล็กตรอนในแชนแนลชนิดเอ็น

มอสเฟตชนิดพีแชนแนล (p-channel MOSFET) หรือ PMOS เป็นมอสทรานซิสเตอร์ที่กระแสจะเกิดจากการนำไฟฟ้าของโฮลในแชนแนลชนิดพี

2.1.1 การทำงานของมอสเฟตแบบเอนแฮนซ์เมนต์

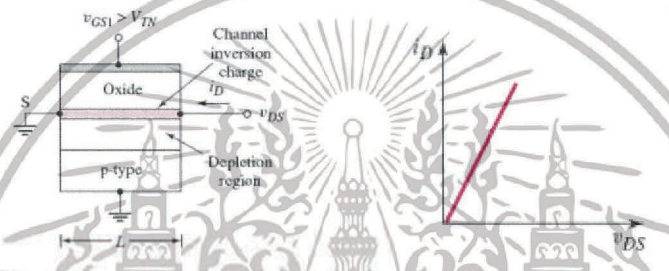
หากพิจารณาการทำงานของมอสเฟตแบบเอนแฮนซ์เมนต์ชนิดเอ็นแชนแนล ในส่วนของผลของแรงดันเกต ที่มีผลต่อการเกิดบริเวณปลอดพาหะและการเกิดแชนแนล และผลของแรงดันเกตกับแรงดันเดรนที่มีผลต่อกระแสเดรน เพื่อทำให้เกิดแชนแนลระหว่างซอสและเดรน สามารถทำได้โดยการให้แรงดันที่เกตในการควบคุมให้มีการเหนี่ยวนำประจุพาหะชนิดเดียวกับซอสและเดรน ขั้วซอสและฐานรองจะถูกต่อลงกราวนด์ ส่วนเดรนจะได้รับไบอัสย้อนกลับ ดังนั้นแรงดันที่เกตและแรงดันที่เดรนจึงมีค่าเป็นบวก หากเป็นกรณีของพีแชนแนล แรงดันที่เกตและแรงดันที่เดรนจะมีค่าเป็นลบ ในกรณีที่ไม่มีแรงดันไบอัสที่เกต จะไม่มีสนามไฟฟ้าในชั้นของออกไซด์ ดังนั้นที่ผิวสัมผัสระหว่างฉนวนและสารกึ่งตัวนำจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆเกิดขึ้น ในย่านนี้บริเวณปลอดพาหะและแชนแนลจะยังไม่เกิด แต่จะมีบริเวณปลอดพาหะอยู่รอบๆรอยต่อพีเอ็นของส่วนซอส-ฐานรอง และส่วนเดรน-ฐานรอง กระแสเดรนจะมีค่าประมาณศูนย์แม้แรงดันเดรนจะเพิ่มขึ้นก็ตาม แต่ถ้าหากเพิ่มแรงดันเกตให้มีค่ามากกว่าศูนย์และแรงดันมีค่าเปลี่ยนแปลงไป จะทำให้มอสเฟตทำงานในย่านต่างๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

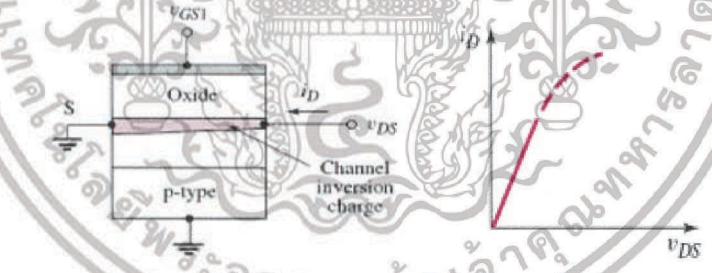
2.1.1.1 ย่านคัทออฟ (Cut off)

เป็นกรณีที่แรงดันเกตบวกมีค่าน้อยกว่าแรงดันขีดเริ่ม (Threshold voltage : V_T) สนามไฟฟ้าในชั้นออกไซด์ที่เกิดจากแรงดันเกตจะผลักโฮลในส่วนของฐานรอง โดยเฉพาะบริเวณผิวสัมผัสระหว่างฉนวนและสารกึ่งตัวนำให้เคลื่อนที่ห่างออกไป ทำให้เกิดเป็นบริเวณปลอดพาหะขึ้นในสารกึ่งตัวนำที่อยู่ใต้ส่วนเกต ทำให้ซอสและเดรนยังคงถูกแยกออกจากกันด้วยชั้นของบริเวณปลอดพาหะนี้ และกระแสเดรนจะมีค่าเป็นศูนย์

2.1.1.2 ย่านเชิงเส้น (Linear region)



รูปที่ 2.4 ย่านเชิงเส้น (Linear region) เมื่อแรงดันเกตมากกว่าหรือเท่ากับแรงดันขีดเริ่ม



รูปที่ 2.5 ย่านเชิงเส้น (Linear region) เมื่อแรงดันเดรนสูงกว่าแรงดันซอส

ฉนวนออกไซด์มีค่ามากพอที่จะเหนี่ยวนำให้เกิดชั้นกลับชนิดเอ็นหรือแชนแนลชนิดเอ็น ภายในแชนแนลนี้จะมีความหนาแน่นอิเล็กตรอนที่ขึ้นกับสนามไฟฟ้าในชั้นออกไซด์ หากให้แรงดันเกตคงที่แรงดันเดรนเท่ากับแรงดันที่ซอส แรงดันที่ตกคร่อมชั้นออกไซด์จะมีค่าเท่ากันทุกจุดในแชนแนล แต่เมื่อแรงดันเดรนสูงกว่าแรงดันซอส สนามไฟฟ้าในชั้นออกไซด์ที่ห่างจากด้านซอสจะมีค่าลดลง ทำให้ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในแชนแนลที่ใกล้ด้านเดรนมีค่าลดลงด้วย และจะมีค่าน้อยที่สุดที่ปลายด้านเดรน แชนแนลชนิดเอ็นที่เกิดขึ้นนี้เปรียบได้กับเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นที่มีความยาว L เมื่อแรงดันเดรนมีค่าเพิ่มขึ้น อิเล็กตรอนในแชนแนลเกิดการดริฟท์ (Drift) จากด้านซอสไปยังด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดรน ทำให้กระแสเดรนมีทิศพุ่งเข้าที่ขั้วเดรน ในย่านนี้กระแสเดรนจะเพิ่มขึ้นกับแรงดันเดรนและเมื่อแรงดันเกตเพิ่มขึ้นจะทำให้ความนำของแชนแนลเพิ่มขึ้นด้วย ถัดจากแชนแนลออกไปจะเป็นบริเวณปลอดพาหะ ซึ่งแรงดันเดรนจะทำให้รอยต่อพีเอ็นที่อยู่รอบๆส่วนเดรนได้รับไบอัสย้อนกลับ ทำให้บริเวณปลอดพาหะด้านเดรนขยายมากกว่าด้านซอสเล็กน้อยดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งเราสามารถหาค่ากระแสเดรน (I_D) ได้จากสมการที่ 2.1

$$I_D = \mu C_{OX} \frac{W}{L}\left[(V_G - V_T)V_D - \frac{V_D{}^2}{2}\right] \qquad (2.1)$$

โดยที่

μ_N คือ ค่าคงที่ที่เรียกว่า ความคล่องตัวของอิเล็กตรอน

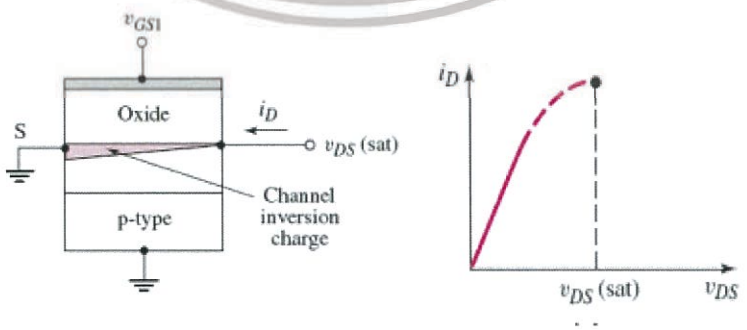
C_{OX} คือ ค่าความจุไฟฟ้าของสารออกไซด์ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

W คือ ความกว้างของมอสเฟต

L คือ ความยาวของมอสเฟต

เมื่อแรงดันเดรนมีค่าสูงขึ้นจนทำให้ที่ตำแหน่งต่างๆในแชนแนลมีศักดิ์ไฟฟ้าต่างกันอย่างเห็นได้ชัด นั่นก็คือที่ตำแหน่งต่างๆของความยาวแชนแนลมีค่าแรงดันตกคร่อมชั้นออกไซด์ไม่เท่ากัน โดยที่ปลายด้านซอสจะมีแรงดันตกคร่อมชั้นออกไซด์สูงกว่าด้านเดรน ดังนั้นเมื่อแรงดันเดรนเพิ่มขึ้นขนาดของแชนแนลจะมีค่าลดลง ทำให้การเพิ่มขึ้นของกระแสเดรนชะลอตัวลง ความชันของกราฟคุณสมบัติจึงมีค่าลดลงจนกระทั่งแรงดันตกคร่อมชั้นออกไซด์ที่ปลายตำแหน่งด้านเดรนมีค่าเท่ากับแรงดันขีดเริ่มพอดี ซึ่งหมายถึงภาวะพินช์ออฟ

2.1.1.3. จุดพินช์ออฟ (Pinch off point)



รูปที่ 2.6 ภาวะพินช์ออฟ (Pinch Off)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

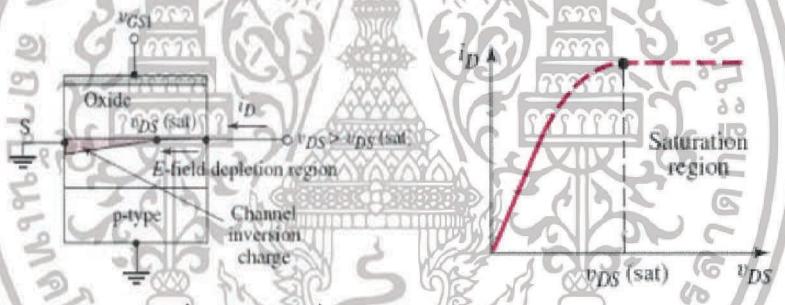
จากรูปที่ 2.6 กรณีนี้แรงดันตกคร่อมชั้นออกไซด์ที่ปลายตำแหน่งด้านเดรนมีค่าเท่ากับแรงดันขีดเริ่มพอดี แชนแนลที่ปลายด้านเดรนจะมีขนาดเป็นศูนย์ เรียกว่า ภาวะพินช์ออฟ (Pinch off) และจุดที่แชนแนลขาดออกพอดีเรียกว่า จุดพินช์ออฟ (Pinch off point) บริเวณปลอดพาหะรอบๆส่วนเดรนจะมีขนาดกว้างกว่าด้านซอสอย่างเห็นได้ชัด ค่าแรงดันเดรนนี้บางครั้งจะถูกเรียกว่าแรงดันเดรนอิ่มตัว (saturation drain voltage : $V_{D(Sat)}$ หรือแรงดันพินช์ออฟ (Pinch off voltage : V_p) สามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$V_G - V_{D(Sat)} = V_T \tag{2.2}$$

หรือ

$$V_p = V_{D(Sat)} = V_G - V_T \tag{2.3}$$

2.1.1.4. ย่านอิ่มตัว (Saturation region)



รูปที่ 2.7 ย่านอิ่มตัว (Saturation region)

จากรูปที่ 2.7 กรณีนี้แรงดันเดรนมีค่ามากกว่าแรงดันเดรนอิ่มตัว ทำให้แรงดันตกคร่อมชั้นออกไซด์ที่ใกล้ด้านเดรนมีค่าน้อยกว่าแรงดันขีดเริ่ม ทำให้บริเวณนี้ไม่เกิดแชนแนลและจุดพินช์ออฟจะเลื่อนเข้าไปใกล้ด้านซอส ดังนั้นบริเวณปลอดพาหะระหว่างจุดพินช์ออฟกับส่วนเดรนจะถูกเรียกว่า ΔL ถ้ามอสเฟตชนิดนี้เป็น Long Channel ความยาวของแชนแนลจะมีขนาดสั้นจากเดิมน้อยมาก จนประมาณได้ว่ามีความยาวไม่เปลี่ยนแปลง แต่ถ้าหากมอสเฟตชนิดนี้มีขนาดความยาวของแชนแนล (L) สั้นๆ หรือ Short Channel ซึ่งทำให้ ΔLประมาณ L ความยาวของแชนแนลมีค่าลดลง ดังนั้น หากแรงดันเดรนเพิ่มมากขึ้น กระแสเดรนก็จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งกระแสเดรนหาได้จากสมการที่ 2.4

$$I_D = \mu C_{OX} \frac{W}{2L} [(V_G - V_T)^2] \tag{2.4}$$

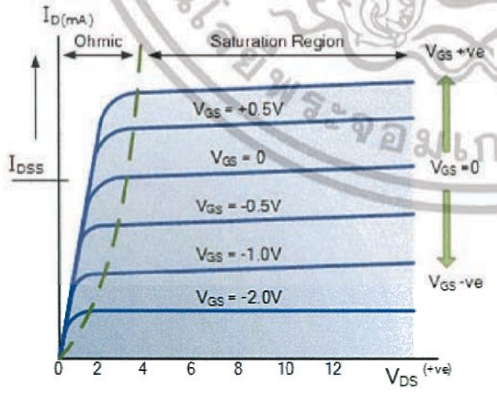
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.5. ย่านพังทะลาย (Breakdown region)

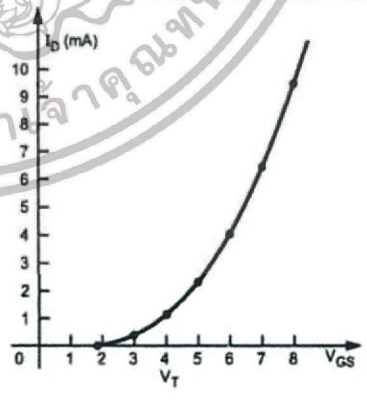
กรณีนี้แรงดันไบอัสระหว่างเดรน-ฐานรองเป็นไบอัสย้อนกลับ หากแรงดันเดรนมีค่าเพิ่มขึ้นและสูงถึงค่าหนึ่ง จนทำให้รอยต่อเกิดการพังทลายแบบ อะวาแลนช์ (Avalanche breakdown) กระแสเดรนที่อยู่ในย่านอิ่มตัวจะมีค่ามากขึ้นอย่างรวดเร็วและไม่สามารถควบคุมได้ แรงดันนี้เราเรียกว่า แรงดันพังทลาย (Breakdown voltage : V_B)

2.1.2 คุณสมบัติ $I_D - V_D$ เมื่อแรงดันเกตคงที่

คุณสมบัติของมอสเฟตแบบเอนแฮนซ์เมนต์โหมดชนิดเอ็นแชนแนลที่มีโครงสร้างเป็น Long Channel กระแสเดรนอิ่มตัว $I_{D(Sat)}$ จะแปรผันตามแรงดันเดรนอิ่มตัว $V_{D(Sat)}$ หรือ V_p และจากสมการที่ 2.3 แรงดัน V_p จะแปรผันตามค่าแรงดันเกต V_G หากแรงดันเกตมีค่าเพิ่มขึ้นกระแสเดรนอิ่มตัว $I_{D(Sat)}$ จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.8 และในขณะที่อยู่ในย่านอิ่มตัว ค่าของแรงดันขีดเริ่ม(V_T) จึงแสดงได้ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งคือกราฟความสัมพันธ์ของ $I_D - V_G$ จากกราฟที่แรงดันเกต V_G มีค่าต่ำกว่าแรงดันขีดเริ่ม V_T จะทำให้กระแสเดรนมีค่าประมาณศูนย์ และเมื่อแรงดันเกต V_G มีค่าสูงกว่าแรงดันขีดเริ่ม จึงเกิดกระแสเดรนอิ่มตัว $I_{D(Sat)}$ ค่าต่างๆ แรงดันเกตที่ทำให้กระแสเดรนเริ่มไหลนี้ จะเรียกว่าแรงดันขีดเริ่ม (Threshold Voltage : V_T) ซึ่งแรงดันขีดเริ่ม คือแรงดันที่ทำให้เกิดช่องทางเดินกระแสโดยการป้อนแรงดันค่าบวก(กรณีเป็นมอสเฟตชนิดเอ็น)เข้าที่ขาเกตเทียบกับขาซอส V_{GS} ซึ่งแรงดัน V_{GS} มีขนาดเพียงพอที่จะทำให้เกิดช่องทางเดินของกระแสระหว่างขาซอสและขาเดรน



รูปที่ 2.8 กราฟ $I_D - V_D$

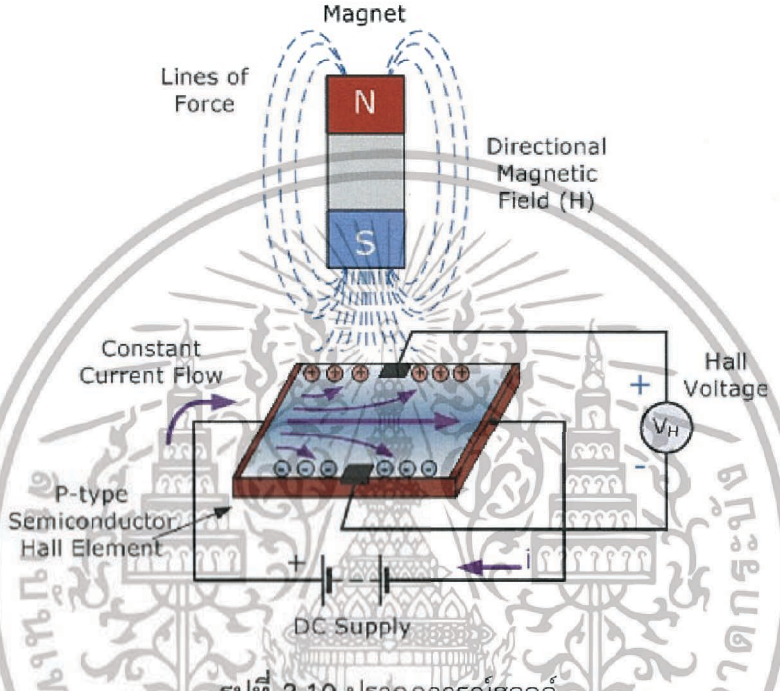


รูปที่ 2.9 กราฟ $I_D - V_G$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกรณีของมอสเฟตแบบเอนแฮนซ์เมนต์โหมดชนิดพีแชนแนล ในกรณีนี้แรงดันเดรนและแรงดันเกตมีค่าเป็นลบ เมื่อเทียบกับขั้วฐานรอง ทำให้กระแสเดรนมีทิศทางไหลออกจากขั้วเดรน ซึ่งเป็นทิศตรงกันข้ามกับมอสเฟตแบบเอนแฮนซ์เมนต์โหมดชนิดเอ็นแชนแนล

2.2 หลักการพื้นฐานปรากฏการณ์ฮอลล์



รูปที่ 2.10 ปรากฏการณ์ฮอลล์

หลักการของปรากฏการณ์ฮอลล์ จะพิจารณาจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแท่งสารกึ่งตัวนำ เมื่อสนามแม่เหล็กทำมุมตั้งฉากกับทิศทางการไหลของกระแส จะทำให้เกิดแรงลอเรนซ์ในทิศที่ตั้งฉากกับทิศทางของกระแสและทิศทางของสนามแม่เหล็ก ซึ่งชนิดของพาหะประจุ (charge carrier) ประกอบด้วย อิเล็กตรอนและโฮลในสารกึ่งตัวนำ ทำให้สามารถวัด และคำนวณค่าพารามิเตอร์ ที่สำคัญของสารกึ่งตัวนำได้

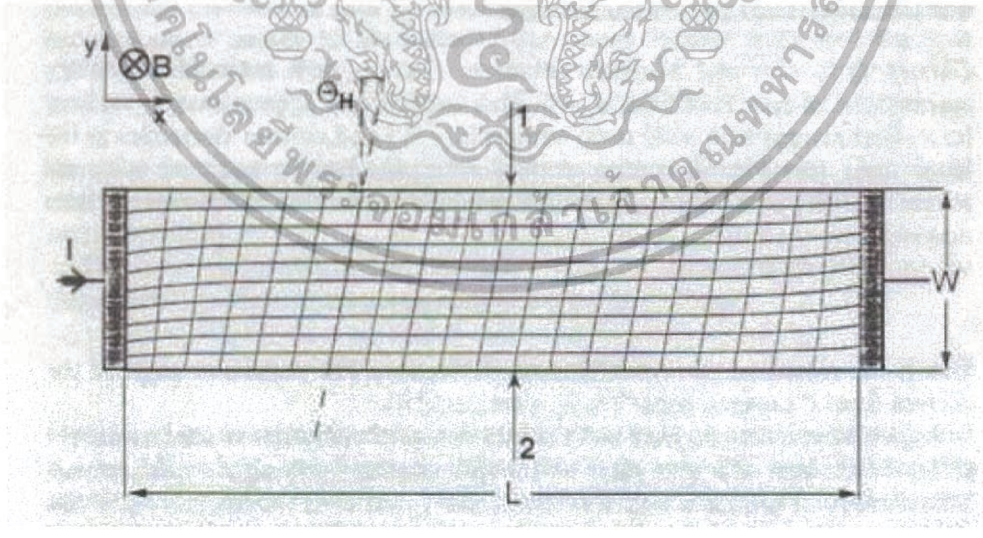
จากรูปที่ 2.10 ปรากฏการณ์ฮอลล์จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อป้อนแรงดันให้สารกึ่งตัวนำหรือโลหะในทิศ X จะเกิดกระแสไหลผ่านสารกึ่งตัวนำในทิศ I_X และให้สนามแม่เหล็กในทิศพุ่งเข้า จะเกิดแรงลอเรนซ์ไปทางด้านบนตามกฎมือขวา เช่น สารกึ่งตัวนำชนิดพี จะมีโฮลเป็นพาหะส่วนมาก ดังนั้นกระแสส่วนใหญ่ที่วิ่งในทิศ I_X จึงเกิดจากประจุโฮล และเกิดกระแสสมมติขึ้น เมื่อแรงลอเรนซ์มากระทำกับประจุโฮล ทำให้ประจุโฮลถูกดึงขึ้นไปทางด้านบน ทำให้โฮลมารวมกันที่ขอบด้านบน ทำให้ขอบด้านบนมีแนวโน้มที่จะเป็นประจุบวก และขอบฝั่งตรงกันข้ามจะเป็นประจุลบ การที่ขอบทั้งสองมีประจุไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างชนิดกันทำให้เกิดสนามไฟฟ้า เรียกว่า สนามไฟฟ้าฮอลล์ สนามไฟฟ้านี้จะทำให้เกิดแรงไฟฟ้า F_E กระทำกับโฮลมีทิศจากขอบด้านบนลงมาด้านล่าง ซึ่งจะทำให้โฮลถูกฉุดไปทางขอบด้านล่าง เมื่อแรงไฟฟ้าและแรงลอเรนซ์มีขนาดเท่ากัน โฮลจะเคลื่อนที่ไปในทิศ I_X โดยไม่การเบี่ยงเบน ถ้าไม่มีการป้อนสนามแม่เหล็ก กระแสจะเคลื่อนที่ในทิศแกน I_X ตามพื้นที่หน้าตัด โดยไม่มีการเบี่ยงเบน

ในการเตรียมแท่งสารกึ่งตัวนำเราจะต้องทราบความกว้าง ความยาว และความลึก ซึ่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แต่ละชนิดที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ฮอลล์ที่สามารถนำมาใช้เป็นเซนเซอร์ได้มี 2 แบบ คือ

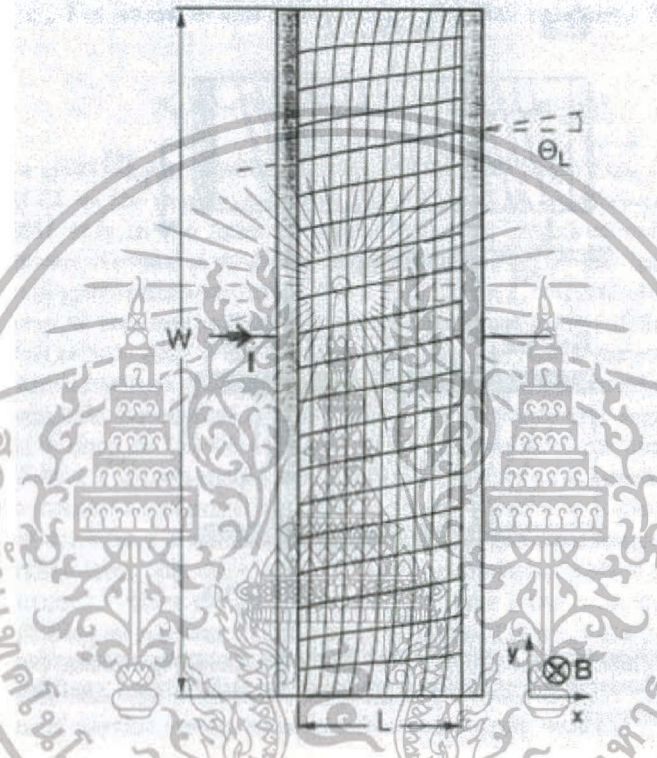
1. Hall Voltage Mode นำค่าแรงดันไปใช้งาน จากรูปที่ 2.11 อุปกรณ์ประเภทนี้ต้องออกแบบให้มีความยาวมากกว่าความกว้าง จะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันฮอลล์ได้เต็มที่และสมบูรณ์ แรงดันฮอลล์จะมีค่าขึ้นอยู่กับแรงลอเรนซ์ (Lorenzt force) ทำให้เส้น equip-potential มีมุมฮอลล์ เกิดขึ้น เมื่อแรงลอเรนซ์มากมีผลทำให้เส้น equip-potential เอียงมากขึ้นทำให้เส้น equip-potential เกิดความเปลี่ยนแปลง ผลต่างนี้จึงเกิดเป็นมุมฮอลล์ หากสนามแม่เหล็กหรือแรงลอเรนซ์มีค่ามากขึ้นส่งผลให้มุมฮอลล์มีค่ามากขึ้นด้วย ทำให้พาหะที่ถูกแรงลอเรนซ์กระทำจะถูกสนามไฟฟ้าจากแรงดันฮอลล์ดึงกลับทำให้กระแสวิ่งเป็นเส้นตรง สังเกตได้จาก Current line แนวนอน และที่บริเวณใกล้ๆขั้วไฟฟ้าทั้งสอง Hall voltage เหนี่ยวนำไม่เต็มที่ และมีค่าแรงดันน้อยกว่าบริเวณตรงกลาง ทำให้บริเวณใกล้ขั้วไฟฟ้าเส้น equip-potential จะมีมุมฮอลล์(Hall angle) น้อยกว่า 30 องศา



รูปที่ 2.11 Hall Voltage Mode

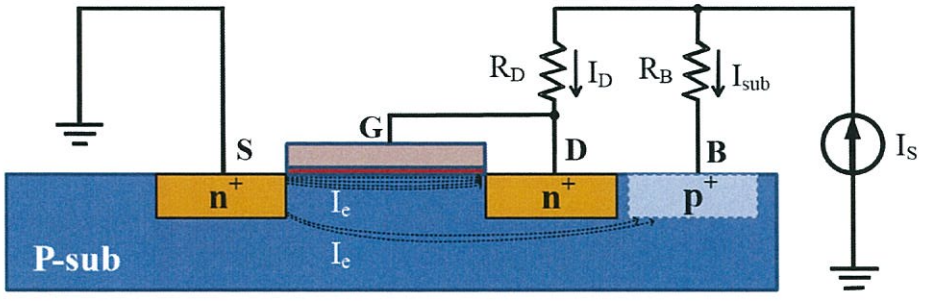
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Hall Current Mode เป็นอุปกรณ์ที่นำค่ากระแสไปใช้งาน จากรูปที่ 2.12 เมื่อให้สนามแม่เหล็กในทิศพุ่งเข้าไปในโครงสร้างที่ความยาวมีค่าน้อยกว่าความกว้าง ด้วยตัวของโครงสร้างทำให้เส้น equip-potential เอียงมากไม่ได้จึงไม่เกิดมุมฮอลล์และไม่มีแรงดันฮอลล์เกิดขึ้น ทำให้แรงลอเรนซ์มีค่ามากกว่าแรงจากสนามไฟฟ้าฮอลล์ ทำให้พาหะมีการเลี้ยงเบนเป็นมุมลอเรนซ์ ถ้าเพิ่มความเข้มสนามแม่เหล็ก จะทำให้มุมลอเรนซ์เอียงมากขึ้น เพราะฉะนั้นกระแสปกติจะวิ่งในเส้นที่สั้นและสะดวกที่สุด ถ้าค่าความต้านทานมีค่ามากกระแสก็ไม่ต้องการผ่าน



รูปที่ 2.12 Hall Current Mode

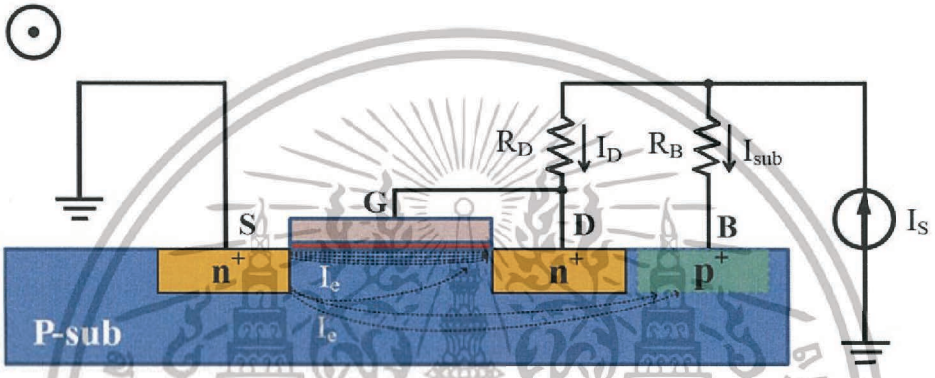
2.3 มอสเฟตที่นำมาใช้วัดสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 2.13 มอสเฟตเมื่อไม่มีสนามแม่เหล็ก

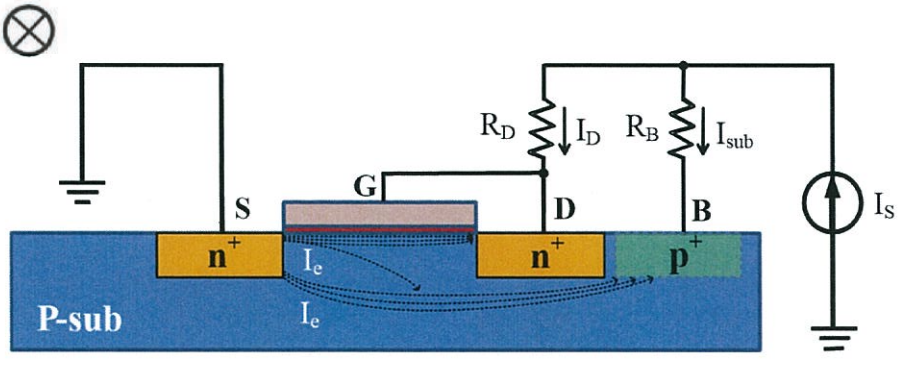
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.13 เป็นการแสดงโครงสร้างของอุปกรณ์มอสเฟตเมื่อไม่มีสนามแม่เหล็ก สามารถสังเกตุได้ว่ากระแสอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปยังทิศตรงกันข้าม โดยที่อิเล็กตรอนที่ถูกจ่ายจากซอสไปเดรนผ่านช่องทางเดินกระแสจะถูกเรียกว่ากระแสเดรน ส่วนกระแสซับสเตรทอิเล็กตรอนจะถูกจ่ายจากซอสไปยังซับสเตรท ในทางอุดมคติกระแสทั้งสองควรจะมีค่าเท่ากัน แต่ความเป็นจริงแล้วกระแสทั้งสองจะมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยจึงเกิดค่าแรงดันออฟเซตระหว่างเดรนและซับสเตรท ซึ่งการทดลองนี้เราจะทำการวัดความแตกต่างของกระแสทั้งสองจากแรกเริ่มที่ไม่มีสนามแม่เหล็ก (ΔI) โดยใช้แหล่งจ่ายกระแสคงที่เพื่อรักษาค่ากระแสคงที่ หากมีกระแสค่าใดค่าหนึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น อีกค่าจะต้องมีค่าลดลงเพื่อให้ผลรวมของกระแสมีค่าเท่ากันตลอดเวลา



รูปที่ 2.14 มอสเฟตเมื่อให้สนามแม่เหล็กในทิศพุ่งออก

จากรูปที่ 2.14 แสดงมอสเฟตเมื่อให้สนามแม่เหล็กในทิศพุ่งออกมีทิศตั้งฉากกับกระแสในทิศลบเอ็กซ์ จะเกิดแรงลอเรนซ์ในทิศแชด อิเล็กตรอนจากกระแสซับสเตรทจะถูกแรงลอเรนซ์ผลักไปยังผิวหน้า ทำให้กระแสซับสเตรทเบี่ยงเบนไปยังช่องทางเดินกระแสและทำให้กระแสเดรนมีค่าเพิ่มขึ้น ในเวลาเดียวกันกระแสซับสเตรทก็จะมีค่าลดลง ความแตกต่างของกระแสทั้งสอง (ΔI) จะมีค่าขึ้นอยู่กับแหล่งจ่ายกระแสหรือความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก หากแหล่งจ่ายกระแสหรือความหนาแน่นสนามแม่เหล็กมีค่าเพิ่มมากขึ้น ความแตกต่างของกระแสทั้งสองก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 2.15 มอสเฟตเมื่อให้สนามแม่เหล็กในทิศพุ่งเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.15 แสดงมอสเฟตเมื่อให้สนามแม่เหล็กในทิศพุ่งเข้ามีทิศตั้งฉากกับกระแสในทิศลบเอ็กซ์ จะเกิดแรงลอเรนซ์ในทิศลบแซด อิเล็กตรอนจากกระแสเดรนจะถูกแรงลอเรนซ์ผลักให้ต่ำลงไปทางฐานรอง ทำให้กระแสเดรนเบี่ยงเบนไปรวมกับกระแสซับสเตรทเป็นผลให้กระแสซับสเตรทมีค่าเพิ่มขึ้น ในเวลาเดียวกันกระแสเดรนก็จะมีค่าลดลง ความแตกต่างของกระแสทั้งสอง (ΔI) จะมีค่าขึ้นอยู่กับแหล่งจ่ายกระแสหรือความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก หากแหล่งจ่ายกระแสหรือความหนาแน่นสนามแม่เหล็กมีค่าเพิ่มมากขึ้น ความแตกต่างของกระแสทั้งสองก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

2.4 ประวัติกีฬาหมากฮอส

หมากฮอส เป็นกีฬาที่พัฒนามาจาก หมากรุก ซึ่งนำเอาเบี้ยและปรับปรุงกฎกติกาให้มีความง่ายขึ้น โดยการเดินของหมากฮอส จะคล้ายกับการเดินของควีน ในหมากรุก แต่ไม่สามารถเดินถอยหลังได้ และจะเกิดการเปลี่ยนแปลงการเดินตามกติกาที่ตั้งไว้เมื่อเดินไปสุดกระดาน กีฬาหมากฮอสเริ่มเล่นครั้งแรกที่ประเทศสเปน เมื่อปี พ.ศ. 2090 จนเริ่มแพร่หลายและได้รับความนิยมไปทั่วโลก ซึ่งกติกาของหมากฮอสแต่ละท้องถิ่นก็จะแตกต่างกัน เช่น บางประเทศ หมากจะกินฮอสไม่ได้ บางประเทศใช้ตาราง 10 x 10 ช่อง มีหมากข้างละ 20 เป็นต้น ในประเทศไทย “หมากฮอส” เป็นกีฬาที่เล่นกันระหว่างผู้เล่น 2 คน โดยการเดินหมากไปบนกระดานสี่เหลี่ยมจัตุรัส 8 x 8 ช่อง ผู้เล่นฝ่ายที่แพ้คือฝ่ายที่หมดตาเดินหรือหมดตัวเดิน หรือยอมแพ้ หรือถูกปรับให้แพ้ อุปกรณ์การเล่นของหมากฮอสไทยประกอบไปด้วยกระดานหมากฮอสซึ่งเป็นกระดานรูปสี่เหลี่ยมรูปจัตุรัสจำนวน 64ช่อง ทาสี 2 สีสลับกัน และตัวหมากที่ทำด้วยไม้หรือพลาสติก รูปวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3 ซม. ซึ่งการแข่งขันหมากจะแบ่งเป็นหมากขาวและหมากดำฝ่ายละ 8 ตัว โดยกติกาหมากฮอสไทยมีดังนี้

1. ตำแหน่งเริ่มต้นก่อนการเดินหมาก ผู้เล่นทั้ง 2 ฝ่ายนั่งหันหน้าเข้าหากัน วางกระดานไว้ตรงกลางระหว่างผู้เล่น หมากฮอสประเภทตัวหมาก 8 ตัว หมากทุกตัวจะวางที่ช่องตาเดินสีเข้มแถวหลังสุดและแถวถัดขึ้นมา แถวละ 4 ตัว

2. การเดินหมาก หากผู้เล่นสัมผัสหมากตัวใดแล้วจะเปลี่ยนไปจับตัวอื่นไม่ได้ และถ้าวางหมากลงที่ช่องใดแล้ว ถึงแม้จะยังไม่ปล่อยมือก็จะเปลี่ยนไปวางช่องอื่นไม่ได้ เว้นแต่หมากตัวนั้นไม่มีช่องเดินหรือคู่แข่งขันเตือนว่ามีหมากตัวอื่นมีโอกาสกินได้

3. กำหนดให้มีการเสี่ยงเพื่อหาผู้มีสิทธิเลือกเดินหมากก่อน-หลังในกระดานแรก ผู้เสี่ยงชนะสามารถเลือกเดินก่อนหรือหลังก็ได้ ต่อไปให้ผลัดกันเดินก่อนคนละ 1 กระดาน

4. ขณะที่ยังไม่เดินหมาก ห้ามยื่นมือเข้าไปในกระดาน หรือทำท่าชี้จะเดินหมากตัวต่างๆ ในกระดาน หากต้องการจัดตัวหมากให้ตรงตำแหน่ง ต้องขออนุญาตก่อน โดยบอกว่า “ขอจัดหมาก”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

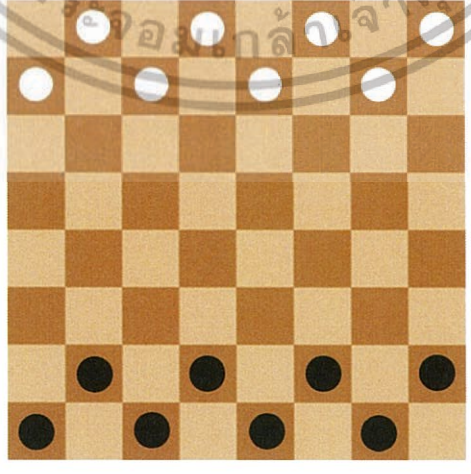
5. ถ้าผู้แข่งขันฝ่ายหนึ่งผิดกฎ กติกา มารยาท เช่น จงใจเดินข้ามช่องหรือไม่กินหมากฝ่ายตรงข้าม แต่คู่แข่งขันไม่ทักท้วงหรือเตือนก่อนจะเดินหมากของตนเอง ให้ถือว่าการแข่งขันเป็นไปอย่างถูกต้องตามกฎ กติกา มารยาท แต่ถ้าคู่แข่งขันได้ทักท้วงก่อนที่จะเดินหมากของตนเอง กรรมการจะยกใบเหลืองเตือน 2 ครั้งหากยังฝ่าฝืนอีกเป็นครั้งที่ 3 กรรมการจะยกใบแดงตัดสินให้แพ้กระดานนั้น หรือตลอดการแข่งขันก็ได้ การตัดสินของกรรมการถือเป็นที่สุด จะอุทธรณ์อื่นใดมิได้

6. เวลาที่ใช้ในการเดินหมากแต่ละครั้งจะไม่เกิน 2 นาที เมื่อเวลาผ่านไป 1 นาที 30 วินาที กรรมการผู้ตัดสินจะยกป้ายเหลืองเป็นสัญญาณเตือน เมื่อเวลาผ่านไป 1 นาที 50 วินาที กรรมการจะยกธงเหลืองเตือนเป็นครั้งที่ 2 หากครบ 2 นาที กรรมการจะยกธงแดงเป็นสัญญาณให้เดินหมาก ถ้าไม่เดิน จะถูกปรับแพ้ในกระดานนั้น

7. ผู้แข่งขันมีสิทธิขอเวลานอกได้ 2 ครั้งๆ ละ 5 นาที หรือจะขอ 10 นาที แต่ขอได้เพียงครั้งเดียว โดยต้องแจ้งให้กรรมการผู้ตัดสินทราบล่วงหน้าก่อนที่กรรมการจะยกธงแดงเตือนให้เดินหมาก

8. ตัวหมากที่ถือเป็น “ฮอส” ได้แก่ตัวหมากที่เดินไปถึงช่องที่อยู่แถวหลังสุดของฝ่ายตรงข้าม ให้คู่แข่งขันใช้หมากสีเดียวกันอีกตัวหนึ่งวางซ้อนไว้ เป็นสัญลักษณ์ของการเป็น “ฮอส” ซึ่งตัวหมากที่เป็น “ฮอส” สามารถเดินหน้า หรือถอยหลังได้ตามทแยงทั้ง 4 ด้านโดยไม่จำกัดจำนวนครั้งที่เดินและ “ฮอส” สามารถกินได้หลายต่อ ได้หลายแบบ เลือกกินแบบใดก็ได้

9. การกินหมาก จะเกิดขึ้นได้เมื่อหมากของฝ่ายหนึ่งขวางทางเดินหมากของอีกฝ่ายหนึ่ง และมีช่องว่างอยู่ในแนวเดียวกัน กับหมากที่ขวาง ฝ่ายที่ถูกขวางต้อง “กิน” โดยจับหมากของตนเองที่ถูกขวางทางอยู่ไปวางที่ช่องว่างนั้น แล้วยกหมากที่ถูกกิน ออกจากกระดาน การกินแบบหลายต่อ “ฝ่ายกิน” ต้องแสดงการกินที่ละตัวให้ชัดเจน จนกว่า “การกิน” จะสิ้นสุดลง



รูปที่ 2.16 หมากฮอสไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 โปรแกรม Arduino

Arduino เป็นภาษาอิตาลี อ่านว่า (อา-ดู-อิ-โน่ หรือ อาดุยโน่) เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open-Source Platform สำหรับการสร้างต้นแบบทางอิเล็กทรอนิกส์ คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัว บอร์ด Arduino ถูกออกแบบให้ง่ายต่อการใช้งาน ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย โดย Arduino Platform ประกอบไปด้วย

1. ส่วนที่เป็น Hardware คือ

บอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) เป็นชิ้นส่วนหลักมาประกอบร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ โดยบอร์ด Arduino แต่ละรุ่นอาจมีความแตกต่างกันในเรื่องของขนาดของบอร์ด หรือสเปค เช่น จำนวนของขารับส่งสัญญาณ, แรงดันไฟที่ใช้, ประสิทธิภาพของ MCU เป็นต้น

2. ส่วนที่เป็น Software คือ

ภาษา Arduino เป็นภาษาสำหรับเขียนโปรแกรมควบคุม MCU, มีไวยากรณ์แบบเดียวกับภาษา C หรือ C++

รูปที่ 2.17 บอร์ด Arduino รุ่น UNO

2.5.1 จุดเด่นที่ทำให้บอร์ด Arduino เป็นที่นิยม

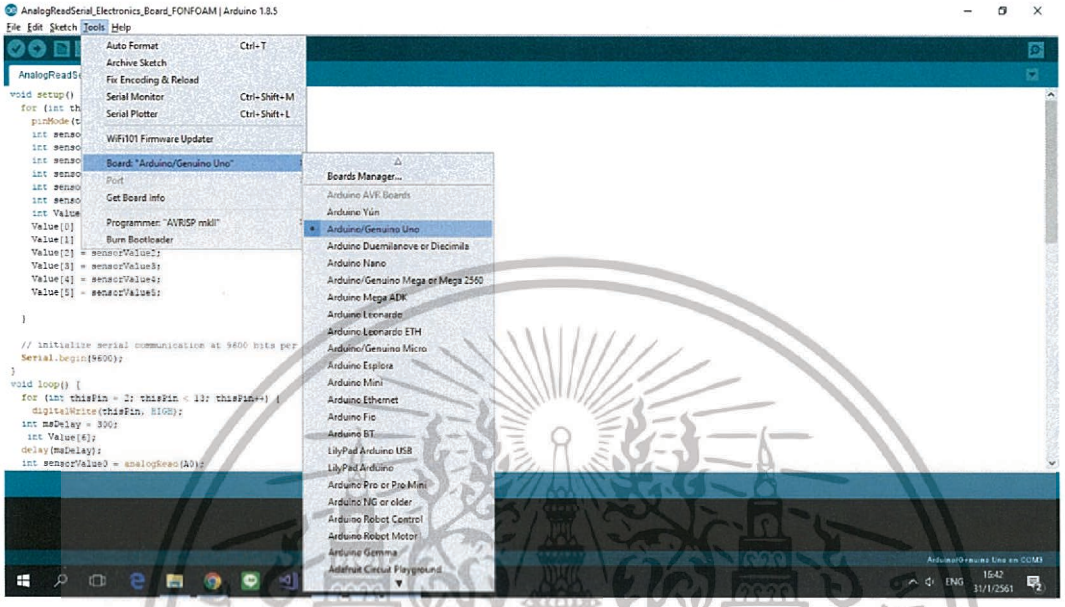
1. ง่ายต่อการพัฒนา ใช้คำสั่งพื้นฐานที่ไม่ซับซ้อนเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น
2. สามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ แล้วเสียบกับบอร์ดบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้เลย
3. มี Arduino Community เป็นกลุ่มคนที่แข็งแรงร่วมกันเพื่อพัฒนา
4. ผู้ใช้สามารถนำบอร์ดไปต่อยอดใช้งานได้หลายด้าน
5. ราคาไม่แพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. Cross Platform สามารถพัฒนาโปรแกรมบน OS ใดก็ได้

2.5.2 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino

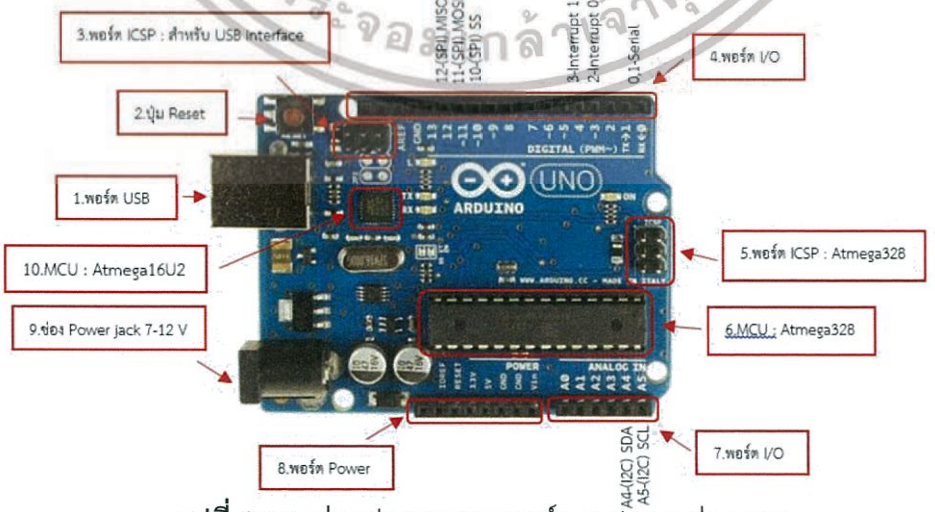
1. เขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ ผ่านทางโปรแกรม ArduinoIDE
2. เลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ใช้และหมายเลข Com port ตามรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ขั้นตอนการเลือกรุ่นบอร์ด Arduino และหมายเลข Com port

3. กดปุ่ม Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและ Compile โค้ด และสามารถ Upload โค้ด โปรแกรมไปยังบอร์ด Arduino ผ่านทางสาย USB และบอร์ดจะเริ่มทำงานตามคำสั่งที่เขียนไว้

2.5.3 Layout & Pin out Arduino Board (Model: Arduino UNO R3)



รูปที่ 2.19 ส่วนประกอบของบอร์ด Arduino รุ่น UNO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. USBPort: ใช้ต่อกับ Computer ในการอับโหลดโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด

2. Reset Button: เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่

3. ICSP Port ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2

4. I/OPort:Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin0,1 เป็นขา Tx,Rx Serial, Pin3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM

5. ICSP Port: Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader

6. MCU: Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino

7. I/OPort: นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็น ช่องรับสัญญาณอนาล็อก ตั้งแต่ขา A0-A5

8. Power Port: ไฟเลี้ยงของบอร์ด หากต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก

9. Power Jack: รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V

10. MCU ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน Atmega16U2

2.6 ภาษา Visual Basic

Visual Basic เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ (Programming Language) ที่พัฒนาโดยบริษัทไมโครซอฟท์ เวอร์ชันแรกคือเวอร์ชัน 1.0 ออกสู่สายตาประชาชนตั้งแต่ปี 1991 และได้รับการพัฒนาให้ดีมากขึ้นจนถึงปี 2008 ในช่วงแรกนั้นยังไม่ต่างจากภาษา GBASIC มากนัก โดยภาษา Visual Basic นั้นถูกออกแบบมาเพื่อให้ง่ายต่อการเรียนรู้และง่ายต่อการใช้งาน โดยตัวภาษาเองมีรากฐานมาจากภาษา Basic ซึ่งย่อมาจาก Beginner's All Purpose Symbolic Instruction ถ้าแปลให้ได้ตามความหมายก็คือ "ชุดคำสั่งหรือภาษาคอมพิวเตอร์สำหรับผู้เริ่มต้น" เวอร์ชันล่าสุดของ Visual Basic ที่ทำงานภายใต้ .NET Framework จะสนับสนุนการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุอย่างเต็มรูปแบบ

.NET Framework คือกรอบในการพัฒนาซอร์ฟแวร์ (software framework) ที่พัฒนาโดย Microsoft ที่มีการทำงานหลักบน Windows มันประกอบไปด้วยไลบรารี่ของคลาสต่างๆ เป็นจำนวนมาก ที่เรียกว่า Framework Class Library (FCL) และมีตัวแปรภาษาสำหรับการเขียนโปรแกรมในภาษาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัดคุณสมบัติของมอสเฟตที่สร้างขึ้น

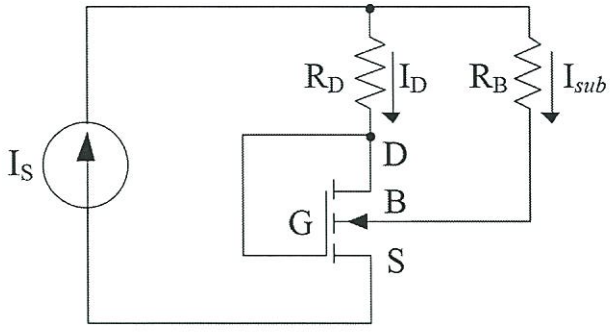
นำมอสเฟตที่สร้างขึ้นโดยศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ไปวัดคุณสมบัติของมอสเฟตเพื่อตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้า จากรูปที่ 3.1 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการวัดคุณสมบัติของมอสเฟต

รูปที่ 3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดคุณสมบัติของมอสเฟต

3.2 วงจรที่ใช้ในการวัดการตอบสนองแม่เหล็ก

จากที่รูปที่ 3.2 คือ วงจรที่ใช้ในการวัดการตอบสนองของแม่เหล็กนำแหล่งจ่ายกระแสคงที่ต่อกับตัวต้านทานที่ขาเดรนและขาซับสเตรท โดยค่า R_D มีค่า 600 Ω และ R_B มีค่า 200 Ω โดยที่ต่อขาเกตเข้ากับขาเดรนเพื่อให้มอสเฟตมีการทำงานอยู่ในย่านอิ่มตัวจากนั้นให้สนามแม่เหล็กกับวงจร แล้ววัดค่าความแตกต่างระหว่างกระแสเดรนและกระแสซับสเตรทโดยใช้เครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กป้อนสนามแม่เหล็กให้กับวงจร จากนั้นนำค่าที่ได้มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสเอาท์พุทต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มสนามแม่เหล็ก

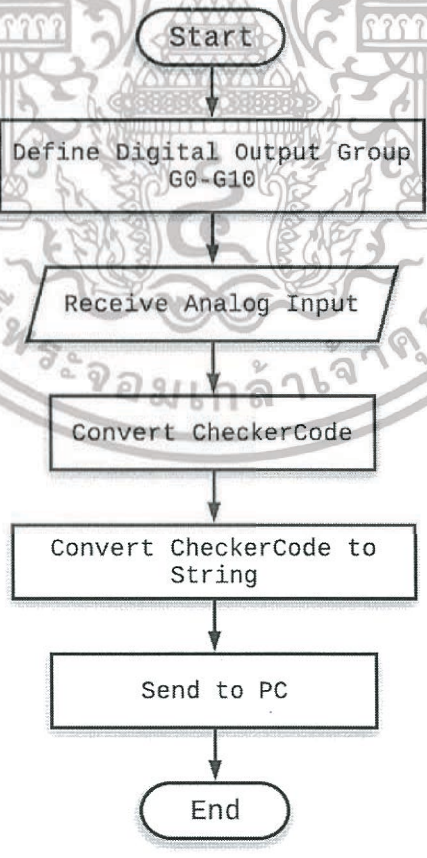
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 วงจรที่ใช้ในการวัดการตอบสนองของแม่เหล็ก

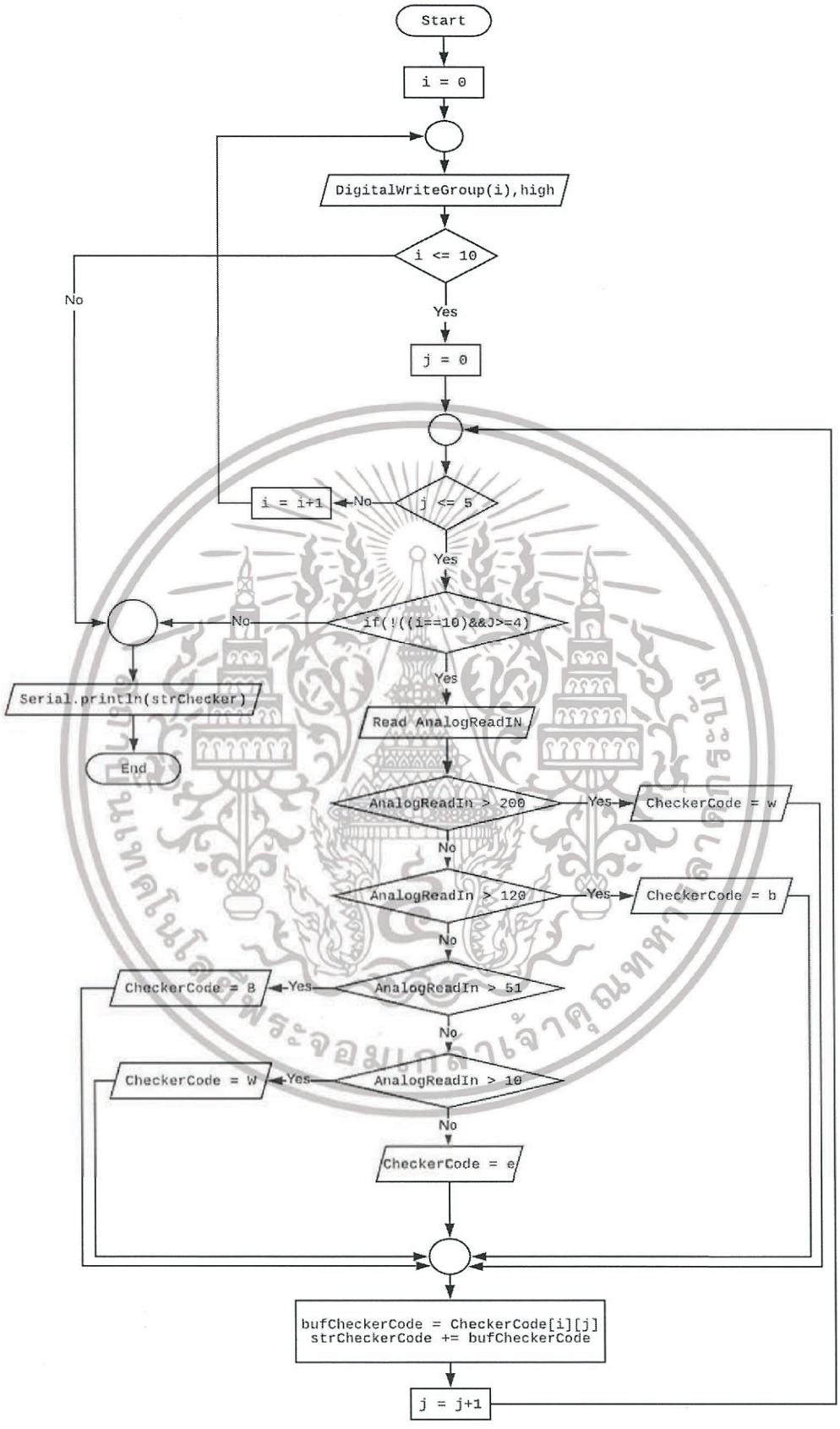
3.3 ส่วน Controller

จากรูปที่ 3.3 แสดงแนวคิดการทำงานโดยเริ่มจากการกำหนดชุดที่จะทำการป้อนไฟให้จาก Digital I/O Port จากนั้นแต่ละพอร์ทจะทำหน้าที่จ่ายไฟดิจิตอลเป็นไฟลอจิกสูงให้แต่ละชุดเพื่อให้วงจรทำงานแล้วส่งค่าเอาท์พุทของฮอลล์เซ็นเซอร์มาที่พอร์ทอนาล็อกเพื่อพิจารณาค่าแล้วเปลี่ยนเป็นตัวอักษรก่อนที่จะทำการรวมทุกตัวอักษรของแต่ละชุดเป็นข้อความแล้วส่งกลับไปยังคอมพิวเตอร์โดยผ่าน USBPort



รูปที่ 3.3 Flowchart แสดงแนวคิดการทำงานในส่วน Controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 Flowchart แสดงขั้นตอนการทำงานของส่วน Controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.4 แสดงขั้นตอนการทำงานในส่วน Controller ซึ่งเป็นการเขียนโค้ดโปรแกรมจากการใช้ Arduino รุ่น UNO กำหนดให้ i คือ Digital Port Group และ j คือ ลำดับของ Hall Sensor ในแต่ละชุด โดยเริ่มจากการกำหนดให้ i = 0 เพื่อเป็นการกำหนดให้เริ่มต้น Digital Port ของ Arduino กลุ่มที่ 0 หรือเรียกว่า ชุดที่ 1 จากนั้นให้ชุดที่ 1 เริ่มทำงานโดยมีเงื่อนไขที่ชุดการทำงานที่ 1 ถึง 11 มีการกำหนดให้ Hall Sensor ตัวที่ 1 ถึง 6 ของแต่ละชุดทำการอ่านค่าและส่งค่า Output ของ Hall Sensor เข้าที่ Analog Port จากนั้นจะทำการกำหนดให้ค่าที่อ่านได้กรณีที่

1. มีค่ามากกว่า 200 จะกำหนดให้ CheckerCode คือ w ซึ่งหมายถึง หมากขาว
2. มีค่ามากกว่า 120 จะกำหนดให้ CheckerCode คือ b ซึ่งหมายถึง หมากดำ
3. มีค่ามากกว่า 51 จะกำหนดให้ CheckerCode คือ B ซึ่งหมายถึง หมากฮอสดำ
4. มีค่ามากกว่า 10 จะกำหนดให้ CheckerCode คือ W ซึ่งหมายถึง หมากฮอสขาว
5. หากไม่ตรงตามเงื่อนไขจะกำหนดให้เป็น CheckerCode คือ e ซึ่งหมายถึง สถานะว่าง

จากนั้นจะทำการสะสมค่า CheckerCode ของทุกตัวในแต่ละชุดเป็นข้อความ 1 ข้อความ โดยกรณีที่ CheckerCode มีการสะสมค่าเกิด 6 ตัวหรือชุดการทำงานมากกว่า 11 ชุด จะทำการพิมพ์ข้อความที่เกิดจากการสะสมค่า CheckerCode ดังกล่าวออกมา

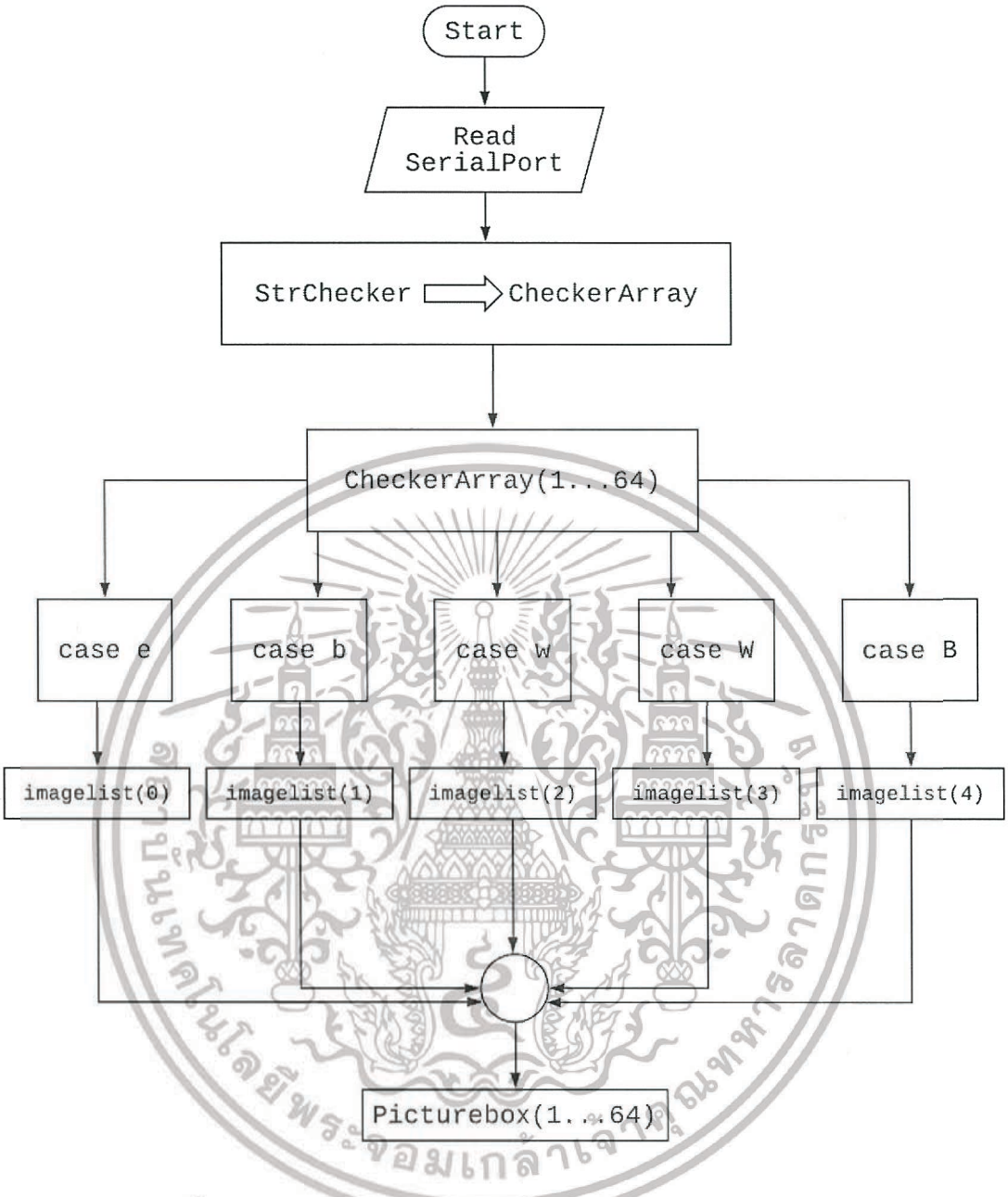
3.4 ส่วน Visual Basic

หลังจากที่ Arduino ส่งข้อความแล้ว ในส่วนของ Visual Basic จะทำหน้าที่ในการรับข้อความดังกล่าวมาแปลงเป็น Array ทั้งหมด 64 ช่องจากนั้นจะทำการเลือกกรณีทั้งหมด 5 กรณี

1. ค่า e ซึ่งหมายถึง สถานะว่างจะทำการเลือกรูปใน Image List (0)
2. ค่า b ซึ่งหมายถึง สถานะหมากดำจะทำการเลือกรูปใน Image List (1)
3. ค่า w ซึ่งหมายถึง สถานะหมากขาวจะทำการเลือกรูปใน Image List (2)
4. ค่า W ซึ่งหมายถึง สถานะหมากฮอสขาวจะทำการเลือกรูปใน Image List (3)
5. ค่า B ซึ่งหมายถึง สถานะหมากฮอสดำจะทำการเลือกรูปใน Image List (4)

เมื่อทำการเลือกรูปใน Image List แล้วจะนำไปแสดงผลบน Picture Box ทั้ง 64 ช่อง โดยแสดงได้ดังผังการทำงานดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 Flow Chart การทำงานในส่วนของส่วน Visual Basic

3.5 วงจรที่ใช้ในการประยุกต์กับการเล่นหมากฮอส

รูปที่ 3.6 ระบบการทำงาน

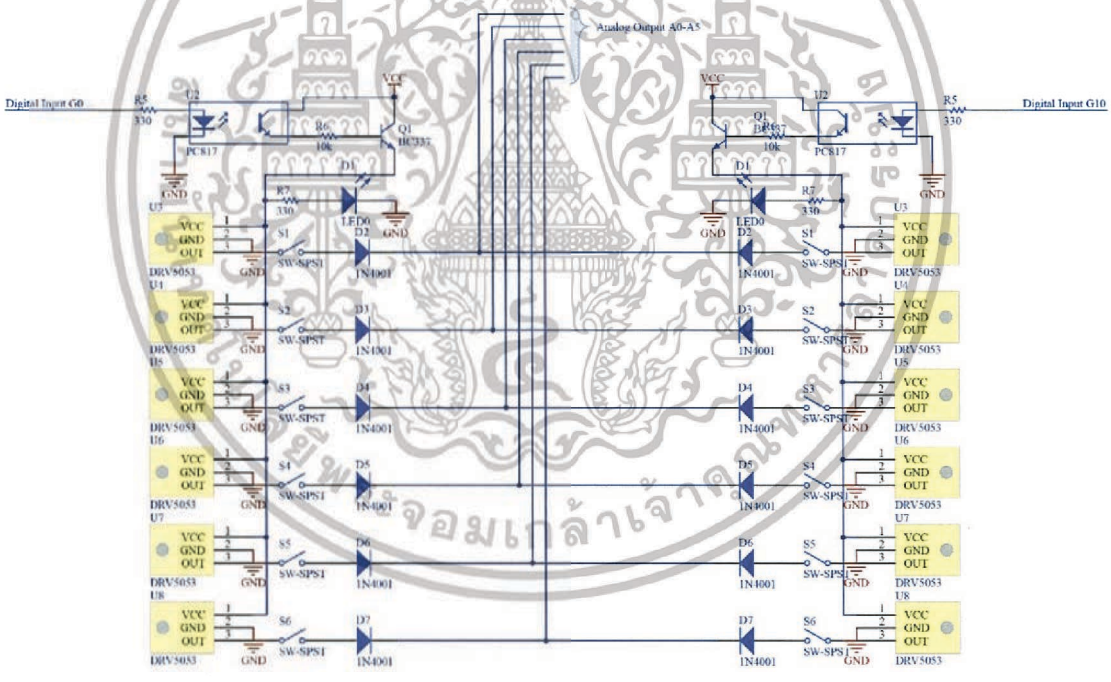
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากที่นำส่วนประกอบทั้งหมดมารวมกันจะได้ระบบการทำงานดังแสดงในรูปที่ 3.6 เริ่มจากการที่ป้อนคำสั่งให้ Arduino จากนั้นฮอลล์เซ็นเซอร์จะส่งข้อมูลให้ Arduino แล้วส่งต่อไปที่คอมพิวเตอร์ โดยวงจรที่ใช้เป็นเซ็นเซอร์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.7 เมื่อส่วนของ Controller เลือกดิจิตอลพอร์ทของ Arduino เพื่อป้อนไฟลอจิก 1 ให้กับวงจรแต่ละชุด และป้อนไฟ 5 โวลต์จากพอร์ทของ Arduino เข้าที่ขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ทุกชุดแล้ว ฮอลล์เซ็นเซอร์จะทำหน้าที่ในการตรวจจับแม่เหล็ก โดยต่อรีดสวิตช์เข้าที่ขาเอาท์พุทของฮอลล์เซ็นเซอร์ เพื่อตรวจสอบระยะของสนามแม่เหล็ก หากสนามแม่เหล็กอยู่ในระยะที่ไม่เหมาะสมหน้าสัมผัสก็จะขาดออกจากกัน ถ้าสนามแม่เหล็กในบริเวณ หน้าสัมผัสจะทำให้กระแสไหลผ่านได้ครบวงจร จากนั้นส่งค่าเอาท์พุทของฮอลล์เซ็นเซอร์ไปยังอนาล็อกพอร์ท โดยที่

U2 คือ PhotoCoupler PC817

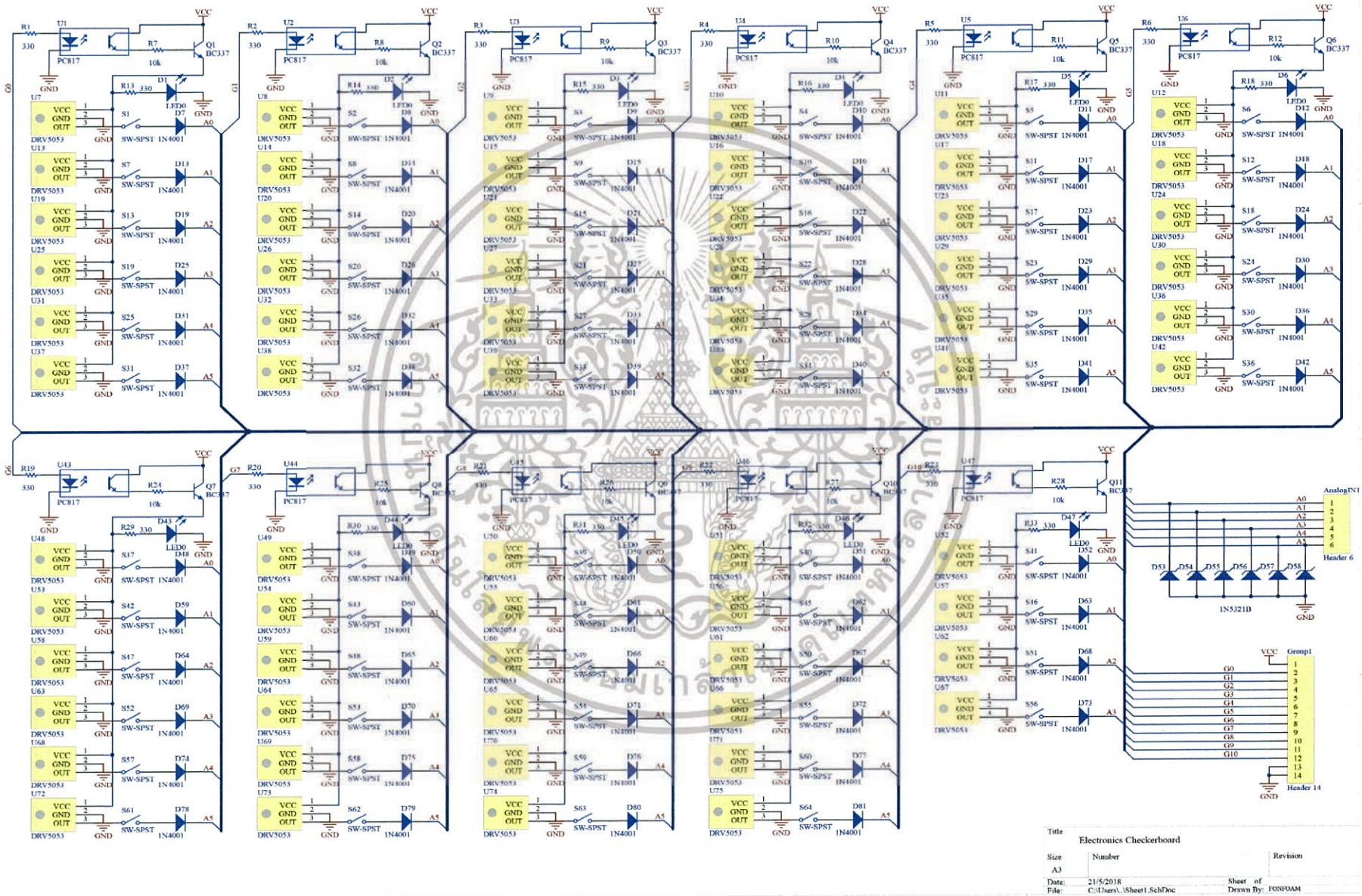
Q1 คือ Transistor BC337

U3-U8 คือ Hall Sensor DRV5053



รูปที่ 3.7 วงจรที่ใช้ในการประยุกต์กับการเล่นหมากฮอส

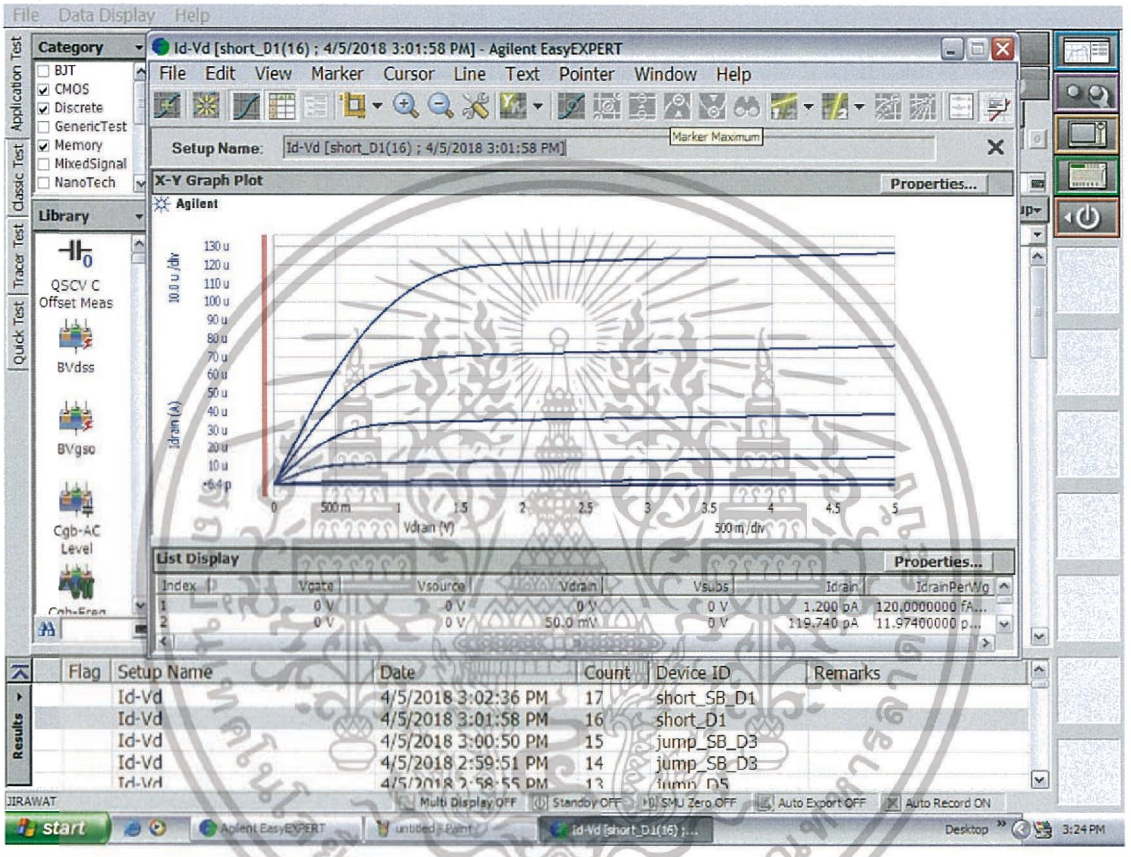
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


Electronics Checkerboard
Size
Number
Revision
A3
Date: 21/5/2018
Sheet of
File: C:\Users\..\Sheet1.SchDoc
Drawn By: FONFOAM
AnalogIN1
Header 6
1N5321B
Group1
Header 14
VCC
GND
PC817
LED0
SW-SPST
1N4001
DRV5053
BC337
BC547

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 คุณสมบัติของมอสเฟต



รูปที่ 4.1 คุณสมบัติของมอสเฟต

จากรูปที่ 4.1 กราฟแสดงคุณสมบัติของมอสเฟต จากที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 เรื่องการทำงานของมอสเฟต เมื่อให้แรงดันเดรนและแรงดันเกทที่เหมาะสมแล้ว จะทำให้เกิดช่องทางเดินกระแสในมอสเฟตแบบเอนแฮนซ์เมนต์โหมด โดยผลที่ได้คือ กระแสเดรนจะแปรผันตามแรงดันเดรน หากแรงดันเดรนมีค่าเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้กระแสเดรนที่ไหลผ่านช่องทางเดินกระแส I_D มีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วยจนถึงแรงดันค่าหนึ่งที่ทำให้กระแสเดรนเริ่มคงที่ และกระแสเดรนมีค่าแปรผันตามแรงดันเกทเช่นเดียวกัน หากแรงดันเกทมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้กระแสเดรนสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

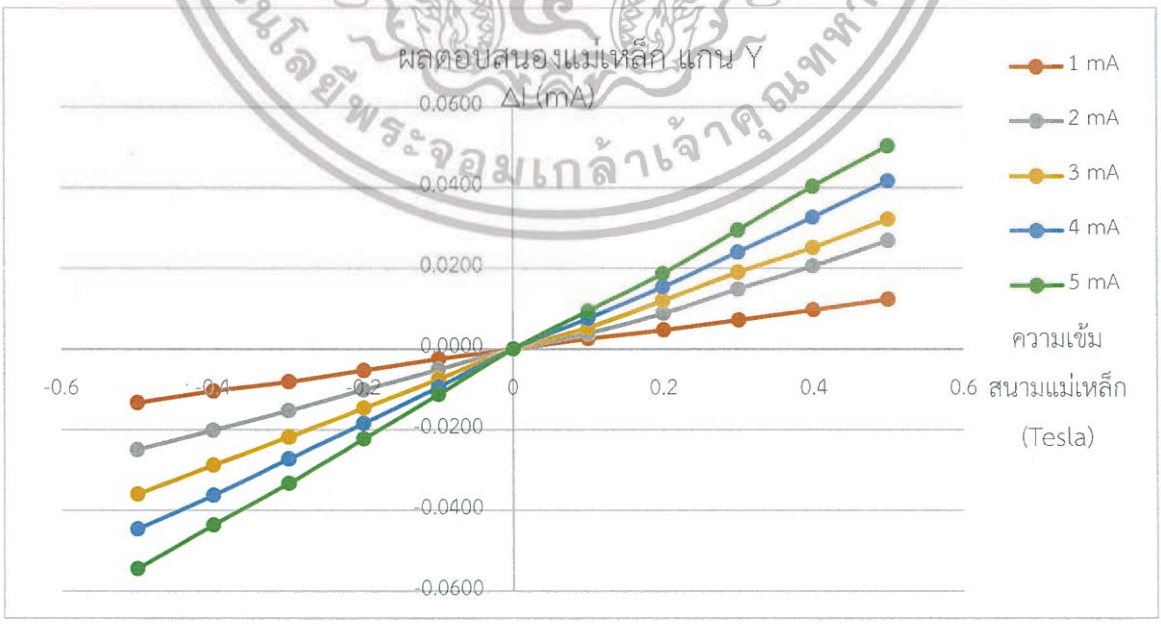
4.2 ผลตอบสนองแม่เหล็ก

4.2.1 แม่เหล็กตัวที่ 1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าต่างๆที่ได้ทำการวัด โดยกำหนดให้ W/L = 20×20 μm

ความเข้มสนามแม่เหล็ก (Tesla)	1 mA	2 mA	3 mA	4 mA	5 mA
	ΔI	ΔI	ΔI	ΔI	ΔI
0.5	0.0123	0.0268	0.0322	0.0417	0.0503
0.4	0.0097	0.0205	0.0252	0.0327	0.0403
0.3	0.0072	0.0148	0.0190	0.0240	0.0295
0.2	0.0047	0.0088	0.0120	0.0153	0.0187
0.1	0.0025	0.0038	0.0053	0.0075	0.0093
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
-0.1	-0.0025	-0.0052	-0.0075	-0.0095	-0.0113
-0.2	-0.0053	-0.0102	-0.0147	-0.0185	-0.0223
-0.3	-0.0082	-0.0153	-0.0218	-0.0273	-0.0333
-0.4	-0.0105	-0.0202	-0.0288	-0.0363	-0.0437
-0.5	-0.0133	-0.0250	-0.0360	-0.0447	-0.0545

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 สามารถนำมาพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลการตอบสนองแม่เหล็กตัวที่ 1

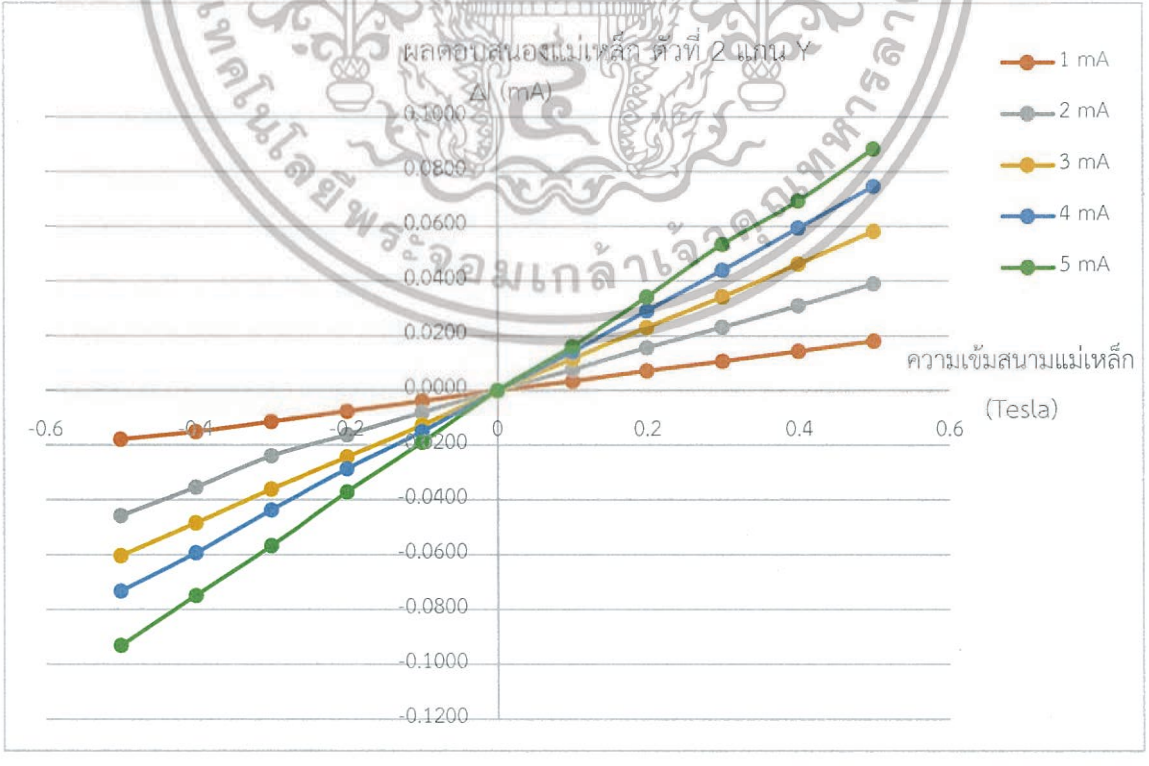
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 แม่เหล็กตัวที่ 2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าต่างๆที่ได้ทำการวัด โดยกำหนดให้ W/L = 20×1.2 μm

ความเข้มสนามแม่เหล็ก (Tesla)	1 mA	2 mA	3 mA	4 mA	5 mA
	ΔI	ΔI	ΔI	ΔI	ΔI
0.5	0.0181	0.0390	0.0583	0.0746	0.0883
0.4	0.0144	0.0310	0.0462	0.0593	0.0693
0.3	0.0107	0.0231	0.0343	0.0439	0.0534
0.2	0.0072	0.0156	0.0231	0.0290	0.0342
0.1	0.0034	0.0076	0.0116	0.0141	0.0161
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
-0.1	-0.0039	-0.0080	-0.0127	-0.0150	-0.0190
-0.2	-0.0076	-0.0162	-0.0243	-0.0287	-0.0372
-0.3	-0.0114	-0.0240	-0.0361	-0.0437	-0.0568
-0.4	-0.0151	-0.0353	-0.0485	-0.0593	-0.0749
-0.5	-0.0179	-0.0458	-0.0603	-0.0733	-0.0932

จากข้อมูลในตารางที่ 4.2 สามารถนำมาพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ 4.3



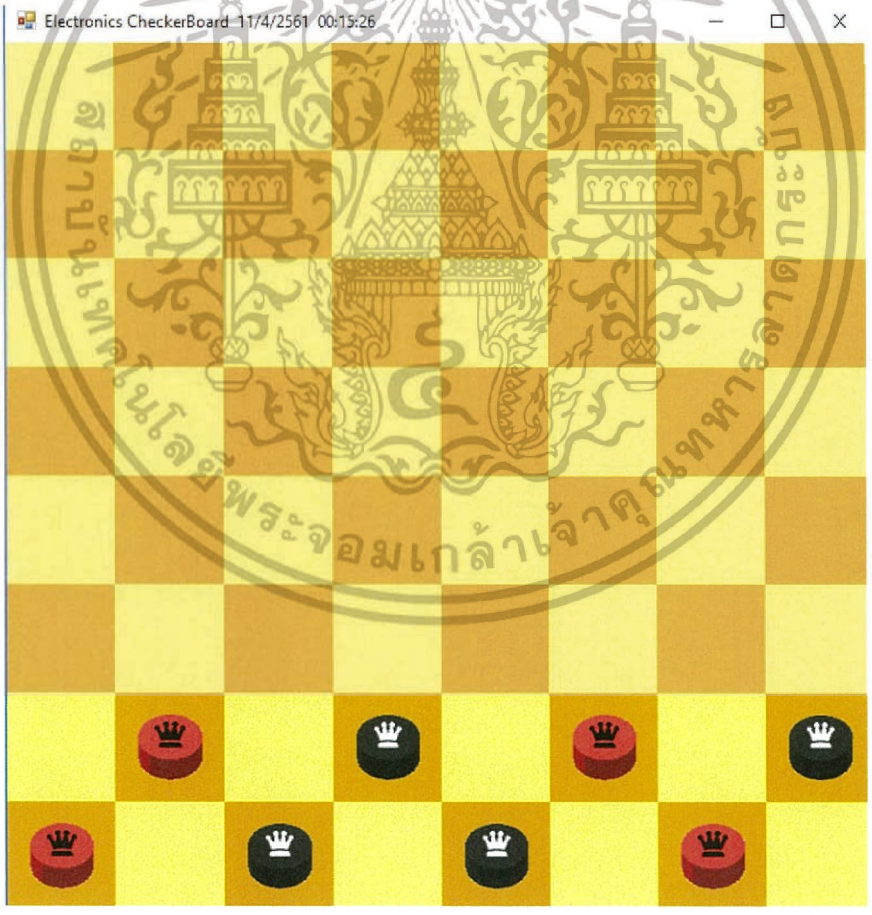
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลการตอบสนองแม่เหล็กตัวที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 และ 4.2 และกราฟรูปที่ 4.2 และ 4.3 แสดงให้เห็นว่ากรณีที่กำหนดให้แหล่งจ่ายกระแสคงที่มีค่าสูง จะทำให้ผลการตอบสนองดีมากกว่ากรณีที่แหล่งจ่ายกระแสคงที่ที่มีค่าต่ำกว่า และ หากความเข้มสนามแม่เหล็กมีค่าสูงขึ้น จะส่งผลให้ความแตกต่างของกระแสเอาท์พุททั้งสอง (กระแสเดรนและกระแสซับสเตรท) มีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย

4.3 ผลการทดลองระบบการทำงาน

จากรูปที่ 4.4 แสดงผลลัพธ์ที่ได้หลังจากที่ทำการต่อวงจรที่ต้องใช้ทั้งส่วนของวงจรฮอลล์เซ็นเซอร์, ส่วนของController และส่วนของโปรแกรม Visual Basic เมื่อวางแม่เหล็กลงบนกระดานหมากฮอส เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวหมากฮอส ผลที่ได้จะปรากฏบน Picture Box ทั้ง 64 ช่องนั่นก็คือกระดานหมากฮอสขนาด 8x8 ดังรูป ซึ่งจะมีทั้งหมด 5 สถานะ ได้แก่ สถานะว่าง, หมากดำ, หมากดำที่เข้าฮอส, หมากขาว, และหมากขาวที่เข้าฮอส เมื่อทำการเปลี่ยนตำแหน่งแม่เหล็กที่นำไปวาง ภาพที่แสดงบน Picture Box จะเปลี่ยนแปลงตามแม่เหล็กด้วย



รูปที่ 4.4 ผลการทดลองเมื่อต่อวงจรทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติของมอสเฟต สามารถสรุปได้โดย กระแสเดรนจะแปรผันตามแรงดันเดรนและแรงดันเกท หากแรงดันทั้งสองมีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้กระแสเดรนมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับสมการ $I_D = \mu C_{OX}\frac{W}{L}\left[(V_G - V_T)V_D - \frac{{V_D}^2}{2}\right]$

จากการทดลองที่ 4.2 หากแหล่งจ่ายกระแสคงที่มีค่าสูง ผลการตอบสนองจะดีมากกว่ากรณีที่แหล่งจ่ายกระแสคงที่ที่มีค่าต่ำกว่า และที่ความเข้มสนามแม่เหล็กสูงขึ้น มีผลทำให้กระแสเอาท์พุททั้งสอง (กระแสเดรนและกระแสซับสเตรท) แตกต่างกันมากขึ้น

จากการทดลองที่ 4.3 เมื่อวางแม่เหล็กลงบนกระดานหมากฮอส ผลที่ได้จะปรากฏบน Picture Box ทั้ง 64 ช่องตรงตามช่องที่วางแม่เหล็ก ได้ทั้งหมด 5 สถานะ เมื่อเปลี่ยนตำแหน่งของแม่เหล็ก ภาพที่แสดงบน Picture Box ก็จะเปลี่ยนแปลงตามแม่เหล็กที่นำไปวางบนกระดาน

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองมีค่าความผิดพลาดเนื่องจากตำแหน่งที่ใช้ในการวางแม่เหล็กทั้งสองขั้วไม่ตรงกัน เมื่อทำการวัดค่าอนาล็อกที่ได้ จึงคลาดเคลื่อน จึงต้องทำการวัดซ้ำหลายครั้งเพื่อใช้ในการประมาณค่าและกำหนดช่วงที่ใช้จะพิจารณาเป็นตัวอักษรโดยใช้โค้ดจากโปรแกรม Arduino

5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน

ในขั้นตอนการเลือกซื้ออุปกรณ์ต่างๆ โดยเฉพาะแม่เหล็กและรีดสวิตช์ แม่เหล็กจะทำหน้าที่ในการเหนี่ยวนำให้รีดสวิตช์ที่อยู่ด้านล่างของไม้กระดานสามารถปิดลงมาเพื่อให้พอร์ทอนาล็อกของบอร์ด Arduino สามารถอ่านค่า Output ได้ อีกทั้งหากเลือกแม่เหล็กที่มีความเข้มสูงเกินไปก็จะเหนี่ยวนำให้รีดสวิตช์ปิดลงโดยที่ไม่ต้องการที่ช่องตาเดินอื่นได้ แต่ถ้าแม่เหล็กมีความเข้มน้อยเกินไปก็จะทำให้ไม่สามารถเหนี่ยวนำให้รีดสวิตช์ปิดได้ จึงควรเลือกแม่เหล็กให้เหมาะสม อีกทั้งรีดสวิตช์หากติดในระยะที่ไม่เหมาะสมก็มีผลทำให้ตัวรีดสวิตช์ไม่สามารถปิดลงมาได้เช่นเดียวกัน ดังนั้นระยะที่ทำการติดตั้งตัวรีดสวิตช์นั้น มีผลต่อค่า Output ที่ได้ จึงเป็นเหตุให้ควรเลือกความหนาของกระดานที่ใช้ให้เหมาะสมกับชิ้นงาน นอกเหนือจากนี้ด้านการติดตั้งตัวอุปกรณ์ฮอลล์เซ็นเซอร์และรีดสวิตช์ต้องไว้ในตำแหน่งที่ใกล้กัน หากไว้ไกลกัน ค่าที่ฮอลล์เซ็นเซอร์อ่านได้จะไม่เป็นจริง เนื่องจากค่าที่ส่งไปยังบอร์ด Arduino นั้น เป็นค่าที่ของฮอลล์เซ็นเซอร์ที่ทำให้รีดสวิตช์ปิดลง และอุปกรณ์ทั้งสองเป็นอุปกรณ์ที่ไม่สามารถทำการบัดกรีได้โดยตรง เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่เสียหายง่าย ระหว่างที่ทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองแม่เหล็กทั้งสองขั้ว มีตำแหน่งที่สามารถตรวจจับกับรีดสวิตช์ไม่เหมือนกัน ทำให้ยากต่อการทดลอง ปัญหาสิ่งสุดท้ายคือมอสเฟตที่สร้างขึ้นมีการแพคเกจไม่เรียบร้อยเป็นชิ้นงานที่ยังไม่สมบูรณ์ ทำให้เมื่อนำไปใช้งานจริงอาจเกิดความเสียหายขึ้นได้ นอกจากนี้จำนวนที่ได้ทำการสร้างยังมีไม่มากพอกับจำนวนที่ต้องการใช้

5.4 แนวทางการแก้ไข

ในการเลือกซื้ออุปกรณ์ต่างๆโดยเฉพาะแม่เหล็กและรีดสวิตช์จะต้องทำการตรวจสอบว่าสามารถใช้งานได้กับกระดานที่ความหนาเท่าไหร่ถึงจะเหมาะสม ก่อนที่จะซื้อจริง เนื่องจากต้องใช้อุปกรณ์เป็นจำนวนมาก หากอุปกรณ์ที่ซื้อมา ไม่เหมาะสมกับชิ้นงาน อาจทำให้เสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก โดยแม่เหล็กที่เลือกจะต้องมีความเข้มไม่สูงเกินหรือน้อยเกินไป ด้านการแก้ปัญหากรณีที่แม่เหล็กไปรบกวนช่องตาเดินช่องอื่นแก้ไขได้ด้วยการป้องกันด้วยเหล็กอ่อน, เหล็กซิลิคอน, Mu-Metal ส่วนรีดสวิตช์จะต้องสามารถปิดลงได้อย่างพอดีกับกระดานที่ใช้ ด้านการติดตั้งอุปกรณ์จะต้องบัดกรีให้แม่เหล็กและรีดสวิตช์ อยู่ใกล้กันมากที่สุดเพื่อให้สามารถตรวจจับได้เมื่อมีแม่เหล็กมาบริเวณดังกล่าว นอกจากนั้นอุปกรณ์ทั้งสองเสียหายได้ง่ายหากถูกความร้อนจากการบัดกรีโดยตรงจึงต้องทำการใช้ SIP Socket เพื่อป้องกันเหตุการณ์ดังกล่าว และการแก้ไขปัญหาของมอสเฟตได้นำฮอลล์เซ็นเซอร์มาใช้งานแทน

5.5 สิ่งที่ได้รับจากการทดลอง

สามารถนำผลการตอบสนองแม่เหล็กจากการทดลองการวัดมอสเฟตที่สร้างขึ้น เพื่อมาประยุกต์ใช้กับชิ้นงานกระดานหมากฮอส โดยการนำฮอลล์เซ็นเซอร์มาใช้แทนมอสเฟต และได้ฝึกการนำโปรแกรม Arduino และโปรแกรม Visual Basic มาใช้งานร่วมกันในการแสดงตาเดินของผู้แข่งขันได้โดยผ่านจอคอมพิวเตอร์หรือแสดงบนจอมอนิเตอร์ต่างๆได้ หลังจากที่ทำการทดลองสำเร็จและสามารถนำไปใช้งานได้แล้ว ชิ้นงานนี้จะให้ประโยชน์แก่ผู้ที่ทำการรับชมการเล่นหรือการแข่งขันกระดานหมากฮอส แต่อย่างไรก็ตามหากจะนำข้อมูลนี้ไปใช้ในการแข่งขันหมากกระดานชนิดอื่นๆ จะต้องทำการปรับเปลี่ยนชนิดของแม่เหล็กหรือความเข้มของแม่เหล็กเพื่อให้สามารถวางแม่เหล็กในตำแหน่งที่อยู่ติดกันได้ เนื่องจากปัจจุบันนี้ผู้ทำการทดลองได้ใช้ความเข้มของสนามแม่เหล็กเพื่อใช้ในการเล่นหมากฮอสเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] รศ.ดร.สมเกียรติ ศุภเดช,รศ.ดร.วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง. “Semiconductor Device”. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด มีน เซอร์วิส ซัพพลาย,2559.

[2] Electronics-tutorials. (ม.ป.ป.). “The MOSFET”. (ออนไลน์). แหล่งที่มาhttps://www.electronics-tutorials.ws/transistor/tran_6.html. 18 สิงหาคม 2560.

[3] มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (ม.ป.ป.). “Hall-Effect Sensors”. (ออนไลน์). แหล่งที่มา https://mcu56.learninginventions.org/?page_id=258. 1 สิงหาคม 2560.

[4] Bachimind. (2558). “HALL EFFECT SENSOR”. (ออนไลน์). แหล่งที่มาhttps://303739ene.wordpress.com/2015/02/08/hall-effect-sensor/. 12 ธันวาคม 2560.

[5] สมาคมกีฬา กีฬาไทยแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (ม.ป.ป.). “หมากฮอส”. (ออนไลน์). แหล่งที่มา http://thaisports.org/ประวัติหมากฮอส/. 20 มกราคม 2561.

[7] Poundxi. (2559). “Arduino”. (ออนไลน์). แหล่งที่มา https://poundxi.com/arduino-คืออะไร. 20 มกราคม 2561.

[8] Thaieasyelec. (ม.ป.ป.). “Arduino”. (ออนไลน์). แหล่งที่มาwww.thaieasyelec.com/article-wiki/basic-electronics/บทความ-arduino-คืออะไร-เริ่มต้นใช้งาน-arduino.html. 20 มกราคม 2561.

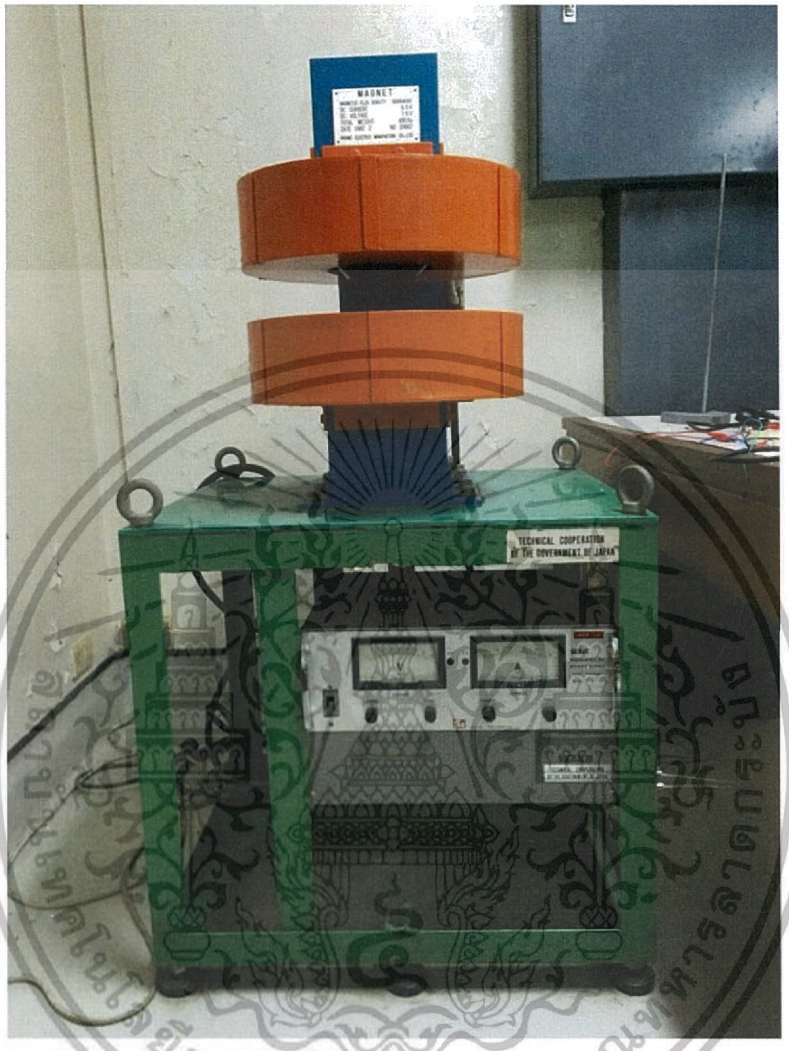
[9] Luxsana Vathin. (ม.ป.ป.). “ประวัติความเป็นมาของVisualBasic”. (ออนไลน์). แหล่งที่มา https://sites.google.com/site/luxsanavathin/gui/xngkh-prakxb-phun-than. 11 กุมภาพันธ์ 2561.

[10] MarcusCode. (2559). “VisualBasic”. (ออนไลน์). แหล่งที่มา http://marcuscode.com/lang/visual-basic/introduction. 11 กุมภาพันธ์ 2561.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

เครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กที่ใช้ในการวัดผลการตอบสนองแม่เหล็กสูงสุดที่ 5000 Gauss



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

- ส่วน Controller

```
#define Group0 2
#define Group1 3
#define Group2 4
#define Group3 5
#define Group4 6
#define Group5 7
#define Group6 8
#define Group7 9
#define Group8 10
#define Group9 11
#define Group10 12

int i,j;
int msDelay =75;
String bufCheckesrCode;
String strCheckersCode;
char CheckersCode[11][6];

void setup() {
  pinMode(Group0, OUTPUT);
  pinMode(Group1, OUTPUT);
  pinMode(Group2, OUTPUT);
  pinMode(Group3, OUTPUT);
  pinMode(Group4, OUTPUT);
  pinMode(Group5, OUTPUT);
  pinMode(Group6, OUTPUT);
  pinMode(Group7, OUTPUT);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  pinMode(Group8, OUTPUT);
  pinMode(Group9, OUTPUT);
  pinMode(Group10, OUTPUT);
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

char AnalogToCheckersCode(int analogReadIn){
  char result;
  if(analogReadIn >155){
    result = 'B';
  }
  else if(analogReadIn > 110){
    result = 'W';
  }
  else if(analogReadIn > 70){
    result = 'w';
  }
  else if(analogReadIn > 25){
    result = 'b';
  }
  else{
    result = 'e';
  }
  return result;
}

void AnalogToCheckersCodeGroup(int i){
  delay(msDelay);
  CheckersCode[i][0] = AnalogToCheckersCode(analogRead(A0));
  CheckersCode[i][1] = AnalogToCheckersCode(analogRead(A1));
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  CheckersCode[i][2] = AnalogToCheckersCode(analogRead(A2));
  CheckersCode[i][3] = AnalogToCheckersCode(analogRead(A3));
  CheckersCode[i][4] = AnalogToCheckersCode(analogRead(A4));
  CheckersCode[i][5] = AnalogToCheckersCode(analogRead(A5));
/*
  Serial.print(analogRead(A0));
  Serial.print(" ");
  Serial.print(analogRead(A1));
  Serial.print(" ");
  Serial.print(analogRead(A2));
  Serial.print(" ");
  Serial.print(analogRead(A3));
  Serial.print(" ");
  Serial.print(analogRead(A4));
  Serial.print(" ");
  Serial.println(analogRead(A5));
 */
}

void loop() {

digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);

//------- Group 0 ----------

  digitalWrite(Group0, HIGH);
  digitalWrite(Group1, LOW);
  digitalWrite(Group2, LOW);
  digitalWrite(Group3, LOW);
  digitalWrite(Group4, LOW);
  digitalWrite(Group5, LOW);
  digitalWrite(Group6, LOW);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  digitalWrite(Group7, LOW);
  digitalWrite(Group8, LOW);
  digitalWrite(Group9, LOW);
  digitalWrite(Group10, LOW);
  AnalogToCheckersCodeGroup(0);

//------- Group 1 ----------

  digitalWrite(Group0, LOW);
  digitalWrite(Group1, HIGH);
  digitalWrite(Group2, LOW);
  digitalWrite(Group3, LOW);
  digitalWrite(Group4, LOW);
  digitalWrite(Group5, LOW);
  digitalWrite(Group6, LOW);
  digitalWrite(Group7, LOW);
  digitalWrite(Group8, LOW);
  digitalWrite(Group9, LOW);
  digitalWrite(Group10, LOW);
  AnalogToCheckersCodeGroup(1);

//------- Group 2 ----------

  digitalWrite(Group0, LOW);
  digitalWrite(Group1, LOW);
  digitalWrite(Group2, HIGH);
  digitalWrite(Group3, LOW);
  digitalWrite(Group4, LOW);
  digitalWrite(Group5, LOW);
  digitalWrite(Group6, LOW);
  digitalWrite(Group4, LOW);
  digitalWrite(Group8, LOW);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  digitalWrite(Group9, LOW);
  digitalWrite(Group10, LOW);
  AnalogToCheckersCodeGroup(2);

//------- Group 3 ----------

  digitalWrite(Group0, LOW);
  digitalWrite(Group1, LOW);
  digitalWrite(Group2, LOW);
  digitalWrite(Group3, HIGH);
  digitalWrite(Group4, LOW);
  digitalWrite(Group5, LOW);
  digitalWrite(Group6, LOW);
  digitalWrite(Group7, LOW);
  digitalWrite(Group8, LOW);
  digitalWrite(Group9, LOW);
  digitalWrite(Group10, LOW);
  AnalogToCheckersCodeGroup(3);

//------- Group 4 ----------

  digitalWrite(Group0, LOW);
  digitalWrite(Group1, LOW);
  digitalWrite(Group2, LOW);
  digitalWrite(Group3, LOW);
  digitalWrite(Group4, HIGH);
  digitalWrite(Group5, LOW);
  digitalWrite(Group6, LOW);
  digitalWrite(Group7, LOW);
  digitalWrite(Group8, LOW);
  digitalWrite(Group9, LOW);
  digitalWrite(Group10, LOW);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  AnalogToCheckersCodeGroup(4);

//------- Group 5 ----------

  digitalWrite(Group0, LOW);
  digitalWrite(Group1, LOW);
  digitalWrite(Group2, LOW);
  digitalWrite(Group3, LOW);
  digitalWrite(Group4, LOW);
  digitalWrite(Group5, HIGH);
  digitalWrite(Group6, LOW);
  digitalWrite(Group7, LOW);
  digitalWrite(Group8, LOW);
  digitalWrite(Group9, LOW);
  digitalWrite(Group10, LOW);
  AnalogToCheckersCodeGroup(5);

//------- Group 6 ---------

  digitalWrite(Group0, LOW);
  digitalWrite(Group1, LOW);
  digitalWrite(Group2, LOW);
  digitalWrite(Group3, LOW);
  digitalWrite(Group4, LOW);
  digitalWrite(Group5, LOW);
  digitalWrite(Group6, HIGH);
  digitalWrite(Group7, LOW);
  digitalWrite(Group8, LOW);
  digitalWrite(Group9, LOW);
  digitalWrite(Group10, LOW);
  AnalogToCheckersCodeGroup(6);

//------- Group 7 ----------
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  digitalWrite(Group0, LOW);
  digitalWrite(Group1, LOW);
  digitalWrite(Group2, LOW);
  digitalWrite(Group3, LOW);
  digitalWrite(Group4, LOW);
  digitalWrite(Group5, LOW);
  digitalWrite(Group6, LOW);
  digitalWrite(Group7, HIGH);
  digitalWrite(Group8, LOW);
  digitalWrite(Group9, LOW);
  digitalWrite(Group10, LOW);
  AnalogToCheckersCodeGroup(7);

//------- Group 8 ---------

  digitalWrite(Group0, LOW);
  digitalWrite(Group1, LOW);
  digitalWrite(Group2, LOW);
  digitalWrite(Group3, LOW);
  digitalWrite(Group4, LOW);
  digitalWrite(Group5, LOW);
  digitalWrite(Group6, LOW);
  digitalWrite(Group7, LOW);
  digitalWrite(Group8, HIGH);
  digitalWrite(Group9, LOW);
  digitalWrite(Group10, LOW);
  AnalogToCheckersCodeGroup(8);

//------- Group 9 ---------

  digitalWrite(Group0, LOW);
  digitalWrite(Group1, LOW);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  digitalWrite(Group2, LOW);
  digitalWrite(Group3, LOW);
  digitalWrite(Group4, LOW);
  digitalWrite(Group5, LOW);
  digitalWrite(Group6, LOW);
  digitalWrite(Group7, LOW);
  digitalWrite(Group8, LOW);
  digitalWrite(Group9, HIGH);
  digitalWrite(Group10, LOW);
  AnalogToCheckersCodeGroup(9);

//------- Group 10 ---------

  digitalWrite(Group0,LOW);
  digitalWrite(Group1,LOW);
  digitalWrite(Group2,LOW);
  digitalWrite(Group3,LOW);
  digitalWrite(Group4,LOW);
  digitalWrite(Group5,LOW);
  digitalWrite(Group6,LOW);
  digitalWrite(Group7,LOW);
  digitalWrite(Group8,LOW);
  digitalWrite(Group9,LOW);
  digitalWrite(Group10,HIGH);
  AnalogToCheckersCodeGroup(10);

  bufCheckesrCode = "";
  strCheckersCode = "";
  for (i=0; i<=10; i++)
  {
    for (j=0; j<=5; j++)
    {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    if(!((i==10)&&(j>=4))){                    // 64 Checker only
      bufCheckesrCode = CheckersCode[i][j];   // Convert Array to String
      strCheckersCode += bufCheckesrCode;     // Connect String
    }
    else{
      break;
    }
  }
  //strCheckersCode += " ";
}
Serial.println(strCheckersCode);
//Serial.println(CheckersCode[0][0]);
digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
delay(msDelay);
}
```

- ส่วนการเชื่อมต่อระหว่าง Arduino และ Visual Basic

```
Option Explicit On
Imports System
Imports System.IO.Ports
Public Class frmSplash
    Private Sub frmSplash_Load(sender As Object, e As EventArgs) Handles
MyBase.Load
        Dim ports() As String
        ports = SerialPort.GetPortNames()
        If (ports.Length = 0) Then
            MessageBox.Show("Please connect Arduino Board", "Electronics
Checkerboard", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Exclamation)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            Me.Close()
        Else
            cboCheckerPort.Items.AddRange(ports)
            cboCheckerPort.SelectedIndex = 0
        End If
    End Sub
    Private Sub btnConnect_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
btnConnect.Click
        PortNumber = cboCheckerPort.Text
        frmElectronicsCheckerBoard.Show()
        Me.Hide()
    End Sub
    Private Sub tmrSplash_Tick(sender As Object, e As EventArgs) Handles
tmrSplash.Tick
        Try
            pgbCkeckerboard.Value += 1
        Catch
            btnConnect.Enabled = True
            Return
        End Try
    End Sub
End Class
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ส่วนของ Visual Basic

```
Option Explicit On
Imports System
Imports System.Threading

Public Class frmElectronicsCheckerBoard

    Delegate Sub InvokeDelegate()
    Dim CheckersCode As String
    Dim CheckersCodeOld As String
    Dim CheckersArray(65) As Char
    Dim bufCheckersCode As String
    Public TitlebarHeight As Integer
    Public Delegate Sub SetTextCallback(ByVal CheckersCodeArduino As String)

    Private Sub BeepSound()
        Dim freq As Integer = Integer.Parse(1000)
        Dim duration As Integer = Integer.Parse(500)
        Console.Beep(freq, duration)
    End Sub

#Region "Form"

    Private Sub frmElectronicsCheckerBoard_Load(sender As Object, e As EventArgs)
Handles MyBase.Load
        Dim pointer As Point
        TitlebarHeight = (Me.Height - Me.ClientSize.Height)
        DynamicBoardResize()
        SerialPortSetting()

    End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Private Sub CheckerBoard_Resize(sender As Object, e As EventArgs) Handles
Me.Resize
        DynamicBoardResize()
    End Sub

    Private Sub DynamicBoardResize()
        Dim pointer As Point
        Dim x, maximizeMoveCenter As Integer
        Dim ScreenWidth As Integer
        Dim ScreenHeight As Integer
        Dim TaskbarHeight As Integer
        Dim CheckerBoardSize As Integer

        ScreenWidth = Screen.PrimaryScreen.Bounds.Width
        ScreenHeight = Screen.PrimaryScreen.Bounds.Height

        TaskbarHeight = ScreenHeight - Screen.PrimaryScreen.WorkingArea.Height

        If (Me.WindowState = FormWindowState.Normal) Then

            Me.FormBorderStyle = Windows.Forms.FormBorderStyle.Sizable
            CheckerBoardSize = Me.Height - TitlebarHeight
            Me.Width = Me.Height - (TitlebarHeight / 2)

        ElseIf (Me.WindowState = FormWindowState.Maximized) Then

            Me.FormBorderStyle = Windows.Forms.FormBorderStyle.None
            CheckerBoardSize = ScreenHeight
            maximizeMoveCenter = (ScreenWidth - ScreenHeight) / 2
            Me.Height = ScreenHeight
            Me.Width = ScreenWidth

        End If

        x = CheckerBoardSize / 8
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

picChecker1.Width = x

picChecker1.Height = x

picChecker2.Width = x

picChecker2.Height = x

picChecker3.Width = x

picChecker3.Height = x

picChecker4.Width = x

picChecker4.Height = x

picChecker5.Width = x

picChecker5.Height = x

picChecker6.Width = x

picChecker6.Height = x

picChecker7.Width = x

picChecker7.Height = x

picChecker8.Width = x

picChecker8.Height = x

picChecker9.Width = x

picChecker9.Height = x

picChecker10.Width = x

picChecker10.Height = x

picChecker11.Width = x

picChecker11.Height = x

picChecker12.Width = x

picChecker12.Height = x

picChecker13.Width = x

picChecker13.Height = x

picChecker14.Width = x

picChecker14.Height = x

picChecker15.Width = x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

picChecker15.Height = x

picChecker16.Width = x

picChecker16.Height = x

picChecker17.Width = x

picChecker17.Height = x

picChecker18.Width = x

picChecker18.Height = x

picChecker19.Width = x

picChecker19.Height = x

picChecker20.Width = x

picChecker20.Height = x

picChecker21.Width = x

picChecker21.Height = x

picChecker22.Width = x

picChecker22.Height = x

picChecker23.Width = x

picChecker23.Height = x

picChecker24.Width = x

picChecker24.Height = x

picChecker25.Width = x

picChecker25.Height = x

picChecker26.Width = x

picChecker26.Height = x

picChecker27.Width = x

picChecker27.Height = x

picChecker28.Width = x

picChecker28.Height = x

picChecker29.Width = x

picChecker29.Height = x

picChecker30.Width = x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

picChecker30.Height = x

picChecker31.Width = x

picChecker31.Height = x

picChecker32.Width = x

picChecker32.Height = x

picChecker33.Width = x

picChecker33.Height = x

picChecker34.Width = x

picChecker34.Height = x

picChecker35.Width = x

picChecker35.Height = x

picChecker36.Width = x

picChecker36.Height = x

picChecker37.Width = x

picChecker37.Height = x

picChecker38.Width = x

picChecker38.Height = x

picChecker39.Width = x

picChecker39.Height = x

picChecker40.Width = x

picChecker40.Height = x

picChecker41.Width = x

picChecker41.Height = x

picChecker42.Width = x

picChecker42.Height = x

picChecker43.Width = x

picChecker43.Height = x

picChecker44.Width = x

picChecker44.Height = x

picChecker45.Width = x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

picChecker45.Height = x

picChecker46.Width = x

picChecker46.Height = x

picChecker47.Width = x

picChecker47.Height = x

picChecker48.Width = x

picChecker48.Height = x

picChecker49.Width = x

picChecker49.Height = x

picChecker50.Width = x

picChecker50.Height = x

picChecker51.Width = x

picChecker51.Height = x

picChecker52.Width = x

picChecker52.Height = x

piChecker53.Width = x

picChecker53.Height = x

picChecker54.Width = x

picChecker54.Height = x

picChecker55.Width = x

picChecker55.Height = x

picChecker56.Width = x

picChecker56.Height = x

picChecker57.Width = x

picChecker57.Height = x

picChecker58.Width = x

picChecker58.Height = x

picChecker59.Width = x

picChecker59.Height = x

picChecker60.Width = x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
picChecker60.Height = x
picChecker61.Width = x
picChecker61.Height = x
picChecker62.Width = x
picChecker62.Height = x
picChecker63.Width = x
picChecker63.Height = x
picChecker64.Width = x
picChecker64.Height = x

pointer.X = 0 + maximizeMoveCenter
pointer.Y = 0
picChecker1.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker2.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker3.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker4.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker5.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker6.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker7.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker8.Location = pointer
pointer.X = 0 + maximizeMoveCenter
pointer.Y += x
picChecker9.Location = pointer
pointer.X += x
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
picChecker10.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker11.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker12.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker13.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker14.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker15.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker16.Location = pointer
pointer.X = 0 + maximizeMoveCenter
pointer.Y += x
picChecker17.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker18.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker19.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker20.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker21.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker22.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker23.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker24.Location = pointer
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
pointer.X = 0 + maximizeMoveCenter
pointer.Y += x
picChecker25.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker26.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker27.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker28.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker29.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker30.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker31.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker32.Location = pointer
pointer.X = 0 + maximizeMoveCenter
pointer.Y += x
picChecker33.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker34.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker35.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker36.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker37.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker38.Location = pointer
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
pointer.X += x
picChecker39.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker40.Location = pointer
pointer.X = 0 + maximizeMoveCenter
pointer.Y += x
picChecker41.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker42.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker43.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker44.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker45.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker46.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker47.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker48.Location = pointer
pointer.X = 0 + maximizeMoveCenter
pointer.Y += x
picChecker49.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker50.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker51.Location = pointer
pointer.X += x
picChecker52.Location = pointer
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        pointer.X += x
        picChecker53.Location = pointer
        pointer.X += x
        picChecker54.Location = pointer
        pointer.X += x
        picChecker55.Location = pointer
        pointer.X += x
        picChecker56.Location = pointer
        pointer.X = 0 + maximizeMoveCenter
        pointer.Y += x
        picChecker57.Location = pointer
        pointer.X += x
        picChecker58.Location = pointer
        pointer.X += x
        picChecker59.Location = pointer
        pointer.X += x
        picChecker60.Location = pointer
        pointer.X += x
        picChecker61.Location = pointer
        pointer.X += x
        picChecker62.Location = pointer
        pointer.X += x
        picChecker63.Location = pointer
        pointer.X += x
        picChecker64.Location = pointer
    End Sub

    Private Sub CheckerBoard_KeyDown(sender As Object, e As KeyEventArgs) Handles
Me.KeyDown
        If e.KeyCode = Keys.Escape Then
            If (Me.WindowState = FormWindowState.Maximized) Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            Me.WindowState = FormWindowState.Normal
            Me.FormBorderStyle = Windows.Forms.FormBorderStyle.Sizable
        ElseIf (Me.WindowState = FormWindowState.Normal) Then
            If (srlCheckerBoard.IsOpen) Then
                srlCheckerBoard.Close()
            End If
            Me.Close()
        End If
    End If
End Sub
#End Region
#Region "SerialPort"
Sub SerialPortSetting()
    srlCheckerBoard.BaudRate = "9600"
    srlCheckerBoard.Parity = IO.Ports.Parity.None
    srlCheckerBoard.StopBits = IO.Ports.StopBits.One
    srlCheckerBoard.DataBits = 8
    Try
        If (Not srlCheckerBoard.IsOpen) Then
            srlCheckerBoard.PortName = PortNumber
            srlCheckerBoard.Open()
        End If
    Catch ex As UnauthorizedAccessException
        MessageBox.Show(ex.Message)
    End Try
End Sub
Private Sub SerialPort_DataReceived(ByVal sender As Object, ByVal e As
System.IO.Ports.SerialDataReceivedEventArgs) Handles srlCheckerBoard.DataReceived
 ReceivedText(srlCheckerBoard.ReadLine())
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Private Sub ReceivedText(ByVal CheckersCodeArduino As String)
        If (txtCheckersCode.InvokeRequired) Then
            Dim x As New SetTextCallback(AddressOf ReceivedText)
            Me.Invoke(x, New Object() {(CheckersCodeArduino)})
        Else
            CheckersCode = CheckersCodeArduino
            txtCheckersCode.Text &= CheckersCodeArduino
        End If
        If (txtCheckersCode.Text.Count >= 66) Then
            txtCheckersCode.Clear()
        End If
        If CheckersCodeOld <> CheckersCode Then
            CheckersCodeOld = CheckersCode
            Console.Beep()
        End If
        tmrCheckerBoard.Enabled = True
    End Sub
#End Region
#Region "ConvertCode"
    Private Sub ConvertCode()
        For i = 1 To 64
            CheckersArray(i) = Mid(CheckersCode, i, 1)
        Next
        Select Case CheckersArray(1)
            Case "e"
                picChecker1.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
            Case "b"
                picChecker1.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
            Case "B"
                picChecker1.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Case "w"
        picChecker1.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker1.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(2)
    Case "e"
        picChecker2.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker2.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker2.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker2.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker2.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(3)
    Case "e"
        picChecker3.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker3.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker3.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker3.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker3.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(4)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Case "e"
        picChecker4.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker4.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker4.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker4.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker4.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(5)
    Case "e"
        picChecker5.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker5.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker5.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker5.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker5.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(6)
    Case "e"
        picChecker6.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker6.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker6.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Case "w"
        picChecker6.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker6.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(7)
    Case "e"
        picChecker7.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker7.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker7.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker7.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker7.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(8)
    Case "e"
        picChecker8.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker8.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker8.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker8.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker8.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(9)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Case "e"
        picChecker9.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker9.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker9.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker9.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker9.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(10)
    Case "e"
        picChecker10.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker10.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker10.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker10.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker10.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(11)
    Case "e"
        picChecker11.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker11.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker11.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Case "w"
        picChecker11.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker11.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(12)
    Case "e"
        picChecker12.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker12.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker12.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker12.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker12.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(13)
    Case "e"
        picChecker13.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker13.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker13.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker13.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker13.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(14)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Case "e"
        picChecker14.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker14.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker14.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker14.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker14.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(15)
    Case "e"
        picChecker15.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker15.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker15.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker15.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker15.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select

Select Case CheckersArray(16)
    Case "e"
        picChecker16.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker16.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            picChecker16.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
        Case "w"
            picChecker16.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
        Case "W"
            picChecker16.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
    End Select
    Select Case CheckersArray(17)
        Case "e"
            picChecker17.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
        Case "b"
            picChecker17.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
        Case "B"
            picChecker17.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
        Case "w"
            picChecker17.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
        Case "W"
            picChecker17.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
    End Select
    Select Case CheckersArray(18)
        Case "e"
            picChecker18.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
        Case "b"
            picChecker18.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
        Case "B"
            picChecker18.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
        Case "w"
            picChecker18.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
        Case "W"
            picChecker18.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
    End Select
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Select Case CheckersArray(19)
    Case "e"
        picChecker19.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker19.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker19.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker19.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker19.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(20)
    Case "e"
        picChecker20.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker20.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker20.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker20.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker20.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(21)
    Case "e"
        picChecker21.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker21.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            picChecker21.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
        Case "w"
            picChecker21.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
        Case "W"
            picChecker21.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
    End Select
    Select Case CheckersArray(22)
        Case "e"
            picChecker22.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
        Case "b"
            picChecker22.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
        Case "B"
            picChecker22.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
        Case "w"
            picChecker22.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
        Case "W"
            picChecker22.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
    End Select
    Select Case CheckersArray(23)
        Case "e"
            picChecker23.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
        Case "b"
            picChecker23.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
        Case "B"
            picChecker23.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
        Case "w"
            picChecker23.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
        Case "W"
            picChecker23.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
    End Select
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Select Case CheckersArray(24)
    Case "e"
        picChecker24.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker24.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker24.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker24.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker24.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(25)
    Case "e"
        picChecker25.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker25.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker25.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker25.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker25.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(26)
    Case "e"
        picChecker26.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker26.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            picChecker26.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
        Case "w"
            picChecker26.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
        Case "W"
            picChecker26.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
    End Select
    Select Case CheckersArray(27)
        Case "e"
            picChecker27.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
        Case "b"
            picChecker27.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
        Case "B"
            picChecker27.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
        Case "w"
            picChecker27.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
        Case "W"
            picChecker27.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
    End Select
    Select Case CheckersArray(28)
        Case "e"
            picChecker28.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
        Case "b"
            picChecker28.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
        Case "B"
            picChecker28.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
        Case "w"
            picChecker28.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
        Case "W"
            picChecker28.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
    End Select
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Select Case CheckersArray(29)
    Case "e"
        picChecker29.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker29.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker29.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker29.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker29.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(30)
    Case "e"
        picChecker30.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker30.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker30.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker30.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker30.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(31)
    Case "e"
        picChecker31.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker31.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            picChecker31.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
        Case "w"
            picChecker31.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
        Case "W"
            picChecker31.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
    End Select
    Select Case CheckersArray(32)
        Case "e"
            picChecker32.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
        Case "b"
            picChecker32.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
        Case "B"
            picChecker32.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
        Case "w"
            picChecker32.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
        Case "W"
            picChecker32.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
    End Select
    Select Case CheckersArray(33)
        Case "e"
            picChecker33.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
        Case "b"
            picChecker33.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
        Case "B"
            picChecker33.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
        Case "w"
            picChecker33.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
        Case "W"
            picChecker33.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
    End Select
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Select Case CheckersArray(34)
    Case "e"
        picChecker34.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker34.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker34.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker34.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker34.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(35)
    Case "e"
        picChecker35.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker35.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker35.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker35.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker35.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(36)
    Case "e"
        picChecker36.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker36.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            picChecker36.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
        Case "w"
            picChecker36.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
        Case "W"
            picChecker36.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
    End Select
    Select Case CheckersArray(37)
        Case "e"
            picChecker37.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
        Case "b"
            picChecker37.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
        Case "B"
            picChecker37.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
        Case "w"
            picChecker37.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
        Case "W"
            picChecker37.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
    End Select
    Select Case CheckersArray(38)
        Case "e"
            picChecker38.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
        Case "b"
            picChecker38.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
        Case "B"
            picChecker38.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
        Case "w"
            picChecker38.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
        Case "W"
            picChecker38.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
    End Select
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Select Case CheckersArray(39)
    Case "e"
        picChecker39.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker39.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker39.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker39.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker39.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(40)
    Case "e"
        picChecker40.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker40.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker40.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker40.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker40.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(41)
    Case "e"
        picChecker41.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker41.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            picChecker41.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
        Case "w"
            picChecker41.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
        Case "W"
            picChecker41.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
    End Select
    Select Case CheckersArray(42)
        Case "e"
            picChecker42.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
        Case "b"
            picChecker42.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
        Case "B"
            picChecker42.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
        Case "w"
            picChecker42.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
        Case "W"
            picChecker42.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
    End Select
    Select Case CheckersArray(43)
        Case "e"
            picChecker43.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
        Case "b"
            picChecker43.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
        Case "B"
            picChecker43.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
        Case "w"
            picChecker43.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
        Case "W"
            picChecker43.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
    End Select
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Select Case CheckersArray(44)
    Case "e"
        picChecker44.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker44.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker44.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker44.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker44.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(45)
    Case "e"
        picChecker45.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker45.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker45.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker45.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker45.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(46)
    Case "e"
        picChecker46.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker46.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        picChecker46.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker46.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker46.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(47)
    Case "e"
        picChecker47.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker47.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker47.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker47.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker47.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(48)
    Case "e"
        picChecker48.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker48.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker48.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker48.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker48.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Select Case CheckersArray(49)
    Case "e"
        picChecker49.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker49.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker49.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker49.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker49.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(50)
    Case "e"
        picChecker50.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker50.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker50.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker50.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker50.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(51)
    Case "e"
        picChecker51.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker51.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            picChecker51.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
        Case "w"
            picChecker51.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
        Case "W"
            picChecker51.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
    End Select
    Select Case CheckersArray(52)
        Case "e"
            picChecker52.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
        Case "b"
            picChecker52.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
        Case "B"
            picChecker52.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
        Case "w"
            picChecker52.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
        Case "W"
            picChecker52.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
    End Select
    Select Case CheckersArray(53)
        Case "e"
            picChecker53.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
        Case "b"
            picChecker53.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
        Case "B"
            picChecker53.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
        Case "w"
            picChecker53.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
        Case "W"
            picChecker53.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
    End Select
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Select Case CheckersArray(54)
    Case "e"
        picChecker54.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker54.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker54.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker54.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker54.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(55)
    Case "e"
        picChecker55.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker55.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker55.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker55.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker55.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(56)
    Case "e"
        picChecker56.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker56.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        picChecker56.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker56.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker56.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(57)
    Case "e"
        picChecker57.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker57.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker57.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker57.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker57.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(58)
    Case "e"
        picChecker58.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker58.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker58.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker58.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker58.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Select Case CheckersArray(59)
    Case "e"
        picChecker59.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker59.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker59.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker59.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker59.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(60)
    Case "e"
        picChecker60.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker60.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
        picChecker60.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
    Case "w"
        picChecker60.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
    Case "W"
        picChecker60.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
End Select
Select Case CheckersArray(61)
    Case "e"
        picChecker61.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
    Case "b"
        picChecker61.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
    Case "B"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            picChecker61.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
        Case "w"
            picChecker61.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
        Case "W"
            picChecker61.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
    End Select
    Select Case CheckersArray(62)
        Case "e"
            picChecker62.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
        Case "b"
            picChecker62.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
        Case "B"
            picChecker62.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
        Case "w"
            picChecker62.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
        Case "W"
            picChecker62.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
    End Select
    Select Case CheckersArray(63)
        Case "e"
            picChecker63.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
        Case "b"
            picChecker63.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
        Case "B"
            picChecker63.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
        Case "w"
            picChecker63.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
        Case "W"
            picChecker63.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
    End Select
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Select Case CheckersArray(64)
            Case "e"
                picChecker64.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(0)
            Case "b"
                picChecker64.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(1)
            Case "B"
                picChecker64.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(2)
            Case "w"
                picChecker64.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(3)
            Case "W"
                picChecker64.Image = imlCheckerBoard.Images.Item(4)
        End Select
    End Sub
#End Region
    Private Sub tmrCheckerBoard_Tick(sender As Object, e As EventArgs) Handles
tmrCheckerBoard.Tick
        ConvertCode()
        Me.Text = "Electronics CheckerBoard" & " " & DateTime.Today & " " &
TimeString
    End Sub
    Private Sub CheckerBoard_MaximumSizeChanged(sender As Object, e As
EventArgs) Handles Me.MaximumSizeChanged
        Console.Beep()
    End Sub
End Class
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DRV5053 Analog-Bipolar Hall Effect Sensor

1 Features

- Linear Output Hall Sensor
- Superior Temperature Stability
  - Sensitivity ±10% Over Temperature
- High Sensitivity Options:
  - –11 mV/mT (OA, See Figure 17)
  - –23 mV/mT (PA)
  - –45 mV/mT (RA)
  - –90 mV/mT (VA)
  - +23 mV/mT (CA)
  - +45 mV/mT (EA)
- Supports a Wide Voltage Range
  - 2.5 to 38 V
  - No External Regulator Required
- Wide Operating Temperature Range
  - T_A = –40 to 125°C (Q, see Figure 17)
- Amplified Output Stage
  - 2.3-mA Sink, 300 µA Source
- Output Voltage: 0.2 ~ 1.8 V
  - B = 0 mT, OUT = 1 V
- Fast Power-On: 35 µs
- Small Package and Footprint
  - Surface Mount 3-Pin SOT-23 (DBZ)
    - 2.92 mm × 2.37 mm
  - Through-Hole 3-Pin TO-92 (LPG)
    - 4.00 mm × 3.15 mm
- **Protection Features**
  - Reverse Supply Protection (up to –22 V)
  - Supports up to 40-V Load Dump
  - Output Short-Circuit Protection
  - Output Current Limitation

2 Applications

- Flow Meters
- Docking Adjustment
- Vibration Correction
- Damper Controls

3 Description

The DRV5053 device is a chopper-stabilized Hall IC that offers a magnetic sensing solution with superior sensitivity stability over temperature and integrated protection features.

The 0- to 2-V analog output responds linearly to the applied magnetic flux density, and distinguishes the polarity of magnetic field direction. A wide operating voltage range from 2.5 to 38 V with reverse polarity protection up to –22 V makes the device suitable for a wide range of industrial and consumer applications.

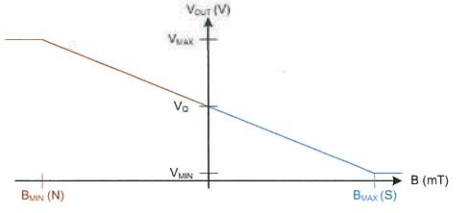
Internal protection functions are provided for reverse supply conditions, load dump, and output short circuit or overcurrent.

Device Information(1)

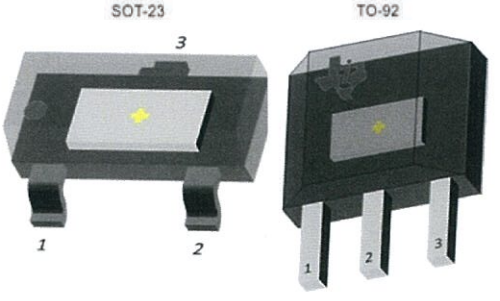
PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
DRV5053	SOT-23 (3)	2.92 mm × 1.30 mm
	TO-92 (3)	4.00 mm × 3.15 mm

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

Output State



Device Packages



An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table of Contents

1 Features ... 1
2 Applications ... 1
3 Description ... 1
4 Revision History ... 2
5 Pin Configuration and Functions ... 3
6 Specifications ... 4
6.1 Absolute Maximum Ratings ... 4
6.2 ESD Ratings ... 4
6.3 Recommended Operating Conditions ... 4
6.4 Thermal Information ... 4
6.5 Electrical Characteristics ... 5
6.6 Switching Characteristics ... 5
6.7 Magnetic Characteristics ... 5
6.8 Typical Characteristics ... 7
7 Detailed Description ... 8
7.1 Overview ... 8
7.2 Functional Block Diagram ... 8
7.3 Feature Description ... 9
7.4 Device Functional Modes ... 11
8 Application and Implementation ... 12
8.1 Application Information ... 12
8.2 Typical Applications ... 12
9 Power Supply Recommendations ... 14
10 Device and Documentation Support ... 15
10.1 Device Support ... 15
10.2 Community Resources ... 16
10.3 Trademarks ... 16
10.4 Electrostatic Discharge Caution ... 16
10.5 Glossary ... 16
11 Mechanical, Packaging, and Orderable Information ... 16

4 Revision History

Changes from Revision B (September 2014) to Revision C — **Page**

- Corrected body size of SOT-23 package and SIP package name to TO-92 ... 1
- Added B_{MAX} to *Absolute Maximum Ratings* ... 4
- Removed table note from junction temperature ... 4
- Updated the typical value for B_N and V_N for each version ... 5
- Updated Figure 6 ... 7
- Updated the *Functional Block Diagram* ... 8
- Updated *Output Stage* ... 11
- Updated package tape and reel options for M and blank ... 15
- Added *Community Resources* ... 16

Changes from Revision A (August 2014) to Revision B — **Page**

- Updated high sensitivity options ... 1
- Updated the sensitivity device values and typicals. Updated typical and max values for DRV5053VA: –80 mV/mT ... 6
- Updated *Typical Characteristics* graphs ... 7

Changes from Original (May 2014) to Revision A — **Page**

- Updated device status to production data ... 1
- Changed the maximum T_J value from 175°C to 150°C ... 4
- Updated *Magnetic Characteristics* table. ... 5

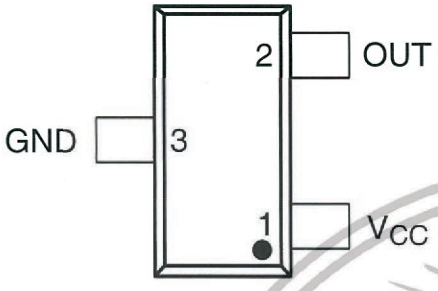
Copyright © 2014–2015, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

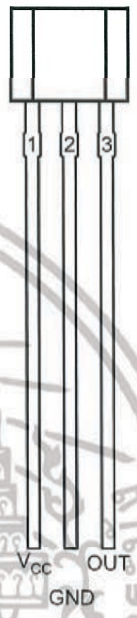
5 Pin Configuration and Functions

For additional configuration information, see *Device Markings* and *Mechanical, Packaging, and Orderable Information*.

DBZ Package
3-Pin SOT-23
Top View



LPG Package
3-Pin TO-92
Top View



Pin Functions

PIN			TYPE	DESCRIPTION
NAME	DBZ	LPG		
GND	3	2	GND	Ground pin
V_{CC}	1	1	Power	2.5 to 38 V power supply. Bypass this pin to the GND pin with a 0.01-µF (minimum) ceramic capacitor rated for V_{CC}.
OUT	2	3	Output	Hall sensor analog output. 1 V output corresponds to B = 0 mT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6 Specifications

6.1 Absolute Maximum Ratings

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

		MIN	MAX	UNIT
Power supply voltage	V_{CC}	–22(2)	40	V
	Voltage ramp rate (V_{CC}), V_{CC} < 5 V	Unlimited		V/µs
	Voltage ramp rate (V_{CC}), V_{CC} > 5 V	0	2	
Output pin voltage		–0.5	2.5	V
Output pin reverse current during reverse supply condition		0	–20	mA
Magnetic flux density, B_{MAX}		Unlimited		
Operating junction temperature, T_J		–40	150	°C
Storage temperature, T_{stg}		–65	150	°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.
(2) Ensured by design. Only tested to –20 V.

6.2 ESD Ratings

			VALUE	UNIT
$V_{(ESD)}$	Electrostatic discharge	Human body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001, all pins(1)	±2500	V
		Charged device model (CDM), per JEDEC specification JESD22-C101, all pins(2)	±500	

(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	MAX	UNIT
V_{CC}	Power supply voltage	2.5	38	V
V_{OUT}	Output pin voltage (OUT)	0	2	V
I_{SOURCE}	Output pin current source (OUT)	0	300	µA
I_{SINK}	Output pin current sink (OUT)	0	2.3	mA
T_A	Operating ambient temperature	–40	125	°C

6.4 Thermal Information

THERMAL METRIC(1)		DRV5053		UNIT
		DBZ (SOT-23)	LPG (TO-92)	
		3 PINS	3 PINS	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-ambient thermal resistance	333.2	180	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$	Junction-to-case (top) thermal resistance	99.9	98.6	°C/W
$R_{\theta JB}$	Junction-to-board thermal resistance	66.9	154.9	°C/W
ψ_{JT}	Junction-to-top characterization parameter	4.9	40	°C/W
ψ_{JB}	Junction-to-board characterization parameter	65.2	154.9	°C/W

(1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the *Semiconductor and IC Package Thermal Metrics* application report, SPRA953.

Copyright © 2014–2015, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5 Electrical Characteristics

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

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
POWER SUPPLIES (V_{CC})						
V_{CC}	V_{CC} operating voltage		2.5		38	V
I_{CC}	Operating supply current	V_{CC} = 2.5 to 38 V, T_A = 25°C		2.7		mA
		V_{CC} = 2.5 to 38 V, T_A = 125°C		3	3.6	
t_{on}	Power-on time			35	50	µs
PROTECTION CIRCUITS						
V_{CCR}	Reverse supply voltage		–22			V
$I_{OCP,SOURCE}$	Overcurrent protection level	Sourcing current		300		µA
$I_{OCP,SINK}$	Overcurrent protection level	Sinking current		2.3		mA

6.6 Switching Characteristics

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

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
ANALOG OUTPUT (OUT)						
t_d	Output delay time	T_A = 25°C		13	25	µs

6.7 Magnetic Characteristics

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

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT(1)
V_Q	Quiescent output	B = 0 mT T_A = –40°C to 125°C	0.9	1.02	1.15	V
f_{BW}	Bandwidth(2)		20			kHz
B_N	Input-referred noise(3)	C_{OUT} = 50 pF T_A = –40°C to 125°C	0.40	0.49	0.79	mT_{pp}
Le	Linearity(4)	$-B_{SAT} < B < B_{SAT}$		1%		
$V_{OUT\ MIN}$	Output saturation voltage (min)	$B < -B_{SAT}$			0.2	V
$V_{OUT\ MAX}$	Output saturation voltage (max)	$B > B_{SAT}$	1.8			V
DRV5053OA: –11 mV/mT						
S	Sensitivity	V_{CC} = 3.3 V T_A = –40°C to 125°C	–17.5	–11	–5	mV/mT
V_N	Output-referred noise	V_{CC} = 3.3 V; R_{OUT} = 10 kΩ; C_{OUT} = 50 pF T_A = –40°C to 125°C		5		mV_{pp}
B_{SAT}	Input saturation field	V_{CC} = 3.3 V T_A = –40°C to 125°C		73		mT
DRV5053PA: –23 mV/mT						
S	Sensitivity	V_{CC} = 3.3 V T_A = –40°C to 125°C	–35	–23	–10	mV/mT
V_N	Output-referred noise	V_{CC} = 3.3 V; R_{OUT} = 10 kΩ; C_{OUT} = 50 pF T_A = –40°C to 125°C		11		mV_{pp}
B_{SAT}	Input saturation field	V_{CC} = 3.3 V T_A = –40°C to 125°C		35		mT

(1) 1 mT = 10 Gauss
(2) Bandwidth describes the fastest changing magnetic field that can be detected and translated to the output.
(3) Not tested in production; limits are based on characterization data.
(4) Linearity describes the change in sensitivity across the B-range. The sensitivity near B_{SAT} is typically within 1% of the sensitivity near B = 0.

Copyright © 2014–2015, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Magnetic Characteristics (continued)

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

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT(1)
DRV5053RA: –45 mV/mT						
S	Sensitivity	V_{CC} = 3.3 V T_A = –40°C to 125°C	–70	–45	–20	mV/mT
V_N	Output-referred noise	V_{CC} = 3.3 V; R_{OUT} = 10 kΩ; C_{OUT} = 50 pF T_A = –40°C to 125°C		22		mV_{pp}
B_{SAT}	Input saturation field	V_{CC} = 3.3 V T_A = –40°C to 125°C		18		mT
DRV5053VA: –90 mV/mT						
S	Sensitivity	V_{CC} = 3.3 V T_A = –40°C to 125°C	–140	–90	–45	mV/mT
V_N	Output-referred noise	V_{CC} = 3.3 V; R_{OUT} = 10 kΩ; C_{OUT} = 50 pF T_A = –40°C to 125°C		44		mV_{pp}
B_{SAT}	Input saturation field	V_{CC} = 3.3 V T_A = –40°C to 125°C		9		mT
DRV5053CA: 23 mV/mT						
S	Sensitivity	V_{CC} = 3.3 V T_A = –40°C to 125°C	10	23	35	mV/mT
V_N	Output-referred noise	V_{CC} = 3.3 V; R_{OUT} = 10 kΩ; C_{OUT} = 50 pF T_A = –40°C to 125°C		11		mV_{pp}
B_{SAT}	Input saturation field	V_{CC} = 3.3 V T_A = –40°C to 125°C		35		mT
DRV5053EA: 45 mV/mT						
S	Sensitivity	V_{CC} = 3.3 V T_A = –40°C to 125°C	20	45	70	mV/mT
V_N	Output-referred noise	V_{CC} = 3.3 V; R_{OUT} = 10 kΩ; C_{OUT} = 50 pF T_A = –40°C to 125°C		22		mV_{pp}
B_{SAT}	Input saturation field	V_{CC} = 3.3 V T_A = –40°C to 125°C		18		mT

Copyright © 2014–2015, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.8 Typical Characteristics

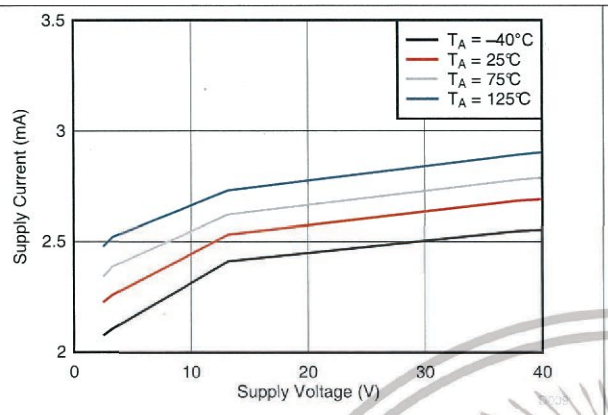


Figure 1. I_{CC} vs V_{CC}

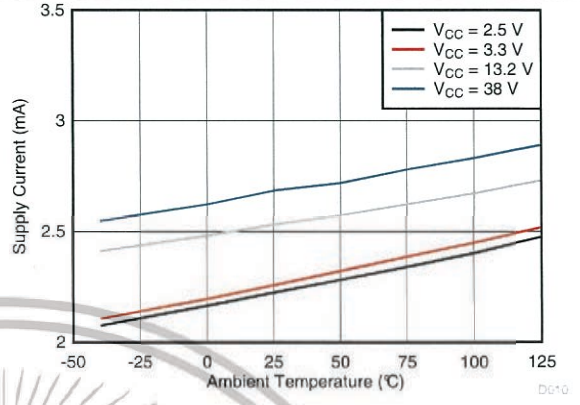


Figure 2. I_{CC} vs Temperature

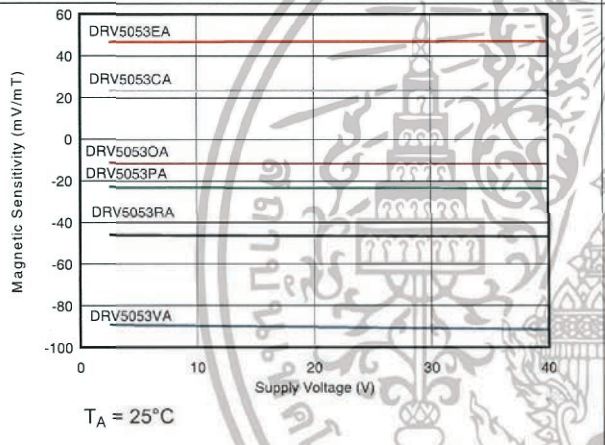


Figure 3. Sensitivity vs V_{CC}

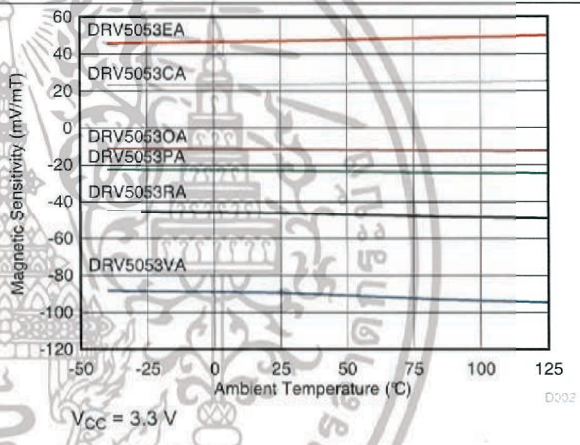


Figure 4. Sensitivity vs Temperature

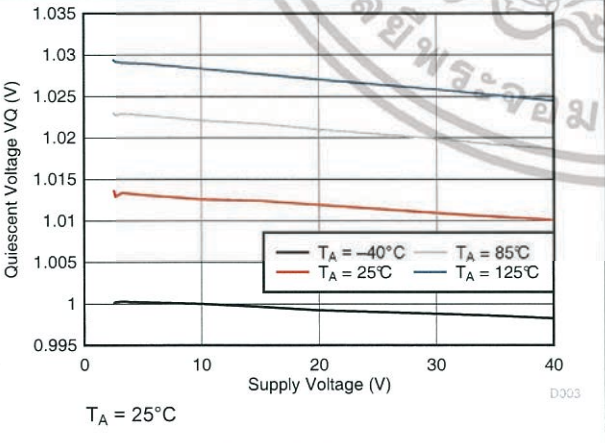


Figure 5. V_Q vs V_{CC}

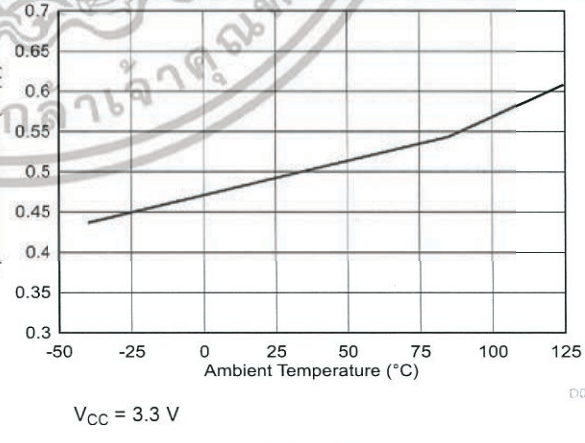


Figure 6. B_N vs Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7 Detailed Description

7.1 Overview

The DRV5053 device is a chopper-stabilized Hall sensor with an analog output for magnetic sensing applications. The DRV5053 device can be powered with a supply voltage between 2.5 and 38 V, and will survive –22 V reverse battery conditions continuously. Note that the DRV5053 device will not be operating when approximately –22 to 2.4 V is applied to V_{CC} (with respect to GND). In addition, the device can withstand supply voltages up to 40 V for transient durations.

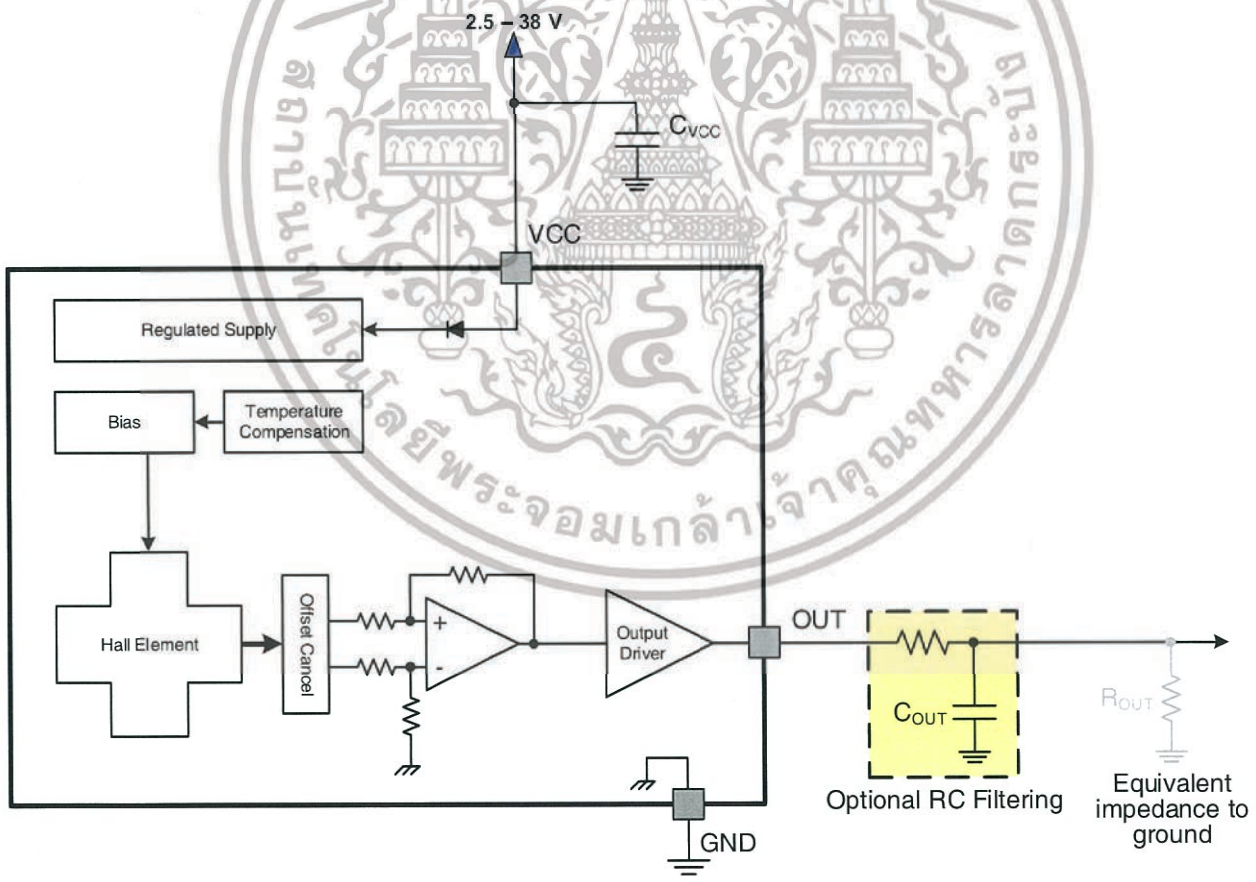
The output voltage is dependent on the magnetic field perpendicular to the package. The absence of a magnetic field will result in OUT = 1 V. A magnetic field will cause the output voltage to change linearly with the magnetic field.

The field polarity is defined as follows: a south pole near the marked side of the package is a positive magnetic field. A north pole near the marked side of the package is a negative magnetic field.

For devices with a negative sensitivity (that is, DRV5053RA: –40 mV/mT), a south pole will cause the output voltage to drop below 1 V, and a north pole will cause the output to rise above 1 V.

For devices with a positive sensitivity (that is, DRV5053EA: +40 mV/mT), a south pole will cause the output voltage to rise above 1 V, and a north pole will cause the output to drop below 1 V.

7.2 Functional Block Diagram



Copyright © 2014–2015, Texas Instruments Incorporated
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 Feature Description

7.3.1 Field Direction Definition

A positive magnetic field is defined as a south pole near the marked side of the package as shown in Figure 7.

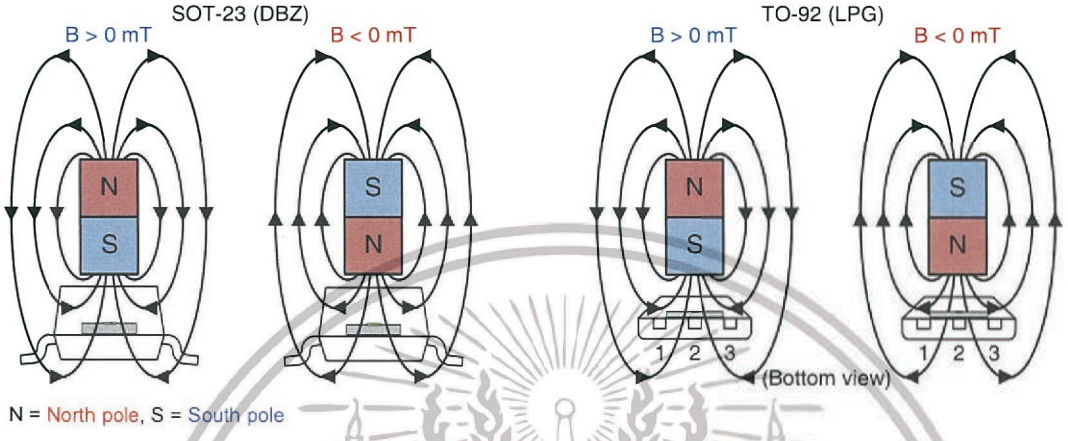


Figure 7. Field Direction Definition

7.3.2 Device Output

The DRV5053 device output is defined below for negative sensitivity (that is, –45 mV/mT, RA) and positive sensitivity (that is, +45 mV/mT, EA):

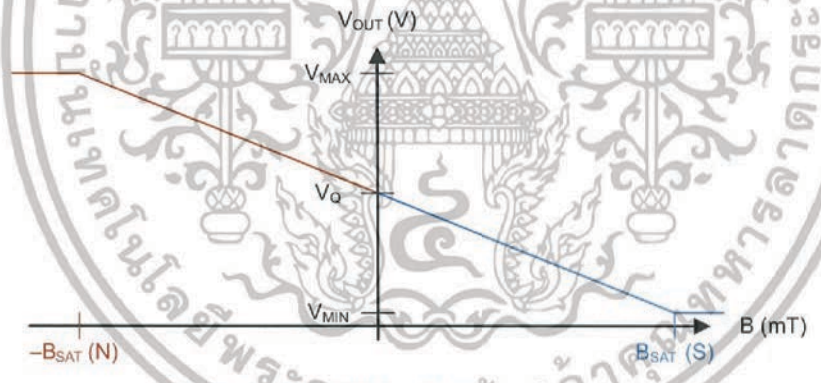


Figure 8. DRV5053 – Negative Sensitivity

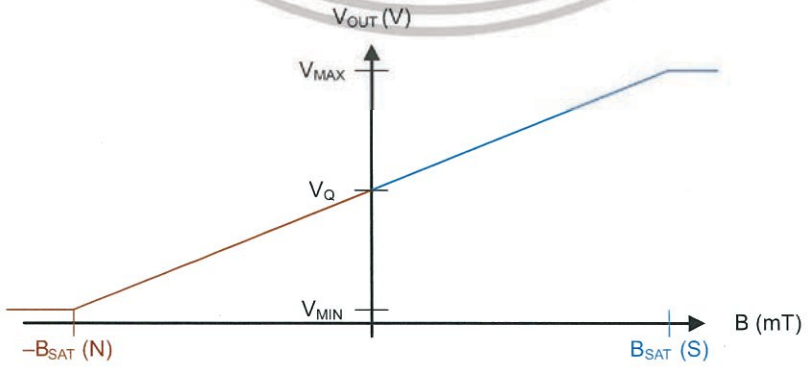


Figure 9. DRV5053 – Positive Sensitivity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Feature Description (continued)

7.3.3 Power-On Time

After applying V_{CC} to the DRV5053 device, t_{on} must elapse before OUT is valid. Figure 10 shows Case 1 and Figure 11 shows case 2; the output is defined assuming a negative sensitivity device and a constant magnetic field $-B_{SAT} < B < B_{SAT}$.

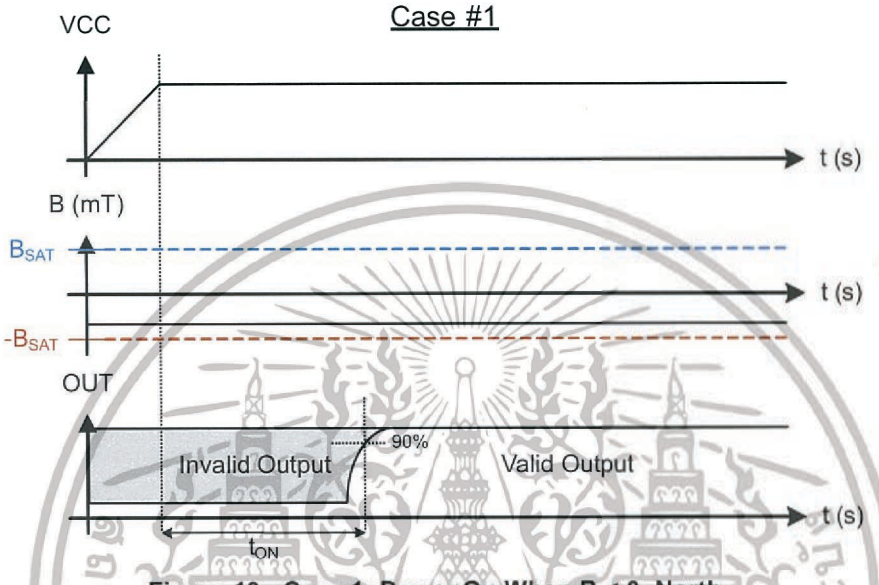


Figure 10. Case 1: Power On When B < 0, North

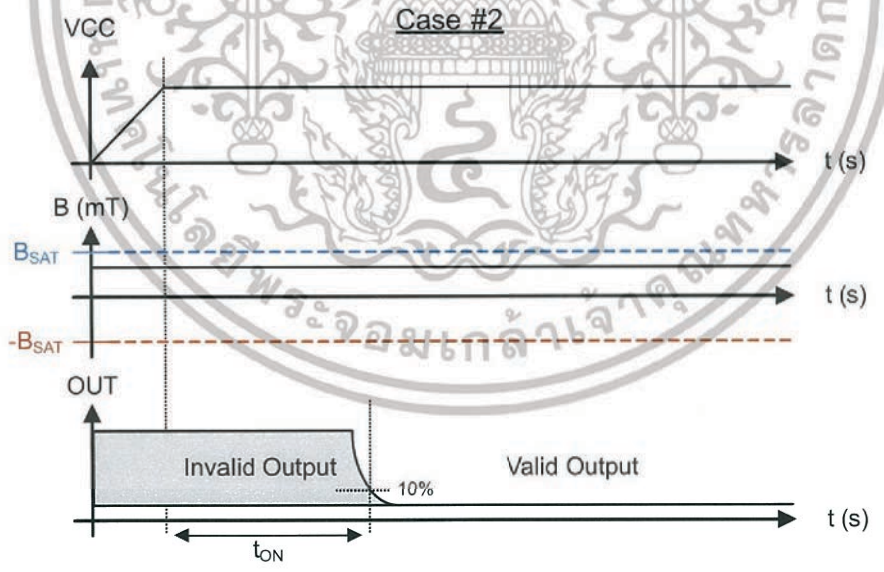


Figure 11. Case 2: Power On When B > 0, South

Copyright © 2014–2015, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Feature Description (continued)

7.3.4 Output Stage

The DRV5053 output stage is capable of up to 300-μA of current source or 2.3-mA sink. For proper operation, ensure that equivalent output load R_{OUT} > 10 kΩ.

The capacitive load directly present on the OUT pin should be less than 10 nF to ensure the internal operational amplifier is stable. If an external RC filter is added to reduce noise, it is acceptable to use a resistor ≥ 200 Ω with a capacitor ≤0.1 μF. For an application example, see *Filtered Typical Application*.

7.3.5 Protection Circuits

An analog current limit circuit limits the current through the output driver. The driver current will be clamped to I_{OCP}

7.3.5.1 Overcurrent Protection (OCP)

An analog current-limit circuit limits the current through the FET. The driver current is clamped to I_{OCP}. During this clamping, the $r_{DS(on)}$ of the output FET is increased from the nominal value.

7.3.5.2 Load Dump Protection

The DRV5053 device operates at DC V_{CC} conditions up to 38 V nominally, and can additionally withstand V_{CC} = 40 V. No current-limiting series resistor is required for this protection.

7.3.5.3 Reverse Supply Protection

The DRV5053 device is protected in the event that the V_{CC} pin and the GND pin are reversed (up to –22 V).

NOTE

In a reverse supply condition, the OUT pin reverse-current must not exceed the ratings specified in the *Absolute Maximum Ratings*.

Table 1.

FAULT	CONDITION	DEVICE	DESCRIPTION	RECOVERY
FET overload (OCP)	$I_{SINK} \geq I_{OCP}$	Operating	Output current is clamped to I_{OCP}	$I_O < I_{OCP}$
Load Dump	38 V < V_{CC} < 40 V	Operating	Device will operate for a transient duration	$V_{CC} \leq$ 38 V
Reverse Supply	–22 V < V_{CC} < 0 V	Disabled	Device will survive this condition	$V_{CC} \geq$ 2.5 V

7.4 Device Functional Modes

The DRV5053 device is active only when V_{CC} is between 2.5 and 38 V.

When a reverse supply condition exists, the device is inactive.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 DRV5053 device is used in magnetic-field sensing applications.

8.2 Typical Applications

8.2.1 Typical Application With No Filter

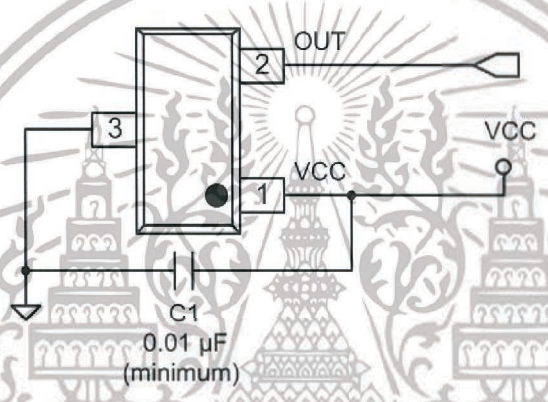


Figure 12. Typical Application Schematic – No Filter

8.2.1.1 Design Requirements

For this design example, use the parameters listed in Table 2 as the input parameters.

Table 2. Design Parameters

DESIGN PARAMETER	REFERENCE	EXAMPLE VALUE
System bandwidth	f_{BW}	15 kHz

8.2.1.2 Detailed Design Procedure

The DRV5053 has internal filtering that limits the bandwidth to at least 20 kHz. For this application no external components are required other than the C1 bypass capacitor, which is 0.01 µF minimum. If the analog output OUT is tied to a microcontroller ADC input, the equivalent load must be R > 10 kΩ and C < 10 nF.

Table 3. External Components

COMPONENT	PIN 1	PIN 2	RECOMMENDED
C1	V_{CC}	GND	A 0.01-µF (minimum) ceramic capacitor rated for V_{CC}

Copyright © 2014–2015, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2.1.3 Application Curve

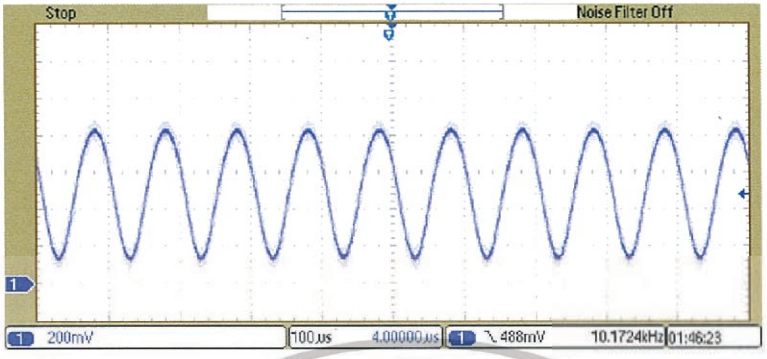


Figure 13. 10-kHz Switching Magnetic Field

8.2.2 Filtered Typical Application

For lower noise on the analog output OUT, additional RC filtering can be added to further reduce the bandwidth.

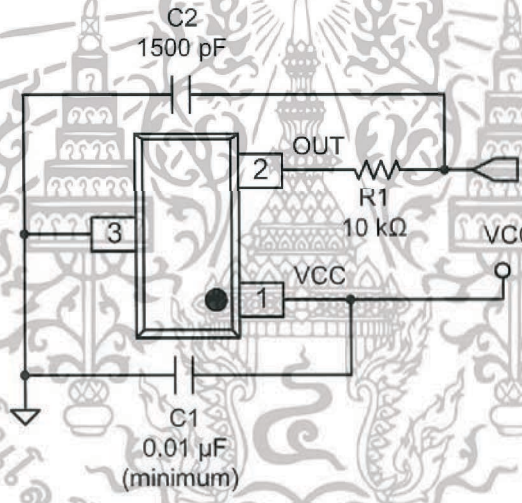


Figure 14. Filtered Typical Application Schematic

8.2.2.1 Design Requirements

For this design example, use the parameters listed in Table 4 as the input parameters.

Table 4. Design Parameters

DESIGN PARAMETER	REFERENCE	EXAMPLE VALUE
System bandwidth	f_{BW}	5 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2.2.2 Detailed Design Procedure

In this example we will add an external RC filter in order to reduce the output bandwidth.

In order to preserve the signal at the frequencies of interest, we will conservatively select a low-pass filter bandwidth (–3-dB point) at twice the system bandwidth (10 kHz).

$$10\ \text{kHz} < \frac{1}{2\pi \times R_1 \times C_2} \tag{1}$$

If we guess R1 = 10 kΩ, then C2 < 1590 pF. So we select C2 = 1500 pF.

8.2.2.2.1 Typical Noise Versus Cutoff Frequency

RC filters are an effective way to reduce the noise present on OUT. The following shows typical noise measurements for different cutoff frequencies using the DRV5053VA.

Table 5. DRV5053VA Typical Noise Data

R (Ω)	C (µF)	f_{CUTOFF} (kHz)	NOISE (mVpp)
163	0.1	9.8	30.4
349	0.1	4.6	22.8
750	0.1	2.1	15.2
1505	0.1	1.1	9.7
3322	0.1	0.5	5.3
7510	0.1	0.2	2.5

8.2.2.3 Application Curves

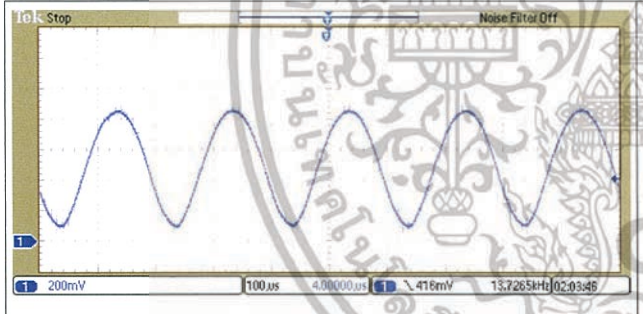


Figure 15. 5-kHz Switching Magnetic Field

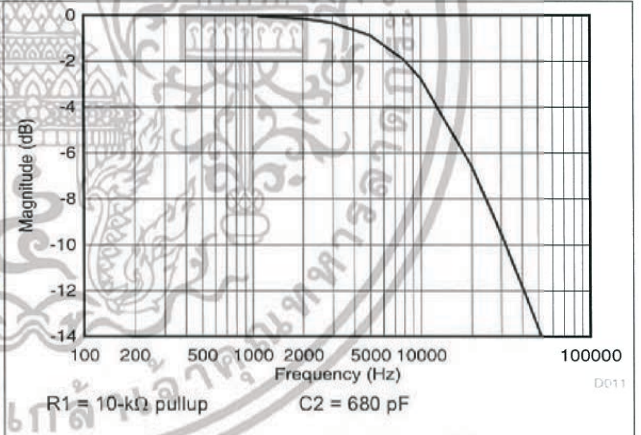


Figure 16. Low-Pass Filtering

9 Power Supply Recommendations

The DRV5053 device is designed to operate from an input voltage supply (VM) range between 2.5 and 38 V. A 0.01-µF (minimum) ceramic capacitor rated for V_{CC} must be placed as close to the DRV5053 device as possible.

Copyright © 2014–2015, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10 Device and Documentation Support

10.1 Device Support

10.1.1 Device Nomenclature

Figure 17 shows a legend for reading the complete device name for the DRV5053 device.

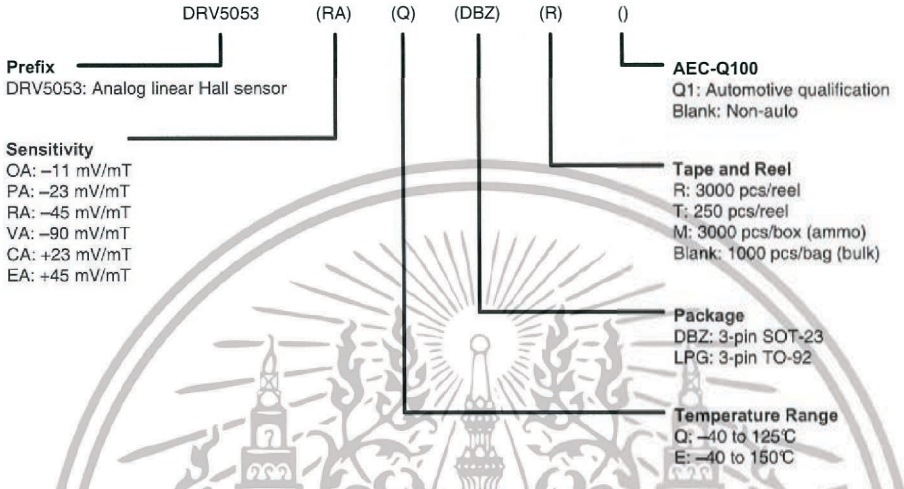


Figure 17. Device Nomenclature

10.1.2 Device Markings

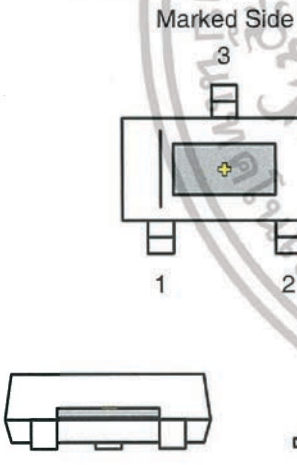


Figure 18. SOT-23 (DBZ) Package

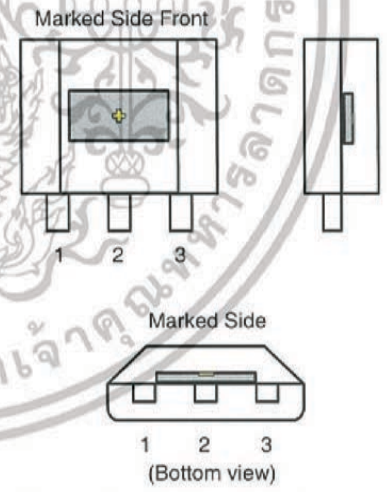


Figure 19. TO-92 (LPG) Package

✣ indicates the Hall effect sensor (not to scale). The Hall element is located in the center of the package with a tolerance of ±100 µm. The height of the Hall element from the bottom of the package is 0.7 mm ±50 µm in the DBZ package and 0.987 mm ±50 µm in the LPG package.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.2 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.

10.3 Trademarks

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

10.4 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.

10.5 Glossary

SLYZ022 — *TI Glossary*.

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

11 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.

Copyright © 2014–2015, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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
DRV5053CAQDBZR	ACTIVE	SOT-23	DBZ	3	3000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU | CU SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	(+ALCA, 1LX2)	Samples
DRV5053CAQDBZT	ACTIVE	SOT-23	DBZ	3	250	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU | CU SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	(+ALCA, 1LX2)	Samples
DRV5053CAQLPG	ACTIVE	TO-92	LPG	3	1000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	N / A for Pkg Type	-40 to 125	+ALCA	Samples
DRV5053CAQLPGM	ACTIVE	TO-92	LPG	3	3000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	N / A for Pkg Type	-40 to 125	+ALCA	Samples
DRV5053EAQDBZR	ACTIVE	SOT-23	DBZ	3	3000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU | CU SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	(+ALEA, 1LZ2)	Samples
DRV5053EAQDBZT	ACTIVE	SOT-23	DBZ	3	250	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU | CU SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	(+ALEA, 1LZ2)	Samples
DRV5053EAQLPG	ACTIVE	TO-92	LPG	3	1000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	N / A for Pkg Type	-40 to 125	+ALEA	Samples
DRV5053EAQLPGM	ACTIVE	TO-92	LPG	3	3000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	N / A for Pkg Type	-40 to 125	+ALEA	Samples
DRV5053OAQDBZR	ACTIVE	SOT-23	DBZ	3	3000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU | CU SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	(+ALOA, 1M12)	Samples
DRV5053OAQDBZT	ACTIVE	SOT-23	DBZ	3	250	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU | CU SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	(+ALOA, 1M12)	Samples
DRV5053OAQLPG	ACTIVE	TO-92	LPG	3	1000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	N / A for Pkg Type	-40 to 125	+ALOA	Samples
DRV5053OAQLPGM	ACTIVE	TO-92	LPG	3	3000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	N / A for Pkg Type	-40 to 125	+ALOA	Samples
DRV5053PAQDBZR	ACTIVE	SOT-23	DBZ	3	3000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU | CU SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	(+ALPA, 1M22)	Samples
DRV5053PAQDBZT	ACTIVE	SOT-23	DBZ	3	250	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU | CU SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	(+ALPA, 1M22)	Samples
DRV5053PAQLPG	ACTIVE	TO-92	LPG	3	1000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	N / A for Pkg Type	-40 to 125	+ALPA	Samples
DRV5053PAQLPGM	ACTIVE	TO-92	LPG	3	3000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	N / A for Pkg Type	-40 to 125	+ALPA	Samples
DRV5053RAQDBZR	ACTIVE	SOT-23	DBZ	3	3000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU | CU SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	(+ALRA, 1M32)	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
DRV5053RAQDBZT	ACTIVE	SOT-23	DBZ	3	250	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU | CU SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	(+ALRA, 1M32)	Samples
DRV5053RAQLPG	ACTIVE	TO-92	LPG	3	1000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	N / A for Pkg Type	-40 to 125	+ALRA	Samples
DRV5053RAQLPGM	ACTIVE	TO-92	LPG	3	3000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	N / A for Pkg Type	-40 to 125	+ALRA	Samples
DRV5053VAQDBZR	ACTIVE	SOT-23	DBZ	3	3000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU | CU SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	(+ALVA, 1M42)	Samples
DRV5053VAQDBZT	ACTIVE	SOT-23	DBZ	3	250	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU | CU SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	(+ALVA, 1M42)	Samples
DRV5053VAQLPG	ACTIVE	TO-92	LPG	3	1000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	N / A for Pkg Type	-40 to 125	+ALVA	Samples
DRV5053VAQLPGM	ACTIVE	TO-92	LPG	3	3000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	N / A for Pkg Type	-40 to 125	+ALVA	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) **RoHS:** TI defines "RoHS" to mean semiconductor products that are compliant with the current EU RoHS requirements for all 10 RoHS substances, including the requirement that RoHS substance do not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, "RoHS" products are suitable for use in specified lead-free processes. TI may reference these types of products as "Pb-Free".
RoHS Exempt: TI defines "RoHS Exempt" to mean products that contain lead but are compliant with EU RoHS pursuant to a specific EU RoHS exemption.
Green: TI defines "Green" to mean the content of Chlorine (Cl) and Bromine (Br) based flame retardants meet JS709B low halogen requirements of <=1000ppm threshold. Antimony trioxide based flame retardants must also meet the <=1000ppm threshold requirement.

(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 DRV5053 :

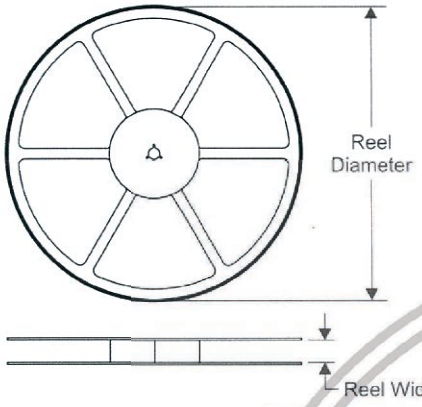
- Automotive: DRV5053-Q1

NOTE: Qualified Version Definitions:

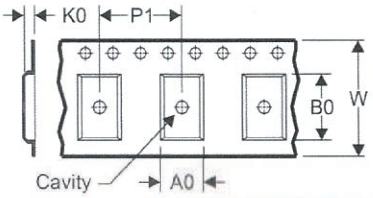
- Automotive - Q100 devices qualified for high-reliability automotive applications targeting zero defects

TAPE AND REEL INFORMATION

REEL DIMENSIONS

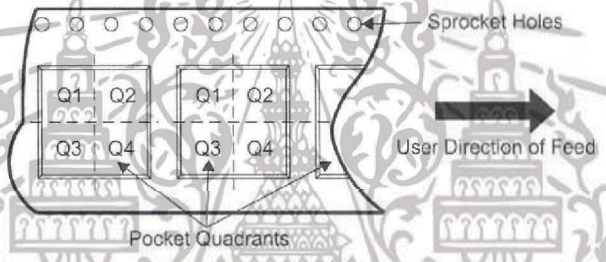


TAPE DIMENSIONS



A0	Dimension designed to accommodate the component width
B0	Dimension designed to accommodate the component length
K0	Dimension designed to accommodate the component thickness
W	Overall width of the carrier tape
P1	Pitch between successive cavity centers

QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE

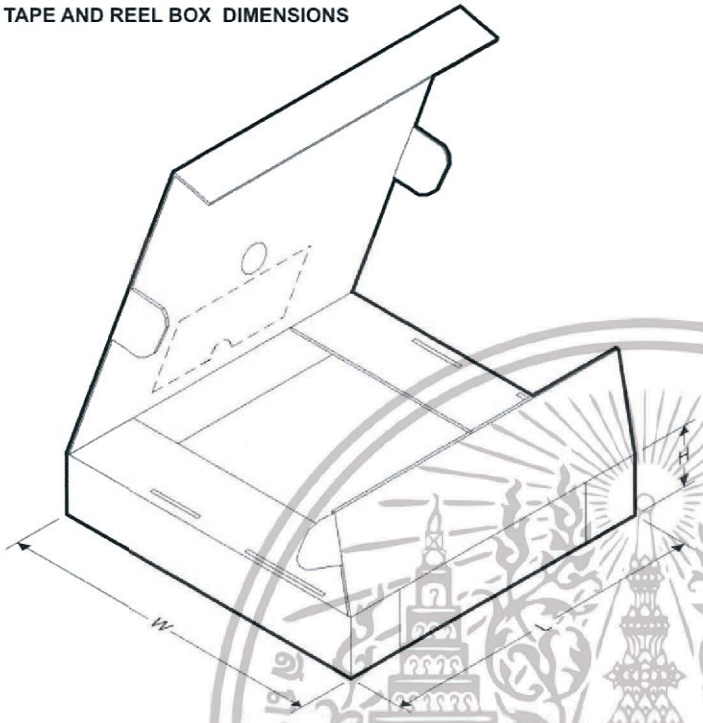


*All dimensions are nominal

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
DRV5053CAQDBZR	SOT-23	DBZ	3	3000	180.0	8.4	3.15	2.77	1.22	4.0	8.0	Q3
DRV5053CAQDBZT	SOT-23	DBZ	3	250	180.0	8.4	3.15	2.77	1.22	4.0	8.0	Q3
DRV5053EAQDBZR	SOT-23	DBZ	3	3000	180.0	8.4	3.15	2.77	1.22	4.0	8.0	Q3
DRV5053EAQDBZT	SOT-23	DBZ	3	250	180.0	8.4	3.15	2.77	1.22	4.0	8.0	Q3
DRV5053OAQDBZR	SOT-23	DBZ	3	3000	180.0	8.4	3.15	2.77	1.22	4.0	8.0	Q3
DRV5053OAQDBZT	SOT-23	DBZ	3	250	180.0	8.4	3.15	2.77	1.22	4.0	8.0	Q3
DRV5053PAQDBZR	SOT-23	DBZ	3	3000	180.0	8.4	3.15	2.77	1.22	4.0	8.0	Q3
DRV5053PAQDBZT	SOT-23	DBZ	3	250	180.0	8.4	3.15	2.77	1.22	4.0	8.0	Q3
DRV5053RAQDBZR	SOT-23	DBZ	3	3000	180.0	8.4	3.15	2.77	1.22	4.0	8.0	Q3
DRV5053RAQDBZT	SOT-23	DBZ	3	250	180.0	8.4	3.15	2.77	1.22	4.0	8.0	Q3
DRV5053VAQDBZR	SOT-23	DBZ	3	3000	180.0	8.4	3.15	2.77	1.22	4.0	8.0	Q3
DRV5053VAQDBZT	SOT-23	DBZ	3	250	180.0	8.4	3.15	2.77	1.22	4.0	8.0	Q3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
DRV5053CAQDBZR	SOT-23	DBZ	3	3000	202.0	201.0	28.0
DRV5053CAQDBZT	SOT-23	DBZ	3	250	202.0	201.0	28.0
DRV5053EAQDBZR	SOT-23	DBZ	3	3000	202.0	201.0	28.0
DRV5053EAQDBZT	SOT-23	DBZ	3	250	202.0	201.0	28.0
DRV5053OAQDBZR	SOT-23	DBZ	3	3000	202.0	201.0	28.0
DRV5053OAQDBZT	SOT-23	DBZ	3	250	202.0	201.0	28.0
DRV5053PAQDBZR	SOT-23	DBZ	3	3000	202.0	201.0	28.0
DRV5053PAQDBZT	SOT-23	DBZ	3	250	202.0	201.0	28.0
DRV5053RAQDBZR	SOT-23	DBZ	3	3000	202.0	201.0	28.0
DRV5053RAQDBZT	SOT-23	DBZ	3	250	202.0	201.0	28.0
DRV5053VAQDBZR	SOT-23	DBZ	3	3000	202.0	201.0	28.0
DRV5053VAQDBZT	SOT-23	DBZ	3	250	202.0	201.0	28.0

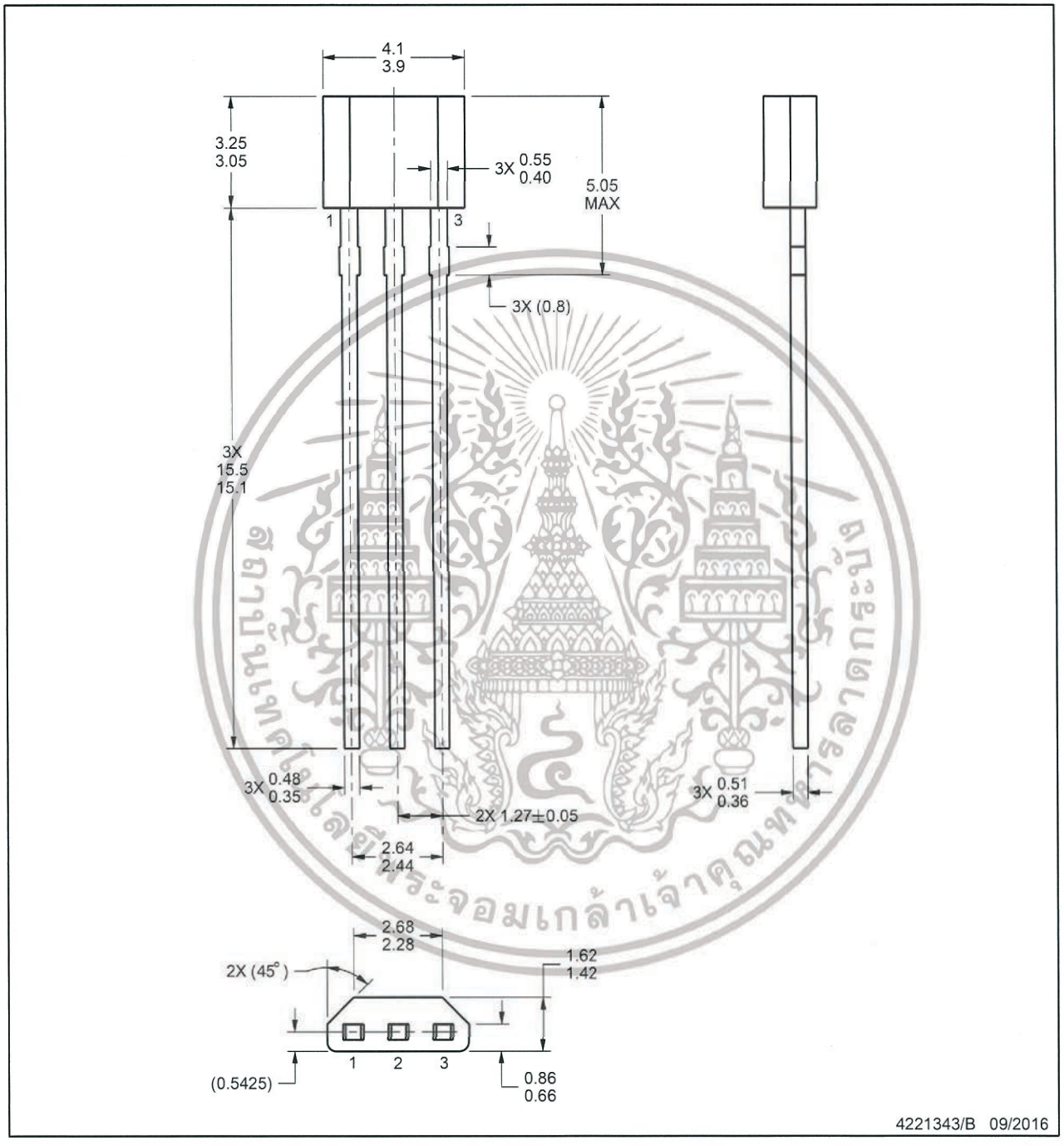
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE OUTLINE

LPG0003A

TO-92 - 5.05 mm max height

TO-92



NOTES:

1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.

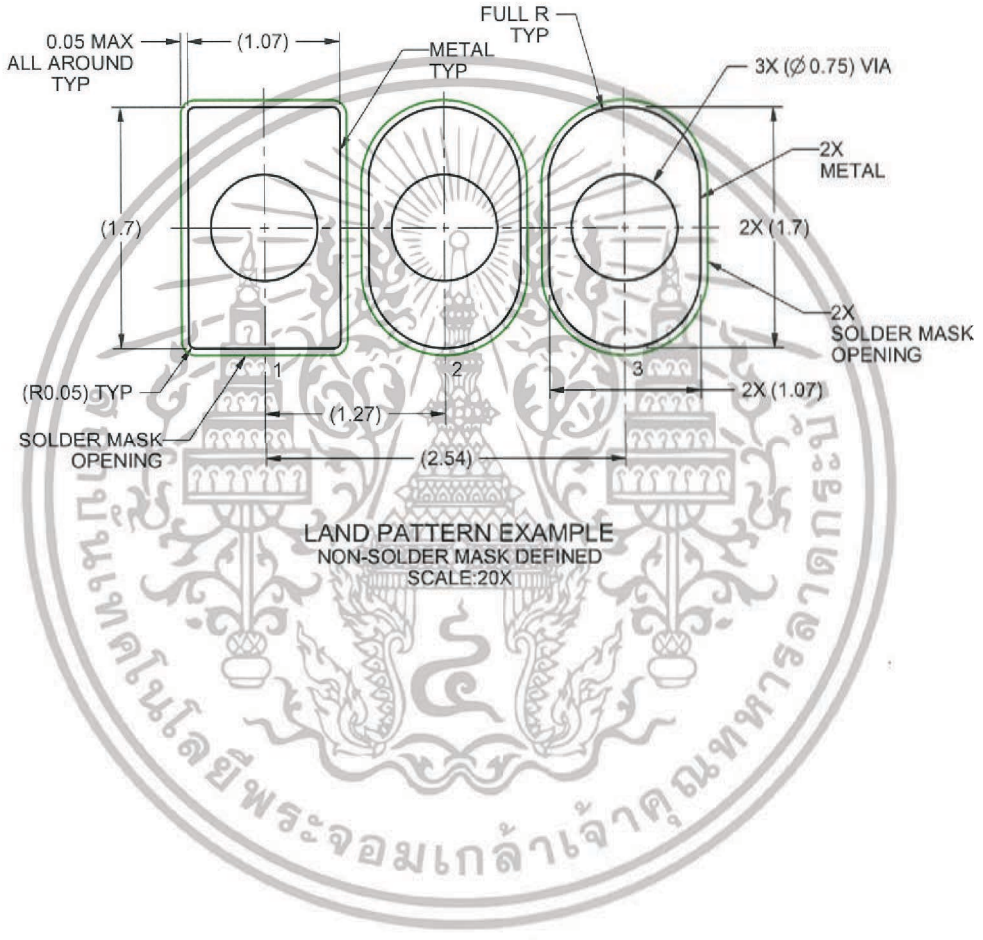
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXAMPLE BOARD LAYOUT

LPG0003A

TO-92 - 5.05 mm max height

TO-92



4221343/B 09/2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GENERIC PACKAGE VIEW

DBZ 3 **SOT-23 - 1.12 mm max height**

SMALL OUTLINE TRANSISTOR

Images above are just a representation of the package family, actual package may vary.
Refer to the product data sheet for package details.

4203227/C

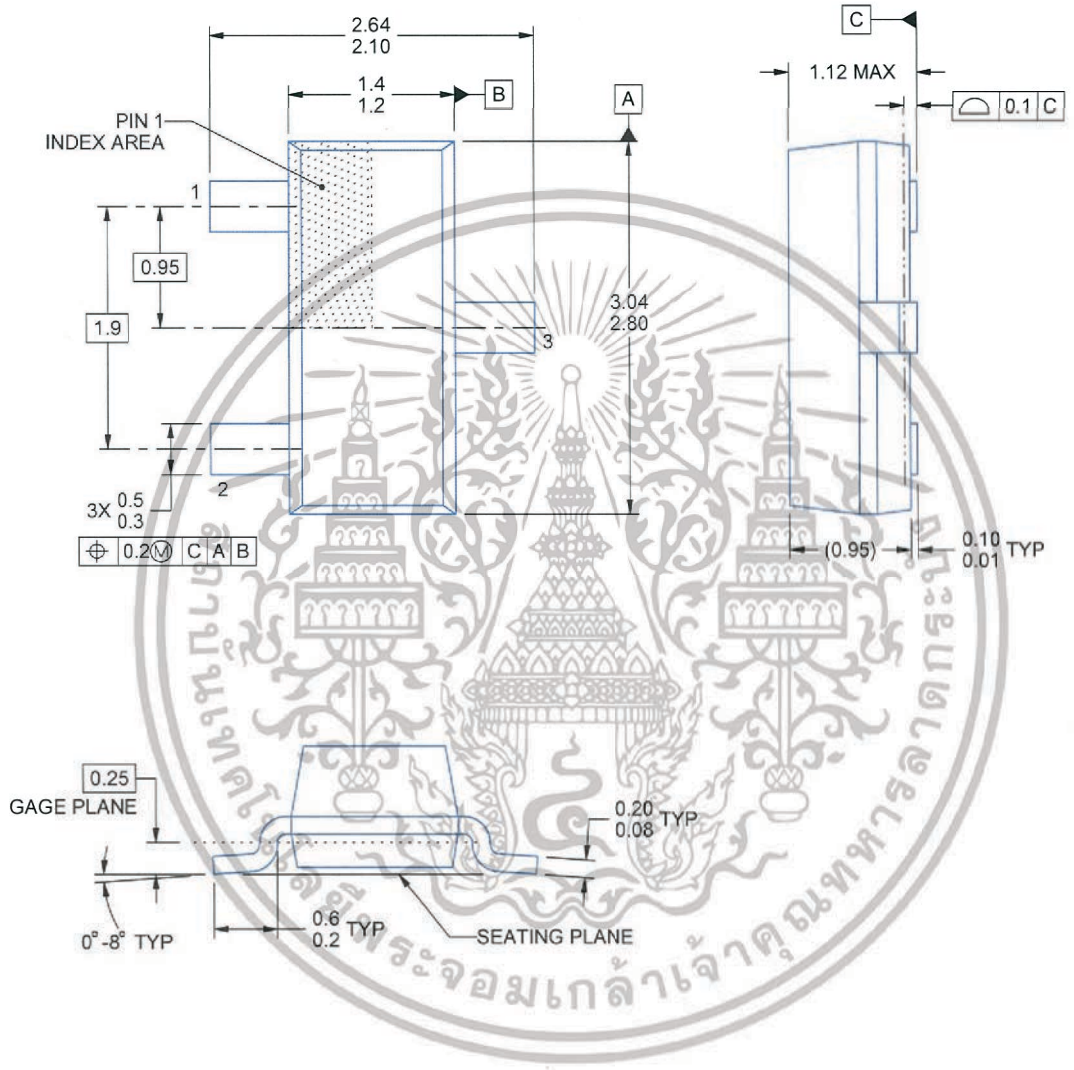
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE OUTLINE

DBZ0003A

SOT-23 - 1.12 mm max height

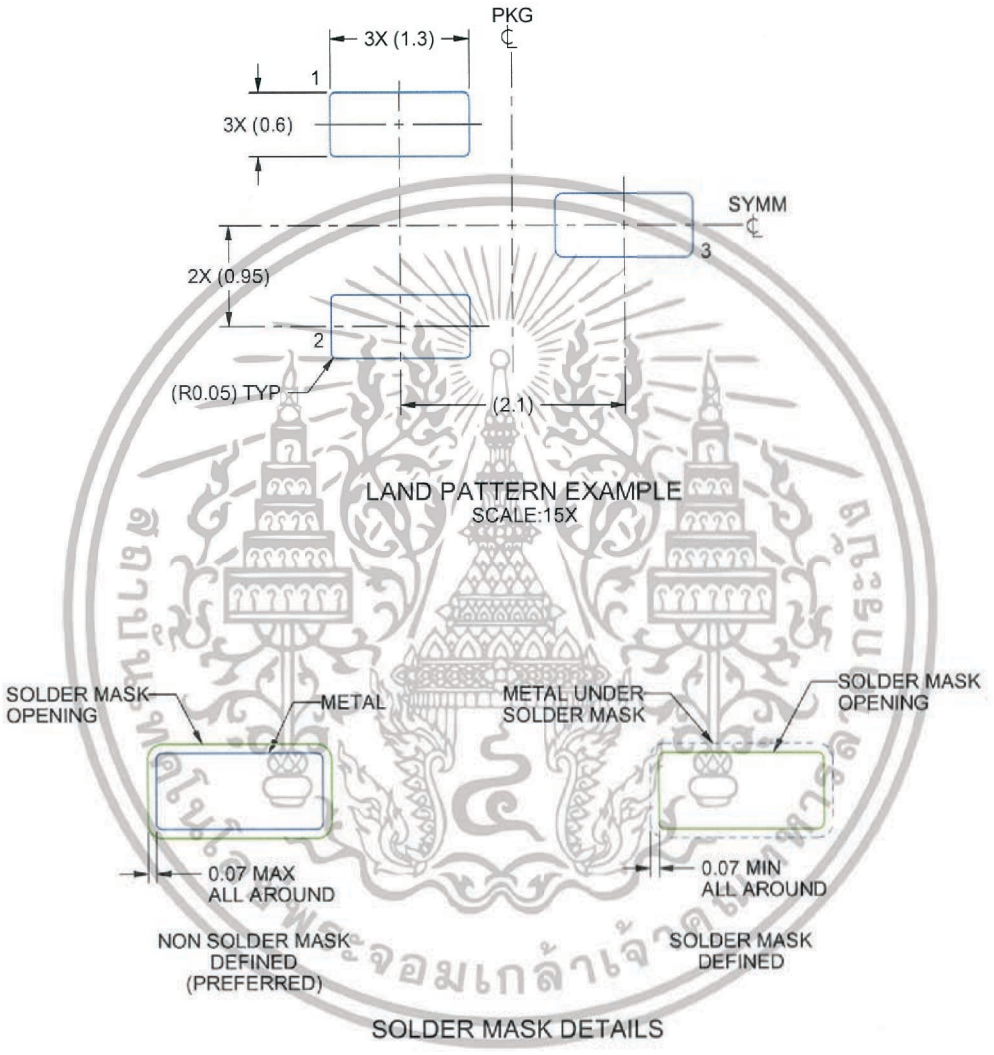
SMALL OUTLINE TRANSISTOR



NOTES:

1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. Reference JEDEC registration TO-236, except minimum foot length.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

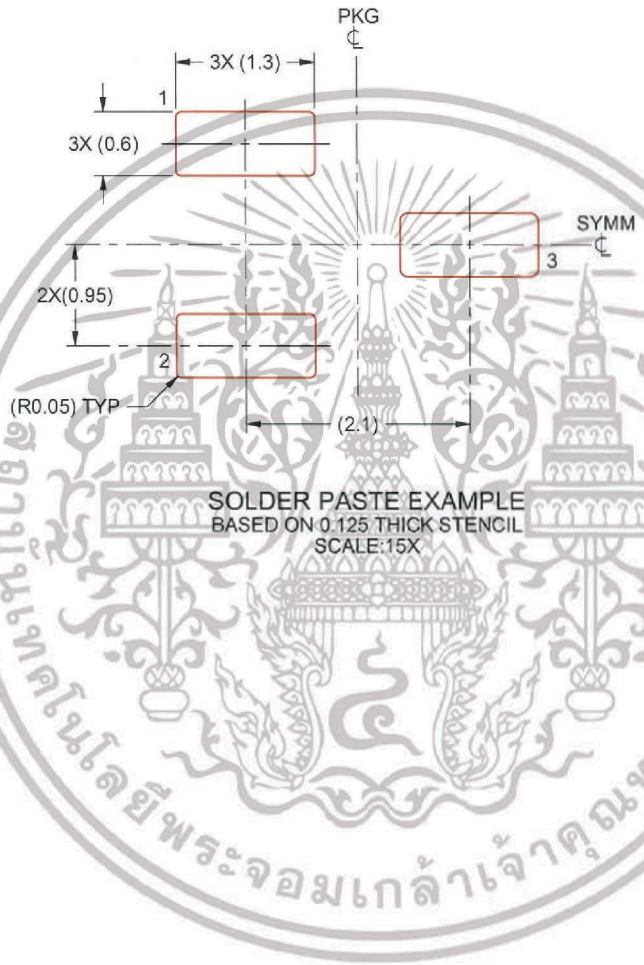


4214838/C 04/2017

NOTES: (continued)

4. Publication IPC-7351 may have alternate designs.
5. Solder mask tolerances between and around signal pads can vary based on board fabrication site.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4214838/C 04/2017

NOTES: (continued)

6. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations.
7. Board assembly site may have different recommendations for stencil design.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated (TI) reserves 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.

TI's published terms of sale for semiconductor products (http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm) apply to the sale of packaged integrated circuit products that TI has qualified and released to market. Additional terms may apply to the use or sale of other types of TI products and services.

Reproduction of significant portions of TI information in TI 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 reproduced documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions. Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Buyers and others who are developing systems that incorporate TI products (collectively, "Designers") understand and agree that Designers remain responsible for using their independent analysis, evaluation and judgment in designing their applications and that Designers have full and exclusive responsibility to assure the safety of Designers' applications and compliance of their applications (and of all TI products used in or for Designers' applications) with all applicable regulations, laws and other applicable requirements. Designer represents that, with respect to their applications, Designer has all the necessary expertise to create and implement safeguards that (1) anticipate dangerous consequences of failures, (2) monitor failures and their consequences, and (3) lessen the likelihood of failures that might cause harm and take appropriate actions. Designer agrees that prior to using or distributing any applications that include TI products, Designer will thoroughly test such applications and the functionality of such TI products as used in such applications.

TI's provision of technical, application or other design advice, quality characterization, reliability data or other services or information, including, but not limited to, reference designs and materials relating to evaluation modules, (collectively, "TI Resources") are intended to assist designers who are developing applications that incorporate TI products; by downloading, accessing or using TI Resources in any way, Designer (individually or, if Designer is acting on behalf of a company, Designer's company) agrees to use any particular TI Resource solely for this purpose and subject to the terms of this Notice.

TI's provision of TI Resources does not expand or otherwise alter TI's applicable published warranties or warranty disclaimers for TI products, and no additional obligations or liabilities arise from TI providing such TI Resources. TI reserves the right to make corrections, enhancements, improvements and other changes to its TI Resources. TI has not conducted any testing other than that specifically described in the published documentation for a particular TI Resource.

Designer is authorized to use, copy and modify any individual TI Resource only in connection with the development of applications that include the TI product(s) identified in such TI Resource. NO OTHER LICENSE, EXPRESS OR IMPLIED, BY ESTOPPEL OR OTHERWISE TO ANY OTHER TI INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT, AND NO LICENSE TO ANY TECHNOLOGY OR INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT OF TI OR ANY THIRD PARTY IS GRANTED HEREIN, including but not limited to any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information regarding or referencing third-party products or services does not constitute a license to use such products or services, or a warranty or endorsement thereof. Use of TI Resources 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.

TI RESOURCES ARE PROVIDED "AS IS" AND WITH ALL FAULTS. TI DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES OR REPRESENTATIONS, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING RESOURCES OR USE THEREOF, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ACCURACY OR COMPLETENESS, TITLE, ANY EPIDEMIC FAILURE WARRANTY AND ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, AND NON-INFRINGEMENT OF ANY THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS. TI SHALL NOT BE LIABLE FOR AND SHALL NOT DEFEND OR INDEMNIFY DESIGNER AGAINST ANY CLAIM, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ANY INFRINGEMENT CLAIM THAT RELATES TO OR IS BASED ON ANY COMBINATION OF PRODUCTS EVEN IF DESCRIBED IN TI RESOURCES OR OTHERWISE. IN NO EVENT SHALL TI BE LIABLE FOR ANY ACTUAL, DIRECT, SPECIAL, COLLATERAL, INDIRECT, PUNITIVE, INCIDENTAL, CONSEQUENTIAL OR EXEMPLARY DAMAGES IN CONNECTION WITH OR ARISING OUT OF TI RESOURCES OR USE THEREOF, AND REGARDLESS OF WHETHER TI HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES.

Unless TI has explicitly designated an individual product as meeting the requirements of a particular industry standard (e.g., ISO/TS 16949 and ISO 26262), TI is not responsible for any failure to meet such industry standard requirements.

Where TI specifically promotes products as facilitating functional safety or as compliant with industry functional safety standards, such products are intended to help enable customers to design and create their own applications that meet applicable functional safety standards and requirements. Using products in an application does not by itself establish any safety features in the application. Designers must ensure compliance with safety-related requirements and standards applicable to their applications. Designer may not use any TI products in life-critical medical equipment unless authorized officers of the parties have executed a special contract specifically governing such use. Life-critical medical equipment is medical equipment where failure of such equipment would cause serious bodily injury or death (e.g., life support, pacemakers, defibrillators, heart pumps, neurostimulators, and implantables). Such equipment includes, without limitation, all medical devices identified by the U.S. Food and Drug Administration as Class III devices and equivalent classifications outside the U.S.

TI may expressly designate certain products as completing a particular qualification (e.g., Q100, Military Grade, or Enhanced Product). Designers agree that it has the necessary expertise to select the product with the appropriate qualification designation for their applications and that proper product selection is at Designers' own risk. Designers are solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such selection.

Designer will fully indemnify TI and its representatives against any damages, costs, losses, and/or liabilities arising out of Designer's non-compliance with the terms and provisions of this Notice.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PC817XNNSZ0F Series

DIP 4pin
Photocoupler

■Description

PC817XNNSZ0F Series contains an IRED optically coupled to a phototransistor.
It is packaged in a 4-pin DIP.
Input-output isolation voltage(rms) is 5kV.
Collector-emitter voltage is 80V.

■Agency approvals/Compliance

1. Approved by UL
   file No. E64380 (as model No. PC817)
2. Approved by CSA
   file No. CA95323 (as model No. PC817)
3. Package resin : UL flammability grade (94V-0)

■Features

1. 4-pin DIP package
2. Double transfer mold package (Ideal for Flow Soldering)
3. High isolation voltage between input and output (Viso(rms) : 5kV)
4. High collector-emitter voltage(V_{CEO} : 80V)
5. Current transfer ratio (CTR : MIN. 50% at I_F=5 mA, V_{CE}=5V)
6. RoHS directive compliant

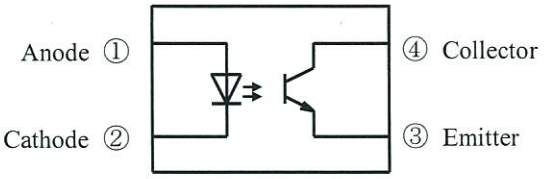
■Applications

1. Programmable controllers
2. Facsimiles
3. Telephones

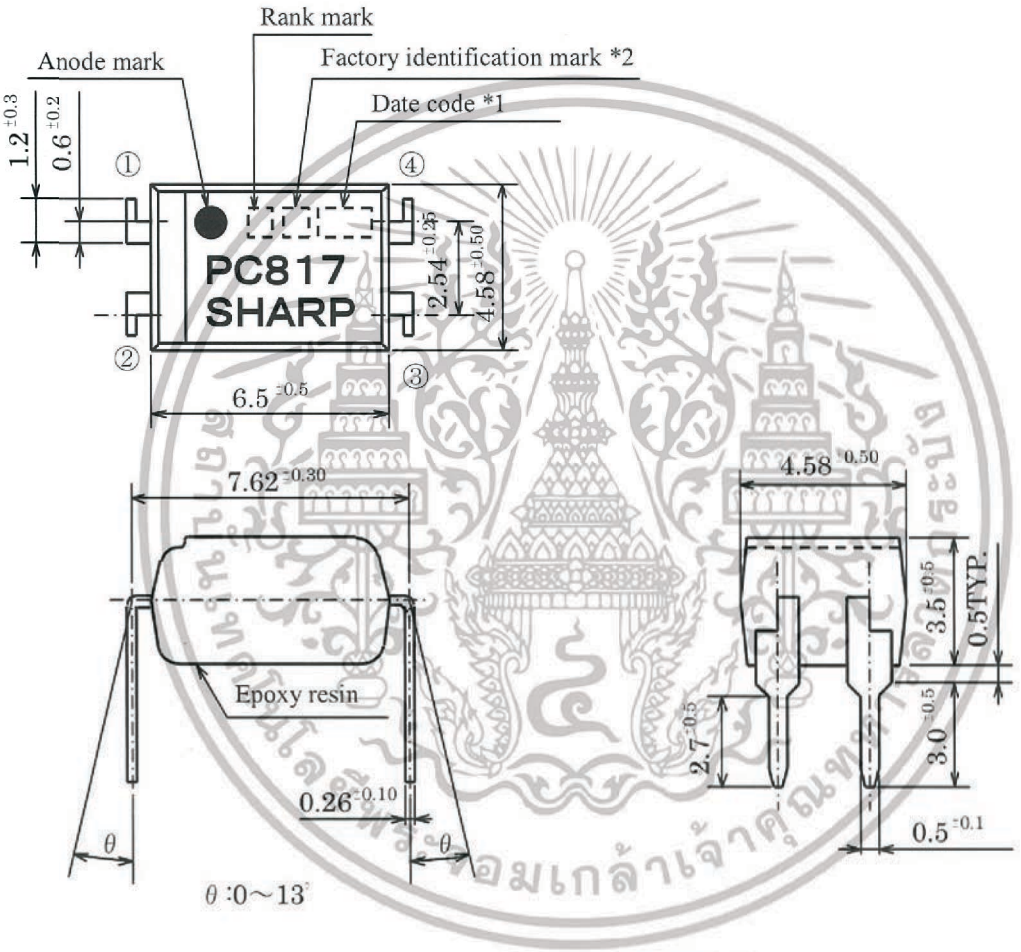
Notice The content of data sheet is subject to change without prior notice.
In the absence of confirmation by device specification sheets, SHARP takes no responsibility for any defects that may occur in equipment using any SHARP devices shown in catalogs, data books, etc. Contact SHARP in order to obtain the latest device specification sheets before using any SHARP device.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■Internal Connection Diagram



■Outline



*1) 2-digit number shall be marked according to OLD DIN standard.
*2) Factory identification mark applies to the below.
Without : SUN-S Corporation (Japan)
: WUXI WONDERFUL ELECTRONICS CO., LTD. (CHINA)
or : SUN-S Electronic Technology (KUNSHAN) Co., Ltd (CHINA)

Pin material : Copper Alloy
Pin finish : SnCu plating (Cu : TYP. 2%)

Product mass : Approx. 0.23g

UNIT : 1/1 mm	
Name	PC817 Outline Dimensions (Business dealing name : PC817X*NSZ0F)

Marking is laser marking

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■Absolute maximum ratings

Ta=25°C

Parameter			Symbol	Rating	Unit
Input	*1	Forward current	I_F	50	mA
	*2	Peak forward current	I_{FM}	1	A
		Reverse voltage	V_R	6	V
	*1	Power dissipation	P	70	mW
Output		Collector-emitter voltage	V_{CEO}	80	V
		Emitter-collector voltage	V_{ECO}	6	V
		Collector current	I_c	50	mA
	*1	Collector power dissipation	P_c	150	mW
*1		Total power dissipation	P_{tot}	200	mW
		Operating temperature	T_{opr}	-30 to +100	°C
		Storage temperature	T_{stg}	-55 to +125	°C
	*3	Isolation voltage	$V_{iso(rms)}$	5	kV
	*4	Soldering temperature	T_{sol}	270	°C

*1 The derating factors of absolute maximum ratings due to ambient temperature are shown in Fig. 1 to 4.
*2 Pulse width≦100μs, Duty ratio : 0.001 (Refer to Fig. 5)
*3 AC for 1 min, 40 to 60%RH
*4 For 10 s

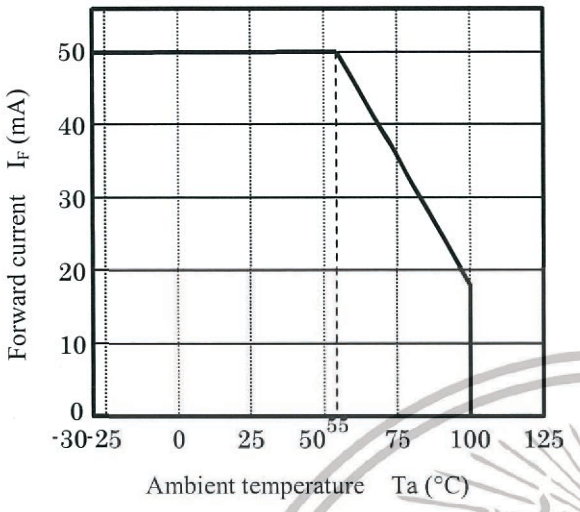
■Electro-optical Characteristics

Ta=25°C

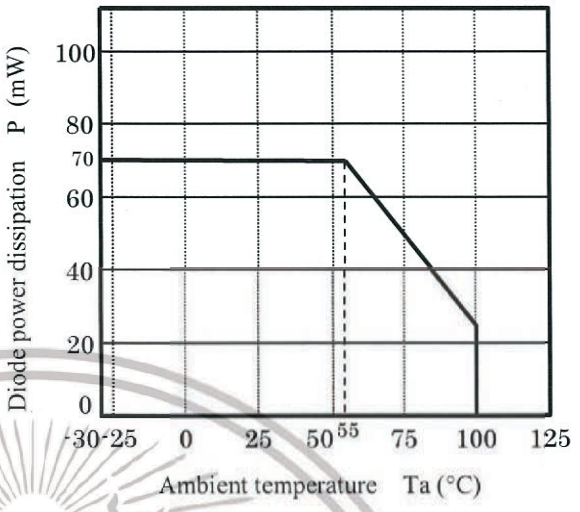
Parameter		Symbol	Condition	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
Input	Forward voltage	V_F	I_F=20mA	-	1.2	1.4	V
	Peak forward voltage	V_{FM}	I_{FM}=0.5A	-	-	3.0	V
	Reverse current	I_R	V_R=4V	-	-	10	μA
	Terminal capacitance	C_t	V=0, f=1kHz	-	30	250	pF
Output	Dark current	I_{CEO}	V_{CE}=50V, I_F=0	-	-	100	nA
	Collector-emitter breakdown voltage	BV_{CEO}	I_c=0.1mA I_F=0	80	-	-	V
	Emitter-collector breakdown voltage	BV_{ECO}	I_E=10μA, I_F=0	6	-	-	V
Transfer characteristics	Collector current	I_c	I_F=5mA, V_{CE}=5V	2.5	-	30	mA
	Collector-emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$	I_F=20mA I_c=1mA	-	0.1	0.2	V
	Isolation resistance	R_{ISO}	DC500V 40 to 60%RH	5×10^{10}	10^{11}	-	Ω
	Floating capacitance	C_f	V=0, f=1MHz	-	0.6	1.0	pF
	Cut-off frequency	f_c	V_{CE}=5V, I_c=2mA R_L=100Ω, -3dB	-	80	-	kHz
	Rise time	tr	V_{CE}=2V I_c=2mA R_L=100Ω	-	4	18	μs
	Fall time	t_f		-	3	18	μs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

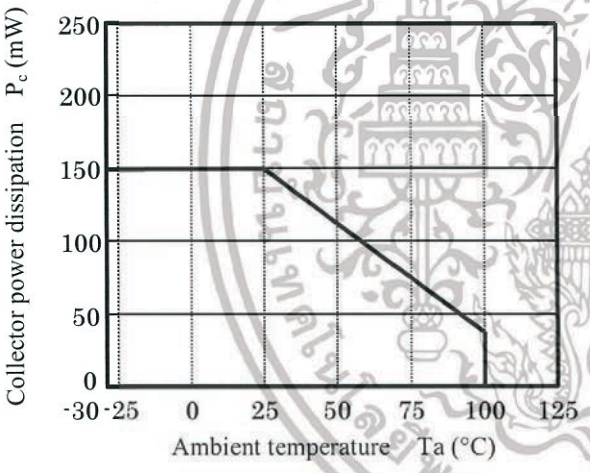
(Fig. 1)
Forward current vs. ambient temperature



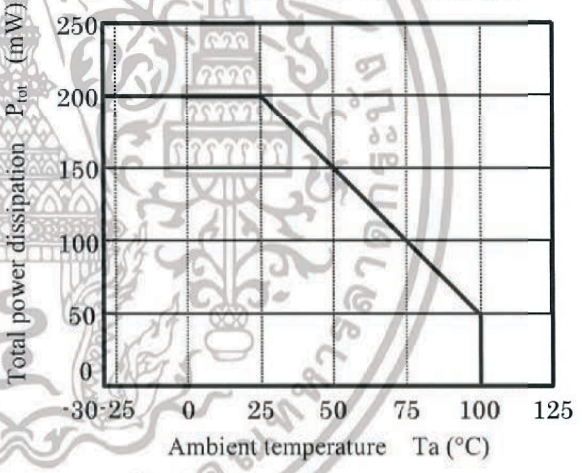
(Fig. 2)
Diode power dissipation vs. ambient temperature



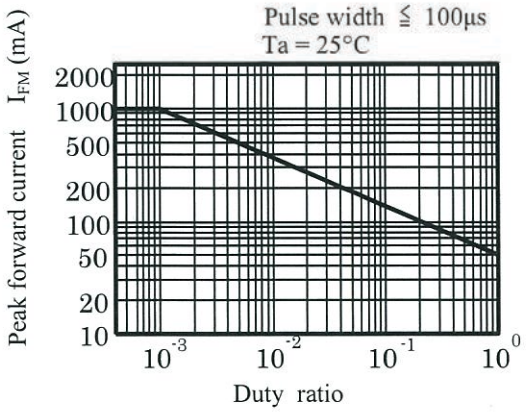
(Fig. 3)
Collector power dissipation vs. ambient temperature



(Fig. 4)
Total power dissipation vs. ambient temperature



(Fig. 5)
Peak forward current vs. duty ratio



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■Supplements

●Isolation voltage shall be measured in the following method.
(1) Short between anode and cathode on the primary side and between collector and emitter on the secondary side.
(2) The dielectric withstanding tester with zero-cross circuit shall be used.
(3) The wave form of applied voltage shall be a sine wave.
(It is recommended that the isolation voltage be measured in insulation oil.)

●Business dealing name

Business dealing name	Rank mark	Ic (mA)
PC817XNNSZ0F	with or without	2.5 to 30
PC817X1NSZ0F	A	4.0 to 8.0
PC817X2NSZ0F	B	6.5 to 13
PC817X3NSZ0F	C	10 to 20
PC817X4NSZ0F	D	15 to 30
PC817X5NSZ0F	A or B	4.0 to 13
PC817X6NSZ0F	B or C	6.5 to 20
PC817X7NSZ0F	C or D	10 to 30
PC817X8NSZ0F	A, B or C	4.0 to 20
PC817X9NSZ0F	B, C or D	6.5 to 30
PC817X0NSZ0F	A, B, C or D	4.0 to 30

Test conditions
I_F=5mA V_{CE}=5V Ta=25°C

●This Model is approved by UL.
Approved Model No. : PC817
UL file No. : E64380

●This Model is approved by CSA.
Approved Model No. : PC817
However, products shall be approved from date code"A5"(May 2010).
CSA file No. : CA95323
CSA approved mark " " shall be indicated on minimum unit package.

●This product is not designed against irradiation.
This product is assembled with electrical input and output.
This product incorporates non-coherent light emitting diode.

●ODS materials
This product shall not contain the following materials.
Also, the following materials shall not be used in the production process for this product.
Materials for ODS : CFC_S, Halon, Carbon tetrachloride, 1.1.1-Trichloroethane (Methyl chloroform)

●Specified brominated flame retardants
Specified brominated flame retardants (PBB and PBDE) are not used in this device at all.

●Compliance with each regulation
(1) The RoHS directive (2002/95/EC)
This product complies with the RoHS directive (2002/95/EC).
Object substances: mercury, lead, cadmium, hexavalent chromium, polybrominated biphenyls (PBB) and polybrominated diphenyl ethers (PBDE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) Content of six substances specified in Management Methods for Control of Pollution Caused by Electronic Information Products Regulation (Chinese : 电子信息产品污染控制管理办法).

Category	Toxic and hazardous substances					
	Lead (Pb)	Mercury (Hg)	Cadmium (Cd)	Hexavalent chromium (Cr^{6+})	Polybrominated biphenyls (PBB)	Polybrominated diphenyl ethers (PBDE)
Photocoupler	✓	✓	✓	✓	✓	✓

✓: indicates that the content of the toxic and hazardous substance in all the homogeneous materials of the part is below the concentration limit requirement as described in SJ/T 11363-2006 standard.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■Notes

●Cleaning

(1) Solvent cleaning : Solvent temperature 45°C or less
Immersion for 3 min or less

(2) Ultrasonic cleaning : The effect to device by ultrasonic cleaning differs by cleaning bath size, ultrasonic power output, cleaning time, PCB size or device mounting condition etc. Please test it in actual using condition and confirm that any defect doesn't occur before starting the ultrasonic cleaning.

(3) Applicable solvent : Ethyl alcohol, Methyl alcohol, Isopropyl alcohol
When the other solvent is used, there are cases that the packaging resin is eroded.
Please use the other solvent after thorough confirmation is performed in actual using condition.

●Circuit design

(1) The LED used in the Photocoupler generally decreases the light emission power by operation.
In case of long operation time, please design the circuit in consideration of the degradation of the light emission power of the LED. (50%/5years)

(2) There are cases that the deviation of the CTR and the degradation of the relative light emission power of the LED increase when the setting value of I_F is less than 1.0mA. Please design the circuit in consideration of this point.

●Precautions for Soldering

(1) In the case of flow soldering (Whole dipping is possible)
It is recommended that flow soldering should be at 270°C or less for 10 s or less
(Pre-heating : 100 to 150°C, 30 to 80s). (2 times or less)

(2) In the case of hand soldering
What is done on the following condition is recommended. (2 times or less)
Soldering iron temperature : 400°C or less
Time : 3s or less

(3) Other precautions
Depending on equipment and soldering conditions (temperature, Using solder etc.), the effect to the device and the PCB is different.
Please confirm that there is no problem on the actual use conditions in advance.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■Package specification

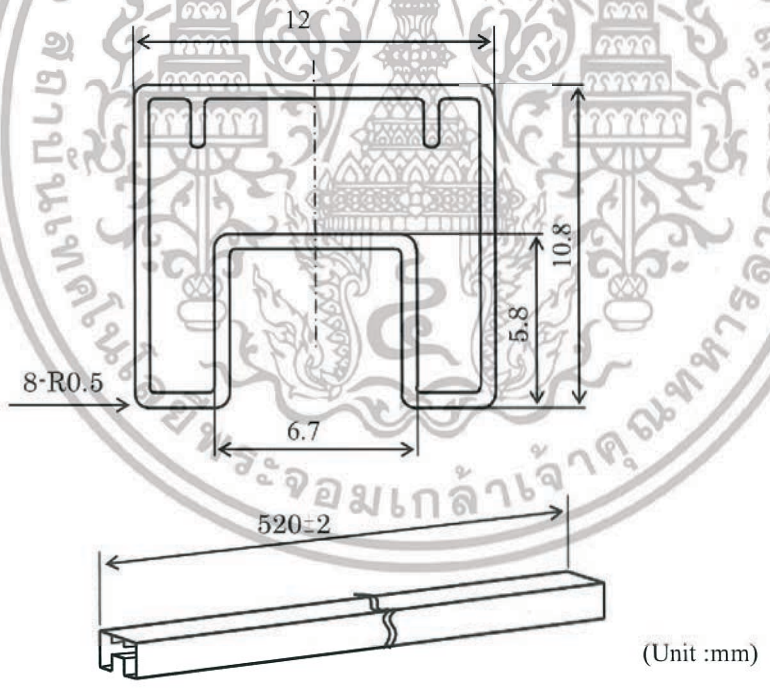
●Package materials

No.	Name	Materials	Purposes
①	Sleeve	HIPS or ABS with preventing static electricity	Products packaged
②	Stopper	Styrene-Erastomer	Products fixed
③	Packing case	Corrugated cardboard	Sleeve packaged
④	Kraft tape	Paper	Lid of packing case fixed
⑤	Label	Paper	Model No.,(Business dealing name),Lot No., Quantity, Country of origin , Company name and Inspection date specified

●Package method

(1) MAX. 100pcs. of products shall be packaged in a sleeve ① and both of sleeve edges shall be fixed by stoppers ②.
(2) MAX. 20 sleeves (Product : 2000pcs.) above shall be packaged in a packing case ③.
(3) The label ⑤ shall be put on the side of the packing case.
(4) Case shall be closed with the lid and enclosed with kraft tape ④.

●Sleeve ① outline dimensions

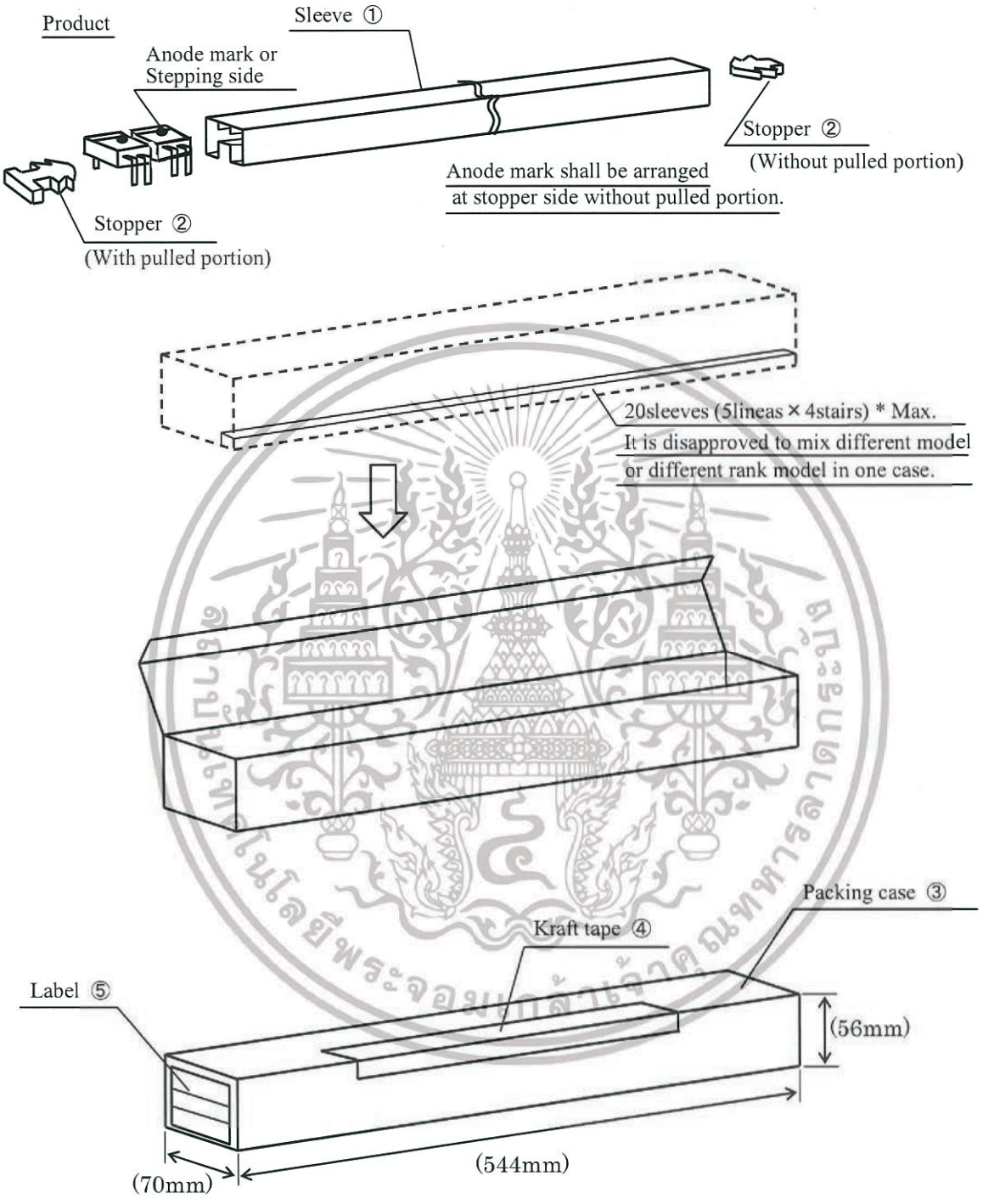


(Unit :mm)

Note 1) Thickness : 0.5±0.2mm
2) Process with applying antistatic agent.
3) Unless otherwise specified tolerances shall be ±0.5mm.
(However except for deformation due to the stopper in sleeve.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

●Packaging case outline dimensions



Regular packing mass : Approx. 860g

( ) : Reference dimensions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■Important Notices

· The circuit application examples in this publication are provided to explain representative applications of SHARP devices and are not intended to guarantee any circuit design or license any intellectual property rights. SHARP takes no responsibility for any problems related to any intellectual property right of a third party resulting from the use of SHARP's devices.

· Contact SHARP in order to obtain the latest device specification sheets before using any SHARP device. SHARP reserves the right to make changes in the specifications, characteristics, data, materials, structure, and other contents described herein at any time without notice in order to improve design or reliability. Manufacturing locations are also subject to change without notice.

· Observe the following points when using any devices in this publication. SHARP takes no responsibility for damage caused by improper use of the devices which does not meet the conditions and absolute maximum ratings to be used specified in the relevant specification sheet nor meet the following conditions:

(i) The devices in this publication are designed for use in general electronic equipment designs such as:
- --- Personal computers
- --- Office automation equipment
- --- Telecommunication equipment [terminal]
- --- Test and measurement equipment
- --- Industrial control
- --- Audio visual equipment
- --- Consumer electronics

(ii) Measures such as fail-safe function and redundant design should be taken to ensure reliability and safety when SHARP devices are used for or in connection with equipment that requires higher reliability such as:
- --- Transportation control and safety equipment (i.e., aircraft, trains, automobiles, etc.)
- --- Traffic signals
- --- Gas leakage sensor breakers
- --- Alarm equipment
- --- Various safety devices, etc.

(iii) SHARP devices shall not be used for or in connection with equipment that requires an extremely high level of reliability and safety such as:
- --- Space applications
- --- Telecommunication equipment [trunk lines]
- --- Nuclear power control equipment
- --- Medical and other life support equipment (e.g., scuba).

· If the SHARP devices listed in this publication fall within the scope of strategic products described in the Foreign Exchange and Foreign Trade Law of Japan, it is necessary to obtain approval to export such SHARP devices.

· This publication is the proprietary product of SHARP and is copyrighted, with all rights reserved. Under the copyright laws, no part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, for any purpose, in whole or in part, without the express written permission of SHARP. Express written permission is also required before any use of this publication may be made by a third party.

· Contact and consult with a SHARP representative if there are any questions about the contents of this publication.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BC337, BC337-25, BC337-40

Amplifier Transistors

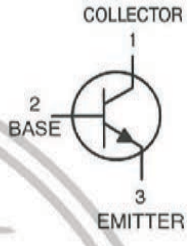
NPN Silicon

ON Semiconductor®

http://onsemi.com

Features

- These are Pb−Free Devices



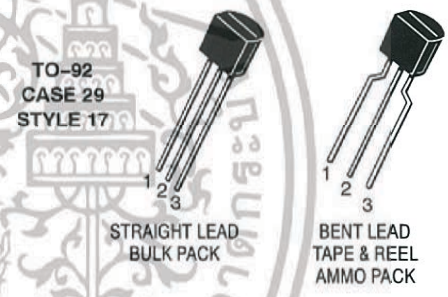
MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector − Emitter Voltage	V_{CEO}	45	Vdc
Collector − Base Voltage	V_{CBO}	50	Vdc
Emitter − Base Voltage	V_{EBO}	5.0	Vdc
Collector Current − Continuous	I_C	800	mAdc
Total Device Dissipation @ T_A = 25°C Derate above 25°C	P_D	625 5.0	mW mW/°C
Total Device Dissipation @ T_C = 25°C Derate above 25°C	P_D	1.5 12	W mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	−55 to +150	°C

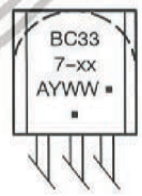
THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction−to−Ambient	$R_{\theta JA}$	200	°C/W
Thermal Resistance, Junction−to−Case	$R_{\theta JC}$	83.3	°C/W

Stresses exceeding those listed in the Maximum Ratings table may damage the device. If any of these limits are exceeded, device functionality should not be assumed, damage may occur and reliability may be affected.



MARKING DIAGRAM



BC337−xx = Device Code
(Refer to page 4)
A = Assembly Location
Y = Year
WW = Work Week
▪ = Pb−Free Package
(Note: Microdot may be in either location)

*For additional information on our Pb−Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 4 of this data sheet.

© Semiconductor Components Industries, LLC, 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic		Symbol	Min	Typ	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS						
Collector−Emitter Breakdown Voltage (I_C = 10 mA, I_B = 0)		$V_{(BR)CEO}$	45	–	–	Vdc
Collector−Emitter Breakdown Voltage (I_C = 100 μA, I_E = 0)		$V_{(BR)CES}$	50	–	–	Vdc
Emitter−Base Breakdown Voltage (I_E = 10 μA, I_C = 0)		$V_{(BR)EBO}$	5.0	–	–	Vdc
Collector Cutoff Current (V_{CB} = 30 V, I_E = 0)		I_{CBO}	–	–	100	nAdc
Collector Cutoff Current (V_{CE} = 45 V, V_{BE} = 0)		I_{CES}	–	–	100	nAdc
Emitter Cutoff Current (V_{EB} = 4.0 V, I_C = 0)		I_{EBO}	–	–	100	nAdc
ON CHARACTERISTICS						
DC Current Gain (I_C = 100 mA, V_{CE} = 1.0 V)	BC337	h_{FE}	100	–	630	–
	BC337−25		160	–	400	
	BC337−40		250	–	630	
(I_C = 300 mA, V_{CE} = 1.0 V)			60	–	–	
Base−Emitter On Voltage (I_C = 300 mA, V_{CE} = 1.0 V)		$V_{BE(on)}$	–	–	1.2	Vdc
Collector−Emitter Saturation Voltage (I_C = 500 mA, I_B = 50 mA)		$V_{CE(sat)}$	–	–	0.7	Vdc
SMALL−SIGNAL CHARACTERISTICS						
Output Capacitance (V_{CB} = 10 V, I_E = 0, f = 1.0 MHz)		C_{ob}	–	15	–	pF
Current−Gain − Bandwidth Product (I_C = 10 mA, V_{CE} = 5.0 V, f = 100 MHz)		f_T	–	210	–	MHz

Product parametric performance is indicated in the Electrical Characteristics for the listed test conditions, unless otherwise noted. Product performance may not be indicated by the Electrical Characteristics if operated under different conditions.

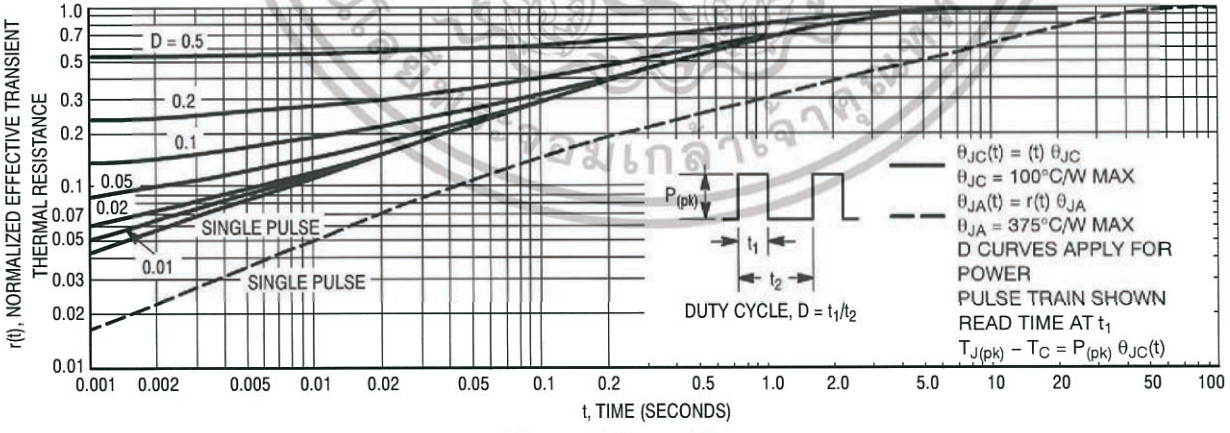


Figure 1. Thermal Response

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

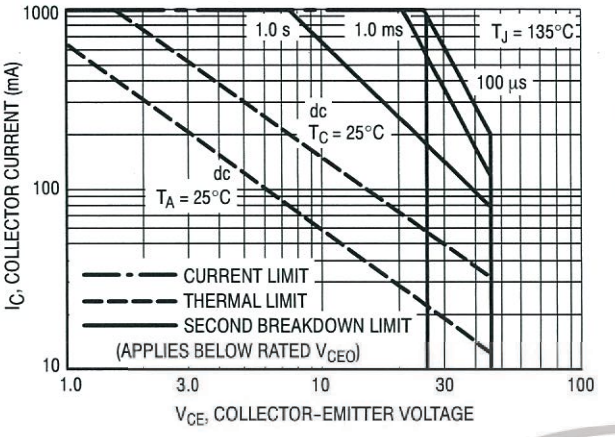


Figure 2. Active Region − Safe Operating Area

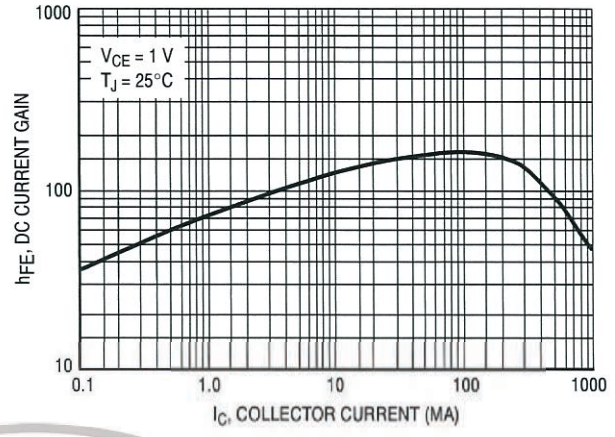


Figure 3. DC Current Gain

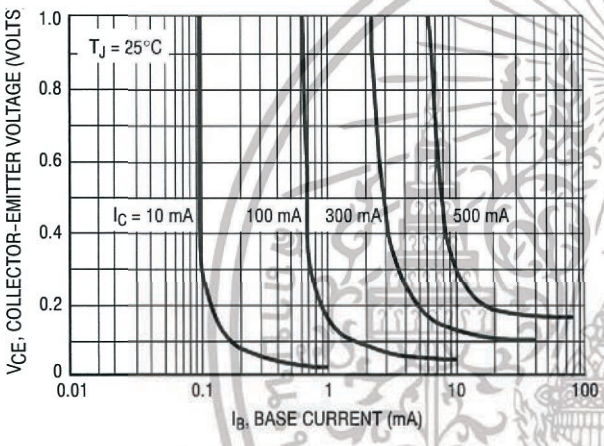


Figure 4. Saturation Region

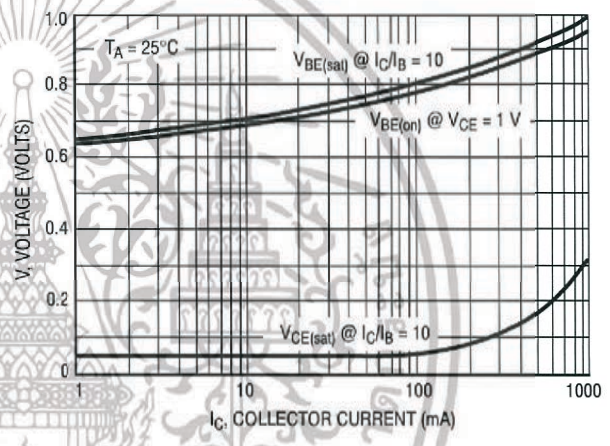


Figure 5. "On" Voltages

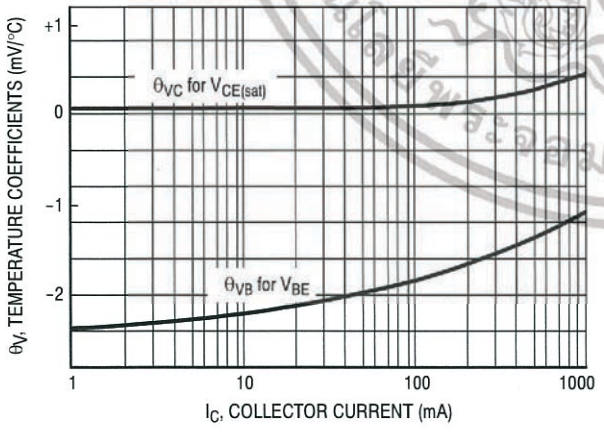


Figure 6. Temperature Coefficients

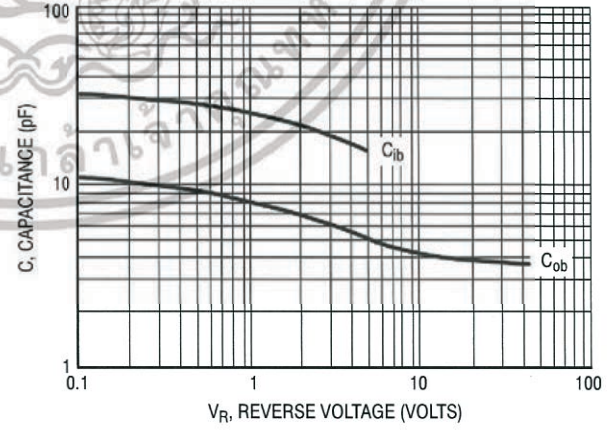


Figure 7. Capacitances

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ORDERING INFORMATION

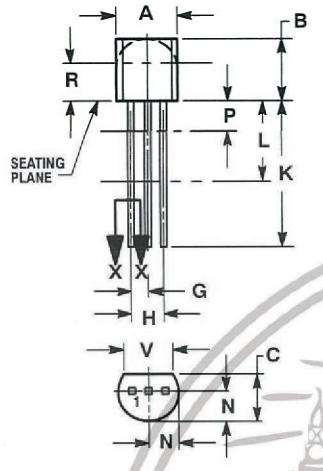
Device	Marking	Package	Shipping†
BC337G	7	TO−92 (Pb−Free)	5000 Units / Bulk
BC337RL1G	7		2000 / Tape & Reel
BC337−025G	7−25		5000 Units / Bulk
BC337−25RL1G	7−25		2000 / Tape & Reel
BC337−25RLRAG	7−25		2000 / Tape & Reel
BC337−25ZL1G	7−25		2000 / Ammo Box
BC337−040G	7−40		5000 Units / Bulk
BC337−40RL1G	7−40		2000 / Tape & Reel
BC337−40ZL1G	7−40		2000 / Ammo Box

†For information on tape and reel specifications, including part orientation and tape sizes, please refer to our Tape and Reel Packaging Specifications Brochure, BRD8011/D.

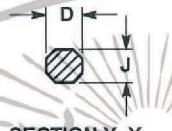
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE DIMENSIONS

TO−92 (TO−226)
CASE 29−11
ISSUE AM



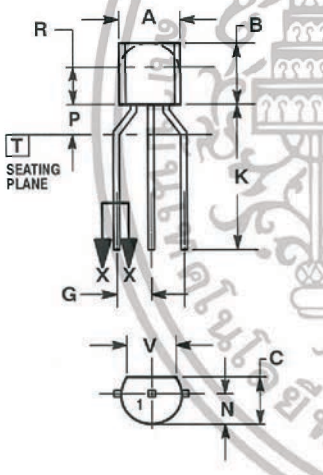
STRAIGHT LEAD
BULK PACK



SECTION X−X

NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. CONTOUR OF PACKAGE BEYOND DIMENSION R IS UNCONTROLLED.
4. LEAD DIMENSION IS UNCONTROLLED IN P AND BEYOND DIMENSION K MINIMUM.

	INCHES		MILLIMETERS	
DIM	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.175	0.205	4.45	5.20
B	0.170	0.210	4.32	5.33
C	0.125	0.165	3.18	4.19
D	0.016	0.021	0.407	0.533
G	0.045	0.055	1.15	1.39
H	0.095	0.105	2.42	2.66
J	0.015	0.020	0.39	0.50
K	0.500	---	12.70	---
L	0.250	---	6.35	---
N	0.080	0.105	2.04	2.66
P	---	0.100	---	2.54
R	0.115	---	2.93	---
V	0.135	---	3.43	---



BENT LEAD
TAPE & REEL
AMMO PACK

SECTION X−X

NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M, 1994.
2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETERS.
3. CONTOUR OF PACKAGE BEYOND DIMENSION R IS UNCONTROLLED.
4. LEAD DIMENSION IS UNCONTROLLED IN P AND BEYOND DIMENSION K MINIMUM.

	MILLIMETERS	
DIM	MIN	MAX
A	4.45	5.20
B	4.32	5.33
C	3.18	4.19
D	0.40	0.54
G	2.40	2.80
J	0.39	0.50
K	12.70	---
N	2.04	2.66
P	1.50	4.00
R	2.93	---
V	3.43	---

STYLE 17:
PIN 1. COLLECTOR
2. BASE
3. EMITTER

ON Semiconductor and ON are registered trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC). SCILLC owns the rights to a number of patents, trademarks, copyrights, trade secrets, and other intellectual property. A listing of SCILLC's product/patent coverage may be accessed at www.onsemi.com/site/pdt/Patent-Marking.pdf. SCILLC reserves the right to make changes without further notice to any products herein. SCILLC makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does SCILLC assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in SCILLC data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. SCILLC does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. SCILLC products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the SCILLC product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use SCILLC products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold SCILLC and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that SCILLC was negligent regarding the design or manufacture of the part. SCILLC is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:
Literature Distribution Center for ON Semiconductor
P.O. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA
Phone: 303−675−2175 or 800−344−3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303−675−2176 or 800−344−3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800−282−9855 Toll Free USA/Canada
Europe, Middle East and Africa Technical Support:
Phone: 421 33 790 2910
Japan Customer Focus Center
Phone: 81−3−5817−1050

ON Semiconductor Website: **www.onsemi.com**

Order Literature: http://www.onsemi.com/orderlit

For additional information, please contact your local Sales Representative

BC337/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้